

L'attività fisica correlata alle funzioni esecutive: studi e applicazioni in ambito scolastico

Physical activity related to executive functions: studies and applications in the scientific field

Valentina Biino¹

Sintesi

Sono molteplici i vantaggi derivati dalla pratica dell'attività fisica nei bambini. I benefici includono la salute fisica, cognitiva e socio affettiva. Questo articolo presenta linee di ricerca e applicazioni di modelli di attività motoria con ricadute sulle funzioni cognitive e sui prerequisiti utili ai risultati scolastici. Tra questi modelli, incentrati non solo sulla quantità raccomandata, ma anche sugli aspetti qualitativi della pratica motoria, sono compresi i giochi di movimento che possono trovare un'utile applicazione nel contesto scolastico. Le ricerche mettono in luce alcune aree maggiormente investigate ed evidenziano l'importanza della relazione tra movimento e attività di ideazione, all'interno della quale l'uso del gioco deve essere visto come un processo e non come un fine.

Parole chiave: Infanzia; Attività fisica; Funzioni esecutive; Gioco motorio; Sviluppo.

Abstract

The practice of physical activity in children has several advantages. Benefits include physical, cognitive and socio-affective health. This article presents research lines and applications of models of physical activity with consequences for the cognitive functions and the prerequisites which are conducive to school results. Among these models, which focus not only on the recommended quantity, but also on the quality aspects of motor practice, there are movement games which can find a useful application in schools. The research work highlights some areas which are more investigated and underlines the importance of the relationship between movement and ideation, in which the use of games must be seen as a process rather than a goal in itself.

Keywords: Childhood, Physical activity; Executive Functions; Movement game; Development.

1. Università di Verona, Dipartimento di Neuroscienze, Biomedicina e Movimento, valentina.biino@univr.it

1. Introduzione

L'attività fisica nei bambini durante tutta l'infanzia include gioco, esercizio strutturato e pratica sportiva. Per questa fascia di età le linee guida raccomandano di praticare almeno 60 minuti al giorno di attività fisica di intensità da moderata a vigorosa (World Health Organization, 2016), che significa un'attivazione energetica all'incirca di tre volte quella a riposo. L'American Academy of Pediatrics incoraggia i bambini a impegnarsi in attività interattive che promuovano il parlare, giocare, cantare e leggere. Qual è il messaggio generale? L'infanzia si può definire con l'espressione "sampling years" (Kirk, 2005), "anni campione", durante i quali i bambini dovrebbero partecipare a una grande quantità e qualità di attività, che abbiano alla base sempre e comunque il divertimento. I bambini sono curiosi e attratti dai giochi che portano a sfide e a problemi da risolvere (Tomporsky *et al.*, 2015): usano la mente per utilizzare semplici oggetti, dare vita a mondi o situazioni e volerli a loro piacimento, ricercando un continuo equilibrio tra quello che il gioco richiede e le loro abilità fisiche e mentali. Tale è il gioco spontaneo; esso determina nel bambino uno stato psicologico definito "stato di flusso", che lo cattura in ciò che sta facendo (Csikszentmihalyi, 1978). La motivazione a perseverare, che deriva da questa esperienza di flusso, non è correlata a ricompense esterne, ma piuttosto a emozioni generate intrinsecamente (Tomporsky *et al.*, 2015). Il passaggio dal gioco libero al gioco a regole e dalla destrutturazione alla strutturazione delle attività è una fase impor-

tante dello sviluppo mentale. Per facilitare questo passaggio, gli insegnanti dovrebbero offrire esperienze di apprendimento che mantengano le caratteristiche peculiari del gioco libero, ma che vadano nel contempo nella direzione di attività organizzate e orientate all'obiettivo. In quale modo? Occorre che le proposte, appropriate all'età, allo sviluppo delle capacità motorie fondamentali e allo sviluppo cognitivo dei bambini, garantiscano situazioni di sfida e di *problem solving*, quali quelle tipiche del gioco spontaneo.

Ricerche iniziali sulla metacognizione, cioè la consapevolezza dei bambini rispetto a ciò che conoscono e come lo possano usare (Bransford *et al.*, 1999), e le ricerche attuali sulle Funzioni Esecutive evidenziano l'importanza della promozione del *transfer* (Diamond & Lee, 2011). La psicologia dell'educazione è stata per molto tempo interessata al *transfer*, inteso come il grado in cui un apprendimento relativo a un contesto possa essere usato in un altro contesto. Recentemente si è evidenziato un notevole interesse sullo sviluppo delle abilità cognitive del bambino attraverso i giochi e le esperienze ludiche. L'indagine si è focalizzata in particolare sulla possibilità del "trasferimento" in altre aree di apprendimento (Diamond & Lee, 2011). La potenzialità del *transfer* nei giochi basati sull'attività motoria è intrinseca alla loro natura. Il gioco di movimento è fondato sulla comprensione, non sulla memorizzazione di regole e più il bambino organizza e ristruttura esperienze di apprendimento, maggiore sarà il *transfer*. I giochi di movimento promuovono la conoscenza astratta, ovvero situazioni generali e strategie che potran-

no essere usate in differenti contesti. Inoltre danno vita a occasioni di sfida che i bambini dovranno affrontare, sfida cognitiva che, per inciso, dovrebbe sempre essere incrementale (Diamond, 2013) e allo stesso tempo adeguata al livello di sviluppo di abilità del bambino (Pesce *et al.*, 2013). Le situazioni di sfida cognitiva e di *problem solving* agiscono sul nucleo centrale delle funzioni esecutive (Executive Function, EFs), che si sviluppano in diversi momenti della vita e hanno inizio durante l'età prescolare. Tutte le EFs sono già presenti in qualche grado nei bambini. I giochi di movimento ne aumentano l'efficienza e l'efficacia e promuovono l'abilità dei bambini di controllare i loro pensieri e le loro azioni, in quanto pensiero e movimento condividono le medesime aree cerebrali.

L'attività fisica è ampiamente considerata un metodo per migliorare sia la salute fisica che le funzioni cognitive (Donnelly *et al.*, 2016). L'esercizio fisico di routine invece comporta adattamenti fisiologici sia al corpo che al cervello, ma i suoi effetti sull'elaborazione mentale e sul funzionamento esecutivo sono incerti (Tomprowsky *et al.*, 2019). Lo scopo di questo studio è di analizzare, sulla base della letteratura contemporanea esistente, quali siano le tipologie di attività fisica che hanno i maggiori effetti sia sullo sviluppo motorio che cognitivo e di chiarire la relazione tra esercizio fisico e cognizione, al fine di intravedere metodi didattici che ottimizzino la sfida fisica e mentale che fornisce le condizioni necessarie per apprendimenti duraturi e di qualità nei bambini in età scolare.

2. Funzioni esecutive e movimento

Le Funzioni esecutive vengono definite come la capacità di pensare prima di agire, di trattenere nella mente informazioni e saperle gestire e utilizzare, di riflettere sulle possibili conseguenze delle proprie azioni e saper autoregolare i comportamenti. Rappresentano l'insieme dei processi mentali necessari quando bisogna concentrarsi e prestare attenzione (Diamond, 2013). In ambito scientifico esiste una forma di accordo generale che individua un nucleo centrale costituito da tre EFs fondamentali (Lehto *et al.*, 2003, Miyake *et al.*, 2000):

- inibizione (controllo inibitorio, incluso l'autocontrollo e il controllo delle interferenze, attenzione selettiva e inibizione cognitiva);
- memoria di lavoro;
- flessibilità cognitiva, detta anche flessibilità mentale, strettamente legata alla creatività.

A partire da queste EFs si costruiscono il ragionamento, la risoluzione dei problemi e la pianificazione delle azioni. Le EFs sono abilità essenziali per la salute mentale e fisica, per il successo formativo a scuola e poi nella vita, per lo sviluppo cognitivo, sociale e psicologico dell'individuo (Diamond, 2014). Attualmente sono considerate ancor più importanti per la prontezza scolastica di quanto lo sia il quoziente intellettivo. Le EFs influenzano positivamente ambiti disciplinari quali la matematica e la performance di let-

tura (Blair & Razza, 2007) e sono essenziali per un apprendimento di qualità. Studi recenti sull'effetto dell'esercizio acuto e cronico hanno mostrato come i bambini migliorino il proprio funzionamento cognitivo dopo aver svolto attività fisica programmata a scuola (Mavilidi *et al.*, 2015; Egger *et al.*, 2019). Alla base di ciò risiede il fatto che le richieste motorie attivino le stesse regioni del cervello che sono usate per controllare i processi cognitivi di ordine superiore, ovvero ragionamento, pianificazione e *problem solving* (Best *et al.*, 2010; Pesce *et al.* 2012; Tomporowsky *et al.*, 2015; Diamond, 2011). L'attivazione di queste specifiche regioni, attraverso la partecipazione a esercizi a richieste cognitive, induce benefici nei circoscritti settori del funzionamento cognitivo (Pesce, 2012; Pesce, 2016), rendendo i bambini in grado di migliorare i propri risultati in compiti come la lettura o in lavori che richiedano attenzione o memoria (Tomporowski, 2003, Budde *et al.*, 2008; Hillman *et al.*, 2009; Pesce *et al.*, 2009), confermando che la pratica dell'attività motoria può avere ricadute positive in classe. I bambini rispondono più velocemente e con maggiore accuratezza a una varietà di compiti cognitivi, come ad esempio alla richiesta di memoria, di attenzione o ai tempi di latenza necessari a fornire una risposta, dopo aver partecipato a una sessione di attività fisica. Il tempo trascorso impegnato nel movimento sembra legato, quindi, non solo a un corpo più sano, ma anche a uno sviluppo cognitivo arricchito, perché i benefici che derivano dall'attività fisica sono correlati a miglioramenti dell'integrità della struttura e della funzione del cervello, che stanno alla base delle prestazioni scolastiche.

Il movimento, eseguito con pensiero intenzionale e non solo con automatismo, attiva ora l'una e ora l'altra zona del cervello. Il movimento che richiede attivazione e attenzione da parte dell'individuo determina delle modificazioni nei neuroni cerebrali che controllano le capacità cognitive e dà avvio a nuove reti neurali. Durante lo sviluppo che va dall'infanzia all'età adulta si assiste a differenti tipi di esperienze motorie: modelli grosso motori, ovvero di coordinazione globale del corpo, padronanza di variabile complessità del movimento nell'attività fisica spontanea, esperienze di sport. Ebbene: tutte le forme del movimento umano hanno mostrato di interessare cognizione e apprendimento. In letteratura, due principali linee di ricerca si sono interessate alla connessione tra attività fisica, cognizione e apprendimento: una linea di ricerca riguarda l'esercizio e la cognizione (Pesce *et al.*, 2009; Mierau *et al.*, 2014), l'altra la cognizione incorporata (Mavilidi *et al.*, 2015; Egger *et al.*, 2019). La ricerca sull'esercizio e la cognizione è prevalentemente riferita ai cambiamenti che avvengono nel cervello, dovuti agli interventi di esercizio fisico, ovvero a singoli interventi (esercizio acuto) o a multipli interventi (esercizio cronico), enfatizzando l'importanza di praticare l'attività fisica e lo sport oltre che per i benefici legati alla salute fisica, anche per quelli relativi allo sviluppo cognitivo. La ricerca sulla cognizione incorporata si focalizza invece sulla spiegazione cognitiva dei movimenti e sull'assunzione che il cervello si sia sviluppato per il controllo dell'azione (Kozioł *et al.*, 2012); una "rivoluzione copernicana" basata sull'ipotesi

che il cervello si sia sviluppato per il controllo dell'azione, piuttosto che per la cognizione per sé, come se non fossimo nati per pensare, ma per camminare e correre (Bramble & Lieberman, 2004; Campos *et al.*, 2000). Questo cambiamento paradigmatico vede la cognizione come azione subordinante fondata nell'interazione sensorio-motoria (Engel *et al.*, 2013).

3. Collegamento tra attività fisica e attività cognitiva

Le ricerche sull'esercizio fisico e la cognizione condotte da neuroscienziati negli ultimi due decenni hanno fatto luce su come attività fisica ed esercizio possano modificare parti del cervello umano. L'attività fisica (PA) è stata associata alla vitalità cognitiva e ha radici in anni di ricerca interessata a comprendere come l'esercizio fisico possa ridurre il declino nel funzionamento cognitivo collegato all'età, riconoscendo una riduzione dei rischi legati all'invecchiamento, negli anziani che praticano attività fisica (Ruchika Shaurya Prakash, "Physical Activity and Cognitive Vitality"). Solo nell'ultima decade gli studi si sono spostati nella direzione di più giovani popolazioni, quindi su bambini e adolescenti e sullo sviluppo del cervello (Khan & Hillman, 2014; Pesce & Ben-Soussan, 2016).

Il miglioramento della vitalità cognitiva e i benefici per le attività supportate dalla corteccia prefrontale e dall'ippocampo sono legati all'evidenza della plasticità cerebrale, che rimane tale durante tutto il corso della vita. Nei bambini, in particolare, i cambiamenti

nelle strutture cerebrali modificano il modo di pensare e di comportarsi (Tompson *et al.*, 2015). Quattro strutture del cervello sono influenzate dall'attività fisica: il cervelletto, la corteccia motoria, la corteccia prefrontale e l'ippocampo.

Il cervelletto è una grande struttura del sistema nervoso centrale, attiva nel creare modelli precisi di movimento e fondamentale nel controllo del gesto e nell'apprendimento di nuove abilità.

La corteccia motoria è un'area rilevante della corteccia cerebrale che invia comandi di controllo ai muscoli coinvolti nel movimento.

La corteccia prefrontale è un'area del cervello che consta di reti neuronali che fungono da parte esecutiva del cervello. Essa è coinvolta nella consapevolezza di ciò che sta accadendo, nel recupero delle informazioni immagazzinate nella memoria e nella formulazione di piani d'azione.

L'ippocampo è una struttura localizzata profondamente nel cervello, che gioca un ruolo importante nella memoria e nell'apprendimento.

Sebbene il 95% delle dimensioni del cervello sia raggiunto all'età di 6 anni, la corteccia prefrontale è sottoposta a uno dei più lunghi periodi di sviluppo rispetto a qualsiasi altra regione del cervello: ci vogliono due decenni per raggiungere la completa maturità (Giedd *et al.*, 1999; Lenroot & Giedd, 2006; Khan & Hillman, 2014). Ciò significa che anche le esperienze in età adolescenziale sono funzionali ai cambiamenti del cervello e allo sviluppo delle EFs. Nello specifico, le regioni responsabili delle funzioni primarie come il sistema motorio e sensoriale maturano prima rispetto

a regioni collegate a più alti ordini di associazioni. Dato che le ultime regioni cerebrali che si sviluppano sono collegate con quelle primarie, l'opinione è che le EFs siano cruciali per la salute mentale e fisica, il successo accademico, cognitivo, sociale e lo sviluppo psicologico (Diamond, 2013).

Molti studi hanno dimostrato il collegamento tra il tempo che i bambini impiegano nell'educazione fisica e le loro performance scolastiche e accademiche (California Department di Educazione, 2005; Carlson *et al.*, 2008; Chomitz *et al.*, 2009). Il primo studio che ha mostrato chiaramente che l'esercizio cronico migliora le EFs dei bambini e modifica le funzioni del cervello fu condotto da Cathrine. L. Davis e colleghi nel 2011 negli Stati Uniti, in Georgia. Lo studio mosse dall'evidenza che Le EFs apparivano ancora più sensibili, rispetto ad altri aspetti della cognizione, dopo un lavoro centrato sull'esercizio aerobico (Colcombe & Kramer, 2003).

Fino a quel momento questa ipotesi sembrava confermata solo dalle prestazioni degli adulti più anziani, nei quali i compiti esecutivi da esercizio fisico portavano a corrispondenti aumenti dell'attività della corteccia prefrontale (Colcombe *et al.*, 2004; Kramer *et al.*, 1999). L'interesse parallelo sullo sviluppo del cervello creò il contesto per uno studio sull'effetto dell'esercizio sulle EFs ottenuto anche nei bambini. Le ricerche che hanno utilizzato compiti cognitivi che richiedevano EFs hanno mostrato benefici dall'esercizio fisico, diversamente da quelli che avevano utilizzato misure meno sensibili (Davis, 2011). Fino a quel momento era affermato che chi praticava attività fisica aveva anche migliori

risultati accademici (Coe *et al.*, 2006), tanto che bambini con buoni livelli di fitness avevano migliori risultati accademici rispetto a bambini sovrappeso che avevano invece risultati peggiori (Shore *et al.*, 2008; Castelli *et al.*, 2007; Taras & Potts-Datema, 2005; Datar *et al.*, 2004). Tutto questo aveva consentito di rivalutare l'importanza dell'attività fisica che, praticata a scuola, non solo non sottraeva tempo in classe, ma migliorava il rendimento scolastico dei bambini. Questo studio ha fornito informazioni su un risultato educativo inaspettato, dimostrando quanto l'attività fisica, oltre a rivelarsi importante per mantenere uno stato di peso normale e ridurre i rischi che un'alterazione anormale dello stesso può provocare sulla salute, può rappresentare un metodo semplice e naturale per migliorare gli aspetti mentali del bambino, centrali per il suo sviluppo cognitivo. Queste informazioni avrebbero potuto convincere gli educatori a rendere effettiva una vigorosa e sistematica attività fisica a scuola (Davis *et al.*, 2011).

L'esperimento di Cathrine Davis rese l'evidenza del maggior beneficio tratto dall'attività fisica per i bambini sovrappeso, spesso sedentari.

La prima ipotesi di questo studio consisteva nel verificare se i bambini sovrappeso, praticanti esercizio aerobico, avrebbero migliorato maggiormente nelle EFs rispetto ai bambini sovrappeso nella condizione di controllo. I requisiti di inclusione per partecipare allo studio erano che i bambini avessero un'età compresa tra i 7 e gli 11 anni, che fossero sovrappeso ($\geq 85^{\circ}$ percentile) (Ogden *et al.*, 2002), e che avessero un indice di massa corporea (BMI) di $26.0 \pm 4.6 \text{ kg/m}^2$.

In uno studio randomizzato i bambini furono assegnati casualmente al tipo di esercizio. In questo caso la randomizzazione era stata stratificata per etnia e sesso in modo che ci fosse un numero equilibrato di bambini bianchi, di bambine bianche, di bambini neri e di bambine nere. I tre gruppi prevedevano l'esercizio aerobico di basso dosaggio (20 minuti al giorno), l'esercizio aerobico di alto dosaggio (40 minuti al giorno) e il gruppo di controllo senza pratica di esercizio fisico.

L'enfasi dell'esercizio aerobico era sull'intensità, il divertimento e la sicurezza. Non si cercavano situazioni di competizione o di miglioramento delle abilità motorie. L'esercizio aerobico consisteva in giochi di corsa, salto della funicella, basket e calcio modificati. La frequenza cardiaca era fissata a una media superiore a 150 battiti al minuto, alla quale faceva sempre capo un inizio graduale di esercizi di riscaldamento di 5 minuti e una conclusione con un defaticamento cardiovascolare e stretching statico di altri 5 minuti.

La cognizione era stata valutata attraverso un test cognitivo che valutava la capacità di pianificazione (con alto indice di affidabilità, $r=.88$) e di attenzione (Das *et al.*, 1994; Naglieri, 1999) pre e post. Il rendimento scolastico dei bambini era stato misurato attraverso i Woodcock Johnson Tests (2001).

I risultati dello studio avevano mostrato una differenza significativa tra il gruppo di controllo e i gruppi di bambini che avevano praticato esercizio fisico, dimostrando una correlazione positiva tra la dose di esercizio e la risposta esecutiva: i bambini che avevano praticato 40 minuti di attività fisica avevano punteggi maggiori nella capacità di pianificazione rispetto ai bambini che ne avevano svolti solo 20 e avevano ottenuto punteggi ancor maggiori rispetto al gruppo che non aveva praticato alcun esercizio fisico. Lo stesso beneficio era stato trovato tra la dose dell'esercizio fisico e la risposta nel compito di matematica, come mostra il grafico della Fig. 1.

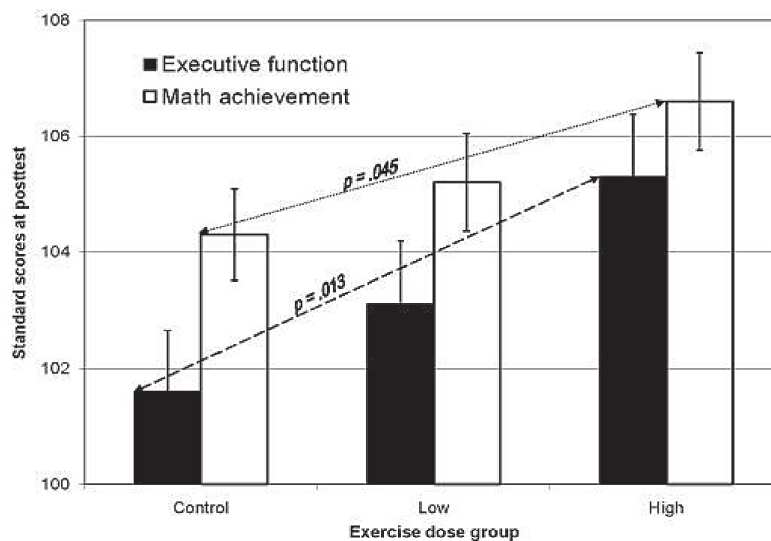


Fig. 1 - Funzione esecutiva indagata (pianificazione); i risultati dei test post di matematica nei tre gruppi mostrano gli effetti della dose-risposta del programma di esercizi aerobici (Davis *et al.*, 2011).

Questo studio ha testato l'effetto dell'esercizio aerobico regolare sulla funzione esecutiva in bambini sedentari e sovrappeso, dimostrando che l'esercizio aerobico ha migliorato le loro funzioni cognitive e i loro risultati in matematica, attestando, attraverso la risonanza magnetica, che durante il programma di esercizi aumentava l'attività della corteccia prefrontale.

Da quel momento studi sistematici ricercano la miglior dose dell'esercizio fisico alla risposta delle funzioni esecutive, percorrendo una strada che attesta gli effetti degli interventi di attività fisica sulle funzioni cognitive anche durante l'infanzia, oltre che in età adulta e senile.

Tuttora sono affermati dall'intera comunità scientifica gli effetti dell'attività fisica (Physical Activity, PA) sulla salute cardiovascolare e sulla prevenzione dell'obesità, così come i benefici della stessa sul miglioramento delle EFs e sulla migliore attività del cervello (Kramer *et al.*, 1999; Colcombe *et al.*, 2004).

Molti studi hanno mostrato effetti positivi dell'esercizio fisico sulla cognizione nei bambini (Krafft *et al.*, 2014; Voss *et al.*, 2009), sia nell'immediato che nei vari tempi, settimane o anni (Audiffren, 2009). Infatti, sia l'esercizio acuto che quello cronico producono cambiamenti e influenzano i processi di pensiero. L'esercizio acuto produce effetti temporanei sui processi cognitivi; per esempio un singolo intervento di attività fisica, prodotto da esercizio acuto, determinato da un lavoro aerobico intenso, può determinare attivazione psicologica, facilitando le disponibilità delle risorse di attenzione (Best, 2012), così come può migliorare le performance cognitive, attivando

risposte neurochimiche (Best, 2010; Tomporowsky, 2003; Brisswalter *et al.*, 2002; Chang *et al.*, 2012; Hillman *et al.*, 2003). L'esercizio cronico, come l'allenamento in una pratica sportiva o la partecipazione costante a una o più pratiche motorie, produce cambiamenti strutturali nel cervello del bambino, oltre che migliorarne lo stato di fitness; genera cambiamenti morfologici funzionali nelle strutture del cervello, fondamentali per l'apprendimento e la memoria. In generale la PA può migliorare i processi cognitivi in relazione alla velocità degli stessi e aumentare la quota di risorse attentive durante la decodifica di uno stimolo (Hillman *et al.*, 2003; Erickson *et al.*, 2015). Quindi, maggiore sarà la PA, più alti saranno i livelli di fitness e più alta sarà l'efficienza neurale e la materia grigia nell'ippocampo. A questo punto è importante definire e distinguere ciò che si intende per *attività fisica*, *esercizio* e *fitness fisica*.

4. Quantità *versus* qualità dell'attività fisica

Le definizioni di attività fisica, esercizio e fitness fisica, sono fornite dal Centro di Controllo e prevenzione per le Malattie (2017), in questa versione sono distinte molto bene *attività fisica* ed *esercizio* da *fitness fisica*.

All'attività fisica è attribuito l'insieme dei movimenti prodotti dalla contrazione dei muscoli scheletrici che determina un aumento della spesa energetica sopra al livello basale. L'esercizio è descritto come una sub categoria dell'attività fisica, pianificato, strutturato e ripetitivo, con l'obiettivo di aumentare o man-

tenere una o più componenti di fitness fisica, di performance fisica o di salute. La fitness fisica invece è considerata come la capacità di svolgere quotidianamente compiti con vigore e prontezza, senza fatica e con grande energia, per godersi le attività del tempo libero e rispondere alle emergenze impreviste della vita. Essa è data da molte componenti quali la resistenza cardio-respiratoria (potenza aerobica), la forza muscolo-scheletrica, la resistenza e la potenza muscolo-scheletrica, la flessibilità, l'equilibrio, la velocità di movimento, il tempo di reazione e la composizione corporea. Finora si sono usati i termini attività fisica ed esercizio per etichettare le attività prevalentemente di natura grosso motoria, utili all'aumento della spesa energetica per il raggiungimento di un livello di attivazione superiore a quello basale. Ma la pratica motoria per i bambini dovrebbe articolarsi in esercizio quantitativo e qualitativo, ovvero prevedere attività sia grosso motorie che di motricità fine, utili al raggiungimento della competenza motoria che può servire al guadagno nella fitness fisica.

Eppure le raccomandazioni per l'attività fisica nell'età scolare mantengono il focus particolarmente sulle componenti correlate alla salute: capacità aerobiche, forza muscolare, resistenza muscolare, flessibilità e indice di massa corporea (BMI), parametri che rimandano alla necessità di individuare una dose giornaliera di movimento, tale da predire condizioni di salute e benessere. Molte raccomandazioni nazionali e internazionali forniscono indicazioni dettagliate in merito alla quantità di attività fisica di questo tipo, chiamata, nell'ambito delle scienze motorie,

condizionamento fisico, determinato dalle capacità condizionali dell'individuo di esprimere resistenza, forza, velocità e mobilità articolare (Mainel & Schnabel, 1998). In particolare, le linee guida per gli americani del 2008 definiscono la durata, la frequenza e l'intensità dell'esercizio fisico quotidiano con raccomandazioni generali per attività di potenziamento muscolare. L'organizzazione mondiale della sanità (WHO) riprende in maniera simile le indicazioni per l'attività aerobica, ma non quelle relative alla forza muscolare; le linee guida dell'associazione nazionale per lo sport e l'educazione fisica per bambini e giovani dai 5 ai 12 anni raccomandano almeno 60 minuti di attività fisica giornaliera ogni settimana, ma non parlano di attività di forza muscolare. È evidente come queste raccomandazioni si riferiscano comunque a un unico aspetto delle capacità motorie, quello condizionale, concordando sulla dose di attività fisica, ovvero su quei sessanta minuti al giorno di attività da moderata a vigorosa. Eppure, si è verificato un decremento misurabile in forza muscolare e performance nelle abilità motorie nei bambini (Vandorpe, 2011), concomitante all'aumento del sovrappeso e dell'obesità tra i giovani (Myer, 2015). Il test di valutazione del trend di involuzione secolare delle capacità di fitness dei bambini mostra risultati sempre più bassi. Stando ai risultati emersi, sembra quasi che il mantenimento dei livelli di fitness per i bambini non rappresenti una delle loro priorità e che l'esercizio fisico basato sull'attività aerobica non sia quello prediletto dai bambini. Cosa c'è che non piace ai bambini dell'esercizio aerobico e di questi 60 minuti al giorno di attività da moderata a vigorosa?

Rimane evidente come le attuali linee guida siano troppo generiche per una popolazione di bambini così stratificata e trascurino la necessità di sviluppare le abilità motorie fondamentali e il potenziamento della forza muscolare (Myer, 2015), necessario per sentirsi competenti nella pratica delle abilità motorie (Vandorpe, 2011; Faigenbaum, 2012) ed eseguirle con vigore e sicurezza. Nessuna delle linee guida attualmente più importanti si sofferma sulla necessità di inserire lo sviluppo delle abilità motorie nella programmazione degli esercizi per bambini e giovani; eppure, l'infanzia rappresenta l'età d'oro per l'apprendimento di tali capacità (Weineck, 2010); lo sviluppo del cervello e la neuroplasticità che caratterizzano l'infanzia, la preadolescenza e la prima adolescenza possono essere un'ottima opportunità per l'apprendimento delle abilità motorie.

Una volta che i neuroni si costituiscono nelle zone del cervello geneticamente codificate, iniziano a sviluppare reti e rafforzare connessioni tra loro e questo succede in tutto il corso della vita: infanzia, adolescenza ed età adulta. Abbiamo visto come la corteccia prefrontale subisca uno dei più lunghi periodi di sviluppo rispetto ad altre zone del cervello: ci vogliono ben due decenni per raggiungere la completa maturità. L'abbondanza dei neuroni, tuttavia, non dura per tutta la vita e per di più sottostà a una legge che li obbliga all'attività. Infatti, i neuroni che fanno connessione con altri vivono e diventano parte di una rete, mentre quelli che non ci riescono, muoiono. La legge dell'"usalo o perdilo" può essere importante nell'ambito dello sviluppo cognitivo. Lo sviluppo del cervello durante l'infanzia è

legato al tempo in cui i bambini si dedicano ad attività sfidanti e di *problem solving*, che sono quelle, per natura, preferite dal bambino. Il cervello in via di sviluppo decide di utilizzare e rafforzare i percorsi più stimolati e usati, e di "abbandonare" quelli non tenuti in allenamento; la preadolescenza, poi, può fornire un'occasione per migliorare e mantenere le capacità di movimento fondamentali di lunga durata, che altrimenti verrebbero cancellate. Si presume che l'apprendimento avvenuto dopo il periodo adolescenziale si verifichi tramite una ricombinazione delle connessioni neuronali, assionali e sinaptiche e che lo sviluppo cerebrale legato alla crescita abbia un impatto lungo l'intero corso della vita sulla capacità di una persona di allenarsi e apprendere nuove abilità motorie. Sotto questa luce, la combinazione di attività fisica e impegno cognitivo si rivela essere tanto più importante quando avviene al più presto nella vita, poiché la riserva fornisce risorse in età avanzata (Neurogenetic Reserve Hypothesis, Kempermann, 2008): le esperienze che i bambini compiono durante il periodo di espansione neuronale aiutano a selezionare quali neuroni vivranno e se vivranno.

La teoria classica dello sviluppo motorio collega le relazioni tra connessioni neurali e schemi di movimento, ma è fondamentale che le attività siano caratterizzate da diverse tipologie di giochi, sport e attività fisiche mirate e strutturate appositamente per l'apprendimento delle abilità motorie, e che vengano proposte durante l'infanzia. Gli ambienti arricchiti con questo tipo di formazione multidisciplinare possono aiutare i bambini a superare carenze genetiche e aiutare i giovani in età

scolare a raggiungere un livello di competenza addirittura superiore al proprio potenziale iniziale (Tomprowsky *et al.*, 2015).

Nonostante l'evidente positiva relazione tra esercizio aerobico, fitness fisica, cognizione e risultati accademici finora discussi, rimane oggettivo l'aspetto quantitativo del movimento (tipo, frequenza e durata) e non enfatizzato quello qualitativo, ovvero: complessità del compito, natura coordinativa dello stesso, diversità e varietà dell'esercizio, attivazione emozionale, selezione di strategie e risposte motorie. Recentemente la ricerca ha iniziato a spostare il focus dalla quantità alla qualità del movimento (Pesce *et al.*, 2012), basandosi sull'idea che la varietà dell'attività fisica non può solo differire in intensità, durata e frequenza, ma anche, per esempio, in complessità coordinativa e cognitiva. Alla base di ciò risiede il dato che le richieste coordinative e non automatiche attivano le stesse regioni del cervello che sono usate per controllare gli alti processi cognitivi (Best *et al.*, 2010; Pesce *et al.*, 2012; Tomprowsky *et al.*, 2015).

5. Gioco e Funzioni esecutive

La ricerca scientifica sull'esercizio e la cognizione ha messo in luce l'affascinante correlazione tra physical fitness e cognizione e ha offerto un nuovo scenario per la capitalizzazione degli effetti dell'attività fisica sullo sviluppo cognitivo. Gli studi che hanno indagato la natura di questi risultati hanno prediletto un tipo di protocollo di attività fisica basata sull'esercizio aerobico. Ancora oggi è cruciale capire quanto esercizio fisico bisogna fare per avere

il massimo beneficio cognitivo; ed è altrettanto evidente che la presunta e diffusa credenza di ritenere la natura dei bambini caratterizzata da comportamenti fisicamente attivi non sia poi così fondata, visto i dati relativi alla precoce inattività in età giovanile (Faigenbaum, 2012). Diamond (2013) ha sottolineato un aspetto qualitativo importante relativo al movimento, affermando che, per raccogliere benefici per lo sviluppo del cervello e delle funzioni esecutive, l'attività fisica deve essere sfidante, carica emozionalmente e socialmente, ed enfatizzare il ruolo giocato dalla richiesta metabolica di un'attività di tipo vigoroso. Queste caratteristiche sono le più coerenti con il modo in cui i bambini si muovono durante il loro tempo libero: rispettano la loro natura caratterizzata da brevi momenti di significativa attività fisica, intervallata a momenti di riposo.

Il gioco di movimento ha in sé tutte queste caratteristiche. La ricerca contemporanea su esercizio e cognizione ipotizza che un arricchimento degli interventi dell'attività fisica con sfide coordinative e cognitive, incorporata in attività giocose, potrebbe avere risultati positivi sulle EFs, oltre che miglioramenti in risultati di coordinazione motoria (Pesce *et al.*, 2016). Introducendo l'ingrediente "divertimento" poiché attenzione, regolazione emotiva e feedback prodotto dalla reazione/risposta sono strettamente intrecciati con il movimento corporeo (Pesce & Ben-Soussan, 2016), gli interventi diventano adeguati al bambino, aiutano così lo sviluppo della funzione esecutiva e sono considerati tanto più adatti quanto più le sfide cognitive vengono incanalate in attività giocose, cariche di emozioni (Diamond & Lee, 2011).

Un modo per assicurare questi requisiti è trovare e mantenere l'equilibrio appropriato tra ripetizione e cambiamento. Ai bambini si dovrebbero offrire esperienze di PA nelle quali, dopo che è stato raggiunto un dato livello di stabilità, si ingenera destabilizzazione, modificando le regole o l'ambiente, per promuovere le transizioni dai vecchi ai nuovi modelli di coordinazione e strategie di movimento (Tomprowski, McCullick & Pesce, 2015). I giochi di movimento offrono questo contesto. Essi enfatizzano il ruolo del carico cognitivo nel programma del gioco, declinandolo in una tipica proposta metodologica in relazione alla specifica funzione esecutiva considerata. In tal senso, dalle tre funzioni esecutive del nucleo fondamentale derivano tre principi che l'insegnante può esperire, che definiscono tre grandi aree di giochi ad impegno cognitivo:

- giochi ad interferenza contestuale per stimolare l'inibizione alla risposta;
- giochi di controllo per stimolare la memoria di lavoro mentale;
- giochi di scoperta per enfatizzare la flessibilità.

Le EFs sono connesse tra loro; in realtà è difficile definire i giochi che sfidano una specifica funzione esecutiva eludendone un'altra, perché esse sono interconnesse. Tutto il nucleo delle EFs è influenzato da giochi ed esperienze che sfidano le abilità del bambino a inibire comportamenti, pensare a come risolvere problemi e pianificare azioni.

Nel gioco di movimento l'inibizione è quella funzione esecutiva che fa fermare un'azione in corso, perché la situazione sta cambiando, e fa modificare il comportamento in modo

funzionale alla situazione; «è l'inibizione di soluzioni stabilizzate e routinarie per favorire la ricerca creativa di nuove soluzioni a problemi motori emergenti» (Pesce, 2016).

Due misure di inibizione della risposta ampiamente utilizzate sono i compiti go/no-go e stop-signal. Essi sono diversi da altre misure in quanto i partecipanti non inibiscono una risposta per sceglierne un'altra, semplicemente inibiscono una risposta per non fare nulla. Simpson & Riggs (2007) hanno ipotizzato che maggior tempo di risposta aiuti poiché consente alla risposta impulsiva, che viene innescata automaticamente da uno stimolo, di essere elaborata e poi svanire, e quindi di dare la risposta corretta. Per fare, occorre fare qualcosa di diverso dal normale comportamento e quindi eseguire uno sforzo mentale maggiore, perché l'elaborazione della risposta corretta avviene più lentamente.

Il concetto che sta alla base di un gioco ad interferenza è "A-non B". La differenza nei bambini sta nella misura in cui hanno difficoltà a rispettare regole diverse e ciò dipende dai limiti nella capacità di inibire risposte non pertinenti (limiti nella memoria, limiti nella capacità di rappresentarsi le regole) (Diamond, 1985).

La memoria di lavoro (Working Memory, WM) gioca un ruolo importante durante gli anni della scuola primaria. È la capacità di contenere, tenere e aggiornare informazioni presenti nella coscienza. È necessaria per la scrittura, la lingua parlata (d'origine e straniera), l'ordine mentale.

La memoria di lavoro supporta il controllo inibitorio. Si deve tenere a mente il proprio obiettivo; sapere cosa è rilevante o appro-

priato e cosa inibire. La capacità di tenere a mente le informazioni si sviluppa molto presto; anche i neonati e i bambini piccoli riescono a tenere a mente una o due cose per un periodo piuttosto lungo. I bambini di soli 9-12 mesi possono aggiornare il contenuto della loro WM (A-not B). Tuttavia, essere in grado di contenere molte cose nella mente o qualsiasi tipo di manipolazione mentale (ad esempio, il riordino mentale delle rappresentazioni degli oggetti per dimensione) è molto più lento da sviluppare e mostra una prolungata progressione durante tutto lo sviluppo (Surian 2009).

I giochi di controllo mentale offrono occasioni per esercitare la capacità di ricordare i comandi, i movimenti eseguiti, le posizioni trovate e quelle nuove da inventare, e mettono in atto l'applicazione del concetto del "doppio se". Infatti, quando il gioco aumenta le richieste di memoria, i bambini eseguono un passaggio mentale che va dal concetto del "se", a quello di "allora" (Diamond, 1985): *"se il cacciatore mi rincorre, allora scappo"*. Nei giochi di stopping games i bambini devono alternare segnali di stop e via e devono reagire a un segnale esterno interrompendo una risposta motoria già iniziata. Nei giochi di aggiornamento del gioco (updating games) i bambini devono cambiare e modificare un'informazione che non è più rilevante tanto quanto la nuova informazione, diventata rilevante per un compito in corso, che non ha avuto interruzione. Nei giochi di scambio del gioco (switching games) i bambini devono fermare ciò che è in azione e agire in un modo completamente diverso. Tali sono i giochi di activity games (*"Enhancing Children's Co-*

gnition With Physical Activity Games", Tomporowsky *et al.*, 2015), i quali comprendono pure i giochi di scoperta che enfatizzano la flessibilità cognitiva e la creatività. La flessibilità permette di riuscire a vedere le cose da un punto di vista completamente diverso. Per cambiare prospettiva, occorre inibire (o disattivare) la precedente prospettiva e "caricare" nella memoria di lavoro una prospettiva diversa. È in questo senso che la flessibilità cognitiva richiede (e si basa) sul controllo inibitorio e sulla memoria di lavoro.

La flessibilità cognitiva implica anche essere abbastanza duttili per adattarsi alle mutate esigenze o priorità e approfittare di improvvise e inaspettate opportunità. Supponiamo che si stesse progettando di fare X, ma si è presentata un'opportunità straordinaria Y: si ha la flessibilità di sfruttare tale situazione?

Infine, un'ultima riflessione: quando uno studente non coglie un concetto, spesso incolpiamo lui: «Se solo fosse più brillante, avrebbe afferrato ciò che sto cercando di insegnare». Durante la vita di tutti i giorni, anche quella di un bambino, si possono vivere situazioni di stress, ansia, solitudine o demotivazione: la corteccia prefrontale è la prima zona che ne soffre e lo fa in modo sproporzionato (Baumeister *et al.*, 2002), con una ricaduta sull'efficienza delle EFs: peggioramento di ragionamento e risoluzione dei problemi, dimenticanze, disordine, irrequietudine, compromessa capacità di esercitare disciplina e autocontrollo. Lo sviluppo delle EFs passa anche attraverso la sfera affettiva, perciò vivere situazioni positive, sentirsi compresi, percepire l'orgoglio di sentirsi apprezzati, essere fisicamente in

forma, rappresenta il giusto approccio per migliorare le EFs, i risultati scolastici, ma anche la qualità della vita dei bambini.

6. Conclusioni

Pure riponendo l'attenzione sul protocollo di lavoro dello studio citato, da cui prese avvio la ricerca sull'esercizio e cognizione, Cathrine L. Davis si scriveva: «L'enfasi dell'esercizio aerobico era sull'intensità, il divertimento e la sicurezza. Non si cercavano situazioni di competizione o di miglioramento delle abilità motorie. L'esercizio aerobico consisteva in giochi di corsa, funicella per saltare, basket e calcio modificati. La frequenza cardiaca era fissata ad una media superiore a 150 battiti al minuto».

Sebbene le ricerche di cognizione incorporata abbiano mostrato le relazioni integrate tra corpo e mente (Mavilidi *et al.*, 2015; Egger *et al.*, 2019) nella scuola la PA e la AC (attività cognitiva) sono tipicamente trattate come processi non correlati e la PA non è integrata con compiti di apprendimento. Molti studi hanno dimostrato il collegamento tra il tempo che i bambini impiegano nell'educa-

zione fisica e le loro performance scolastiche e accademiche, confermando l'importanza dell'attività fisica a scuola. Gli aspetti qualitativi della PA quali la coordinazione complessa, un compito motorio con aggiunta di richiesta cognitiva e la sfida intrinseca al gioco aumentano l'efficienza delle EFs e promuovono l'abilità dei bambini di controllare i loro pensieri e le loro azioni. In generale la PA può migliorare i processi cognitivi in relazione alla velocità degli stessi e aumentare la quota di risorse attentive durante la decodifica di uno stimolo (Hillman *et al.*, 2003; Erickson *et al.*, 2015). Non tutti i tipi di PA sono uguali: esistono contributi unici dei tipi qualitativi di PA sui benefici cognitivi. Attività che siano piacevoli, stimolanti e coinvolgenti, per i bambini, sia a livello cognitivo che fisico, in modo da influenzare positivamente il rapporto tra gioco, attività fisica e sport, suggeriscono l'importanza di una pratica motoria non solo costante, al fine di praticare sani stili di vita, ma basata sulla qualità. Ciò può illuminare l'intento di insegnanti, educatori e operatori del settore a integrare l'attività motoria nella didattica scolastica quotidiana.

Bibliografia

- Audiffren, M.** (2009). Acute exercise and psychological functions: a cognitive – energetic approach. In T. McMorris, P. D. Tomporowsky & M. Audiffren (eds.), *Exercise and cognition function* (pp. 3-39). United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Baumeister, R. F., Twenge, J. M., & Nuss, C. K.** (2002). Effects of social exclusion on cognitive processes: anticipated aloneness reduces intelligent thought. *Journal of personality and social psychology*, 83, pp. 817–827.
- Best, J. R.** (2010). Effects of physical activity on children's executive function: contributions of experimental research on aerobic exercise". *Developmental Review*, 30, pp. 331–351. DOI:10.1016/j.dr.2010.08.001
- Best, J. R.** (2012). Exergaming immediately enhances children's executive function. *Developmental psychology*, 48, pp. 1501-1510. DOI: 10.1037/a0026648
- Blair, C., & Razza, R. P.** (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child development*, 78, pp. 647-663. DOI: 10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x
- Bramble, D. M., & Lieberman, D. E.** (2004). Endurance running and the evolution of Homo". *Nature*, 432, pp. 345–352. DOI:10.1038/nature03052
- Bransford, J., Brown, A. L. & Cocking, R. R.** (1999). *How people learn: brain, mind, experience and school*. Washington, DC: National Academy Press.
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A.** (2002). Effects acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*. 32, pp. 555-566. DOI: 10.2165/00007256-200232090-00002
- Budde, H., Voelcker- Rehage, C., Pietrassyk- Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G.** (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441, pp. 219-223.
- Campos, J. J., Anderson, D. I., Barbu-Roth, M. A., Hubbard, E. M., Hertenstein, M. J., & Witherington, D.** (2000). Travel broadens the mind. *Infancy*, 1, pp. 149–219. DOI:10.1207/S15327078IN0102_1
- Carlson, S. A., Fulton, J. E., Lee, S. M., Maynard, L. M., Brown, D. R., Kohl, H. W., & Dietz, W. H.** (2008). Physical education and academic achievement in elementary school: Data from the Early Childhood Longitudinally study. *American Journal of Public Health*, 98, pp. 721-727
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Erwin, H. E.** (2007). Physical fitness and academic achievement in third- and fifth-grade students. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29, pp. 239–252.
- Centres for Disease Control and Prevention** (2017). Physical activity. In *Glossary of Terms*. Retrieved from: https://www.cdc.gov/nchs/nhis/physical_activity/pa_glossary.htm
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L.** (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Research*, 1453, pp. 87-101. DOI: 10.1016/j.brainres.2012.02.068
- Chomitz, V. R., Slinning, M. M., McGowan, R. J., Mitchel, S. E., Dawson, G. F. & Hacker, K. A.** (2009). Is there a relationship between physical fitness and academic achievement? Positive results from public school children in the Northeastern United States. *Journal of School Health*, 79, pp. 30-37
- Coe, D. P., Pivarnik, J. M., Womack, C. J., Reeves, M. J., & Malina, R. M.** (2006). Effect of physical education and activity levels on academic achievement in children. *Medicine and Science in Sports*

- and Exercise, 38, pp. 1515–1519.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F.** (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14, pp. 125–130.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., Webb, A., Jerome, G. J., Marquez, D. X., & Elavsky, S.** (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, pp. 316–3321.
- Csikszentmihalyi, M.** (1978). Intrinsic rewards and emergent motivation. In M. R. Lepper & D. Greene (eds.), *The hidden costs of reward: new perspectives on the psychology of human motivation*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Das, J. P., Naglieri, J. A., & Kirby, J. R.** (1994). *Assessment of Cognitive Processes: The Pass Theory of Intelligence*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Datar, A., Sturm, R., & Magnabosco, J. L.** (2004). Childhood overweight and academic performance: national study of kindergartners and first-graders. *Obesity Research*, 12, pp. 58–68.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, H. P., Yanasak, N. E., Allison, J. D., & Naglieri, J. A.** (2011). Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized Controlled Trial. *Health psychology: official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 30 (1), pp. 91-98. DOI: 10.1037/a0021766
- Diamond, A.** (1985). The development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infants' performance on A-not-B. *Child Development*, 56, pp. 868-883
- Diamond, A., & Kathleen, L.** (2011). Interventions shown to Aid Executive Function Development in Children 4–12 Years Old. *Science*, 333 (6045), pp. 959–964. DOI:10.1126/science.1204529
- Diamond, A.** (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, pp. 135–168. DOI: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, 1011.
- Diamond, A., & Ling, D.** (2015). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental cognitive neuroscience*, 18, pp. 34-48. DOI: 10.1016/j.dcn.2015.11.005
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., & Tomporowski, P.** (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*, 48, pp. 1223-1224. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000966
- Egger, F., Benzing, V., Conzelmann, A., & Schmidt, M.** (2019). Boost your brain, while having a break! The effects of long-term cognitively engaging physical activity breaks on children's executive functions and academic achievement, *PLOS ONE*, 14. DOI: 10.1371/journal.pone.0212482
- Engel, A. K., Maye, A., Kurthen, M., & König, P.** (2013). Where's the action? The pragmatic turn in cognitive Science. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, pp. 202–209. DOI: 10.1016/j.tics.2013.03.006
- Erickson, K. I., Hillman, C. H., & Kramer, A. F.** (2015). Physical activity, brain and cognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, pp. 27-32. DOI: 10.1016/j.cobeha.2015.01.005
- Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D.** (2012). Exercise deficit disorder in youth: play now or pay later". *Current sports medicine reports*, 11, pp. 196–200. DOI: 10.1249/JSR.0b013e31825da961
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L.** (1999). Brain development during childhood and adolescence: a

- longitudinal MRI study. *Nature neuroscience*, 2, pp. 861-863. DOI: 10.1038/13158
- Hillman, C. H., Snook, E. M., & Jerome, G. J. (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *International Journal of Psychophysiology*, 48, pp. 307-314. DOI: 10.1016/s0167-8760(03)00080-1
- 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, pp. 58-65.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. A., Raine, L. B., Scudder, M. R., Drollette, E. S., Moore, R. D., Wu, C., & Kamijo, K. (2014). Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*, 134, pp. 1063-1071. DOI: 10.1542/peds2013-3219
- Kempermann, G. (2008). The neurogenic reserve hypothesis: what is adult hippocampal neurogenesis good for?. *Trends in Neuroscience*, 31, pp. 163- 169.
- Khan, N. A., & Hillman, C. H. (2014). The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review. *Pediatric Exercise Science*, 26, pp. 138-146. DOI:10.1123/pes.2013-0125
- Kirk, D. (2005). Physical education, youth sport and lifelong participation: The importance of early learning Experiences. *European Physical Education Review*, 11, pp. 239-255. DOI:10.1177/1356336X05056649
- Kozioł, L. F., Budding, D. E., & Chidekel, D. (2011). From movement to thought: executive function, embodied cognition, and the cerebellum. *Cerebellum*, 11, pp. 505-525. DOI:10.1007/s12311-011-0321-y
- Krafft, C. E., Schwarz, N. F., Chi, L., Weinberger, A. L., Schaeffer, D. J., Pierce, J. E., & McDowell, J. E. (2014). An 8 month randomized controller exercise trial alters brain activation during cognitive tasks in overweight children. *Obesity*, 22, pp. 232-242.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A., & Colcombe, A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400 (6743), pp. 418-419.
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: evidence from Children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, pp. 59-80.
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescence: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30, pp. 718-729.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (1998). *Bewegungslehre, Sportmotorik (Movement theory. Sport motility)*. Berlin, Germany: Sportverlag.
- Mavilidi, M. F., Okely, A. D., Chandler, P., Cliff, D. P., & Paas, F. (2015). Effects of integrated physical exercises and gestures on preschool children's foreign language vocabulary learning. *Educational Psychology Review*, 27 (3), pp. 413-426.
- Mavilidi, M. F., Okely, A. D., Chandler, P., Domazet, S. L., & Paas, F. (2018). Immediate and delayed affects of integrating physical activity into preschool children's learning of numeracy skills. *Journal of experimental child psychology*, 166, pp. 502-516. DOI: 10.1016/j.jecp.2017.09.009
- Mierau, A., Hulsdunker, T., Mierau, J., Hense, A., Hense, J., & Struder, H. K. (2014). Acute exercise induces cortical inhibition and reduces arousal in response to visual stimulation in young children. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 34, pp. 1-8.
- 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, pp. 40-100. DOI: 10.1006/cogp.1999.0734

- Myer, G., Faigenbaum, A., Nicholas, M. E., Clark, J. F., Best, T. M., & Sallis, R. E. (2015). Sixty minutes of what? A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach, *British Journal of Sports Medicine*, 49. DOI:10.1136/bjsports-2014-093661
- Naglieri, J. A. (1999). *Essentials of CAS assessment*. New York: Wiley & Sons.
- Ogden, C. L., Kuczmarski, R. J., Flegal, K. M., Mei, Z., Guo, S., Wei, R., Grummer-Strawn, L. M., Curtin, L. R., Roche, A. F., & Johnson, C. L. (2002). Centers for Disease Control and Prevention 2000 growth charts for the United States: improvements to the 1977 National Center for Health Statistics version. *Pediatrics*, 109, pp. 45–60.
- Pesce, C., Crova, C., Careatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, 2, pp. 16–22.
- Pesce, C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34, pp. 766–786.
- Pesce, C., & Ben-Soussan, T. D. (2016). “Cogito ergo sum” or “ambulo ergo sum”? New perspectives in developmental exercise and cognition research. In T. McMorris (ed.), *Exercise-Cognition Interaction: Neuroscience Perspectives* (pp. 251–282). London: Elsevier.
- Pesce, C., Masci, I., Marchetti, R. I., Vazou, S., Sääkslahti, A., & Tomporowski, P. D. (2016). Deliberate Play and Preparation Jointly Benefit Motor and Cognitive Development: Mediated and Moderated Effects. *Frontiers in Psychology*, 7, 349. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.00349
- Shore, S. M., Sachs, M. L., Lidicker, J. R., Brett, S. N., Wright, A. R. & Libonati, J. R. (2008). Decreased scholastic achievement in overweight middle school students. *Obesity (Silver Spring)*, 16, pp. 1535–1538.
- Simpson, A. & Riggs, K. J. (2007). Under what conditions do young children have difficulty inhibiting manual actions?. *Developmental Psychology Journal*, 43, pp. 417–428.
- Surian, L. (2009). Lo sviluppo cognitivo. Roma, Italy: Gius. Laterza & Figli. ISBN-13: 978-88-420-8939-1
- Taras, H., & Potts-Datema, W. (2005). Obesity and student performance at school. *Journal of School Health*, 75, pp. 291–295.
- Tomporowski, P. D. (2003). Cognitive and behavioural responses to acute exercise in youth: a review”. *Pediatric Exercise Science*, 15, pp. 348–359.
- Tomporowsky, P., McCullik, B., & Pesce, C. (2015). *Enhancing Children's Cognition with Physical activity games*. Human Kinetics Publishers.
- Tomporowski, P. D., & Pesce, C. (2019). Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process. *Psychological Bulletin*, 145, pp. 929–951. DOI: 10.1037/bul0000200
- Vandorpe, B., Vandendriessche, J., Lefevre, J., Pion, J., Vaeyens, R., Matthys, S., Philippaerts, R., & Lenoir, M. (2011). The KörperkoordinationsTest für Kinder: reference values and suit ability for 6–12-year-old children in Flanders. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21 (3), pp. 378–388. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2009.01067.x
- Voss, M. W., Nagamatsu, L. S., Liu-Ambrose, T., & Kramer, A. F. (2011). Exercise, brain and cognition across the lifespan. *Journal of Applied Physiology*, 111, pp. 1505–1513.
- Weineck, J. (2010). *La Biologia dello Sport*. Ferriera, PG: Calzetti & Mariucci Editori.