



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA

Dipartimento Chirurgico, Medico, Odontoiatrico e di Scienze Morfologiche con
Interesse Trapiantologico, Oncologico e di Medicina Rigenerativa (CHIMOMO)

Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di Laurea Magistrale

in

SALUTE E SPORT

(Presidente: Prof.ssa Milena Nasi)

FUN-TASTIC: PARTECIPAZIONE SPORTIVA E UPDATING ESECUTIVO. CONFRONTO TRA OPEN E CLOSED SKILLS

Relatrice:
Prof.ssa Elisa Bisagno

Studente:
Filippo Storchi

Correlatrice:
Dott.ssa Martina Basciano

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

Indice

Introduzione

Capitolo 1 – <i>Updating</i> esecutivo e Disturbi Specifici dell’Apprendimento	pag. 4
• 1.1 Le Funzioni Esecutive: definizione e modelli teorici	pag. 4
○ 1.1.1 Definizione di Funzioni Esecutive	pag. 4
○ 1.1.2 Modelli teorici principali	pag. 6
○ 1.1.3 Sviluppo delle Funzioni Esecutive in età evolutiva	pag. 7
• 1.2 Le componenti delle Funzioni Esecutive	pag.9
○ 1.2.1 Inibizione	pag. 10
○ 1.2.2 Flessibilità cognitiva (<i>Shifting</i>)	pag 11
○ 1.2.3 Memoria di lavoro e <i>updating</i>	pag.11
• 1.3 L’<i>updating</i>: caratteristiche e strumenti di misura	pag.12
○ 1.3.1 Definizione e ruolo cognitivo	pag. 14
○ 1.3.2 Sviluppo e variabilità individuale	pag. 15
• 1.4 Funzioni Esecutive e DSA	pag. 16
○ 1.4.1 Caratteristiche cognitive dei DSA	pag. 16
○ 1.4.2 <i>Deficit</i> esecutivi nei DSA	pag. 17
○ 1.4.3 Evidenze specifiche sull’ <i>updating</i> nei bambini con DSA	pag.19
Capitolo 2 – Attività sportiva e <i>updating</i> esecutivo	pag. 21
• 2.1 Attività fisica e sviluppo cognitivo	pag. 21
○ 2.1.1 Benefici neurobiologici dell’attività fisica	pag. 22
○ 2.1.2 Attività fisica e sviluppo cognitivo in età evolutiva	pag. 23
○ 2.1.3 Relazione tra fitness e performance cognitive	pag. 24
○ 2.1.4 Evidenze empiriche sugli effetti dello sport	pag. 25

• 2.2 <i>Open vs closed skill sport</i>	pag. 26
○ 2.2.1 Definizione e caratteristiche degli sport <i>open skill</i>	pag. 27
○ 2.2.2 Definizione e caratteristiche degli sport <i>closed skill</i>	pag. 27
○ 2.2.3 Differenze cognitive tra le due tipologie	pag. 28
• 2.3 Sport e <i>updating</i>	pag.28
○ 2.3.1 Evidenze sull'impatto dello sport sull' <i>updating</i> della memoria di lavoro	pag. 29
○ 2.3.2 Effetti differenziali tra <i>open</i> e <i>closed skill</i>	pag. 30
○ 2.3.3 Implicazioni per bambini con DSA	pag. 31
Capitolo 3 – Studio empirico	pag.34
• 3.1 Obiettivi e ipotesi	pag.34
• 3.2 Metodo	pag.35
○ 3.2.1 Partecipanti	pag.35
○ 3.2.2 Strumenti	pag.35
○ 3.2.3 Procedura sperimentale	pag.36
• 3.3 Risultati	pag.37
• 3.4 Discussione	pag.40
Conclusioni	pag.43
Bibliografia	pag.46
Ringraziamenti	pag.56

CAPITOLO 1 - *UPDATING* ESECUTIVO E DISTURBI SPECIFICI DELL'APPRENDIMENTO

1.1 LE FUNZIONI ESECUTIVE: DEFINIZIONE E MODELLI TEORICI

L'*updating* esecutivo è una componente fondamentale delle funzioni esecutive e consiste nella capacità di monitorare, modificare e aggiornare continuamente le informazioni presenti nella memoria di lavoro, sostituendo quelle non più rilevanti con nuovi contenuti utili al compito (Miyake et al., 2000). Questo processo consente di adattare il pensiero e il comportamento alle richieste dell'ambiente ed è essenziale per attività cognitive complesse come la comprensione, il ragionamento e il *problem solving* (Diamond, 2013).

I Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA), comprendono dislessia, disgrafia, disortografia e discalculia e si configurano come disturbi del neurosviluppo che compromettono specifiche abilità scolastiche, pur in presenza di un adeguato funzionamento intellettuale generale (Peterson & Pennington, 2015). Numerose evidenze scientifiche hanno mostrato come le Funzioni Esecutive (FE), e in particolare l'*updating*, rivestano un ruolo centrale nei processi di apprendimento. Tale funzione risulta infatti indispensabile per la lettura, la comprensione del testo e il calcolo, poiché permette di integrare nuove informazioni con quelle già elaborate. Nei soggetti con DSA si riscontrano frequentemente difficoltà nei processi di memoria di lavoro e di *updating*, che possono influenzare negativamente le prestazioni scolastiche (Doyle et al., 2018). Approfondire la relazione tra *updating* esecutivo e DSA risulta quindi fondamentale per comprendere meglio i meccanismi cognitivi alla base di questi disturbi e per sviluppare interventi diagnostici e riabilitativi più efficaci.

1.1.1 Definizione di Funzioni Esecutive

Le FE si riferiscono a una famiglia di processi mentali *top-down* necessari quando l'individuo deve concentrarsi e prestare attenzione, quando agire in automatico o affidarsi all'istinto o all'intuizione sarebbe sconsigliabile, insufficiente o impossibile (Burgess & Simons, 2005; Espy, 2004; Miller & Cohen, 2001).

L'utilizzo delle FE richiede sforzo; è più facile continuare a fare ciò che si è fatto finora piuttosto che cambiare, è più facile cedere alla tentazione piuttosto che resistervi ed è più facile andare in "pilota automatico" piuttosto che considerare cosa fare dopo. Secondo alcuni modelli teorici, vi è accordo sul fatto che esistano tre FE principali (Lehto et al., 2003; Miyake et al., 2000): l'inibizione, definita anche come controllo inibitorio, si riferisce a due componenti, la prima è l'inibizione della risposta dominante, la seconda corrisponde al controllo delle interferenze, chiamato anche attenzione selettiva; la memoria

di lavoro (o *Working Memory*, WM) e la flessibilità cognitiva, chiamata anche *set shifting*, flessibilità mentale o cambiamento di schema mentale. Da questi, si sviluppano FE di ordine superiore come il ragionamento, la risoluzione dei problemi e la pianificazione (Collins & Koechlin, 2012; Lunt et al., 2012). Le FE sono abilità essenziali per la salute sia mentale che fisica, il successo a scuola e nella vita e lo sviluppo cognitivo, sociale e psicologico (Diamond, 2013) (v. Figura 1).

Figura 1 – Funzioni esecutive (Diamond, 2013)

Aspetti della vita	Ruolo delle FE	Riferimenti
Salute mentale	Le FE risultano compromesse in molti disturbi mentali, tra cui:	
	Dipendenze	Baler & Volkow, 2006
	Disturbo da deficit di attenzione/iperattività (ADHD)	Diamond, 2005; Lui & Tannock, 2007
	Disturbo della condotta	Fairchild et al., 2009
	Depressione	Taylor-Tavares et al., 2007
	Disturbo ossessivo-compulsivo (DOC)	Penadés et al., 2007
	Schizofrenia	Barch, 2005
Salute fisica	FE più scarse sono associate a obesità, sovralimentazione, abuso di sostanze e scarsa aderenza ai trattamenti.	Crescioni et al., 2011; Miller et al., 2011; Riggs et al., 2010
Qualità della vita	Le persone con migliori FE godono di una migliore qualità della vita.	Brown & Landgraf, 2010; Davis et al., 2010
Preparazione scolastica	Le FE sono più importanti per la prontezza scolastica rispetto al QI o alle competenze iniziali di lettura o matematica.	Blair & Razza, 2007; Morrison et al., 2010
Successo scolastico	Le FE predicono la competenza sia in matematica che nella lettura durante tutti gli anni scolastici.	Borella et al., 2010; Duncan et al., 2007;

		Gathercole et al., 2004
Successo lavorativo	FE scarse portano a una bassa produttività e a difficoltà nel trovare e mantenere un lavoro.	Bailey, 2007
Armonia coniugale	Un partner con scarse FE può essere più difficile da gestire, meno affidabile e/o più propenso ad agire d'impulso.	Eakin et al., 2004
Sicurezza pubblica	FE scarse portano a problemi sociali (tra cui criminalità, comportamenti spericolati, violenza e scoppi d'ira emotivi).	Broidy et al., 2003; Denson et al., 2011

1.1.2 Modelli teorici principali

I modelli delle FE cercano di spiegare come siano organizzati i processi cognitivi che regolano il controllo del comportamento. La comprensione di questi modelli è fondamentale per studiare il funzionamento cognitivo e le sue alterazioni.

Baddeley e Hitch (1974) hanno proposto un modello multicomponenziale della WM, costituito da due sistemi di mantenimento temporaneo dominio-specifici, il taccuino visuo-spaziale e il circuito fonologico, e da un sistema di controllo attentivo a capacità limitata, quello che gli autori definirono esecutivo centrale. All'interno del loro modello l'esecutivo centrale è definito come la componente che contribuisce al controllo dei processi cognitivi complessi, come la gestione di compiti simultanei, l'inibizione delle informazioni irrilevanti per un'attività che si sta svolgendo e la pianificazione dell'azione.

Norman e Shallice (1986) sostengono che il *Supervisory Attentional System* (sistema di attenzione supervisionata o SAS) è un sistema di controllo attentivo necessario per l'avvio di comportamenti e azioni orientati a un obiettivo. Il loro modello distingue tra processi automatici e processi controllati. Nello specifico, gli autori affermano che nei comportamenti abituali, la scelta delle azioni da parte dell'individuo avviene attraverso il meccanismo di *contention scheduling*, il quale regola l'attivazione e l'inibizione competitiva degli schemi di azione. Invece, nelle situazioni nuove, complesse, conflittuali o non abitudinarie interviene invece il SAS, il sistema che consente di pianificare, monitorare gli errori, inibire risposte inappropriate e orientare il comportamento verso un obiettivo.

In entrambi i modelli, la funzione esecutiva è etichettata come una componente unitaria responsabile di molteplici sottofunzioni (Doyle et al., 2018). In seguito, altri studi hanno permesso di ipotizzare nuovi modelli con prospettive leggermente in contrapposizione con i precedenti modelli appena descritti,

aprendo un dibattito tutt'oggi esistente, che vede molti studi concentrarsi specialmente nelle fasi di sviluppo degli individui per cercare di definire la composizione del *core* delle FE. Ad esempio, Miyake e collaboratori (2000) hanno proposto uno dei contributi teorici più influenti nello studio delle FE, noto per il concetto di "*unity and diversity*". Secondo questo modello, le FE condividono, una base comune di controllo cognitivo, ma al tempo stesso esse sono articolate in tre principali processi esecutivi: l'inibizione (*Inhibition*), intesa qui come capacità di sopprimere risposte automatiche o irrilevanti; la flessibilità cognitiva (*Shifting*), ovvero la capacità di passare da un compito, una regola o una rappresentazione mentale ad un'altra; e l'aggiornamento (*Updating*), cioè la capacità di monitorare e modificare attivamente le informazioni mantenute nella WM. Uno degli aspetti più innovativi del modello di Miyake e colleghi (2000) consiste nell'aver dimostrato empiricamente che queste tre componenti, pur essendo strettamente correlate tra loro, non sono totalmente sovrapponibili ma mantengono una relativa autonomia funzionale.

1.1.3 Sviluppo delle Funzioni Esecutive in età evolutiva¹

Lo sviluppo delle FE in età evolutiva rappresenta un indicatore chiave della maturazione neurocognitiva, legata all'organizzazione delle reti corticali frontali e fronto-parietali. Tale sviluppo è progressivo e non lineare, estendendosi dall'infanzia alla prima età adulta:

- Nei primi anni di vita emergono le prime manifestazioni delle FE, in parallelo con la maturazione progressiva delle strutture corticali e delle reti cerebrali coinvolte nel controllo attentivo e comportamentale, in particolare quelle prefrontali.
- Tra i 3 e i 5 anni si osserva un'accelerazione significativa nello sviluppo delle abilità di inibizione comportamentale, dell'attenzione controllata e della memoria di lavoro semplice, fondamentali per l'autoregolazione cognitiva e motoria.
- Durante l'età scolare (tra 6-11 anni) si assiste al consolidamento delle FE di base e un miglioramento della loro integrazione funzionale. Tali cambiamenti sono accompagnati dalla specializzazione e riorganizzazione delle reti neurali, con miglioramenti sulla precisione e velocità di elaborazione.
- L'adolescenza rappresenta una fase rilevante per la maturazione delle FE superiori, come la pianificazione complessa, il monitoraggio metacognitivo, la regolazione emotiva e decisionale e il controllo del comportamento in situazioni in cui la motivazione riveste un ruolo importante. Queste abilità continuano a perfezionarsi fino alla prima età adulta, in relazione alla maturazione prolungata

¹ Le informazioni inserite in questo paragrafo sono state tratte prevalentemente dalle seguenti fonti: Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Casey et al., 2008; Luna et al., 2010. È importante sottolineare che le fasce d'età riportate in tabella hanno un valore indicativo, poiché in tutti i casi lo sviluppo delle FE segue un andamento graduale, eterogeneo e parzialmente sovrapposto tra le diverse componenti (Best & Miller, 2010).

della corteccia prefrontale e delle reti fronto-parietali e fronto-striatali. Tale sviluppo graduale contribuisce a spiegare almeno in parte la maggiore impulsività e la vulnerabilità ai comportamenti a rischio tipiche di questa fascia d'età (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Casey et al., 2008; Luna et al., 2010).

Tabella 1- Evoluzione delle FE in età evolutiva

Fascia d'età	Sviluppo principale delle FE
0–2 anni	Prime basi dell'autoregolazione; attenzione e controllo inibitorio iniziale.
3–5 anni	Rapido sviluppo di inibizione e memoria di lavoro; primi segni di controllo comportamentale.
6–8 anni	Consolidamento delle FE di base e progressivo miglioramento della flessibilità cognitiva.
9–11 anni	Maggiore integrazione e sviluppo di pianificazione e <i>problem solving</i> .
12–14 anni	Sviluppo della metacognizione e del controllo comportamentale complesso.
15–18 anni	Rafforzamento del <i>decision making</i> e della pianificazione complessa.
18–25 anni	Progressivo perfezionamento e stabilizzazione delle FE superiori.

Le FE dipendono da fattori ambientali e individuali (famiglia, educazione, stimolazione cognitiva, sonno, regolazione emotiva e relazioni sociali). Inoltre, stress cronico e deprivazione possono ostacolare la maturazione delle reti prefrontali, mentre ambienti ricchi di stimoli ne favoriscono lo sviluppo e l'autoregolazione (Diamond, 2013).

In ogni caso, lo sviluppo esecutivo non è lineare, ma il risultato di un bilanciamento tra crescita quantitativa e ristrutturazione qualitativa del sistema nervoso. Se la performance comportamentale migliora in modo costante e progressivo, il cervello subisce una vera e propria metamorfosi organizzativa. Questa transizione è guidata dal principio dell'efficienza neurale: l'attivazione di ampi *network* cerebrali si riduce con l'età, segno che i circuiti si stanno specializzando e richiedono meno dispendio energetico (Shanmugan et al., 2016). Al contempo, la plasticità cerebrale sposta i fulcri dell'attività neurale da una regione all'altra, determinando variazioni qualitative cruciali (Scherf et al.,

2006). Quindi, lo sviluppo cognitivo porta a una sintonizzazione prefrontale mirata: la porzione ventrale si specializza nel controllo inibitorio, mentre la porzione dorsolaterale sostiene il carico della memoria di lavoro (Best & Miller, 2010).

Evidenze a favore di una parziale specializzazione funzionale della corteccia prefrontale mostrano che compiti distinti di FE tendono a reclutare in modo consistente regioni neurali comuni, in particolare all'interno delle reti fronto-parietali (Assem et al., 2020). Questa sovrapposizione riflette sia l'interdipendenza intrinseca tra memoria di lavoro, inibizione e *shifting*, sia l'esistenza di una componente cognitiva unitaria alla base del controllo cognitivo; tuttavia, il reale grado di differenziazione funzionale della corteccia prefrontale rimane tuttora oggetto di dibattito (Friedman & Robbins, 2022).

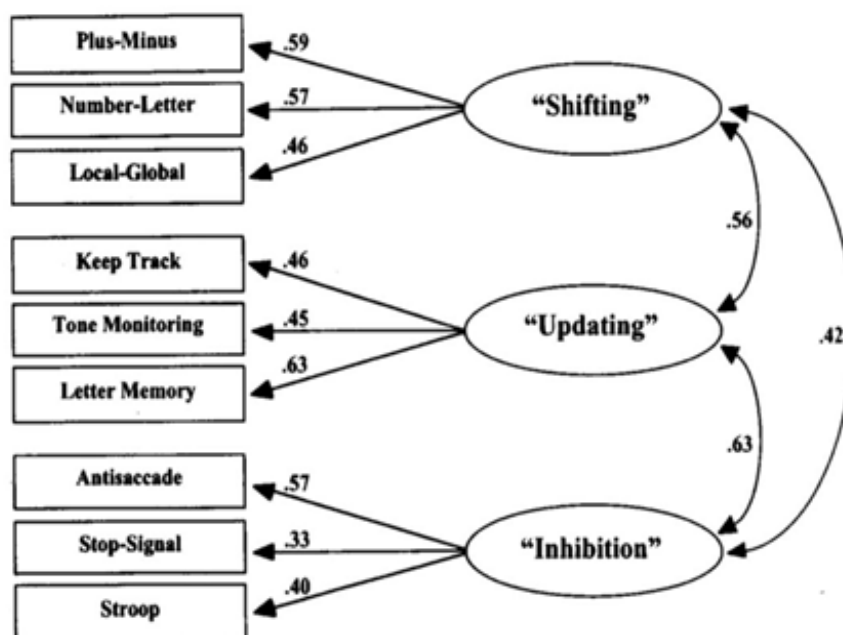
Lo sviluppo delle FE è fortemente influenzato anche dalle caratteristiche dei compiti utilizzati per valutarle, il che rende i risultati spesso difficili da interpretare in modo univoco. In particolare, la difficoltà del compito gioca un ruolo centrale: prestazioni migliori emergono in compiti più semplici, mentre l'aumento della complessità come una maggiore richiesta di inibizione o di memoria di lavoro riduce l'accuratezza e rende più evidente il carico esecutivo. Anche il tipo di misura utilizzata e la modalità di risposta possono incidere sui risultati osservati. Per questo motivo è fondamentale considerare attentamente l'influenza delle caratteristiche del *task* prima di trarre conclusioni sullo sviluppo delle FE (Best & Miller, 2010).

La letteratura sulle FE suggerisce inoltre che le differenze individuali possano riflettere sia influenze genetiche che ambientali, come evidenziato dagli studi di genetica comportamentale e dagli studi sui gemelli (Friedman et al., 2008). Tuttavia, nel caso dell'*updating*, tali evidenze dovrebbero essere interpretate con cautela, poiché molti studi si concentrano sull'intero *core* delle FE e non esclusivamente sulle singole componenti esecutive (Friedman & Robbins, 2022).

1.2 LE COMPONENTI DELLE FUNZIONI ESECUTIVE

Le FE, secondo il modello di Miyake e collaboratori (2000), si articolano in tre componenti principali: inibizione (*inhibition*), memoria di lavoro (*updating*) e flessibilità cognitiva (*shifting*). Questi processi, pur distinti, condividono un sistema comune di controllo cognitivo e consentono la regolazione del comportamento finalizzato e l'adattamento alle richieste ambientali. Infatti, secondo tale modello (Figura 2), queste tre componenti sono distinte ma strettamente interconnesse, e costituiscono il nucleo delle FE, supportando processi cognitivi complessi come pianificazione, controllo dell'attenzione e autoregolazione.

Figura 2 - Componenti Funzioni Esecutive secondo il modello fattoriale di Myiake et al., (2000).



1.2.1 Inibizione

L'inibizione è una componente delle FE che consente di sopprimere risposte automatiche o irrilevanti, permettendo un comportamento coerente con gli obiettivi. Include il controllo di azioni motorie e la capacità di ignorare interferenze cognitive. Questa funzione è fondamentale per la regolazione dell'attenzione e del comportamento adattivo, soprattutto in contesti che richiedono elevato controllo esecutivo (Diamond, 2013).

Valutare l'autocontrollo nei bambini è complesso, soprattutto perché la maggior parte dei test neuropsicologici non offre una misura pura di questa abilità (Simpson et al., 2012). Come evidenziato nella rassegna di Best e Miller (2010), lo sviluppo dell'inibizione non è un percorso lineare unico, ma si esprime attraverso compiti che presentano sfide cognitive molto diverse.

La distinzione fondamentale risiede nel carico richiesto alla memoria di lavoro (Garon et al., 2008). Da un lato abbiamo i compiti di inibizione semplice, che rappresentano la forma più pulita di questo costrutto poiché richiedono solo di posticipare un'azione impulsiva (Cragg & Nation, 2008); si tratta di un'abilità primordiale i cui rudimenti, come il saper attendere prima di ricevere un premio, emergono già nella prima infanzia (Carlson & Moses, 2001; Garon et al., 2008). Dall'altro lato si collocano i compiti di inibizione complessa, in cui il bambino non deve solo frenare una risposta automatica, ma deve contemporaneamente mantenere attiva una regola mentale per produrre un'azione alternativa e opposta alla sua tendenza naturale, come accade nel test Giorno/Notte (Carlson & Moses, 2001; Garon et al., 2008). In definitiva, tracciare lo sviluppo esecutivo della capacità inibitoria significa comprendere come

i bambini imparino a coordinare la pura resistenza agli impulsi con la gestione delle informazioni in tempo reale (Best & Miller, 2010).

1.2.2 Flessibilità cognitiva (*shifting*)

La flessibilità cognitiva (o *shifting*) è la capacità di modificare schemi di pensiero e azione in risposta a cambiamenti del contesto, passando tra compiti o regole diverse. Essa dipende dall'integrazione tra inibizione e memoria di lavoro, poiché richiede sia la soppressione di strategie precedenti sia l'aggiornamento delle informazioni. È fondamentale per l'adattamento comportamentale, anche in contesti motori e sportivi (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013).

La flessibilità cognitiva è considerata una delle principali FE e si sviluppa successivamente rispetto alle capacità di inibizione e memoria di lavoro, dalle quali dipende strettamente. Essa consente all'individuo di modificare il proprio modo di interpretare una situazione, adottando prospettive differenti sia sul piano spaziale sia nelle relazioni con gli altri (Diamond, 2013). Questo processo richiede la capacità di abbandonare temporaneamente il punto di vista precedentemente utilizzato e di attivarne uno nuovo, facendo ricorso sia al controllo inibitorio sia alla memoria di lavoro. La flessibilità cognitiva si esprime inoltre nella ricerca di strategie alternative quando quelle abituali risultano inefficaci, favorendo l'individuazione di soluzioni innovative e l'adattamento a condizioni in continua evoluzione. Tale abilità permette di rispondere in modo efficace a cambiamenti nelle richieste ambientali, di riconsiderare le proprie convinzioni quando necessario e di cogliere opportunità inattese che emergono nel contesto (Diamond, 2013).

1.2.3 Memoria di lavoro e *updating*

La memoria di lavoro, in particolare nella sua componente di *updating*, è la capacità di mantenere temporaneamente informazioni rilevanti e aggiornarle continuamente, sostituendo quelle non più utili e manipolandole attivamente. È una funzione esecutiva fondamentale per il monitoraggio e l'elaborazione delle informazioni durante l'esecuzione di compiti complessi. In ambito motorio, risulta essenziale per l'apprendimento di sequenze, la gestione di compiti coordinativi e l'adattamento a richieste variabili (Miyake et al., 2000).

Un altro costrutto fortemente legato a quello di *updating* è la memoria di lavoro o *Working Memory*, (WM), che implica il mantenimento delle informazioni nella mente e la loro elaborazione mentale. Essa supporta la comprensione, il ragionamento, la pianificazione e il *problem solving*, permettendo di integrare informazioni provenienti da fonti e momenti differenti. Di conseguenza, attraverso l'aggiornamento continuo dei contenuti mentali, la memoria di lavoro favorisce la valutazione di alternative, la costruzione di relazioni tra concetti e l'elaborazione di strategie efficaci. Per questo motivo,

rappresenta una risorsa fondamentale non solo per i processi decisionali e l'apprendimento, ma anche per la creatività e l'adattamento a situazioni nuove o complesse (Diamond, 2013).

1.3 L'*UPDATING*: CARATTERISTICHE E STRUMENTI DI MISURA

L'*updating* è una funzione esecutiva che, come già accennato, consente di monitorare e aggiornare continuamente le informazioni mantenute nella memoria di lavoro, selezionando solo quelle rilevanti rispetto agli obiettivi del compito e sostituendo quelle non più utili. Secondo il modello di Miyake e collaboratori (2000), si tratta di un processo di controllo attivo che richiede la costante valutazione ed eventuale sostituzione delle informazioni in base alle richieste del contesto. Questa capacità è essenziale nel portare a termine con successo compiti complessi, poiché permette un migliore e rapido adattamento e l'integrazione di più stimoli, potendo di conseguenza modificare il comportamento in base alle informazioni più recenti (Miyake et al., 2000).

In ambito motorio e sportivo, l'*updating* può contribuire all'aggiornamento in tempo reale delle informazioni rispetto all'ambiente e all'azione, facilitando la regolazione del comportamento motorio e l'adattamento a richieste variabili (Vestberg et al., 2012; Voss et al., 2010). La sua valutazione avviene principalmente attraverso paradigmi neuropsicologici e sperimentali come il *N-back task* (Kirchner, 1958), il *Running Memory Task* (Morris & Jones, 1990) e il *Letter Memory Task* (Miyake et al., 2000), utilizzati per misurare la capacità di aggiornamento continuo delle informazioni nella memoria di lavoro.

- Il *task N-back* è uno dei paradigmi più utilizzati per la valutazione dell'*updating* e della WM. Il compito richiede di confrontare uno stimolo corrente con quello presentato n posizioni prima, aggiornando continuamente le informazioni mantenute in memoria e sostituendo quelle non più rilevanti. La difficoltà del compito varia in base al livello di n (es. 1-back, 2-back e così via), aumentando così il carico di memoria di lavoro e il controllo esecutivo richiesto (Kirchner, 1958). Studi di *neuroimaging* hanno mostrato un coinvolgimento costante del *network* fronto-parietale, in particolare della corteccia prefrontale dorsolaterale (Owen et al., 2005) e delle regioni parietali (Wager & Smith, 2003), confermando il ruolo del *task* nella valutazione dei processi di controllo cognitivo e *updating*. Tale strumento è ampiamente utilizzato sia in ambito sperimentale sia clinico, perché consente di valutare i processi di aggiornamento della memoria di lavoro integrando misure comportamentali e correlati neurali.
- *Running Memory Task* costituisce un altro paradigma utilizzato per valutare l'aggiornamento continuo della WM. In questo compito viene presentata una sequenza di lunghezza imprevedibile e al partecipante è richiesto di ricordare solo gli ultimi n elementi. L'imprevedibilità della lunghezza della sequenza impedisce l'uso di strategie di *rehearsal* anticipatorio e obbliga a un aggiornamento continuo e costante del contenuto mnestico. Tale caratteristica rende il test

particolarmente sensibile alla capacità di sostituire rapidamente informazioni ormai divenute obsolete con nuove informazioni rilevanti (Morris & Jones, 1990).

- *Letter Memory Task* prevede invece la presentazione seriale di lettere, al termine della quale il partecipante deve richiamare le ultime lettere visualizzate, generalmente le ultime quattro. Anche in questo caso il soggetto è costretto ad aggiornare costantemente il *buffer* di memoria di lavoro, scartando gli elementi iniziali e mantenendo attivi quelli più recenti. Questo paradigma è considerato particolarmente utile nella valutazione dell'*updating*, poiché richiede l'aggiornamento continuo delle informazioni a livello verbale, che vengono ritenute in memoria (Miyake et al., 2000).

Tabella 2 - *Task* sperimentali per la valutazione dell'*updating*.

Strumento	Cosa misura	Caratteristica chiave
<i>N-back task</i>	<i>Updating</i> e WM	Confronto tra stimolo corrente e quello presentato in posizioni prima.
<i>Running Memory Task</i>	Aggiornamento continuo della WM	Ricordo degli ultimi elementi di una sequenza di lunghezza imprevedibile
<i>Letter Memory Task</i>	<i>Updating</i> verbale	Richiamo degli ultimi elementi di una sequenza di lettere

In età evolutiva, la valutazione dell'*updating* viene spesso effettuata tramite strumenti semplificati e adattati al livello cognitivo del bambino, come compiti computerizzati o visuo-spaziali, al fine di ottenere una misura più adeguata e valida delle capacità di WM.

In alcuni compiti di *updating* (come il *running memory span* o l'*n-back*), l'accuratezza delle caratteristiche di un elemento è meno rilevante perché il criterio di aggiornamento è puramente temporale. Al contrario, nei compiti che richiedono un confronto basato su criteri significativi come l'aggiornamento semantico basato sulla dimensione degli oggetti o l'aggiornamento di informazioni numeriche, una rappresentazione precisa e robusta delle caratteristiche dello stimolo è fondamentale, poiché influenza direttamente l'efficacia del processo di *updating* e attiva meccanismi di inibizione (Carretti et al., 2009). Di conseguenza, le note difficoltà dei bambini con DSA nell'aggiornare le informazioni potrebbero non dipendere solamente da un deficit puro di aggiornamento, ma anche da una rappresentazione debole delle caratteristiche intrinseche dell'elemento stesso (Pelegrina et al., 2015a).

1.3.1 Definizione e ruolo cognitivo

L'*updating* è il processo attraverso il quale le rappresentazioni mantenute nella memoria di lavoro vengono monitorate, valutate e continuamente riviste, consentendo l'eliminazione delle informazioni non più rilevanti e l'integrazione di nuovi contenuti necessari al raggiungimento degli obiettivi cognitivi. Tale funzione è considerata, insieme all'inibizione e alla flessibilità cognitiva, una delle componenti fondamentali delle FE secondo il modello di Miyake e collaboratori (2000) e rappresenta uno dei principali meccanismi di controllo cognitivo coinvolti nella gestione delle informazioni in tempo reale (Rodríguez-Nieto et al., 2022).

A differenza del semplice mantenimento passivo delle informazioni nella memoria di lavoro, l'*updating* implica un processo attivo di selezione e sostituzione dei contenuti mentali. L'individuo deve infatti monitorare continuamente le informazioni disponibili, identificare quelle non più utili e aggiornarle con nuovi elementi rilevanti per il compito in corso (Miyake et al., 2000). Per questo motivo l'*updating* viene considerato una funzione essenziale per l'adattamento flessibile alle richieste dell'ambiente e per la regolazione del comportamento orientato a uno scopo.

Dal punto di vista cognitivo, l'*updating* contribuisce al mantenimento di rappresentazioni mentali coerenti con le richieste del compito e consente di integrare informazioni provenienti da fonti differenti e da momenti temporali diversi. Questa capacità risulta fondamentale per numerose attività cognitive complesse, tra cui il ragionamento, la comprensione del testo, il *problem solving*, il *decision making* e la pianificazione (Diamond, 2013; Baddeley, 2003). Durante la lettura, ad esempio, l'individuo deve aggiornare costantemente il significato delle informazioni man mano che il testo procede, integrando i nuovi contenuti con quelli precedentemente elaborati; analogamente, nei compiti matematici è necessario mantenere e modificare continuamente le informazioni numeriche rilevanti per arrivare alla soluzione del problema (Carretti et al., 2009).

L'*updating* svolge inoltre un ruolo centrale nei processi di apprendimento, poiché consente di modificare le rappresentazioni mentali sulla base di nuove esperienze e conoscenze. Una maggiore efficienza nei processi di aggiornamento della memoria di lavoro è stata associata a migliori prestazioni scolastiche, in particolare nelle abilità di lettura, comprensione del testo e matematica (Pelegrina et al., 2015a; Carretti et al., 2009). Al contrario, difficoltà nell'*updating* possono compromettere la capacità di selezionare le informazioni rilevanti e di adattare efficacemente le strategie cognitive alle richieste del compito.

Dal punto di vista neurobiologico, numerose evidenze provenienti dagli studi di neuroimmagine hanno identificato una rete fronto-parietale come principale substrato neurale dei processi di *updating*. In particolare, risultano coinvolte la corteccia prefrontale dorsolaterale, associata al monitoraggio e alla manipolazione delle informazioni, e le regioni parietali posteriori, implicate nel mantenimento e nell'aggiornamento delle rappresentazioni mentali (Owen et al., 2005; Wager & Smith, 2003).

L'attivazione coordinata di queste aree permette la gestione dinamica delle informazioni nella memoria di lavoro e sostiene l'efficienza del controllo cognitivo durante compiti complessi.

Infine, l'*updating* non opera in modo isolato, ma interagisce costantemente con le altre componenti dell'aggiornamento delle informazioni, richiede infatti processi di inibizione per sopprimere contenuti non più pertinenti e processi di flessibilità cognitiva per modificare strategie e rappresentazioni mentali quando le condizioni ambientali cambiano. Tale interdipendenza supporta il modello della "*unity and diversity*" proposto da Miyake e collaboratori (2000), secondo il quale le FE condividono una base comune pur mantenendo caratteristiche funzionali distinte.

1.3.2 Sviluppo e variabilità individuale

Lo sviluppo delle FE segue una traiettoria progressiva durante l'età evolutiva, parallelamente alla maturazione graduale dell'efficienza dei processi di controllo cognitivo, attenzione, inibizione e flessibilità cognitiva (Zelazo et al., 2013).

Più nello specifico, anche l'*updating* della memoria di lavoro tende a perfezionarsi nel tempo, in base ai miglioramenti delle capacità dell'individuo di monitorare le informazioni rilevanti, sostituire quelle non più utili e adattare il contenuto della memoria di lavoro al compito. Comunque, le prestazioni di *updating* dipendono dalla maturazione cognitiva, ma anche dalle caratteristiche degli stimoli, dal tipo di materiale da elaborare e dal carico richiesto dal compito stesso (Pelegrina et al., 2015).

Accanto allo sviluppo tipico, si osserva una significativa variabilità individuale nelle prestazioni di *updating*, influenzata da fattori neurobiologici, cognitivi e ambientali. Tra cui il livello di sviluppo della memoria di lavoro, le capacità attentive, le esperienze educative, la qualità della stimolazione cognitiva e le abilità di autoregolazione. Questa variabilità assume particolare rilevanza in età evolutiva, poiché può contribuire a spiegare differenze nelle prestazioni cognitive e nell'adattamento ai compiti complessi (Karr et al., 2018).

Le traiettorie di sviluppo delle FE risentono di una forte componente ereditaria oltre che ambientale (Friedman et al., 2008). Più recentemente, si è ipotizzato che la variabilità individuale in queste funzioni possa essere mappata attraverso specifici polimorfismi genetici (Friedman & Miyake, 2017). Comprendere tale architettura biologica non solo chiarirebbe i meccanismi puri del controllo cognitivo, ma offrirebbe una chiave di lettura per la vulnerabilità clinica; i deficit esecutivi, infatti, risultano associati a numerose forme di psicopatologia e possono essere considerati rilevanti in una prospettiva transdiagnostica (Snyder et al., 2015).

1.4 FUNZIONI ESECUTIVE E DSA

Negli ultimi anni la ricerca ha evidenziato un crescente interesse per il ruolo delle FE nei Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA). I DSA sono disturbi del neurosviluppo che compromettono abilità scolastiche come lettura, scrittura e calcolo, in presenza di adeguate capacità intellettive e secondo i criteri diagnostici dell'*American Psychiatric Association* (American Psychiatric Association, 2022).

Le evidenze scientifiche indicano che, oltre alle difficoltà specifiche nelle abilità strumentali, le persone con DSA possono presentare compromissioni nei processi di controllo cognitivo, in particolare nella memoria di lavoro, nell'inibizione e nella flessibilità cognitiva. Tali alterazioni possono influenzare la capacità di selezionare informazioni rilevanti, mantenere e aggiornare contenuti mentali e adattare le strategie di apprendimento alle richieste del compito, contribuendo alle difficoltà scolastiche osservate. Dalle evidenze disponibili emerge come le FE risultino compromesse in molteplici disturbi del neurosviluppo. In particolare, nei disturbi da *deficit* di attenzione e iperattività si osservano difficoltà che riguardano diversi domini esecutivi. Analogamente nei disturbi dello spettro autistico vengono riportate criticità soprattutto nei processi di pianificazione e nel controllo inibitorio delle risposte. Inoltre, quadri clinici associati a disabilità intellettiva di origine genetica presentano un coinvolgimento diffuso delle FE. Per quanto riguarda le difficoltà di apprendimento i bambini con disturbo della lettura evidenziano fragilità in diversi aspetti, in particolare nella capacità di mantenere e manipolare informazioni rilevanti in memoria di lavoro, nel sopprimere stimoli distraenti e nell'accesso efficiente alle informazioni archiviate in memoria a lungo termine. La memoria di lavoro rappresenta uno degli ambiti più caratteristici di compromissione nella dislessia evolutiva. In tale popolazione, le difficoltà coinvolgono sia la componente verbale sia quella visuo-spaziale del sistema di memoria di lavoro (Varvara et al., 2014).

1.4.1 Caratteristiche cognitive dei DSA

I DSA sono condizioni neuroevolutive caratterizzate da difficoltà persistenti nelle abilità di lettura, scrittura e calcolo, non attribuibili a deficit intellettivi o sensoriali. La ricerca ha evidenziato come, oltre ai deficit strumentali specifici, nei soggetti con DSA siano frequentemente presenti fragilità nelle FE, fondamentali per il controllo e la regolazione dei processi cognitivi (Zonca & Bizzaro, 2026).

Tra le principali difficoltà emergono alterazioni nella WM, che possono compromettere la gestione simultanea delle informazioni e influire sulla comprensione del testo, sul calcolo e sull'organizzazione delle attività (Miyake et al., 2000). Anche i processi di *updating* risultano spesso meno efficienti, con conseguenti difficoltà nell'aggiornare le informazioni rilevanti e nell'adattarsi rapidamente alle richieste del compito (Zonca & Bizzaro, 2026). Ulteriori criticità riguardano l'inibizione cognitiva, con difficoltà nel filtrare stimoli irrilevanti, e la flessibilità cognitiva, che può limitare la capacità di modificare strategie

in risposta a nuove richieste (Diamond, 2013; Scionti et al., 2020). Possono inoltre essere presenti fragilità nella pianificazione e nel monitoraggio, con ricadute sull'organizzazione autonoma dello studio (Capodieci et al., 2023).

Tuttavia, il profilo cognitivo dei soggetti con DSA sembra essere caratterizzato da eterogeneità. La letteratura sui rapporti tra DSA e ADHD, per esempio, ha evidenziato un quadro complesso: alcuni studi, ripresi anche da Crisci et al., (2021), suggeriscono che i DSA, analogamente all'ADHD, possano associarsi a difficoltà in alcune capacità esecutive, quali l'inibizione e la pianificazione. Altre ricerche, invece, indicano che i profili cognitivi dei due disturbi non siano del tutto sovrapponibili. Ciò emerge dal fatto che alcune fragilità appaiono maggiormente associate al DSA, come le difficoltà fonologiche, di WM e di velocità di elaborazione, mentre altre sembrano caratterizzare prevalentemente l'ADHD: le difficoltà nel controllo inibitorio e nella regolazione attentiva. Contemporaneamente, la presenza di fattori cognitivi condivisi potrebbe contribuire a spiegare la frequente coesistenza tra DSA e ADHD in alcuni individui.

Per questo motivo, i due quadri dovrebbero essere interpretati come condizioni eterogenee, in cui vulnerabilità specifiche e processi cognitivi possono interagire in modo diverso nei singoli individui (Crisci et al., 2021).

Dal punto di vista neurocognitivo, tali difficoltà sono associate a un funzionamento atipico delle reti fronto-parietali, suggerendo che i DSA debbano essere interpretati non solo come disturbi specifici delle abilità scolastiche, ma come condizioni caratterizzate da una più ampia vulnerabilità nei processi di controllo cognitivo (McGrath et al., 2020)

1.4.2 Deficit esecutivi nei DSA

I DSA superano i confini delle sole difficoltà di lettura, scrittura e calcolo, configurandosi come condizioni associate a una più ampia vulnerabilità nei sistemi di controllo cognitivo. La letteratura evidenzia come le ricadute cliniche e scolastiche siano strettamente collegate a fragilità nelle FE, in particolare nella WM, nell'*updating*, nell'inibizione e nella flessibilità cognitiva (Capodieci et al., 2023; Crisci et al., 2021).

Questi deficit non agiscono in modo isolato, ma compromettono la capacità di selezionare gli stimoli rilevanti, ostacolano il continuo aggiornamento dei contenuti mentali e riducono l'elasticità necessaria per modificare le strategie di studio in base alle richieste del compito (Zonca & Bizzaro, 2026).

Sebbene i DSA condividano con il Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività (ADHD) una generale alterazione dei processi esecutivi, l'analisi dei sottoprocessi rivela differenze cruciali per la diagnosi differenziale, mentre l'ADHD è marcato da una caduta pervasiva nei compiti di inibizione e da una

specifica debolezza nella memoria di lavoro visuospaziale, i soggetti con DSA mostrano maggiormente una vulnerabilità selettiva nei compiti di *updating* verbale (Crisci et al., 2021).

Le difficoltà di inibizione riscontrate nei DSA, inoltre, non sembrano costituire necessariamente un deficit puro del controllo degli impulsi, ma dovrebbero essere interpretate considerando anche le caratteristiche del compito, i processi di elaborazione degli stimoli e la velocità di processamento. Seguendo questa prospettiva, Capodieci e collaboratori (2023) hanno messo in evidenza che le prestazioni dei bambini con DSA nei compiti esecutivi possono essere mediate da processi sottostanti all'elaborazione dello stimolo e alla rapidità di risposta. Infine, le debolezze nei processi di *shifting* mostrano un legame diretto e significativo con le cadute nelle prestazioni logico-matematiche e di lettura (Yeniad et al., 2013), confermando come la rigidità nel cambio di strategia rappresenti un forte freno all'automatizzazione delle abilità scolastiche.

Tabella 3 – Confronto delle Funzioni Esecutive nei DSA e nell'ADHD (Barkley, 1997; Willcutt et al., 2005).

Funzione Esecutiva	Nei DSA	Nell'ADHD
Memoria di Lavoro	Selettiva: Fatica con certi stimoli	Globale: Fatica in generale, soprattutto con informazioni visive e spaziali.
<i>Updating</i> (Aggiornamento)	Difficoltà a sostituire e aggiornare dati specifici del compito (lettere o cifre).	Difficoltà causata dalla perdita di attenzione e dal sovraccarico di informazioni.
Inibizione	Difficoltà a ignorare le distrazioni dentro la pagina.	Difficoltà generale a frenare gli impulsi sia mentali che motori (iperattività).
Flessibilità Cognitiva	Rigidità nel cambiare strategia quando si fa un errore in un compito o in un problema.	Difficoltà a spostare l'attenzione da un'attività all'altra.
Pianificazione	Fatica a organizzarsi perché la lettura o il calcolo assorbono già tutte le energie.	Difficoltà cronica e primaria nel gestire il tempo, i materiali e lo studio.

Di conseguenza emerge chiaramente che nell'ambito dei disturbi del neurosviluppo le FE rappresentano un dominio cognitivo rilevante per comprendere le difficoltà associate ai DSA. Infatti, Crisci e collaboratori (2021) mettono in evidenza come le fragilità nelle componenti esecutive siano documentate sia nei casi di DSA che in altri disturbi del neurosviluppo, ad esempio l'ADHD. In questo caso, la letteratura citata dagli autori sottolinea difficoltà nei processi inibitori, nella memoria di lavoro e, anche se in misura più variabile, nella flessibilità cognitiva. Il riferimento all'ADHD consentirebbe di collocare i DSA in un contesto diagnostico più ampio, pur mantenendo il focus principale sulle difficoltà esecutive che possono contribuire ai problemi di apprendimento.

Gli stessi autori riportano evidenze di una compromissione del funzionamento esecutivo centrale, con particolare riferimento alla memoria di lavoro, nei casi di bambini con DSA. Tale tipologia di memoria sembra contribuire all'acquisizione precoce delle abilità di lettura e matematica, sia quando è verbale che visuospaziale. Successivamente, la componente verbale appare invece associata alle prestazioni di lettura e comprensione del testo, mentre quella visuospaziale sembra essere maggiormente implicata nei compiti matematici più complessi (Crisci et al., 2021).

Anche rispetto al costrutto dell'inibizione, Crisci e collaboratori (2021) presentano nel loro lavoro risultati non sempre coerenti nei bambini con difficoltà di lettura e matematica, giustificando questo quadro con l'utilizzo dei diversi paradigmi sperimentali dei vari studi selezionati.

Infine, gli autori richiamano la metanalisi di Yeniad e colleghi (2013), sottolineando l'esistenza di un'associazione importante tra *task switching* e performance in lettura e matematica, suggerendo che anche la flessibilità cognitiva possa avere un ruolo rilevante nei processi di apprendimento scolastico (Crisci et al., 2021).

1.4.3 Evidenze specifiche sull'*updating* nei bambini con DSA

Le evidenze in letteratura indicano che i bambini con DSA possano presentare compromissioni nei processi di *updating* della memoria di lavoro, cioè nella capacità di monitorare e aggiornare continuamente le informazioni rilevanti, sostituendo quelle non più utili, in funzione delle richieste del compito. Tali difficoltà possono variare in relazione al tipo di materiale da elaborare, al dominio coinvolto e alle caratteristiche del compito utilizzato per la valutazione (Carretti et al., 2009; Pelegrina et al., 2015a).

In particolare, Pelegrina e colleghi (2015a) sottolineano che le prestazioni in compiti di *updating* possono essere influenzate dal processo di aggiornamento in sé, ma anche dalla qualità delle informazioni da manipolare. In compiti come *n-back task* e *running memory span*, in cui il criterio di aggiornamento è prevalentemente di tipo temporale, il bambino deve mantenere e sostituire gli elementi in base alla loro posizione nella sequenza. Invece, in altri compiti, in cui l'aggiornamento richiede un confronto basato

sulle caratteristiche degli stimoli, eventuali fragilità nella rappresentazione del materiale possono incidere sulla prestazione (Pelegrina et al., 2015a).

Questa distinzione è particolarmente significativa nei bambini con DSA, infatti, le difficoltà di *updating* possono legarsi a fragilità specifiche di un dominio. Ad esempio, nei casi di dislessia o difficoltà di comprensione del testo, le prestazioni possono risultare più deboli quando il materiale da elaborare nel compito è verbale o linguistico, in particolar modo nei compiti di memoria di lavoro verbale e span complesso (Carretti et al., 2009; Pimperton & Nation, 2010). Nei bambini con discalculia, invece, le difficoltà possono emergere maggiormente quando il compito richiede manipolazione e aggiornamento di informazioni di tipo numerico, con possibili ricadute sulla gestione dei calcoli e delle procedure come delle rappresentazioni delle quantità (Passolunghi & Cornoldi, 2008).

In base a quanto anticipato, si può sostenere che scarse prestazioni nell'*updating* possono derivare dall'interazione tra controllo della *WM*, caratteristiche del materiale e specifiche difficoltà di apprendimento. Questa visione è coerente con l'idea che i compiti di memoria di lavoro e *updating* coinvolgono sia processi più generali, come il controllo e la gestione delle risorse cognitive, sia processi più specifici, in relazione alla natura verbale, visuo-spaziale o numerica delle informazioni da elaborare (Pelegrina et al., 2015b).

CAPITOLO 2 - ATTIVITÀ SPORTIVA E *UPDATING* ESECUTIVO

La ricerca scientifica ha evidenziato come la pratica regolare di attività fisica e sportiva non produca benefici esclusivamente a livello fisico, ma contribuisca anche allo sviluppo e al mantenimento delle capacità cognitive (Gu et al., 2019; Heilmann et al., 2022). In particolare, l'attività sportiva rappresenta un contesto caratterizzato da continue richieste percettive, decisionali e motorie che stimolano l'elaborazione delle informazioni e l'adattamento del comportamento alle richieste ambientali (Heilmann et al., 2022). Numerosi studi hanno mostrato che gli individui fisicamente attivi e gli atleti tendono a ottenere prestazioni cognitive superiori rispetto ai soggetti sedentari, suggerendo l'esistenza di una relazione positiva tra pratica sportiva e funzionamento cognitivo (Gu et al., 2019; Heilmann et al., 2022). Tuttavia, le caratteristiche dell'ambiente in cui si pratica sport, il livello di imprevedibilità delle situazioni e le richieste decisionali possono influenzare in modo differente lo sviluppo cognitivo dell'individuo (Gu et al., 2019; Koch & Krenn, 2021).

La metanalisi condotta da Contreras-Osorio e collaboratori (2021) evidenzia come la ricerca riguardo gli effetti dello sport sulle FE sia ancora relativamente recente rispetto all'ampia letteratura dedicata all'attività fisica in generale. I risultati mostrano che la partecipazione a programmi sportivi determina un miglioramento significativo delle FE nei bambini e negli adolescenti sani, tali evidenze suggeriscono che lo sport rappresenti uno strumento efficace per favorire lo sviluppo cognitivo durante l'età evolutiva. Gli interventi possono essere implementati in differenti contesti e modalità, mantenendo la struttura tradizionale delle attività sportive oppure integrando approcci specificamente orientati alla stimolazione cognitiva, come l'utilizzo di giochi a ranghi ridotti o programmi sportivi progettati per potenziare le abilità esecutive.

2.1 ATTIVITÀ FISICA E SVILUPPO COGNITIVO

Un numero crescente di studi ha evidenziato come la pratica regolare di esercizio fisico è associata non solo a consolidati benefici sul piano fisiologico e della salute generale, ma anche a un miglioramento di diversi processi cognitivi, tra cui attenzione, memoria, velocità di elaborazione delle informazioni e capacità di apprendimento (Hillman et al., 2008; Donnelly et al., 2016). Tali benefici derivano da una serie di adattamenti neurobiologici che coinvolgono il Sistema Nervoso Centrale (SNC), favorendo fenomeni di neuroplasticità, aumento della connettività neuronale e maggiore efficienza dei processi cognitivi (Stillman et al., 2016).

L'età evolutiva rappresenta una fase particolarmente sensibile a questi effetti; infatti, in questo periodo l'attività fisica può contribuire in modo significativo allo sviluppo delle funzioni cognitive superiori,

sostenendo ad esempio la maturazione dei processi di controllo cognitivo e delle FE (Donnelly et al., 2016; Álvarez-Bueno et al., 2017). Lo sviluppo di tali competenze durante l'infanzia e l'adolescenza è strettamente associato non solo al rendimento scolastico, ma anche alla salute psicologica, alle relazioni sociali e alla qualità della vita futura (Diamond, 2013).

Negli ultimi anni, l'interesse della ricerca si è progressivamente spostato dall'analisi della semplice quantità di attività fisica praticata verso lo studio delle caratteristiche qualitative delle diverse discipline sportive. In particolare, è stato ipotizzato che alcune attività possano esercitare effetti cognitivi differenti in funzione delle richieste percettive, decisionali e motorie che le caratterizzano (Gu et al., 2019; Heilmann et al., 2022). Gli sport rappresentano contesti strutturati nei quali gli individui devono interagire con regole definite, obiettivi specifici e relazioni dinamiche con compagni, avversari e ambiente di gioco. Tali caratteristiche rendono la pratica sportiva un'esperienza particolarmente ricca dal punto di vista cognitivo (Diamond & Ling, 2016).

La pratica sportiva non produce effetti esclusivamente sul piano cognitivo, numerosi studi hanno documentato benefici psicologici, sociali e fisici nei bambini e adolescenti che partecipano regolarmente ad attività sportive, tra cui migliore sviluppo muscoloscheletrico, riduzione del rischio di sovrappeso e obesità, maggiore integrazione sociale e miglioramento della qualità della vita percepita (Eime et al., 2013; Contreras-Osorio et al., 2021). Nel complesso l'ambiente sportivo può essere considerato quindi un importante contesto educativo e formativo capace di favorire lo sviluppo armonico dell'individuo, contribuendo al benessere e alla salute cognitiva lungo tutto l'arco della vita.

2.1.1 Benefici neurobiologici dell'attività fisica

L'attività fisica produce numerosi adattamenti neurobiologici che contribuiscono al mantenimento e al miglioramento della funzionalità cerebrale. La pratica regolare di esercizio fisico favorisce infatti la produzione di fattori neurotrofici, in particolare del Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF), una proteina coinvolta nei processi di crescita, sopravvivenza e plasticità dei neuroni (Cotman et al., 2007; Hillman et al., 2008). Parallelamente l'esercizio migliora la perfusione sanguigna cerebrale e stimola processi di neurogenesi e sinaptogenesi, soprattutto in aree cerebrali associate all'apprendimento e alla memoria, come l'ippocampo (Erickson et al., 2011). Questi adattamenti favoriscono una maggiore efficienza delle reti neurali e rappresentano uno dei principali meccanismi attraverso cui l'attività fisica sostiene la salute cerebrale e il funzionamento cognitivo nel corso della vita (Stillman et al., 2016).

Tabella 4 - Principali meccanismi neurobiologici attraverso cui l'attività fisica influenza il funzionamento cerebrale e cognitivo (Hillman et al., 2008; Cotman et al., 2007; Erickson et al., 2011; Stillman et al., 2016).

Area	Principale beneficio	Effetto sul cervello
Neuroplasticità	Aumento fattori neurotrofici (es. BDNF)	Migliora apprendimento e memoria
Vascolarizzazione	Maggiore flusso sanguigno cerebrale	Più ossigeno e migliore efficienza cerebrale
Struttura cerebrale	Adattamenti in ippocampo e corteccia prefrontale	Migliora memoria e funzioni cognitive
Neurotrasmettitori	Regolazione dopamina e serotonina	Migliora attenzione e controllo cognitivo
Infiammazione	Riduzione processi infiammatori	Protezione neuronale
Funzione cognitiva	Maggiore efficienza delle reti neurali	Migliora attenzione e velocità di elaborazione

2.1.2 Attività fisica e sviluppo cognitivo in età evolutiva

L'età evolutiva è una fase cruciale per lo sviluppo cognitivo, è caratterizzata da elevata plasticità cerebrale e rapidi cambiamenti strutturali e funzionali del sistema nervoso. In questo periodo l'attività fisica svolge un ruolo rilevante nel sostenere lo sviluppo delle capacità cognitive, favorendo miglioramenti nell'attenzione, nella memoria, nell'apprendimento e nel rendimento scolastico (Donnelly et al., 2016; Álvarez-Bueno et al., 2017).

Alcune evidenze indicano che questi effetti positivi sono legati sia a meccanismi neurobiologici, come l'aumento della plasticità cerebrale e dell'efficienza delle reti neurali, sia alla natura cognitivamente stimolante del movimento e dell'interazione con l'ambiente (Diamond, 2015). Nel complesso, la pratica regolare di attività fisica rappresenta un fattore chiave per promuovere uno sviluppo cognitivo ottimale durante l'età evolutiva, con possibili benefici anche a lungo termine.

Ulteriori revisioni sistematiche e metanalisi hanno evidenziato che gli interventi di attività fisica possono produrre effetti positivi sulle FE in età evolutiva. In particolare, Liu e collaboratori (2020) hanno riportato miglioramenti nei processi di inibizione della risposta, flessibilità cognitiva e memoria di lavoro, sia in seguito a esercizio di tipo acuto che a programmi di esercizio cronico. Seguendo questa linea, un altro studio ha mostrato che l'attività fisica può avere effetti favorevoli anche sull'attenzione e sul rendimento scolastico nei preadolescenti; ciò potrebbe suggerire che il movimento possa sostenere competenze considerate fondamentali per il successo scolastico e per l'adattamento alle richieste dell'ambiente (de Greeff et al., 2018). È stato inoltre osservato che programmi di attività fisica caratterizzati da una componente coordinativa e cognitiva più elevata sembrano produrre effetti maggiori rispetto ad attività

prevalentemente ripetitive, suggerendo l'importanza dell'integrazione tra stimolazione motoria e coinvolgimento cognitivo (Vazou et al., 2016). Le evidenze disponibili indicano anche una relazione positiva tra livelli di fitness cardiorespiratorio e performance cognitive, con associazioni particolarmente consistenti per attenzione, velocità di elaborazione delle informazioni e FE (Ruiz-Hermosa et al., 2019). Parallelamente, l'attività fisica contribuisce al benessere psicologico e socio-emotivo dei giovani, favorendo una migliore regolazione emotiva, una maggiore autostima e una riduzione dei sintomi internalizzanti, fattori che possono indirettamente sostenere i processi di apprendimento e lo sviluppo cognitivo (Rodríguez-Ayllon et al., 2019). Nel complesso, la pratica regolare di attività fisica rappresenta quindi un fattore chiave per promuovere uno sviluppo cognitivo ottimale durante l'età evolutiva, con possibili benefici che possono estendersi anche alle fasi successive della vita.

2.1.3 Relazione tra fitness e performance cognitive

La relazione tra fitness fisico e performance cognitive è oggi ampiamente supportata dalla letteratura scientifica, che evidenzia come un elevato livello di fitness non influenzi solo la salute fisica, ma anche il funzionamento cerebrale e le capacità cognitive superiori.

Il fitness inteso come efficienza cardiorespiratoria, muscolare e metabolica, è associato a miglioramenti significativi in diversi domini cognitivi, tra cui attenzione, memoria, velocità di elaborazione e FE (Erickson et al., 2011; Rodríguez-Ayllon et al., 2019). Le evidenze indicano che l'attività fisica regolare induce adattamenti neurobiologici rilevanti, come un aumento della perfusione cerebrale, una maggiore disponibilità di fattori neurotrofici (BDNF) e un miglioramento della plasticità sinaptica, elementi che favoriscono l'efficienza delle reti neurali coinvolte nei processi cognitivi superiori (Hillman et al., 2008). Evidenze di *neuroimaging* hanno dimostrato, inoltre, che l'allenamento fisico è associato a modificazioni strutturali cerebrali, in particolare nell'ippocampo, con conseguenti miglioramenti nella memoria (Erickson et al., 2011).

Negli ultimi anni, ulteriori evidenze hanno rafforzato il ruolo del fitness cardiorespiratorio come importante correlato delle prestazioni cognitive. Una recente metanalisi ha confermato che livelli più elevati di fitness aerobico sono associati a migliori performance nelle FE, nell'attenzione e nella velocità di elaborazione delle informazioni lungo tutto l'arco dell'età evolutiva. In particolare, tali associazioni risultano più marcate nei compiti che richiedono controllo cognitivo e gestione simultanea di più informazioni, suggerendo che il fitness possa contribuire all'efficienza dei processi di autoregolazione e adattamento comportamentale (Ruiz-Hermosa et al., 2019). Parallelamente, studi longitudinali hanno evidenziato che il mantenimento di buoni livelli di fitness nel tempo è associato a traiettorie cognitive più favorevoli e a una maggiore resilienza ai fisiologici cambiamenti cerebrali legati all'età, indicando

che i benefici cognitivi del fitness potrebbero accumularsi nel corso della vita (Colcombe & Kramer, 2003).

Le evidenze più recenti provenienti da revisioni sistematiche e studi di *neuroimaging* suggeriscono inoltre che il fitness cardiorespiratorio sia associato a una maggiore integrità della sostanza bianca, a una migliore connettività funzionale tra le principali reti cerebrali e a un incremento del volume di strutture coinvolte nei processi di memoria e controllo esecutivo. Tali adattamenti sembrano mediare almeno in parte la relazione osservata tra fitness e funzionamento cognitivo, supportando l'ipotesi secondo cui il mantenimento di elevati livelli di efficienza fisiologica rappresenti un fattore protettivo per la salute cerebrale e per l'efficienza cognitiva sia in età evolutiva sia nelle fasi successive della vita (Stillman et al., 2020).

2.1.4 Evidenze empiriche sugli effetti dello sport

La letteratura scientifica più recente ha ampiamente dimostrato come l'attività fisica regolare rappresenti un potente stimolo biologico non solo per la salute cardiovascolare, ma anche per l'ottimizzazione dei processi cognitivi in età evolutiva (Dong & Wang, 2026; Liu et al., 2025). Questi cambiamenti strutturali a livello cerebrale si traducono in un potenziamento delle FE di ordine superiore fondamentali per il successo accademico (Matrisciano et al., 2025; Singh et al., 2025). Oltre ai benefici cognitivi generali, lo sport e l'educazione motoria rivestono un ruolo d'elezione nello sviluppo delle abilità visuo-spaziali, un dominio strettamente interconnesso con l'orientamento, la coordinazione e la gestione del corpo nello spazio. Queste competenze non sono isolate ma fungono da pilastro per l'apprendimento delle discipline logico-matematiche (Cuder et al., 2023). Un contributo fondamentale in questo campo è offerto dallo studio di Caviola e colleghi (2021), i quali hanno esaminato l'interazione tra abilità spaziali, rendimento scolastico e fattori emotivi disfunzionali come l'ansia per la matematica. La loro ricerca ha evidenziato che forti abilità spaziali predicono in modo significativo i risultati positivi nei compiti complessi, mentre l'ansia da prestazione tende a saturare le risorse della memoria di lavoro visuo-spaziale, compromettendo la performance (Caviola et al., 2021; Živković et al., 2022).

Oltre alle competenze matematiche e visuo-spaziali, numerosi studi hanno evidenziato come l'attività fisica possa influenzare positivamente altre abilità fondamentali per il percorso scolastico. In particolare, le evidenze suggeriscono che lo sport contribuisce allo sviluppo delle competenze linguistiche e dei prerequisiti della lettura e della scrittura attraverso il potenziamento di processi cognitivi di base quali attenzione selettiva, memoria di lavoro, velocità di elaborazione e controllo inibitorio. Una recente revisione sistematica ha mostrato che interventi basati sul movimento possono determinare miglioramenti nelle abilità di lettura, soprattutto nei bambini in età scolare, probabilmente grazie all'integrazione tra stimolazione motoria, FE e processi di integrazione percettivo-cognitiva (Petrigna et

al., 2022). Anche le competenze di scrittura sembrano beneficiare dell'attività motoria, soprattutto attraverso il miglioramento delle abilità fino-motorie, della coordinazione occhio-mano e della pianificazione del gesto grafico. Una metanalisi recente ha evidenziato che lo sviluppo motorio e le esperienze corporee strutturate sono significativamente associati alle competenze di scrittura nei bambini, sottolineando il ruolo della motricità come base funzionale per l'acquisizione delle abilità scolastiche complesse (Donnelly et al., 2016). Infine, ulteriori ricerche hanno mostrato che la partecipazione sportiva regolare può favorire anche aspetti motivazionali e socio-emotivi, come autoregolazione, perseveranza e senso di autoefficacia, elementi che contribuiscono indirettamente al successo scolastico e alla continuità dell'impegno nei processi di apprendimento (Ludyga et al., 2016).

In questa prospettiva, la strutturazione di protocolli motori basati su giochi di situazione e compiti di coordinazione complessi non si limita a migliorare la fitness fisica degli studenti, ma agisce come una vera e propria strategia neuro-pedagogica, in grado di potenziare i prerequisiti cognitivi e attenuare l'impatto delle barriere emotive e d'ansia legate all'apprendimento (Dong & Wang, 2026).

2.2 OPEN VS CLOSED SKILL SPORT

Nel panorama del controllo motorio e dell'apprendimento relazionale, la distinzione tra sport ad abilità aperte (*open skill*) e chiuse (*closed skill*) rappresenta uno dei criteri di classificazione motoria più solidi per analizzare come l'ambiente modelli l'architettura cognitiva dell'atleta (Gu et al., 2024):

- Sport *closed skill*: si sviluppano in un ambiente stabile, statico e altamente prevedibile (Jin et al., 2023). In questi contesti i fattori esterni rimangono costanti per tutta la durata del gesto e l'azione è strettamente autoritmata (*self-paced*), lasciando all'atleta il controllo temporale sull'inizio del movimento (Koch & Krenn, 2021). L'atleta compete essenzialmente contro la precisione del proprio schema mentale e contro parametri fisici fissi come il tempo o lo spazio (Jin et al., 2023).
- Sport *open skill*: caratterizzate da un ambiente instabile, dinamico e intrinsecamente imprevedibile (Heilmann et al., 2022). Le azioni sono eteroritmiche (*externally-paced*), l'atleta non avvia il movimento in autonomia, ma è costretto a modulare i propri segmenti corporei in risposta a stimoli esterni rapidi e mutevoli (Koch & Krenn, 2021). L'atleta deve costantemente inibire i piani d'azione obsoleti per adattarsi alle traiettorie impreviste dell'attrezzo o ai movimenti di compagni e avversari (Gu et al., 2024).

Il modo in cui queste diverse richieste strutturali impegnano i processi cognitivi e motori dei praticanti è al centro di una vasta letteratura scientifica, ad esempio, Formenti e collaboratori (2021) evidenziano che gli sport *open skill* sollecitano il controllo inibitorio e la destrezza rapida per gestire l'imprevisto, mentre i *closed skill* sviluppano la costanza esecutiva e la precisione in condizioni stabili. Möhring e colleghi (2022) confermano che le due categorie attivano percorsi cognitivi differenti: gli *open skill* impegnano

prevalentemente la memoria di lavoro visuo-spaziale e la flessibilità, mentre i *closed skill* stimolano principalmente l'attenzione focalizzata e la pianificazione a lungo termine.

2.2.1 Definizione e caratteristiche degli sport *open skill*

Gli sport *open skill* sono discipline caratterizzate da un ambiente di gioco dinamico (calcio, basket, pallavolo o rugby), instabile e imprevedibile, nel quale l'atleta deve adattare continuamente il proprio comportamento motorio alle richieste del contesto. Appartengono a questa categoria soprattutto gli sport di squadra, gli sport di racchetta e le discipline di combattimento (Heilmann et al., 2022; Koch & Krenn, 2021; Möhring et al., 2022).

La caratteristica principale di queste attività è la natura etero-ritmata delle azioni motorie: l'esecuzione del gesto dipende da stimoli esterni e non esclusivamente dalla volontà dell'atleta. Pertanto, tempi e modalità di risposta devono essere continuamente adattati alle traiettorie della palla, ai movimenti dei compagni e alle azioni degli avversari (Formenti et al., 2021; Heilmann et al., 2022).

La performance negli sport *open skill* dipende dalla capacità di adattarsi continuamente alle variazioni del contesto e l'efficacia del gesto tecnico è quindi strettamente legata alle capacità percettive, decisionali e di *problem solving* dell'atleta, che deve trasformare rapidamente le informazioni ambientali in una risposta motoria adeguata (Heilmann et al., 2022; Koch & Krenn, 2021).

2.2.2 Definizione e caratteristiche degli sport *closed skill*

Gli sport *closed skill* sono discipline svolte in ambienti stabili e prevedibili (nuoto, atletica, tiro con l'arco o ginnastica), nei quali le condizioni esterne cambiano poco o per nulla durante l'esecuzione del gesto motorio. In queste attività, come il nuoto, la ginnastica artistica o il tiro a segno, la prestazione dipende principalmente dalla capacità dell'atleta di eseguire movimenti precedentemente appresi con elevata precisione e controllo (Heilmann et al., 2022). La caratteristica principale degli sport *closed skill* è la natura auto-ritmata dell'azione: l'atleta può decidere autonomamente quando iniziare il movimento e controllarne il ritmo esecutivo, senza dover adattare continuamente la propria risposta a stimoli esterni imprevedibili (Koch & Krenn, 2021). Questo favorisce l'automatizzazione dei gesti tecnici e la ripetizione di schemi motori altamente consolidati.

In sostanza, questi tipi di sport si caratterizzano per un contesto prevedibile e controllato, nel quale il successo della prestazione dipende soprattutto dalla qualità tecnica del gesto, da una elevata automatizzazione motoria e dalla capacità di mantenere costanza e precisione esecutiva nel tempo (Heilmann et al., 2022; Koch & Krenn, 2021).

2.2.3 Differenze cognitive tra le due tipologie

Le differenze cognitive tra sport *open skill* e *closed skill* derivano principalmente dal diverso grado di imprevedibilità dell'ambiente in cui si svolge l'azione motoria. Negli sport *open skill* gli atleti devono adattarsi continuamente a stimoli esterni variabili, prendendo decisioni rapide e modificando il proprio comportamento, di conseguenza, in base alle azioni di compagni e avversari. Negli sport *closed skill* il contesto è invece stabile e prevedibile, consentendo l'esecuzione di movimenti programmati e maggiormente automatizzati (Möhring et al., 2022).

La letteratura scientifica suggerisce che gli sport *open skill* favoriscano uno sviluppo più marcato delle FE, in particolare della memoria di lavoro, della flessibilità cognitiva e del controllo inibitorio. Secondo la metanalisi di Feng e colleghi (2023), i programmi di esercizio basati su attività *open skill* producono miglioramenti significativamente superiori nelle FE dei bambini rispetto agli interventi *closed skill*, probabilmente perché richiedono un'elaborazione continua delle informazioni ambientali sempre nuove e una costante adattabilità comportamentale.

Anche lo studio di Möhring e collaboratori (2022) ha evidenziato che i bambini coinvolti in sport *open skill* mostrano prestazioni migliori nei compiti che valutano le FE rispetto ai coetanei che praticano sport *closed skill*. Gli autori attribuiscono questi risultati alle elevate richieste cognitive tipiche degli sport caratterizzati da situazioni dinamiche e imprevedibili, che stimolano costantemente i processi di attenzione, pianificazione e *decision making*.

Risultati analoghi sono stati riportati da Formenti e colleghi (2021), che hanno osservato nei giovani atleti praticanti sport *open skill* livelli superiori di controllo inibitorio rispetto ai praticanti sport *closed skill*. Lo studio suggerisce che la necessità di sopprimere risposte automatiche e selezionare rapidamente comportamenti appropriati in situazioni mutevoli contribuisca allo sviluppo di una maggiore efficienza dei processi di autoregolazione cognitiva.

2.3 SPORT E *UPDATING*

L'*updating* rappresenta una delle principali componenti delle FE e consiste nella capacità di aggiornare continuamente le informazioni contenute nella memoria di lavoro, sostituendo quelle non più rilevanti con nuove informazioni utili per il raggiungimento di un obiettivo (Diamond, 2013). Questa abilità risulta particolarmente importante nell'ambito sportivo, dove è chiaro come gli atleti devono elaborare costantemente gli stimoli provenienti dall'ambiente e adattare il proprio comportamento alle richieste della situazione.

Le evidenze scientifiche mostrano che la pratica sportiva può favorirne lo sviluppo e quello delle altre FE, soprattutto durante l'età evolutiva. Ad esempio, la revisione sistematica e metanalisi di Contreras-Osorio e colleghi (2021) ha evidenziato che gli interventi sportivi producono effetti positivi significativi

sulle FE dei bambini, suggerendo che le attività caratterizzate da maggiori richieste cognitive siano particolarmente efficaci nel migliorare la memoria di lavoro e la capacità di elaborazione delle informazioni.

In particolare, gli sport *open skill* svolti in ambienti dinamici e imprevedibili, sembrano promuovere maggiormente l'*updating* rispetto agli sport *closed skill*. I bambini che praticano sport *open skill* sembrano mostrare prestazioni superiori nelle FE grazie alla continua necessità di monitorare l'ambiente, aggiornare le informazioni disponibili e adattare rapidamente le proprie decisioni (Möhring et al., 2022). Analogamente, Feng e collaboratori (2023) hanno osservato che gli interventi basati su attività *open skill* determinano miglioramenti maggiori delle FE rispetto alle attività *closed skill*, evidenziando il ruolo dell'elaborazione continua degli stimoli ambientali nello sviluppo cognitivo.

Anche lo studio di Formenti colleghi (2021) supporta questa prospettiva, mostrando che i giovani atleti coinvolti in sport caratterizzati da elevata variabilità ambientale presentano migliori prestazioni nei processi di controllo cognitivo rispetto a coloro che praticano gli sport *closed skill*. Complessivamente, tali evidenze suggeriscono che la pratica sportiva, soprattutto nelle discipline *open skill*, rappresenti uno strumento efficace per il potenziamento delle FE, tra cui l'*updating* e, per estensione, delle capacità di gestione delle informazioni nella memoria di lavoro.

2.3.1 Evidenze sull'impatto dello sport sull'*updating* della memoria di lavoro

Le evidenze disponibili mostrano che la pratica sportiva può favorire il miglioramento dell'*updating* della memoria di lavoro nei bambini e negli adolescenti. La metanalisi di Contreras-Osorio e collaboratori (2021) ha evidenziato che gli interventi sportivi determinano effetti positivi significativi sulle FE dei bambini, inclusi i processi legati alla memoria di lavoro. Infatti, lo sport può rappresentare un contesto cognitivamente stimolante, visto che coinvolge richieste motorie, attentive, decisionali e sociali, specialmente quando l'attività richiede adattamento costante alle condizioni ambientali.

Nello specifico, alcuni studi hanno dimostrato che gli sport di tipo *open skill* possono influenzare la memoria di lavoro e l'*updating*. Lai e collaboratori (2020) ad esempio hanno analizzato gli affetti di un programma di tennis di otto settimane sull'*updating* della memoria di lavoro in bambini di età prescolare. Il gruppo sperimentale ha mostrato un miglioramento della prestazione nel compito *n-back* (*1-back*), e di una attivazione prefrontale maggiore, valutata tramite fNIRS. In seguito, anche Wen e colleghi (2021) hanno osservato che una sessione di training basato sul calcio e di intensità moderata può migliorare le prestazioni al compito *2-back*, sia in termini di tempi di risposta che di accuratezza. Sebbene si tratti di un effetto immediato e non di un intervento longitudinale, il dato suggerisce anche in questo caso che sport caratterizzati da imprevedibilità, rapidità decisionale e continuo adattamento possano sollecitare i processi di memoria di lavoro e *updating*, anche se temporaneamente.

Come accennato in precedenza, la distinzione tra sport *open skill* e *closed skill* appare quindi particolarmente importante nella comprensione di quali FE vengono maggiormente elicitate rispettivamente dall'una e dall'altra tipologia di attività sportiva. In alcuni studi, si è osservato che le attività sportive caratterizzate da abilità *open skill* risultano in genere più efficaci rispetto a quelle *closed skill* nel favorire le FE nei bambini, con conseguenze rilevanti anche nel caso della memoria di lavoro (Feng et al., 2023).

Tuttavia, le evidenze specifiche riguardo l'*updating* non sono ancora del tutto univoche. Möhring e colleghi (2022) confrontando bambini impegnati in sport *open skill*, *closed skill* o in entrambe le tipologie non hanno riscontrato differenze significative nell'*updating* tra i tre gruppi. Infatti, il vantaggio degli sport *open skill* è emerso piuttosto nello *switching* o flessibilità cognitiva. Questo dato invita quindi a interpretare con cautela l'idea che la pratica sportiva *open skill* produca automaticamente un miglioramento specifico dell'*updating*. Nel complesso, la letteratura suggerisce che lo sport possa rappresentare un contesto favorevole per lo sviluppo della memoria di lavoro e dei processi di *updating* soprattutto quando implica elevato coinvolgimento cognitivo, coordinazione, imprevedibilità e adattamento continuo. Le evidenze più promettenti sembrano interessare appunto gli sport *open skill*, come ad esempio tennis e calcio, mentre i risultati non sono ancora sufficientemente omogenei per trarre conclusioni definitive. Per questo motivo l'efficacia dello sport sembra dipendere da diversi fattori: tra cui la pratica motoria in sé, il tipo di sport, il livello di complessità cognitiva, la durata dell'intervento e le caratteristiche dei bambini coinvolti (Feng et al., 2023).

2.3.2 Effetti differenziali tra *open* e *closed skill*

Le evidenze scientifiche mostrano che gli sport *open skill* determinano generalmente maggiori benefici sulle FE rispetto agli sport *closed skill*. Come già accennato precedentemente, secondo la metanalisi di Feng e collaboratori (2023), i bambini coinvolti in attività *open skill* presentano miglioramenti significativamente superiori nella memoria di lavoro, nella flessibilità cognitiva e nel controllo inibitorio rispetto ai soggetti impegnati in attività *closed skill*. Gli autori attribuiscono tali risultati alla continua necessità di elaborare informazioni ambientali, prendere decisioni rapide e adattare il comportamento alle richieste della situazione.

Il gruppo di lavoro di Möhring ha osservato che i giovani praticanti sport *open skill* ottengono prestazioni migliori nei compiti che valutano le FE rispetto ai praticanti sport *closed skill*. In particolare, gli sport *open skill* richiedono un costante monitoraggio dell'ambiente, l'aggiornamento continuo delle informazioni contenute nella memoria di lavoro e la capacità di modificare rapidamente le strategie motorie in risposta ai cambiamenti del contesto. Queste richieste cognitive rappresentano un importante stimolo per lo sviluppo delle capacità di elaborazione delle informazioni e di adattamento

comportamentale (Möhring et al., 2022). Risultati simili emergono dallo studio di Formenti e colleghi (2021), che ha evidenziato come i bambini coinvolti in sport *open skill* mostrino livelli superiori di controllo inibitorio rispetto ai coetanei che praticano sport *closed skill*. Secondo gli autori, la necessità di selezionare rapidamente la risposta più appropriata e di inibire comportamenti non adeguati in situazioni imprevedibili favorisce il potenziamento dei processi di autoregolazione cognitiva.

Le differenze tra le due tipologie di sport possono essere spiegate attraverso il diverso carico cognitivo richiesto durante la pratica. Negli sport *open skill*, l'atleta deve continuamente percepire, interpretare e integrare nuove informazioni provenienti dall'ambiente, attivando simultaneamente memoria di lavoro, attenzione selettiva, flessibilità cognitiva e processi decisionali. Negli sport *closed skill* la prestazione dipende principalmente dalla precisione esecutiva, dalla concentrazione e dall'automatizzazione del gesto tecnico, richiedendo un minore coinvolgimento dei processi decisionali e di adattamento ambientale (Koch & Krenn, 2021).

Tuttavia, ciò non implica che gli sport *closed skill* siano cognitivamente irrilevanti. Queste discipline contribuiscono allo sviluppo del controllo attentivo, della regolazione motoria e della capacità di mantenere elevati livelli di concentrazione per periodi prolungati. Inoltre, l'elevata ripetizione dei gesti tecnici favorisce l'automatizzazione motoria e l'efficienza neuromuscolare, aspetti fondamentali per la prestazione sportiva (Heilmann et al., 2022).

La letteratura suggerisce che entrambe le tipologie di sport apportano benefici cognitivi, ma attraverso meccanismi differenti. Gli sport *open skill* sembrano essere particolarmente efficaci nel promuovere lo sviluppo delle FE e delle capacità di adattamento cognitivo, mentre gli sport *closed skill* favoriscono soprattutto la concentrazione, la precisione e il controllo motorio. Di conseguenza, la natura delle richieste cognitive imposte dalla disciplina praticata rappresenta un elemento determinante nel modellare gli adattamenti cognitivi associati all'attività sportiva (Pesce et al., 2013; Jacobson & Matthaeus, 2014; Koutsandreu et al., 2019).

2.3.3 Implicazioni per bambini con DSA

Le evidenze che collegano la pratica sportiva allo sviluppo delle FE assumono particolare rilevanza nel caso dei bambini con DSA. Questi disturbi, che comprendono dislessia, disortografia, disgrafia e discalculia, non riguardano soltanto le abilità scolastiche, ma possono essere associati anche a difficoltà in alcuni processi cognitivi di base, tra cui la memoria di lavoro, il controllo attentivo e le FE (Diamond, 2013).

Tra queste l'*updating* della memoria di lavoro riveste un ruolo particolarmente importante, poiché consente di mantenere e aggiornare le informazioni necessarie durante attività fondamentali per l'apprendimento scolastico, come la lettura, la comprensione del testo, il calcolo matematico e la

risoluzione di problemi. Numerosi studi hanno evidenziato che molti bambini con DSA presentano difficoltà proprio nella gestione e nell'aggiornamento delle informazioni in memoria di lavoro, con possibili ripercussioni sul rendimento scolastico e sull'apprendimento (Alloway & Alloway, 2010).

In questo contesto la pratica sportiva può rappresentare uno strumento complementare di grande interesse. Le attività sportive che richiedono un'elevata partecipazione cognitiva, in particolare gli sport *open skill*, come è stato sottolineato, sollecitano costantemente processi di attenzione, memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva. Durante il gioco, infatti, il bambino deve monitorare continuamente l'ambiente, selezionare gli stimoli rilevanti, aggiornare le informazioni disponibili e adattare il proprio comportamento alle richieste della situazione. Questi processi coinvolgono gli stessi meccanismi cognitivi che risultano spesso compromessi nei DSA (Feng et al., 2023; Möhring et al., 2022).

Per i bambini con DSA tali risultati suggeriscono che la partecipazione a discipline sportive caratterizzate da elevata interazione con l'ambiente potrebbe contribuire a potenziare quelle abilità cognitive che supportano l'apprendimento scolastico. Sebbene l'attività sportiva non possa essere considerata un trattamento dei DSA, essa può rappresentare un importante fattore di supporto allo sviluppo cognitivo, favorendo il miglioramento dei processi attentivi, della memoria di lavoro e della capacità di adattamento a situazioni nuove (Best, 2010; Ludyga et al., 2016).

A forte sostegno di questa ipotesi, l'efficacia dello sport come strumento di potenziamento cognitivo è già stata documentata in altre condizioni cliniche appartenenti alla medesima macrocategoria dei Disturbi del Neurosviluppo, come il Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività (ADHD) e i Disturbi dello Spettro Autistico (ASD). Queste costellazioni cliniche condividono spesso con i DSA una spiccata comorbidità e, soprattutto, una marcata fragilità neuropsicologica nelle stesse aree delle FE, tra cui il controllo inibitorio, la memoria di lavoro e la flessibilità cognitiva.

Diversi studi di intervento hanno dimostrato come il training sportivo possa generare benefici significativi proprio su tali componenti. Ad esempio, revisioni sistematiche e metanalisi condotte su campioni con ADHD confermano che la pratica sportiva costante, in particolare di tipo aerobico, produce miglioramenti moderati-forti nel controllo inibitorio e nella flessibilità cognitiva (Su et al., 2021). Parallelamente, nell'ambito dei Disturbi dello Spettro Autistico, recenti ricerche basate su protocolli sportivi di gruppo o giochi motori (come il mini-basket) hanno evidenziato effetti positivi sulle FE. Ad esempio, lo studio di Wang e colleghi (2020) ha mostrato che tale tipo di programma rivolto ai bambini prescolari con ASD può contribuire al miglioramento di alcune componenti esecutive, tra cui la memoria di lavoro e lo *shifting*, oltre a produrre effetti favorevoli sui sintomi *core* del disturbo. Coerentemente, un altro studio ha confermato che lo stesso tipo di programma implementato per 12 settimane può migliorare la comunicazione sociale e modificare la connettività funzionale dell'*Executive Control*

Network nei bambini prescolari con ASD, suggerendo un possibile coinvolgimento dei circuiti neurali deputati al controllo esecutivo (Yang et al., 2021).

Alla luce delle evidenze disponibili, lo sport appare come un contesto particolarmente favorevole per stimolare le FE nei bambini con DSA. In particolare, le discipline *open skill* sembrano offrire maggiori opportunità di allenamento dell'*updating* della memoria di lavoro e delle capacità di elaborazione delle informazioni, competenze strettamente coinvolte nei processi di apprendimento e nel successo scolastico.

CAPITOLO 3 – STUDIO EMPIRICO

Il presente lavoro di tesi si inserisce all'interno del progetto "FUN-TASTIC", realizzato con l'obiettivo di valutare eventuali cambiamenti nelle FE dopo un training di attività fisica in diverse modalità, in un campione di bambini della scuola primaria con diagnosi di DSA. All'interno del progetto più ampio sono state considerate diverse variabili esecutive, tra cui la capacità di *updating*, che rappresenta la variabile di interesse del presente elaborato. Nello specifico, i dati analizzati si concentrano nella fase di raccolta dati pre-intervento e sono stati utilizzati per indagare la correlazione tra la componente di *updating* e la pratica sportiva svolta dai partecipanti.

Alla luce delle evidenze riportate nella letteratura scientifica riguardo al ruolo delle FE nei processi di apprendimento e all'influenza dell'attività sportiva sullo sviluppo cognitivo in età evolutiva, il presente studio empirico si propone di approfondire la relazione tra pratica sportiva e capacità di *updating* della memoria di lavoro. Tale confronto nasce dall'ipotesi che gli sport caratterizzati da maggiore variabilità ambientale, da una richiesta decisionale e da un adattamento continuo possano stimolare maggiormente i processi cognitivi coinvolti nella gestione e nell'aggiornamento delle informazioni.

Il presente studio empirico si propone di indagare la relazione tra la partecipazione ad attività motorio-sportive e lo sviluppo delle FE in età evolutiva. Nello specifico, l'attenzione è focalizzata sulla componente dell'*updating* esecutivo (aggiornamento della memoria di lavoro) in un campione clinico composto da bambini e bambine con diagnosi di Disturbo Specifico dell'Apprendimento. L'obiettivo principale è verificare se la pratica sportiva continuativa e la tipologia di sport praticato (distinto in no pratica sport, sport *closed skill* e sport *open skill*) possa associarsi a una maggiore efficienza nel processo di *updating*.

3.1 OBIETTIVI E IPOTESI

Il presente studio ha avuto l'obiettivo di indagare la relazione tra partecipazione sportiva e sviluppo esecutivo, con particolare riferimento al processo cognitivo dell'*updating* della memoria di lavoro, in un campione di bambini e bambine con Disturbi Specifici dell'Apprendimento.

Lo studio ha analizzato se la pratica sportiva potesse essere associata a differenti livelli di *performance* esecutiva, confrontando tre gruppi di partecipanti: bambini che non praticavano attività sportiva, bambini impegnati in sport *closed skill* e bambini impegnati in sport *open skill*.

L'ipotesi principale dello studio prevedeva che i bambini praticanti sport *open skill* mostrassero migliori capacità di *updating* rispetto ai bambini praticanti sport *closed skill* e ai bambini non sportivi. Inoltre, si

ipotizzava che la partecipazione ad attività sportive, indipendentemente dalla tipologia, fosse associata a una migliore prestazione esecutiva rispetto all'assenza di pratica sportiva.

3.2 METODO

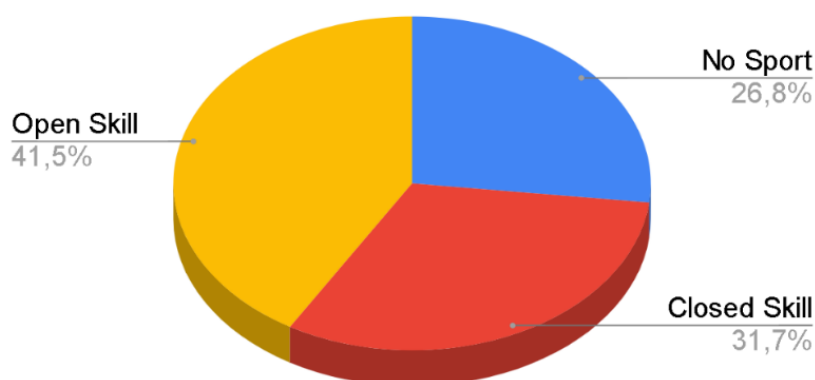
La metodologia dello studio è stata definita con l'obiettivo di valutare in maniera quantitativa la possibile associazione tra tipologia di attività sportiva praticata e prestazione nelle FE. È stato adottato un disegno sperimentale tra i soggetti (*between-subjects*), nel quale i partecipanti sono stati suddivisi in gruppi sulla base della pratica sportiva svolta. La variabile indipendente considerata è stata quindi il tipo di sport praticato, mentre la prestazione ottenuta al compito di *updating* della memoria di lavoro ha rappresentato la variabile dipendente utilizzata per il confronto tra i gruppi.

3.2.1 Partecipanti

Hanno partecipato allo studio 41 bambini con diagnosi di DSA, di cui 21 maschi e 20 femmine frequentanti le classi III, IV e V della scuola primaria, con un'età media = 9,41 anni ($DS \pm 0,87$; *range* 7-11 anni).

I partecipanti sono stati suddivisi sulla base della pratica sportiva svolta: 11 bambini (26,8%) non praticavano sport, 13 bambini (31,7%) praticavano sport *closed skill* e 17 bambini (41,5%) praticavano sport *open skill*.

Grafico 1 - Distribuzione campione per tipo di sport



3.2.2 Strumenti

Per valutare la capacità di *updating* della memoria di lavoro è stato utilizzato il *Keep Track Task* (Friedman et al., 2008).

Il *Keep Track Task* è uno strumento neuropsicologico utilizzato per valutare una componente delle FE, in particolare il processo di *updating* esecutivo (o aggiornamento della memoria di lavoro).

La prova è stata originariamente sviluppata da Yntema (1963) nell'ambito dello studio dei processi cognitivi coinvolti nel “tenere traccia” simultaneamente di più informazioni (“*keeping track of several things at once*”), successivamente è stata adattata e utilizzata nella ricerca sulle FE. La versione utilizzata nel presente studio corrisponde a quella di Friedman e collaboratori (2008), nata in particolare per esplorare le differenze individuali nelle FE.

Il *Keep Track Task* misura principalmente la capacità di aggiornare il contenuto della memoria di lavoro, selezionare informazioni rilevanti tra diversi stimoli concorrenti, inibire informazioni obsolete o non più richieste e mantenere attive più rappresentazioni contemporaneamente. Questa abilità è considerata una componente centrale delle FE insieme all'inibizione e allo *shifting* cognitivo, poiché permette di adattare il comportamento quando cambiano le richieste del compito (Miyake et al., 2000).

In pratica, il compito nella versione computerizzata qui utilizzata consiste nel presentare una serie di parole appartenenti a diverse categorie semantiche (animali, colori, frutti, parenti, metalli, paesi). Il compito richiede ai partecipanti di mantenere attive diverse informazioni contemporaneamente e aggiornarle progressivamente durante la prova. Ai bambini viene presentata una lista di parole a centro schermo appartenenti a diverse categorie e viene richiesto di ricordare solamente la parola più recente che compare relativa a ciascuna categoria indicata.

La prova è stata proposta in tre condizioni di crescente complessità: aggiornamento di 2 categorie, aggiornamento di 3 categorie e infine aggiornamento di 4 categorie. Prima dell'inizio della prova effettiva, i partecipanti venivano istruiti con una sessione di pratica per ogni livello di difficoltà. Quindi, venivano indicate al partecipante un certo numero di categorie target da ricordare, che rimanevano impresse sullo schermo come promemoria e che cambiavano ad ogni round, per un totale di dodici round, quattro per ogni livello.

La prestazione viene valutata attraverso il numero di errori commessi; perciò, un numero maggiore di errori indica una minore efficienza del processo di *updating*. Le variabili considerate nello studio sono state l'età dei partecipanti, la tipologia di sport praticato e il numero di errori nelle tre condizioni del *Keep Track* (2, 3 e 4 categorie).

3.2.3 Procedura sperimentale

Per suddividere il campione nei tre gruppi sperimentali (no sport, sport *closed skill*, sport *open skill*) i dati relativi alla pratica sportiva sono stati raccolti attraverso la compilazione di una scheda consegnata ai genitori. Successivamente, i partecipanti sono stati sottoposti alla valutazione delle FE, tra cui l'*updating*, attraverso la somministrazione del *Keep Track Task*.

Per verificare eventuali differenze nella capacità di *updating* tra i gruppi sono state condotte tre analisi della varianza univariate (ANOVA), una tecnica statistica che consente di confrontare le medie di più gruppi e di verificare l'eventuale presenza di differenze statisticamente significative tra essi. La variabile indipendente considerata è stata la tipologia di sport praticato, suddiviso nei tre gruppi, mentre le variabili dipendenti erano rappresentate dal numero di errori commessi al *Keep Track Task* nelle tre condizioni sperimentali previste (2, 3 e 4 categorie). Trattandosi di un disegno *between-subjects*, ciascun partecipante apparteneva esclusivamente a uno dei tre gruppi considerati.

3.3 RISULTATI

Le analisi descrittive hanno evidenziato che il numero medio di errori aumentava con l'aumento della difficoltà del compito. Nella condizione a 2 categorie la media degli errori è risultata pari a 2,78, nella condizione a 3 categorie, pari a 5,90, mentre nella condizione a 4 categorie, pari a 9,07, confermando il maggiore carico cognitivo richiesto dalle condizioni più complesse.

Keep Track a 2 categorie: l'analisi della varianza non ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i gruppi ($F(2,38)=2,038$; $p=.144$). Tuttavia, è emersa una tendenza a favore dei bambini praticanti sport *open skill*, che hanno riportato il numero medio più basso di errori:

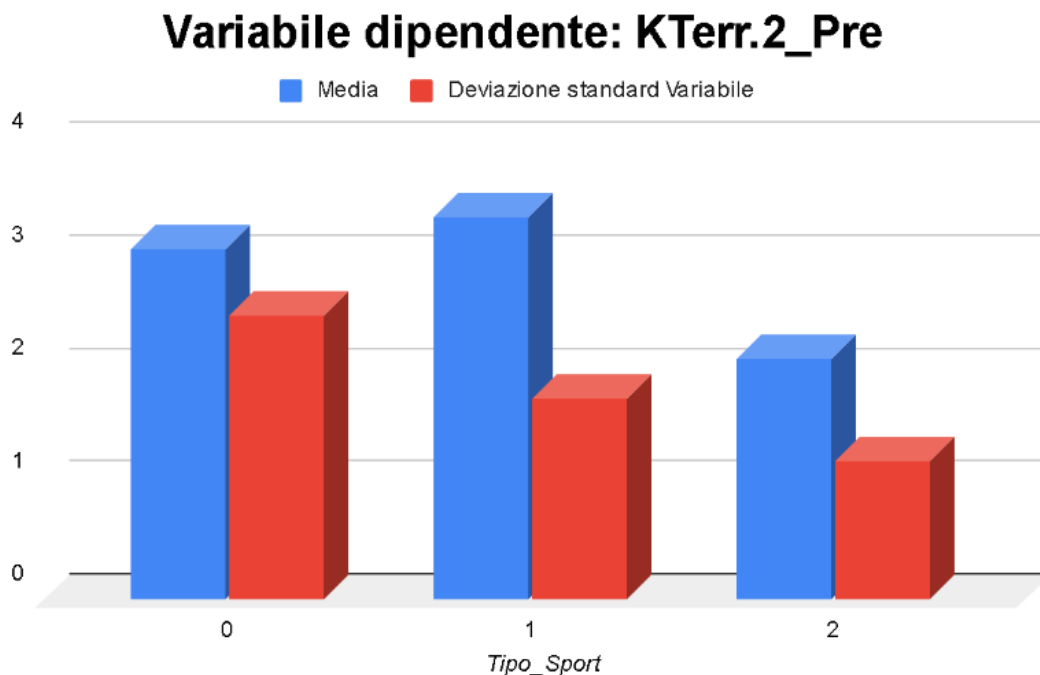
- No sport: $M = 3,09$;
- Sport *closed skill*: $M = 3,38$;
- Sport *open skill*: $M = 2,12$.

Questi risultati indicano una possibile migliore capacità di aggiornamento delle informazioni nei bambini praticanti sport *open skill*, sebbene la differenza non raggiunga la significatività statistica.

Tabella 5 - Variabile dipendente: KTerr.2_Pre.

Tipo Sport	Media	Deviazione standard Variabile	N
0	3,09	2,508	11
1	3,38	1,758	13
2	2,12	1,219	17
Totale	2,78	1,851	41

Grafico 2 - Confronto delle medie e delle deviazioni standard del numero di errori nel KTerr.2_Pre.



I dati mostrano che gli sport *closed skill* (Tipo_Sport 1) presentano il valore medio più elevato della variabile KTerr.2_Pre (3,385), seguito da quelli che non praticano sport (Tipo_Sport 0) (3,091). Gli sport *open skill* (Tipo_Sport 2) registrano invece la media nettamente più bassa di errori (2,118). L'ampiezza degli intervalli di confidenza al 95% evidenzia una parziale sovrapposizione tra i gruppi 0 e 1, mentre il gruppo 2 si distacca in modo marcato, confermando una stima inferiore rispetto agli altri due sport analizzati.

Keep Track a 3 categorie: nella condizione a 3 categorie non sono emerse differenze significative tra i gruppi ($F(2,38)=0,419$; $p=.661$). È stata comunque osservata una tendenza simile alla variabile precedente:

- No sport: $M = 6,18$;
- Sport *closed skill*: $M = 6,23$;
- Sport *open skill*: $M = 5,47$.

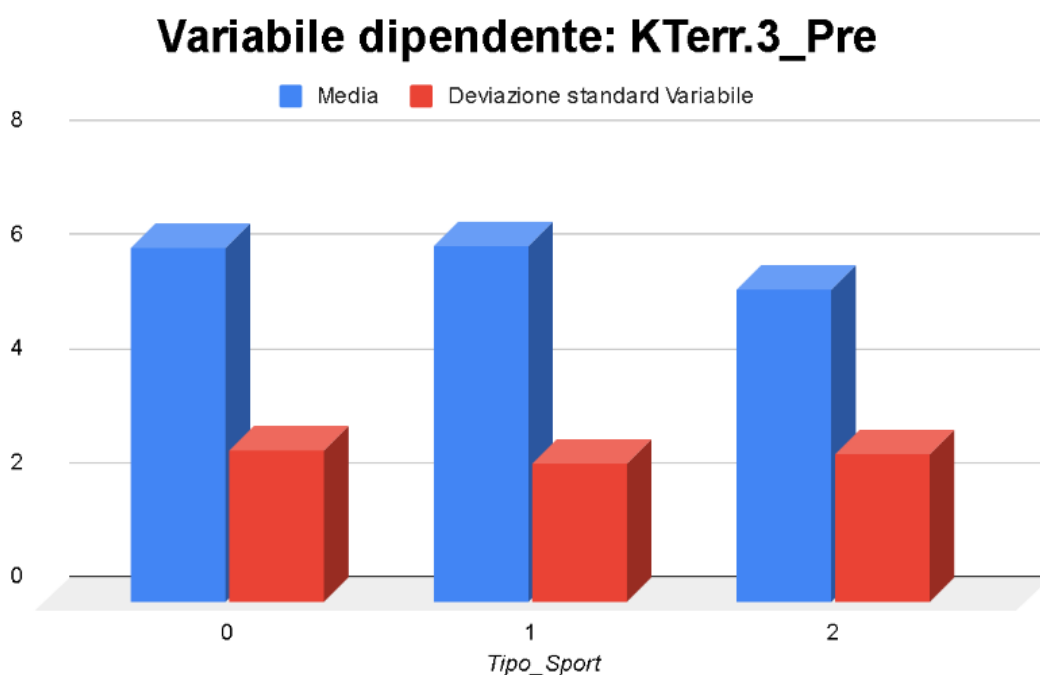
I bambini che praticavano sport *open skill* hanno quindi mostrato una prestazione mediamente migliore, con un numero medio inferiore di errori rispetto agli altri gruppi.

Tabella 6 - Variabile dipendente: KTerr.3_Pre.

Tipo Sport	Media	Deviazione standard Variabile	N
0	6,18	2,639	11
1	6,23	2,421	13
2	5,47	2,577	17
Totale	5,90	2,508	41

L'analisi descrittiva della variabile dipendente KTerr.3_Pre su un campione totale di 41 soggetti (N = 41) evidenzia valori medi molto simili tra i *closed skill* (6,23) e non praticanti sport (6,18). Gli sport *open skill* mostrano invece la media leggermente più bassa (5,47), sebbene presenti il sottogruppo numericamente più numeroso (N = 17). La variabilità interna ai gruppi si mantiene omogenea e stabile in tutte e tre le categorie, oscillando tra 2,42 e 2,64.

Grafico 3 - Confronto delle medie e delle deviazioni standard del numero di errori nel KTerr.3_Pre.



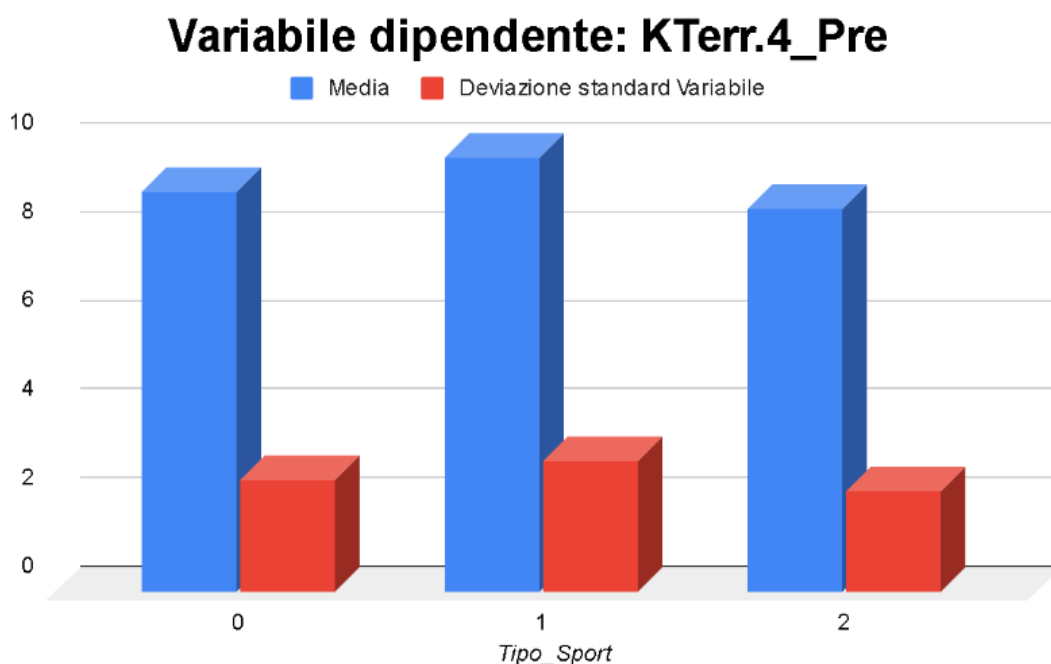
Keep Track a 4 categorie: anche nella condizione più complessa, relativa all'aggiornamento di 4 categorie, non sono emerse differenze significative tra i gruppi ($F(2,38)=0,805$; $p=.455$).

Le medie osservate nei vari gruppi sono state: No sport $M = 9,00$; sport *closed skill* $M = 9,77$ e sport *open skill* $M = 8,59$.

Tabella 7 - Variabile dipendente: KTerr.4_Pre

Tipo Sport	Media	Deviazione standard Variabile	N
0	9,00	2,490	11
1	9,77	2,920	13
2	8,59	2,238	17
Totale	9,07	2,524	41

Grafico 4 - Confronto delle medie e delle deviazioni standard del numero di errori nel KTerr.3_Pre.



3.4 DISCUSSIONE

Il presente studio aveva lo scopo di analizzare la possibile relazione tra pratica sportiva e capacità di *updating* esecutivo nei bambini con DSA, confrontando bambini praticanti sport *open skill*, *closed skill* e bambini non sportivi.

I risultati ottenuti non hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra i gruppi in nessuna delle tre condizioni del *Keep Track*. Pertanto, l'ipotesi secondo cui la pratica sportiva, e in particolare gli sport *open skill*, determinasse un miglioramento significativo dell'*updating* non è stata pienamente confermata a livello statistico.

Tuttavia, è importante sottolineare la presenza di una tendenza costante in tutte le condizioni sperimentali: il gruppo *open skill* ha sempre ottenuto il minor numero medio di errori rispetto agli altri due gruppi. Questo risultato suggerisce che la pratica di attività sportive caratterizzate da elevata variabilità ambientale e necessità decisionali rapide potrebbe essere associata a una maggiore efficienza

nei processi di aggiornamento della memoria di lavoro e che potrebbe valere la pena continuare ad indagare tale relazione in futuri lavori.

Gli sport *open skill* richiedono infatti un continuo monitoraggio dell'ambiente, la selezione delle informazioni rilevanti e un rapido adattamento delle risposte motorie. Questi processi presentano importanti sovrapposizioni con le FE, in particolare con l'*updating*, che permette di sostituire informazioni non più utili con nuovi elementi necessari alla corretta esecuzione del compito.

La mancata significatività statistica potrebbe essere attribuita ad alcuni limiti dello studio, tra cui la numerosità relativamente ridotta del campione e la variabilità individuale nelle caratteristiche cognitive dei bambini con DSA.

Nel complesso, i risultati suggeriscono che la pratica sportiva, soprattutto di tipo *open skill*, potrebbe rappresentare un potenziale fattore associato allo sviluppo delle FE in età evolutiva. Ulteriori studi con campioni più ampi e disegni longitudinali saranno necessari per chiarire ulteriormente il ruolo causale dell'attività sportiva sul potenziamento dell'*updating* esecutivo.

Il primo dato evidente che emerge dall'analisi dei risultati riguarda il modo in cui tutti i bambini, indipendentemente dallo sport praticato, hanno reagito all'aumentare della difficoltà del compito. Si nota infatti un incremento lineare e costante degli errori nel momento in cui le categorie da tenere a mente nel *Keep Track Task* passano da due a quattro. Da un punto di vista psicologico, questo andamento era ampiamente prevedibile e conferma la validità dello strumento utilizzato. Il compito richiede infatti di fare due cose insieme: mantenere in memoria i dati già acquisiti e, contemporaneamente, aggiornarli in tempo reale man mano che compaiono nuovi stimoli.

Passare da una media generale di 2.78 errori nella condizione più semplice a ben 9.07 errori in quella a quattro categorie (la più difficile) dimostra che il test ha messo a dura prova la memoria di lavoro dei partecipanti. Questo sovraccarico cognitivo è ancora più significativo se consideriamo che il campione è composto da bambini con DSA, un profilo clinico che per sua natura presenta una forte fragilità proprio nei meccanismi di controllo e di gestione delle informazioni a breve termine (Baddeley, 2003).

Il cuore della ricerca risiedeva nel capire se la scelta dell'attività sportiva potesse influenzare positivamente queste abilità di aggiornamento della memoria. In questo senso, i risultati offrono uno spunto molto interessante. I bambini che praticano sport *open skill* hanno mostrato una marcia in più, mantenendo una media del numero di errori costantemente più bassa rispetto agli altri due gruppi, in tutte le condizioni del test. Questo vantaggio è particolarmente evidente nella condizione a due categorie, dove la differenza tra i gruppi sfiora la significatività statistica ($p = .14$). In questa prova, il gruppo "*open skill*" commette in media solo 2.12 errori, a fronte dei 3.09 dei sedentari e dei 3.38 dei praticanti sport *closed skill*. Questo distacco non è casuale, ma si potrebbe spiegare ad esempio guardando a ciò che accade concretamente sul campo da gioco. Durante uno sport di situazione, il bambino è immerso in un contesto

dinamico, instabile e imprevedibile. Deve continuamente monitorare la posizione dei compagni e degli avversari, anticipare le traiettorie della palla e cambiare strategia in una frazione di secondo, ignorando al contempo i disturbi ambientali.

Un risultato particolarmente sorprendente riguarda il fatto che lo sport in senso generale non sempre produce benefici automatici sulle FE. Infatti, i bambini del gruppo *closed skill* non hanno mostrato prestazioni migliori rispetto ai coetanei sedentari. Anzi, nella condizione più semplice hanno registrato la media di errori più alta del campione ($M = 3.38$). Questo ci può far pensare che per stimolare i processi cognitivi superiori come l'*updating*, non è sufficiente la semplice attivazione motoria o il benessere fisico derivante dall'esercizio. Ciò che fa la differenza è la complessità del contesto. Gli sport *closed skill* si basano sull'automazione di movimenti rigidi e sequenziali in cui l'ambiente è controllato e le richieste di adattamento strategico sono minime. Di conseguenza, pur trattandosi di attività ottime per la salute e la coordinazione, non sollecitano in modo specifico la flessibilità mentale, lasciando le prestazioni cognitive di questi bambini del tutto sovrapponibili a quelle del gruppo che non pratica alcuno sport.

Infine, i dati possono suggerire invece l'efficacia di un approccio ecologico, basato sul gioco e sul movimento. Lo sport *open skill* può diventare un prezioso alleato terapeutico e pedagogico: un ambiente divertente e motivante in cui il bambino allena la mente senza la pressione tipica del *setting* scolastico. Incentivare i bambini con DSA a praticare sport di squadra o di situazione potrebbe significare offrire loro uno strumento per potenziare indirettamente quelle abilità di pianificazione e gestione delle informazioni che si riveleranno poi fondamentali nello studio, nella lettura e nel calcolo, ma anche per le attività di vita quotidiana in generale, non solo a scuola.

CONCLUSIONI

La presente tesi ha analizzato il ruolo dell'*updating* esecutivo e il possibile contributo della pratica sportiva al suo sviluppo, con particolare attenzione alle differenze tra discipline *open skill* e *closed skill*. Dall'analisi della letteratura emerge come l'*updating* rappresenti una funzione centrale del controllo cognitivo. Come ampiamente precisato in precedenza, tale abilità consente di sostituire rapidamente contenuti non più rilevanti con nuove informazioni utili, favorendo l'adattamento del comportamento alle richieste dell'ambiente e supportando processi fondamentali per l'apprendimento, tra cui comprensione del testo, ragionamento matematico e *problem solving*.

Le evidenze esaminate confermano che i bambini con DSA presentano frequentemente fragilità nei processi di memoria di lavoro e *updating*. Studi come quelli di Carretti e colleghi (2009), Pimperton e Nation (2010) e Pelegrina e collaboratori (2015a) hanno evidenziato come tali difficoltà possano influenzare la capacità di gestire e manipolare informazioni verbali, numeriche e visuo-spaziali, contribuendo alle difficoltà scolastiche tipiche dei disturbi dell'apprendimento. L'*updating* appare quindi non solo come una funzione cognitiva accessoria, ma come uno dei possibili meccanismi trasversali coinvolti nelle prestazioni accademiche.

In questo contesto, la pratica sportiva assume particolare interesse poiché rappresenta un ambiente nel quale il soggetto è costantemente chiamato a elaborare informazioni, prendere decisioni e modificare il proprio comportamento in funzione delle richieste del contesto. Tuttavia, la letteratura suggerisce che il potenziale impatto dello sport sull'*updating* dipenda in larga misura dalle caratteristiche cognitive della disciplina praticata.

La distinzione tra sport *open skill* e *closed skill* costituisce probabilmente uno degli aspetti più rilevanti emersi. Negli sport *open skill* si ha un ambiente più dinamico e imprevedibile, in cui l'atleta deve continuamente monitorare stimoli esterni, anticipare eventi, rivedere le proprie decisioni e adattare le risposte motorie in tempo reale. Questo processo richiede un costante aggiornamento delle informazioni disponibili e rende l'*updating* una funzione continuamente sollecitata durante la prestazione. Negli sport *closed skill* si ha un ambiente, il quale rimane invece relativamente stabile e prevedibile, la prestazione dipende maggiormente dalla precisione esecutiva e dall'automatizzazione dei gesti tecnici, riducendo la necessità di aggiornare continuamente le informazioni ambientali.

I dati presenti in letteratura sembrano supportare questa interpretazione. Möhring e colleghi (2022) hanno evidenziato come i praticanti di sport *open skill* mostrino generalmente prestazioni superiori nelle FE rispetto ai praticanti sport *closed skill*, attribuendo tale vantaggio alle elevate richieste percettive e decisionali tipiche degli ambienti dinamici. Analogamente, la metanalisi di Feng e collaboratori (2023)

ha mostrato che gli interventi basati su attività *open skill* producono miglioramenti maggiori nelle FE rispetto alle attività *closed skill* durante l'età evolutiva. Anche Formenti e colleghi (2021) hanno osservato nei giovani atleti *open skill* una maggiore efficienza nei processi di controllo cognitivo e autoregolazione. Un altro studio ha dimostrato che un programma di tennis della durata di otto settimane è stato associato a miglioramenti nelle prestazioni al compito *N-back* e a un aumento dell'attivazione delle aree prefrontali coinvolte nella memoria di lavoro (Lai et al., 2020). Risultati analoghi sono stati osservati da Wen e collaboratori (2021), che hanno rilevato un miglioramento immediato nelle prestazioni di *updating* dopo una sessione di allenamento calcistico a intensità moderata. Tali risultati suggeriscono che discipline caratterizzate da elevata imprevedibilità ambientale possano stimolare in maniera significativa i processi di aggiornamento della memoria di lavoro. Nonostante queste evidenze, il rapporto tra sport *open skill* e *updating* non appare ancora definitivamente chiarito. Lo studio di Möhring e colleghi (2022), ad esempio, non ha rilevato differenze significative nell'*updating* tra bambini praticanti sport *open skill*, *closed skill* o entrambe le tipologie, osservando invece differenze più marcate nella flessibilità cognitiva. Questo risultato suggerisce che il vantaggio cognitivo degli sport *open skill* potrebbe non riguardare esclusivamente l'*updating* oppure che gli strumenti di valutazione attualmente utilizzati non siano sufficientemente sensibili per coglierne tutte le sfumature.

Nel complesso, la letteratura analizzata porta comunque a ipotizzare che gli sport *open skill* rappresentino il contesto motorio più favorevole alla stimolazione dell'*updating* esecutivo. La continua necessità di osservare, selezionare, integrare e sostituire informazioni durante il gioco riproduce infatti le stesse richieste cognitive che caratterizzano i compiti sperimentali utilizzati per valutare questa funzione. Da un punto di vista teorico, tale parallelismo costituisce uno dei principali elementi a sostegno dell'ipotesi secondo cui gli sport *open skill* possano favorire lo sviluppo della memoria di lavoro e dell'*updating* in misura maggiore rispetto agli sport *closed skill*.

Sebbene non sia ancora possibile considerare lo sport come uno strumento riabilitativo specifico per i DSA, le evidenze disponibili suggeriscono che programmi motori caratterizzati da elevato coinvolgimento cognitivo, adattamento continuo e richiesta decisionale possano rappresentare una valida strategia complementare per sostenere lo sviluppo delle FE. In particolare, l'inserimento di attività *open skill* all'interno di percorsi educativi e adattati potrebbe contribuire a creare contesti di apprendimento nei quali il potenziamento motorio e quello cognitivo procedono parallelamente.

Alla luce delle attuali conoscenze, emerge quindi la necessità di ulteriori studi longitudinali e sperimentali che analizzino specificamente l'effetto degli sport *open skill* sull'*updating* nei soggetti con DSA, utilizzando protocolli standardizzati e strumenti di valutazione maggiormente sensibili ai cambiamenti cognitivi. Una più ampia comprensione di questa relazione potrebbe fornire indicazioni preziose per la progettazione di interventi multidisciplinari capaci di integrare attività motoria, sviluppo cognitivo e

supporto ai processi di apprendimento, valorizzando il ruolo dello sport come strumento educativo e preventivo oltre che di promozione della salute.

BIBLIOGRAFIA

- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.003>
- Álvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sánchez-López, M., Martínez-Hortelano, J. A., & Martínez-Vizcaino, V. (2017). Effect of physical activity interventions on cognition and metacognition in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(9), 729–738. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012>
- American Psychiatric Association. (2022). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed., text rev.; DSM-5-TR). *American Psychiatric Association Publishing*. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425787>
- Assem, M., Glasser, M. F., Van Essen, D. C., & Duncan, J. (2020). A domain-general cognitive core defined in multisubject fMRI analyses. *NeuroImage*, 220, 117059. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa023>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47–89). *Academic Press*. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331–351. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Burgess, P. W., & Simons, J. S. (2005). Theories of frontal lobe executive function: Clinical applications. In P. W. Halligan & D. T. Wade (Eds.), *The effectiveness of rehabilitation for cognitive deficits* (pp. 211–232). *Oxford University Press*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198526544.003.0018>
-

- Capodieci, A., Ruffini, C., Frascari, A., Rivella, C., Bombonato, C., Giaccherini, S., Scali, V., Luccherino, L., Viterbori, P., Traverso, L., Usai, M. C., Marzocchi, G. M., & Pecini, C. (2023). Executive functions in children with specific learning disorders: Shedding light on a complex profile through teleassessment. *Research in developmental disabilities*, 142, 104621. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2023.104621>
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and theory of mind. *Child Development*, 72(4), 1032–1053. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00333>
- Carretti, B., Borella, E., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2009). Role of working memory in explaining the performance of individuals with specific reading comprehension difficulties: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.10.002>
- Casey, B. J., Getz, S., & Galvan, A. (2008). The adolescent brain. *Developmental Review*, 28(1), 62–77. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.08.003>
- Caviola, S., Toffalini, E., Giofrè, D., Mercader Ruiz, J., Szűcs, D., & Mammarella, I. C. (2022). Math performance and academic anxiety forms, from sociodemographic to cognitive aspects: A meta-analysis on 906,311 participants. *Educational Psychology Review*, 34(1), 363–399. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09618-5>
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125–130. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01430>
- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: frontal lobe function and human decision-making. *PLoS biology*, 10(3), e1001293. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>
- Contreras-Osorio, F., Campos-Jara, C., Martínez-Salazar, C., Chirisa-Ríos, L., & Martínez-García, D. (2021). Effects of Sport-Based Interventions on Children’s Executive Function: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Sciences*, 11(6), Article 755 . <https://doi.org/10.3390/brainsci11060755>
- Cotman, C. W., Berchtold, N. C., & Christie, L.-A. (2007). Exercise builds brain health: Key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in Neurosciences*, 30(9), 464–472. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.06.011>
- Cragg, L., & Nation, K. (2008). Go or no-go? Developmental improvements in the efficiency of response inhibition in mid-childhood. *Developmental Science*, 11(6), 819–827. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00730.x>
- Crisci, G., Caviola, S., Cardillo, R., & Mammarella, I. C. (2021). Executive functions in neurodevelopmental disorders: Comorbidity overlaps between attention deficit and hyperactivity disorder and specific learning disorders. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, Article 594234. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.594234>

- Cuder, A., Živković, M., Doz, E., Pellizzoni, S., & Passolunghi, M. C. (2023). The relationship between math anxiety and math performance: The moderating role of visuospatial working memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 233, Article 105688. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2023.105688>
- De Greeff, J. W., Bosker, R. J., Oosterlaan, J., Visscher, C., & Hartman, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(5), 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.595>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2015). Effects of physical exercise on executive functions: Going beyond simply moving to moving with thought. *Annals of sports medicine and research*, 2(1), 1011.
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
- Dong, H., & Wang, S. (2026). Impact of physical activity on children's cognitive function and its educational applications: a narrative literature review. *Frontiers in psychology*, 16, 1720391. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1720391>
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., & Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children: A Systematic Review. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(6), 1197–1222. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000901>
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., et al. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(6), 1230–1244. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002587>
- Doyle, C., Smeaton, A.F., Roche, R., Boran, L. (2018). Inhibition and Updating, but Not Switching, Predict Developmental Dyslexia and Individual Variation in Reading Ability. *Frontiers in Psychology*, 9, 795. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00795>
- Eime, R. M., Young, J. A., Harvey, J. T., Charity, M. J., & Payne, W. R. (2013). A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents : informing development of a conceptual model of health through sport. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 10, 98. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-10-98>
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J. S., Heo, S., Alves, H., White, S. M., Wojcicki, T. R., Mailey, E., Vieira, V. J., Martin, S. A., Pence, B. D., Woods, J. A., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves

- memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017-3022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
- Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A., & Senn, T. E. (2004). The Contribution of Executive Functions to Emergent Mathematic Skills in Preschool Children. *Neuropsychology*, 18(3), 375–384. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_6
 - Feng, X., Zhang, Y., Liu, X., & Zhang, D. (2023). Effects of open and closed skill exercise interventions on executive function in typical children: A meta-analysis. *BMC Psychology*, 11, Article 420. <https://doi.org/10.1186/s40359-023-01317-w>
 - Formenti, M., Trecroci, A., Duca, M., Cavaggioni, L., D’Angelo, F., Passi, A., Longo, S. & Alberti, G. (2021). Differences in inhibitory control and motor fitness in children practicing open and closed skill sports. *Scientific Reports*, 11, Article 4033. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82698-z>
 - Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201–225. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>
 - Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
 - Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), 72–89. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
 - Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
 - Gu, Q., Zou, L., Loprinzi, P. D., Quan, M., & Huang, T. (2019). Effects of open versus closed skill exercise on cognitive function: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 10, Article 1707. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01707>
 - Heilmann, F., Weinberg, H., & Wollny, R. (2022). The impact of practicing open- vs. closed-skill sports on executive functions: A meta-analytic and systematic review with a focus on characteristics of sports. *Brain Sciences*, 12(8), 1071. <https://doi.org/10.3390/brainsci12081071>
 - Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58–65. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>
 - Jacobson, J., & Matthaeus, L. (2014). Athletics and executive functioning: How athletic participation and sport type correlate with cognitive performance. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(5), 521–527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.05.005>

- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. (2018). The unity and diversity of executive functions: A systematic review and re-analysis of latent variable studies. *Psychological Bulletin*, 144(11), 1147–1186. <https://doi.org/10.1037/bul0000160>
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352–358. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
- Koch, P., & Krenn, B. (2021). Executive functions in elite athletes – Comparing open-skill and closed-skill sports and considering the role of athletes' past involvement in both sport categories. *Psychology of Sport and Exercise*, 55, Article 101925. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.101925>
- Koutsandréou, F., Wegner, M., Niemann, C., & Budde, H. (2016). Effects of Motor versus Cardiovascular Exercise Training on Children's Working Memory. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(6), 1144–1152. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000869>
- Lai, Y., Wang, Z., Yue, G. H., & Jiang, C. (2020). Determining whether tennis benefits the updating function in young children: A functional near-infrared spectroscopy study. *Applied Sciences*, 10(1), article 407. <https://doi.org/10.3390/app10010407>
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59–80. <https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Liu, L., Wang, X., & Zhang, Y. (2025). The effects of physical exercise on cognitive function in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 16, Article 1556721. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1556721>
- Liu, S., Yu, Q., Li, Z., Cunha, P. M., Zhang, Y., Kong, Z., Lin, W., Chen, S., & Cai, Y. (2020). Effects of acute and chronic exercises on executive function in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 11, 554915. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.554915>
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, 53(11), 1611–1626. <https://doi.org/10.1111/psyp.12736>
- Luna, B., Padmanabhan, A., & O'Hearn, K. (2010). What has fMRI told us about the development of cognitive control through adolescence? *Brain and Cognition*, 72(1), 101–113. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.08.005>
- Lunt, L., Bramham, J., Morris, R. G., Bullock, P. R., Selway, R. P., Xenitidis, K., & David, A. S. (2012). Prefrontal cortex dysfunction and “Jumping to Conclusions”: Bias or deficit? *Journal of Neuropsychology*, 6(1), 65–78. <https://doi.org/10.1111/j.1748-6653.2011.02005.x>

- Matrisciano, C., Pugliese, E., Forte, P., & D'Anna, C. (2025). Physical Activity and Development of Executive Functions in Developmental Age: A Systematic Review. *Italian Journal of Health Education, Sport and Inclusive Didactics*, 9(2_Sup). https://doi.org/10.32043/gsd.v9i2_Sup.1536
- McGrath, L. M., Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2020). The multiple deficit model: Progress, problems, and prospects. *Scientific Studies of Reading*, 24(1), 7–13. <https://doi.org/10.1080/10888438.2019.1706180>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Möhring, W., Segerer, W., & Grob, A. (2022). Executive functions in children engaging in open- and closed-skilled sports. *Psychology of Sport and Exercise*, 60, Article 102154. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102218>
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81(2), 111–121. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x>
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and alternative assertions* (Vol. 4, pp. 1–18). Plenum Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0629-1_1
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25(1), 46–59. <https://doi.org/10.1002/hbm.20131>
- Passolunghi, M. C., & Cornoldi, C. (2008). Working memory failures in children with arithmetical difficulties. *Child Neuropsychology*, 14(5), 387–400. <https://doi.org/10.1080/09297040701566662>
- Pelegrina, S., Capodieci, A., Carretti, B., & Cornoldi, C. (2015a). Magnitude representation and working memory updating in children with arithmetic and reading comprehension disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 48(6), 658–668. <https://doi.org/10.1177/0022219414527480>
- Pelegrina, S., Lechuga, M. T., García-Madruga, J. A., Elosúa, M. R., Macizo, P., Carreiras, M., Fuentes, L. J., & Bajo, M. T. (2015b). Normative data on the n-back task for children and young adolescents. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 1544. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01544>

- Pesce, C., Masci, I., Marchetti, R., Vazou, S., Sääkslahti, A., & Tomporowski, P. D. (2013). Deliberate play and preparation jointly benefit motor and cognitive development: Mediated and moderated effects. *Frontiers in Psychology*, 7, 349. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00349>
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2015). Developmental dyslexia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 11, 283–307. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032814-112842>
- Petrigna, L., Thomas, E., Brusa, J., Rizzo, F., Scardina, A., Galassi, C., Lo Verde, D., Caramazza, G., & Bellafiore, M. (2022). Does learning through movement improve academic performance in primary schoolchildren? A systematic review. *Frontiers in Pediatrics*, 10, 841582. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.841582>
- Pimperton, H., & Nation, K. (2010). Suppressing irrelevant information from working memory: Evidence for domain-specific deficits in poor comprehenders. *Journal of Memory and Language*, 62(4), 380–391. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2010.02.005>
- Rice, J., Brownlee, T. E., McRobert, A. P., Ade, J., Drust, B., & Malone, J. J. (2022). The association between training load and physical development in professional male youth soccer players: A systematic review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(6), 1488–1505. <https://doi.org/10.1177/17479541221097388>
- Rodríguez-Ayllon, M., Cadenas-Sánchez, C., Estévez-López, F., Muñoz, N. E., Mora-Gonzalez, J., Migueles, J. H., Molina-García, P., Henriksson, H., Mena-Molina, A., Martínez-Vizcaíno, V., Catena, A., Löf, M., Erickson, K. I., Lubans, D. R., Ortega, F. B., & Esteban-Cornejo, I. (2019). Role of physical activity and sedentary behavior in the mental health of preschoolers, children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 49(9), 1383–1410. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01099-5>
- Rodríguez-Ayllon, M., Cadenas-Sánchez, C., Estévez-López, F., Muñoz, N. E., Lubans, D. R., Veisten, J., Tapia-Serrano, M. A., Ortega, F. B., & Esteban-Cornejo, I. (2019). Role of physical activity and sedentary behavior in the mental health of preschoolers, children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 49(9), 1383–1410. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01099-5>
- Ruiz-Hermosa, A., Álvarez-Bueno, C., Cavero-Redondo, I., Martínez-Vizcaíno, V., Redondo-Tébar, A., & Sánchez-López, M. (2019). Active commuting to and from school, cognitive performance, and academic achievement in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1839. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101839>
- Shanmugan, S., & Satterthwaite, T. D. (2016). Neural Markers of the Development of Executive Function: Relevance for Education. *Current opinion in behavioral sciences*, 10, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.007>

- Scherf, K. S., Sweeney, J. A., & Luna, B. (2006). Brain basis of developmental change in visuospatial working memory. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(7), 1045-1058. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.7.1045>
- Schreiber, J. M., Lanham, D. C., Trescher, W. H., Sparks, S. E., Wassif, C. A., Caffo, B. S., Porter, F. D., Tierney, E., Gropman, A. L., & Ewen, J. B. (2014). Variations in EEG discharges predict ADHD severity within individual Smith-Lemli-Opitz patients. *Neurology*, 83(2), 151–159. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000565>
- Scionti, N., Cavallero, M., Zogmaister, C., & Marzocchi, G. M. (2020). Is Cognitive Training Effective for Improving Executive Functions in Preschoolers? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in psychology*, 10, 2812. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02812>
- Simpson, A., Riggs, K. J., Beck, S. R., Gorniak, S. L., & Diamond, A. (2012). Refining the understanding of inhibitory processes: How response prepotency is created and overcome. *Developmental Science*, 15(1), 62–73. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01105.x>
- Singh, B., Schulz, M., & Taylor, P. (2025). Effectiveness of exercise for improving cognition, memory and executive function: A systematic umbrella review and meta-meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 59(12), 866–875. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108589>
- Snyder, H. R., Miyake, A., & Hankin, B. L. (2015). Advancing understanding of executive function impairments and psychopathology: Bridging the gap between clinical and cognitive approaches. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 328. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00328>
- Stillman, C. M., Cohen, J., Lehman, M. E., & Erickson, K. I. (2016). Mediators of physical activity on neurocognitive function: A review at multiple levels of analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 626. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00626>
- Stillman, C. M., Esteban-Cornejo, I., Brown, B., Bender, C. M., & Erickson, K. I. (2020). Effects of exercise on brain and cognition across age groups and health states. *Trends in Neurosciences*, 43(7), 533–543. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2020.04.010>
- Varvara, P., Varuzza, C., Sorrentino, A. C. P., Vicari, S., & Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article 120. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00120>
- Vazou, S., Pesce, C., Lakes, K., & Smiley-Oyen, A. (2016). More than one road leads to Rome: A narrative review and meta-analysis of physical activity intervention effects on cognition in youth. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17(2), 153–178. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2016.1223423>

- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PLOS ONE*, 7(4), Article e34731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731>
- Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes ‘expert’ in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied cognitive psychology*, 24(6), 812-826. <https://doi.org/10.1002/acp.1588>
- Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: A meta-analysis of a dysfunctional imaging literature. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(4), 255–274. <https://doi.org/10.3758/CABN.3.4.255>
- Wang, J.-G., Cai, K.-L., Liu, Z.-M., Herold, F., Zou, L., Zhu, L.-N., Xiong, X., & Chen, A.-G. (2020). Effects of mini-basketball training program on executive functions and core symptoms among preschool children with autism spectrum disorders. *Brain Sciences*, 10(5), Article 263. <https://doi.org/10.3390/brainsci10050263>
- Wen, X., Yang, Y., & Wang, F. (2021). Influence of acute exercise on inhibitory control and working memory of children: A comparison between soccer, resistance, and coordinative exercises. *International Journal of Sport Psychology*, 52(2), 101–119. <https://doi.org/10.7352/IJSP.2021.52.101>
- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: A meta-analytic review. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1336-1346. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.02.006>
- Yang, S., Liu, Z., Xiong, X., Cai, K., Zhu, L., Dong, X., ... & Chen, A. (2021). Effects of mini-basketball training program on social communication impairment and executive control network in preschool children with autism spectrum disorder. *International journal of environmental research and public health*, 18(10), Article 5132. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105132>
- Yeniad, N., Malda, M., Mesman, J., van IJzendoorn, M. H., & Pieper, S. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta-analytical study. *Learning and Individual Differences*, 23, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.10.004>
- Yntema, D. B. (1963). Keeping track of several things at once. *Human Factors*, 5(1), 7–17. <https://doi.org/10.1177/001872086300500102>
- Zelazo, P. D., Anderson, J. E., Richler, J., Wallner-Allen, K., Beaumont, J. L., & Weintraub, S. (2013). II. NIH Toolbox Cognition Battery (CB): Measuring executive function and attention. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 78(4), 16–33. <https://doi.org/10.1111/mono.12032>
- Živković, M., Pellizzoni, S., Mammarella, I. C., & Passolunghi, M. C. (2023). The relationship between math anxiety and arithmetic reasoning: The mediating role of working memory and self-

competence. *Current Psychology: A Journal for Diverse Perspectives on Diverse Psychological Issues*, 42(17), 14506–14516. <https://doi.org/10.1007/s12144-022-02765-0>

- Zonca, S., & Bizzaro, M. L. (2026). What Lies Behind Diagnostic Labels? High Intra-Individual Variability Is the True Cognitive Signature of University Students with Specific Learning Disorders. *Brain Sciences*, 16(4), 404. <https://doi.org/10.3390/brainsci16040404>

RINGRAZIAMENTI

Arrivare alla fine di questo percorso significa fermarsi un momento e guardarsi indietro, ripensando a tutte le persone che, con la loro presenza, il loro affetto e il loro sostegno, hanno reso possibile il raggiungimento di questo traguardo. Questa laurea rappresenta un obiettivo personale, ma non sarebbe stata la stessa senza tutte le persone che mi hanno accompagnato lungo il cammino.

Il primo pensiero va alla mia famiglia, che è sempre stata la mia certezza.

Papà, grazie perché sei stato tu a spingermi a intraprendere questo bellissimo percorso. Hai sempre creduto nelle mie capacità, anche quando magari ero io il primo ad avere dei dubbi, e mi hai trasmesso la voglia di mettermi in gioco e di dare sempre il massimo. Se oggi sono qui, una parte importante del merito è anche tua.

Mamma, grazie per esserci stata ogni giorno. Per avermi sostenuto nei momenti più difficili, per avermi incoraggiato quando ne avevo bisogno e per aver sempre trovato le parole giuste per farmi andare avanti, sapere di poter contare su di te è stata una delle mie più grandi fortune. È anche merito tuo questo traguardo che ho raggiunto.

Un grazie enorme ai miei fratelli, ognuno dei quali, a modo suo, mi ha lasciato qualcosa di importante.

Tommaso, il tuo esempio mi ha mostrato la strada da seguire e ha rappresentato un punto di riferimento durante questi anni.

Matteo, mi hai insegnato che arrendersi non è mai un'opzione. La tua forza e la tua capacità di rialzarti mi hanno ricordato tante volte quanto sia importante non mollare mai.

E poi c'è Alessandro, il più "piccolo". Che con la sua spontaneità e il suo affetto e senza nemmeno rendersene conto, mi ha dato la possibilità di provare a essere una persona e un fratello migliore, qualcuno da cui poter prendere esempio. Spero davvero di riuscire a esserlo.

Un pensiero speciale va ai miei nonni. Anche se oggi non sono qui fisicamente a condividere questo momento, li porto con me ogni giorno. Mi manca poter vedere i loro sorrisi e condividere con loro questa soddisfazione, ma sono certo che, ovunque siano, siano fieri della persona che sono diventato. Tutto ciò che mi hanno insegnato continuerà ad accompagnarmi nel mio cammino.

Grazie anche a tutti gli altri componenti della mia famiglia: zii e cugini, che con il loro affetto, la loro vicinanza e la capacità di rendere speciale ogni occasione fanno della nostra una famiglia meravigliosa. Sapere di appartenere a un gruppo così unito è qualcosa che considero un'enorme fortuna.

E infine, ma davvero non per importanza, un pensiero va alla mia nipotina Anna. Ogni volta che la vedo riesce a strapparmi un sorriso e a rendere più leggere anche le giornate più pesanti. La sua spensieratezza è un promemoria di quanto sia bello trovare felicità nelle cose più semplici.

Un grazie sincero va anche ai miei compagni di viaggio in questi anni universitari, Claudio e Leonardo. Abbiamo condiviso lezioni interminabili, sessioni d'esame, momenti di stress e tante soddisfazioni. Aver affrontato questo percorso insieme lo ha reso sicuramente più bello e meno difficile. Oltre ad aver trovato due ottimi compagni di studio, ho avuto la fortuna di conoscere due persone straordinarie, che spero continueranno a far parte della mia vita anche al di fuori dell'università.

Infine, un grazie speciale al mio gruppo di amici, gli "Indecisi": Simone, Emanuele e Riccardo. Ci siete sempre stati, nei momenti belli e in quelli più complicati. Avete saputo sostenermi, farmi ridere quando ce n'era bisogno e, soprattutto, dirmi sempre ciò che pensavate con sincerità, anche quando non era quello che volevo sentire. La vostra amicizia è una delle certezze più importanti della mia vita e sapere di poter contare su di voi è qualcosa che non darò mai per scontato.

Desidero ringraziare la Prof.ssa Elisa Bisagno e la Dott.ssa Martina Basciano per la disponibilità, la professionalità e il costante supporto dimostrati durante la realizzazione di questa tesi. I loro consigli e la loro guida sono stati fondamentali per il raggiungimento di questo traguardo.

Concludo questi ringraziamenti con una semplice parola che racchiude tutto ciò che provo: grazie.

Grazie a tutti coloro che hanno fatto parte di questo percorso e che forse ho dimenticato di nominare, perché ogni incoraggiamento, ogni consiglio, ogni gesto e ogni momento condiviso hanno contribuito, in un modo o nell'altro, a farmi arrivare fin qui. Questa laurea porta il mio nome, ma dentro ci sono anche un po' di tutti voi.