

Il contributo degli Exergames per lo sviluppo delle funzioni esecutive
dei bambini con disturbi dello spettro autistico.
Revisione sistematica della letteratura
**Exergames for the development of executive function
in children with Autism Spectrum Disorders.
A systematic review**

Dario Colella

Università del Salento – dario.colella@unisalento.it

Domenico Monacis

Università degli Studi di Foggia – domenico.monacis@unifg.it

ABSTRACT

This systematic review of the literature aims to assess the effects of Exergames on executive functions in children with Autistic Spectrum Disorders to (a) highlight and infer possible didactic and methodological implications for teachers and (b) draw up inclusive and adapted physical activity programmes involving the use of technologies. The bibliographic search has previewed, using the model PRISMA, the consultation of the following databases: SPORT Discuss, Pubmed, Scopus and Web of Science. The results showed the general improvement of executive functions – attention, working memory, inhibitory control and cognitive flexibility – motor performance – muscle strength, reaction speed and coordination, with improvement of the fine motility of the limbs – and the reduction of repetitive and involuntary behaviors. Future research could include medium to long-term studies to assess the effectiveness of Exergames-based intervention protocols on executive functions, and the possible impacts on the general health status and quality of life in children and adolescents with Autism Spectrum Disorders, so as to design specific educational interventions and orient health welfare policies.

La presente revisione sistematica della letteratura ha l'obiettivo di valutare gli effetti degli Exergames sulle funzioni esecutive in bambini con Disturbi dello Spettro Autistico, al fine di (a) evidenziare e dedurre possibili implicazioni didattiche e metodologiche per gli insegnanti e (b) progettare interventi didattici di attività fisica inclusivi e adattati che prevedano l'utilizzo delle tecnologie. La ricerca bibliografica ha previsto, utilizzando il modello PRISMA, la consultazione delle seguenti banche dati: SPORT Discuss, Pubmed, Scopus e Web of Science. I risultati hanno evidenziato il miglioramento generale delle funzioni esecutive – attenzione, memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva – delle prestazioni motorie – forza muscolare, velocità di reazione e coordinazione, con il miglioramento della motricità fine degli arti – e la riduzione dei comportamenti ripetitivi e involontari. Indirizzi di ricerca futuri potrebbero prevedere studi condotti nel medio-lungo termine, al fine di valutare l'efficacia di protocolli di intervento basati sugli Exergames sulle funzioni esecutive, e le possibili ricadute sullo stato di

salute generale e sulla qualità della vita in bambini e adolescenti con Disturbi dello Spettro Autistico, in modo tale da progettare interventi didattici specifici ed orientare le politiche di salute e welfare.

KEYWORDS

Autism spectrum disorders, executive function, motor development, exergames, didactic-based evidence.

Disturbi dello spettro autistico, funzioni esecutive, sviluppo motorio, exergames, didattica basata sulle evidenze.

Introduzione

I Disturbi dello Spettro Autistico (DSA) comprendono una complessa serie di disordini di natura neurobiologica e neurocognitiva, i cui deficit di base riguardano prevalentemente il dominio della comunicazione e quello del comportamento (Hyman et al., 2020). Nell'ambito della comunicazione, le difficoltà riguardano, principalmente, la possibilità di strutturare interazioni sociali positive tra pari (Barendse et al., 2018), deficit nella comunicazione non verbale (Febriantini, Fitriati & Oktaviani, 2021), e difficoltà nella capacità di sviluppare, gestire e comprendere le relazioni interpersonali (Ambrose, Simpson & Adams, 2021). Il dominio del comportamento coinvolge, invece, il sistema motorio, attraverso azioni e movimenti stereotipati e ripetitivi, nonché un ridotto repertorio motorio individuale (Bäckström et al., 2021), il linguaggio verbale e non verbale, ad esempio *ecolalia*, ossia la ripetizione, nel parlare, di una o più parole o suoni (Allison & Cassidy, 2020), e la sfera sensoriale, ad esempio ipo o iper-reattività agli stimoli sensoriali (Oldehinkel et al., 2019).

Per comprendere l'eziopatogenesi, relativamente alle cause e ai meccanismi di azione dei Disturbi dello Spettro Autistico, sono stati elaborati diversi modelli e paradigmi teorici di riferimento.

I primi studi che hanno evidenziato la relazione tra funzioni esecutive e DSA sono stati sintetizzati in una revisione sistematica da Pennington & Ozonoff (1996), punto di partenza per la successiva elaborazione dell'ipotesi della Disfunzione Esecutiva (Hill, 2004), basata sulla alterata funzionalità dei processi che presiedono le funzioni esecutive che genererebbe difficoltà comportamentali e relazionali in bambini con DSA (Demetriou et al., 2019).

Per le *funzioni esecutive* riguardano l'insieme "delle abilità cognitive (inibizione, aggiornamento della memoria di lavoro, flessibilità cognitiva, attenzione) che generano comportamenti orientati ad uno scopo" (Buss & Lowery, 2020), definite come segue:

- *controllo inibitorio*: implica la capacità di orientare l'attenzione, i comportamenti, i pensieri e/o le emozioni al fine di reprimere un'azione impulsiva e istintiva, e strutturare una risposta adeguata ed appropriata rispetto all'obiettivo prefissato (Diamond, 2013);
- *memoria di lavoro*: implica la capacità di immagazzinare e trattenere (in un tempo limitato) una serie di informazioni, verbali, non verbali e visuo-spaziali, al fine di elaborarle ed utilizzarle nell'immediato (Diamond, 2013);

- *flessibilità cognitiva*: implica la capacità di modificare il comportamento e il pensiero, ri-strutturando le proprie conoscenze e apprendimenti, al fine di adattarsi ai diversi contesti e/o situazioni esterne (Diamond, 2013).

Uno sviluppo alterato di una, o più di queste funzioni, comporta deficit diversi, strettamente correlati e inter-dipendenti l'uno dall'altro, ossia:

- ridotta capacità di produrre risposte e comportamenti appropriati durante le interazioni sociali, durante una conversazione e le attività della vita quotidiana, attraverso la non inibizione di risposte istintive e poco adeguate (Schmitt et al., 2018);
- deficit di apprendimento, scarsa capacità di gestire e regolare il comportamento, limitata flessibilità cognitiva, difficoltà nel mantenere l'attenzione prolungata o verso specifici stimoli e difficoltà nel generare pensieri astratti (Habib et al., 2019);
- difficoltà nel modificare le strategie di pensiero, di comportamento e le risposte ad un evento inaspettato (Crawley et al., 2020).

Le funzioni esecutive di base (controllo inibitorio, memoria di lavoro e flessibilità cognitiva) permettono ai bambini di sviluppare funzioni cognitive superiori, ad esempio la capacità di formulare obiettivi, pianificare azioni strategiche finalizzate ad uno scopo e risolvere problemi (Diamond, 2013), con importanti ricadute sull'area sociale, cognitiva e motoria (Miller, Avila, & Reavis, 2020; Graham et al., 2020).

In particolare, interventi didattici di attività fisica adattata (Tab. 1) sarebbero associati al grado di sviluppo delle funzioni esecutive in bambini e adolescenti. Studi evidenziano, infatti, una relazione diretta tra stili di vita e sviluppo delle funzioni esecutive: ad alti livelli di attività fisica e stili di vita attivi corrisponde un migliore sviluppo delle FE, mentre abitudini sedentarie e stili di vita poco attivi sono associati a più deficit più evidenti delle FE (Zeng et al. 2021; Kvalø et al., 2017).

In virtù di queste evidenze, negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi per valutare gli effetti dell'attività fisica sullo stato di salute generale in bambini e adolescenti con DSA. Le Linee Guida e le Raccomandazioni Internazionali per la Promozione dell'Attività Fisica dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) prevedono, infatti, che i bambini e gli adolescenti con disabilità pratichino almeno 60 minuti al giorno di attività aerobica moderata o intensa (MVPA – *Moderate to Vigorous Physical Activity*) e almeno attività per lo sviluppo della forza muscolare per almeno 3 volte a settimana (Bull et al., 2020). L'obiettivo è di ridurre i periodi dedicati ad attività sedentarie, come, ad esempio, il tempo trascorso dinanzi a monitor, pc, smartphone o tv (Carty et al., 2021), evitando il rischio di sviluppare eccessiva adiposità, malattie cardio metaboliche, modifiche del comportamento alimentare e una scarsa qualità del sonno (Carty et al., 2021).

Il concetto di attività fisica adattata (AFA in lingua italiana) fu introdotto nel 1973 contestualmente all'istituzione della Federazione Internazionale Attività Fisica Adattata (IFAPA). Secondo de Pauw (2000) l'Adapted Physical Activity o APA è un termine "ombrello" usato in tutto il mondo per individuare un'area interdisciplinare di saperi, includente le attività d'educazione fisica, tempo libero, danza, sport, fitness e riabilitazione per individui con limitazioni, a qualunque età, lungo il ciclo della vita. L'attività fisica adattata (APA - Adapted Physical Activity), si riferisce ad un ampio corpus disciplinare finalizzato all'identificazione ed alla soluzione di problematiche, riguardanti le differenze individuali, che potrebbero limitare la pratica di attività fisiche quotidiane (Hutzler Y., 2007). Le attività fisiche adattate e, in particolare, le relazioni interdisciplinari, sono state interpretate attraverso modelli diversi in Europa e nei Paesi Extraeuropei, riguardo ai contenuti, ai soggetti coinvolti, ai contesti di applicazione, ai processi formativi ed alle competenze professionali richieste, generando, talvolta, approcci scientifici e metodologici non unanimemente condivisi (Hutzler & Sherril, 2007).

Oggi c'è ampio accordo scientifico e metodologico, nel considerare l'attività fisica adattata come un'area interdisciplinare che include le attività di educazione fisica e sportiva, fitness, danza, giochi, animazione ed espressività mimico-gestuale, proposte ai soggetti che presentano limitazioni all'interazione sociale o limitazioni funzionali alle attività fisiche quotidiane, alla pratica di attività fisiche e sportive quotidiane nel tempo libero e in diversi contesti formativi (Hutzler & Sherrill, 2007).

L'attività fisica adattata comprende l'insegnamento e la proposta di attività fisiche e/o sportive, proposte attraverso differenti modalità organizzative e strategie didattiche, finalizzate alla prevenzione, riabilitazione (o ri-adattamento), post-riabilitazione, rieducazione, educazione delle persone diversamente abili e/o anziane (Ninot & Partyka, 2007).

In un periodo in cui la promozione degli stili di vita fisicamente attivi per la prevenzione delle malattie per le persone affette da malattie croniche, disabili e/o persone anziane, assumono un'importanza fondamentale per gli Stati membri della Regione Europea (Edwards & Tsouros, 2008), l'attività fisica adattata dimostra la sua efficacia in differenti ambiti dell'educazione, della sanità, delle azioni promosse per il miglioramento della qualità della vita (Pedersen & Saltin, 2006; Cavill N. et al., 2006).

Tab. 1- Attività Fisica Adattata: Definizione e Quadro di Riferimento

I risultati di alcuni studi, tuttavia, sottolineano che una elevata percentuale di bambini con disturbi dello spettro autistico: (a) non rispetta le raccomandazioni e linee-guida internazionali, (b) è in sovrappeso-obeso, con particolare riferimento alla fascia di età tra i 6 e gli 11 anni (Pham et al., 2020). Must et al. (2015) ha individuato alcune delle cause che possono essere riconducibili a tale fenomeno, analizzando le *ridotte* opportunità per praticare attività fisica nei bambini con DSA, rispetto ai bambini con sviluppo tipico, in virtù del maggior numero di barriere architettoniche e non: l'esclusione da parte dei coetanei e la poca cura e/o capacità dell'insegnante di coinvolgere e sollecitare l'attenzione e la motivazione dei bambini in modo appropriato sono fattori determinanti. Altre barriere fanno riferimento a fattori fisici, sociali, ambientali e culturali (Obrusnikova & Cavalier, 2011).

Considerando l'incidenza di tali disturbi, in base agli ultimi dati *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), circa 1 bambino su 44 presenta disturbi dello spettro autistico all'età di 8 anni (Maenner et al., 2020) e, a circa 1 bambino su 6 (17%) di età compresa tra i 3 e i 17 anni è diagnosticato un deficit dello sviluppo, ad esempio autismo, deficit di attenzione e iperattività, paralisi cerebrale, ecc. (Zablotsky et al., 2019). Questi dati assumono particolare rilevanza se considerati in relazione alle possibilità di coinvolgere (*non coinvolgere*) e mobilitare (*non mobilitare*), attraverso protocolli di attività fisica adattata, una elevata percentuale di bambini e adolescenti.

Studi sperimentali hanno evidenziato l'efficacia degli interventi di attività fisica adattata per sviluppare le funzioni esecutive e l'attenzione, migliorare il rendimento scolastico nei bambini di età prescolare (de Greeff et al., 2018), in bambini con disturbo da deficit di attenzione/iperattività – ADHD - (Ziereis & Jansen, 2015), ma anche nei bambini e adolescenti in sovrappeso (Martin et al., 2018). I benefici riguardano la strutturazione di interazioni sociali positive e la sollecitazione delle capacità relazionali del bambino attraverso la creazione di un clima motivazionale favorevole (Zhao & Chen, 2018), con importanti risvolti sullo sviluppo delle competenze motorie (Pan et al., 2017), delle capacità motorie e della qualità della vita in generale (Toscano et al., 2018).

La scuola, infatti, rappresenta la principale agenzia educativa sia per promuovere azioni di prevenzione e contrasto della sedentarietà, sia per strutturare proposte didattiche innovative caratterizzate da una solida base metodologica.

Negli ultimi anni, ha suscitato, e continua a suscitare, grande interesse l'integrazione delle tecnologie nei protocolli di attività fisica adattata. Lo sviluppo di Exergames (EXGs) e Active Videogames (AVGs), ossia attività video-ludiche che richiedono il movimento del corpo in toto, o di parte di esso, e che quindi implicano la pratica di attività fisica (Benzing & Schmidt 2018), ha trovato ampio riscontro ed utilizzo in età evolutiva come strategia e modalità di intervento per la rieducazione vestibolare (Peña, Cibrian & Tentori, 2021), per i disordini del neurosviluppo (Raygoza-Romero et al., 2021), per il ritorno all'attività fisica post chemio/radioterapia (Benzing et al., 2020) e per la disabilità mentale (Syropoulou et al., 2021).

Una recente revisione sistematica della letteratura, inoltre, ha evidenziato che protocolli di attività fisica basati sugli Exergames in bambini con disturbi dello spettro autistico comportino un miglioramento (a) delle prestazioni motorie, (b) delle funzioni esecutive, (c) dell'auto-efficacia percepita, e (d) un aumento del tempo di attività fisica moderata-intensa (Fang et al., 2018).

Diventa imprescindibile, quindi, considerare gli effetti dell'attività fisica adattata attraverso l'utilizzo degli Exergames, e delle tecnologie in generale, per la promozione della salute in bambini e adolescenti con DSA.

L'obiettivo della presente revisione sistematica è quello di valutare, altresì, l'efficacia degli Exergames in contesto scolastico, integrati nella didattica dell'educazione fisica, sulle funzioni esecutive nei bambini con disturbi dello spettro autistico, con particolare riferimento alle possibili implicazioni metodologiche e didattiche per l'insegnante, al fine di strutturare e promuovere interventi educativi di attività fisica inclusiva e adattata.

1. Materiali e Metodi

Utilizzando il modello PRISMA, "Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-analyzes" (Moher et al., 2015; Page et al., 2021) è stata condotta una revisione sistematica della letteratura per analizzare gli effetti degli Exergames sulle funzioni esecutive in bambini con DSA. La ricerca bibliografica è stata condotta utilizzando quattro banche dati internazionali (MEDLINE, Pubmed, Scopus e Web of Science) sulla base di parole chiave riferite alle seguenti macrocategorie: autismo e Exergames. L'operatore booleano "AND" è stato utilizzato in riferimento alle macrocategorie (es. autismo AND Exergames), mentre i sinonimi e i potenziali termini correlati per ogni parola chiave sono stati inclusi nella stringa di ricerca utilizzando l'operatore booleano "OR" (es. exergames OR active videogames). Il

processo di revisione sistematica ha, inoltre, previsto la ricerca di documenti provenienti da fonti esterne per estendere ed includere un maggior numero di studi. L'ultima ricerca bibliografica risale al 27/12/2021.

Gli articoli risultanti dalla ricerca bibliografica sono stati oggetto di studio solo se coerenti con il tema della ricerca. Sono stati presi in considerazione studi già pubblicati, peer-reviewed e full-text. Dopo la rimozione dei duplicati, il primo autore ha individuato i documenti più pertinenti sulla base dell'analisi di titolo e abstract. Eventuali incertezze sono state risolte da una discussione critica dei due autori. Successivamente, sono stati analizzati i documenti i full-text per individuare quelli che soddisfacevano i seguenti criteri di inclusione:

- (a) studi randomizzati controllati (RCT) o studi sperimentali (con e senza gruppi di controllo) case report o studi preliminari;
- (b) studi pubblicati e peer review;
- (c) intervento sperimentale incentrato sull'utilizzo degli EXGs e che prevedano le funzioni esecutive tra le variabili oggetto di valutazione (sono inclusi gli studi in cui non si valutano *esclusivamente* le funzioni esecutive);
- (d) analisi quantitativa e qualitativa delle variabili oggetto di studio;
- (e) campione di età 5-18 anni con diagnosi di disturbi dello spettro autistico.

Sono stati inclusi gli studi con interventi sperimentali in cui, oltre alle funzioni esecutive, siano state valutate le abilità motorie, l'aumento dei livelli di attività fisica, il miglioramento delle prestazioni motorie, e studi relativi all'ambito sportivo. Sono stati escluse le revisioni sistematiche e metanalisi, conference proceedings, monografie, dissertazioni e articoli simili.

Tutti gli studi che hanno soddisfatto i criteri di inclusione sono stati analizzati separatamente e in modo indipendente dall'autore 1 e 2. Eventuali disaccordi sono stati risolti attraverso una discussione critica tra gli autori. La sintesi e l'analisi degli articoli è condotta dall'autore 1, riportando: (i) autore / anno di pubblicazione, (ii) campione, (iii) obiettivi, (iv) protocollo di intervento; (v) valutazione; (vi) risultati significativi.

2. Risultati

La ricerca bibliografica ha prodotto in totale 58 risultati ($n= 52$ dalle banche dati internazionali e $n= 6$ recuperati da altre fonti). Dopo aver rimosso i duplicati (21), 37 articoli sono stati analizzati in prima battuta sulla base di titolo ed abstract e 21 articoli sono stati esclusi. La fase successiva ha previsto la ricerca degli articoli in full-text e l'analisi degli studi eleggibili sulla base dei criteri di inclusione. Dei 16 articoli rimanenti, 10 sono stati esclusi per le seguenti motivazioni:

- 4 non prevedevano la valutazione delle funzioni esecutive;
- 4 non prevedevano disegni sperimentali;
- 1 duplicato;
- 1 età del campione.

Al termine del processo di screening, 6 studi sono stati inclusi nella revisione sistematica (Figura 1).

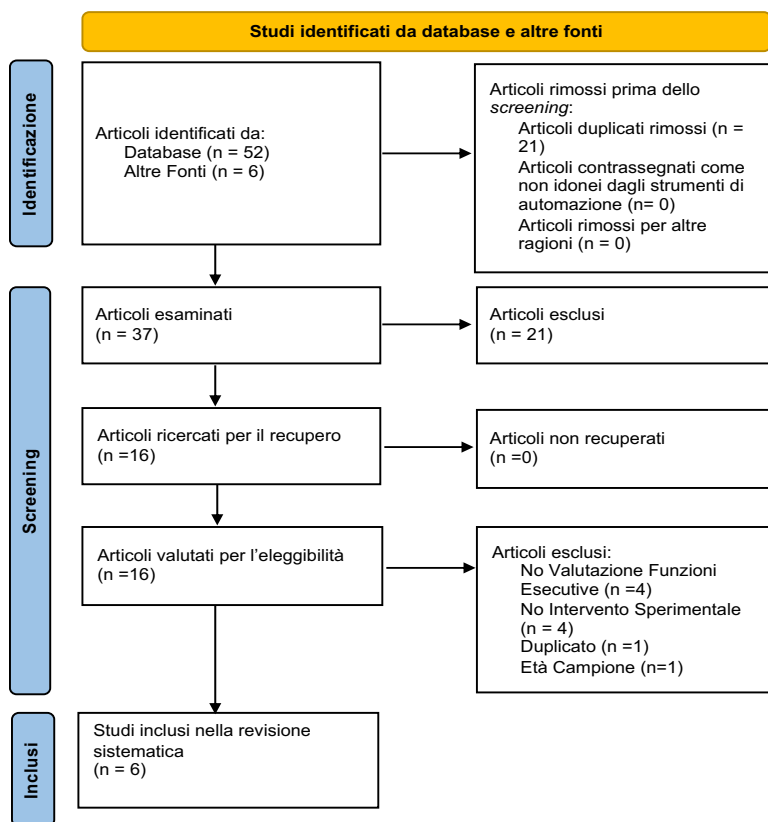


Figura 1. PRISMA Flow Chart

I risultati ottenuti permettono di ripercorrere, in ordine cronologico, l'evoluzione dei percorsi e degli indirizzi di ricerca nell'ambito dell'attività motoria adattata e, in particolare, in merito all'utilizzo degli EXGs in bambini e adolescenti con DSA, incentrati sulla valutazione:

- degli effetti degli Exergames sulle funzioni cognitive ed i comportamenti ripetitivi (Anderson-Hanley et al., 2011);
- degli effetti di un protocollo di intervento EXG (Makoto Arena) sulla velocità di risposta, le funzioni esecutive, e le abilità motorie (Hilton et al., 2014);
- degli effetti degli Active Videogames sulle funzioni esecutive in due diverse condizioni sperimentali: singolarmente o a coppie (Flynn & Colon, 2016);
- degli effetti di un Exergame (FroggyBobby) appositamente progettato per bambini con DSA sulla coordinazione oculo-manuale e sull'attenzione (Caro et al., 2017);
- degli effetti di due tipologie di Exergames (EXGs progettato per bambini con DSA – FroggyBobby - e EXGs progettato per la neuro riabilitazione - Kinect Monsters) sulla coordinazione oculo-manuale, il divertimento e l'attenzione (Caro et al., 2020);
- degli effetti di due tipologie di intervento (a) SPARK - Sport, Gioco e Pause Attive – e (b) Exergames (Kinect), sulle abilità motorie e le funzioni esecutive (Rafiei Milajerdi et al., 2021).

Quasi tutti gli studi, inoltre, sono stati condotti su di un campione piuttosto esiguo (circa 10 bambini-adolescenti), con una numerosità minima di 7 (Caro et

al., 2017; Hilton et al., 2014) e una massima di 60 (Rafiei Milajerdi et al., 2021), mentre l'età media oscilla tra i 9 e i 14 anni.

Per quanto riguarda la tipologia di intervento, 2 studi hanno utilizzato EXGs basati sul movimento del corpo in toto e sulla danza (Anderson-Hanley et al., 2011; Flynn & Colon, 2016), 1 studio ha previsto attività di EXGs in cui si simula l'andare in bici (Anderson-Hanley et al., 2011), e 4 studi hanno utilizzato EXGs che richiedevano il controllo fine delle estremità, soprattutto degli arti superiori (Hilton et al., 2014; Caro et al., 2017; Caro et al., 2020; Rafiei Milajerdi et al., 2021).

Lo studio di Rafiei Milajerdi et al. (2021) ha, inoltre, proposto interventi sperimentali di attività motoria adattata *anche* senza l'utilizzo di EXGs.

I partecipanti sono stati coinvolti in attività con EXGs per un intervallo di tempo variabile, considerando, ad esempio, il tempo di impegno motorio – dai 2' x 3 volte a settimana (Hilton et al., 2020) ai 35' x 3 volte a settimana (Rafiei Milajerdi et al., 2021) – o il numero di ripetizioni ed esercitazioni (Caro et al., 2020).

Sono stati utilizzati, pertanto, strumenti e protocolli orientati alla valutazione motoria, delle funzioni esecutive e del comportamento.

Nello specifico, le funzioni esecutive sono state valutate come segue:

- Memoria di lavoro: Digit Span Forward and Backward (Lezak et al., 2004);
- Flessibilità cognitiva: Color Trails Test (D'Elia et al., 1996) e Wisconsin Card Sorting Test (Romina et al., 2004)
- Attenzione e Controllo Inibitorio: Stroop Test (Van der Elst et al., 2006), Flanker Test (Diamond et al., 2007) e test dell'attenzione divisa (Corbetta et al., 1991).

La valutazione motoria, invece, ha previsto (a) il protocollo BOT-2 (Bruininks & Bruininks 2005), per la valutazione della motricità fine e globale, (b) check list di descrittori dell'apprendimento motorio (Gallahue et al., 2006; Kitago et al., 2013), (c) il protocollo M-ABC 2 (Henderson, Sugden & Barnett, 2007) per la valutazione delle difficoltà di movimento, e (d) test per la coordinazione oculo-manuale (Abrams et al., 1990) mentre per la valutazione dei comportamenti stereotipati e ripetitivi sono stati utilizzati i seguenti protocolli e questionari: GARS-2 - Gilliam Autism Rating Scale – (Montgomery et al., 2006), Behavior Rating Inventory of Executive Function – BRIEF – (Gioia et al., 2000).

Tra le variabili correlate figurano il divertimento e questionari per la valutazione dell'esperienza di gioco (Caro et al., 2020), questionario sull'utilizzo dei media (Flynn & Colon, 2016) e gli aspetti emotivi (Caro et al., 2017).

In merito alla durata degli interventi, in 3 studi su 6 (50%) la valutazione è stata eseguita nell'immediato pre- e post-test, al termine degli interventi sperimentali (Anderson-Hanley et al., 2011; Flynn & Colon, 2016; Caro et al., 2020).

Uno studio (Hilton et al., 2014) ha valutato gli effetti del protocollo sperimentale entro un mese dal termine delle attività, mentre 2 studi (Caro et al., 2017; Rafiei Milajerdi et al., 2021) hanno svolto attività sperimentali per un periodo più lungo di 7 e 8 settimane rispettivamente.

I risultati hanno evidenziato il miglioramento generale delle funzioni esecutive – attenzione (Anderson-Hanley et al., 2011; Flynn & Colon, 2016; Caro et al., 2017; Caro et al., 2020), memoria di lavoro (Anderson-Hanley et al., 2011; Hilton et al., 2014), controllo inibitorio (Anderson-Hanley et al., 2011; Flynn & Colon, 2016) e flessibilità cognitiva (Rafiei Milajerdi et al., 2021) - delle prestazioni motorie – forza muscolare, velocità di reazione e coordinazione (Hilton et al., 2014; Rafiei Milajerdi et al., 2021) con associato miglioramento del movimento fine degli arti (Anderson-Hanley et al., 2011; Caro et al., 2017; Caro et al., 2020) – e la riduzione dei comportamenti ripetitivi e involontari (Anderson-Hanley et al., 2011; Caro et al., 2017).

La Tab. 1 riassume sinteticamente le caratteristiche e i risultati maggiormente significativi degli studi inclusi nella revisione sistematica.

Autore	Campione	Obiettivi	Intervento	Strumenti di Valutazione	Durata dello studio	Risultati Significativi
Anderson-Hanley et al. (2011)	Studio Pilota I: n= 12 (M= 8, F= 4), età = 14,8±2,7 ; Studio Pilota II: n= 10 (M= 10), età = 13,2±3,8 ;	Valutare gli effetti degli Exergames sulle funzioni cognitive e i comportamenti ripetitivi	Studio Pilota I: • GC= intervento placebo (visione per 20' di un talent show scolastico); • GS= 20 minuti di pratica con Dance Dance Revolution con incoraggiamenti e feedback vocali dettati dai valutatori/esercitatori; Studio Pilota II: • GC= intervento placebo (visione per 20' di un talent show scolastico); • GS= 20 minuti di pratica con "Cybercycle" (Exergames in cui bisogna andare in bici);	Memoria di Lavoro - Digit Span Forward and Backward (Lezak et al., 2004); Flessibilità Cognitiva - Color Trails Test (D'Elia et al., 1996); Attenzione e Controllo Inibitorio - Stroop Test (Van der Elst et al., 2006); Comportamenti ripetitivi - GARS-2 (Montgomery et al., 2006);	Intervento 20'; Valutazione: 5' prima e 5' al termine dell'intervento sperimentale (20')	Studio Pilota I: ↓ Comportamenti ripetitivi nel GS; ↑ memoria di lavoro nel GS; ↑ attenzione e controllo inibitorio nel GS e GC; Studio Pilota II: ↓ comportamenti ripetitivi nel GS; ↑ memoria di lavoro nel GS;
Hilton et al. (2014)	n= 7 (M= 5, F= 2), età = 9,86;	Valutare gli effetti di un protocollo di intervento EXG (Makoto Arena) sulla velocità di risposta, le funzioni esecutive, e le abilità motorie	2' di intervento nella Makoto Arena per un minimo di 3 volte a settimana (30 sessioni in totale), in cui si richiede ai partecipanti di colpire un bersaglio (circa 1.800 volte in totale)	Valutazione dei comportamenti delle funzioni esecutive a casa e a scuola - BRIEF (Gioia et al., 2000); Test per la valutazione motoria - BOT-2 (Bruininks & Bruininks 2005)	Entro un mese dall'inizio e al termine dell'intervento	↑ velocità di reazione; ↑ memoria di lavoro e funzioni metacognitive; ↑ forza muscolare e coordinazione;
Flynn & Colon (2016)	n= 36 (M= 69%, F= 31%), età = 12,31±2,70 ;	Valutare gli effetti degli Active Videogames sulle funzioni esecutive in due diverse condizioni sperimentali: singolarmente o a coppie	20' di pratica con Active Videogames (Ubisoft - Just Dance 4)	Questionario autoprodotta sull'utilizzo dei media; Enjoyment (questio); Attenzione e Controllo Inibitorio - Stroop Test (Van der Elst et al., 2006); Attenzione selettiva e controllo inibitorio - Flanker Test (Diamond et al., 2007);	/	↑ attenzione e controllo inibitorio nel gruppo che ha svolto attività singolarmente;
Caro et al. (2017)	n= 7 (M= 6, F= 1), età = 8,62±0,91 ;	Valutare gli effetti di un Exergame (FroggyBobby) appositamente progettato per bambini con DSA sulla coordinazione oculo-manuale e sull'attenzione	Pratica con FroggyBobby per due volte a settimana, con livelli di difficoltà crescenti (da 1 a 6)	Facial action coding system (Ekman & Friesen, 1978); Attenzione (Corbetta et al., 1991); Coordinazione oculo-manuale (Abrams et al., 1990);	7 settimane	↑ attenzione; ↓ involontari degli arti; ↑ movimenti finalizzati ed orientati ad uno scopo degli arti;
Caro et al. (2020)	n= 14 (M= 13, F= 1), età = 9,5±3,3 ;	Valutare gli effetti di due tipologie di Exergames (EXGs progettato per bambini con DSA - FroggyBobby - e EXGs progettato per la neuro riabilitazione - Kinect Monsters) sulla coordinazione oculo-manuale, il divertimento e l'attenzione	60 ripetizioni di esercitazioni coordinative (30 per braccio) per ciascun EXG (FroggyBobby e Kinect Monsters)	Questionario - GEQ (Ijsselstein et al., 2008); Divertimento - Fun Toolkit (Read, 2008) Attenzione (Corbetta et al., 1991); Valutazione Motoria (Gallahue et al., 2006; Kitago et al., 2013)	/	↑ attenzione, stati d'animo positivi e motivazione in entrambi i gruppi; ↑ movimento degli arti nell'EXG progettato per bambini con DSA; ↑ esperienza di gioco e divertimento nell'EXG progettato per bambini con DSA

Tabella 1. Analisi degli studi inclusi nella revisione sistematica.

M= Maschi; F= Femmine; GC= Gruppo di Controllo; GS= Gruppo Sperimentale; = Aumento Statisticamente Significativo; = Riduzione Statisticamente Significativa; GSp= Gruppo SPARK; GK= Gruppo Kinect; GARS-2= Gilliam Autism Rating Scale - seconda edizione; BRIEF= Behavior Rating Inventory of Executive Function; BOT-2= Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency - seconda edizione; GEQ= Core Module of Game Experience Questionnaire

3. Discussione

La presente revisione sistematica della letteratura si propone di analizzare gli effetti di protocolli sperimentali di attività fisica adattata basati sugli EXGs sullo sviluppo e sul miglioramento delle funzioni esecutive in bambini e adolescenti con DSA.

I risultati evidenziano un miglioramento significativo nelle aree maggiormente deficitarie nei bambini con DSA, ossia:

- *Funzioni esecutive*: miglioramento dell'attenzione, della memoria di lavoro, della flessibilità cognitiva e di inibizione di risposte istintive;
- *Comportamenti stereotipati e ripetitivi*: maggiore controllo motorio fine delle estremità e riduzione dei movimenti involontari degli arti;
- *Apprendimento motorio*: miglioramento nell'esecuzione delle abilità motorie, specialmente quelle che riguardano il controllo degli oggetti (es. lanciare).

Tali risultati sottolineano l'importanza e la stretta relazione e interdipendenza tra il dominio cognitivo e quello motorio-comportamentale, con ricadute significative sullo stato di salute di bambini e adolescenti.

Diversi studi hanno, infatti, definito il rapporto biunivoco della funzione cognitiva e la funzione motoria già dalla prima infanzia (Adolph, 2008; Best, 2010): basti pensare allo stadio dello *sviluppo sensomotorio* di Piaget (1952). Più recentemente, il contributo delle neuroscienze ha sottolineato la bi-dimensionalità dell'essere umano, caratterizzata dal dualismo cognizione-corpo, motivando e valorizzando, allo stesso tempo, l'unità (intesa come relazione tra le varie parti, nel senso etimologico del termine), ampliando l'approccio fenomenologico classico (Gola, 2021).

Tali teorie contribuiscono a definire l'importante valenza educativa e la fondamentale funzione svolta dal sistema senso-motorio nello sviluppo del sistema nervoso centrale e delle capacità cognitive del bambino (Saphiro, 2019; Varela et al., 2017).

L'assunto di base dell'*Embodied Cognition* sostiene che la maggior parte dei processi cognitivi avvengono attraverso i sistemi sensoriali, in cui si ha un rapporto di circolarità tra cosa l'oggetto della *percezione*, l'oggetto del *pensiero* e l'*azione* successiva che ne deriva (Saphiro, 2019; Varela et al., 2017).

In quest'ottica, il corpo, soprattutto nell'ambito dell'attività motoria adattata, diviene un vero e proprio mezzo vicariante apprendimenti, un *mediatore* che contribuisce ad attribuire significato alle relazioni che si strutturano all'interno di un determinato contesto sociale, culturale e educativo: attraverso il movimento il bambino è in grado di percepire, organizzare ed esprimere azioni finalizzate ad un obiettivo.

Best (2010) sottolinea gli effetti dell'attività fisica nel promuovere lo sviluppo delle funzioni esecutive in bambini e adolescenti, suggerendo tre possibili interpretazioni alle modalità con cui l'attività fisica aerobica (in particolare) può contribuire a migliorare le funzioni esecutive:

- Impegno cognitivo in un dato compito motorio;
- Impegno cognitivo richiesto in un compito motorio che prevede movimenti complessi e combinati degli arti e del corpo in toto;
- Modifiche e adattamenti neurofisiologici indotti dall'esercizio aerobico.

Gli Exergames e gli Active Videogames, se adeguatamente progettati e utilizzati, rispondono perfettamente alle esigenze che caratterizzano l'attività fisica adattata (in termini di impegno cognitivo, complessità del compito e adattamenti neurofisiologici), permettendo di arricchire i contenuti tradizionali e ri-ambientare

le modalità organizzative dei contenuti dell'attività in diversi ambienti (palestra, aula, casa, ecc.).

Il crescente interesse per gli Exergames nell'educazione fisica deriva dalla loro grande versatilità e dall'ampia eterogeneità dei campi di applicazione.

Takashi et al. (2018), ad esempio, hanno progettato una *palestra scolastica interattiva* (FutureGym) dedicata a bambini con DSA e bisogni educativi speciali, dotata di un sistema di pavimenti interattivi, proiettori, maxischermi e videocamere per il monitoraggio delle attività. L'obiettivo è di permettere agli allievi di svolgere attività che prevedano a coppie o di gruppo, per favorire l'interazione e la collaborazione tra pari, e attività di EXGs. In merito all'interazione sociale e la collaborazione, lo studio di Flynn & Colon (2016) evidenzia, come la pratica singola con EXGs solleciti maggiormente l'attenzione e il controllo inibitorio rispetto alla pratica a coppie. Molto probabilmente ciò è dovuto alla minor fonte di stimoli e di *distrattori* nella pratica singola rispetto al gioco collaborativo, in cui è necessario orientarsi ed eseguire movimenti in relazione alle dinamiche del gioco e del compagno, il che aumenta notevolmente la difficoltà e la complessità esecutiva del compito stesso.

Gli studi in questo ambito di ricerca evidenziano, tuttavia, come interventi sperimentali basati sull'utilizzo delle tecnologie possa concorrere allo sviluppo delle funzioni esecutive e delle capacità motorie nei bambini con ADHD (Benzing & Schmidt, 2019), e in grado di determinare un più alto grado di impegno cognitivo e fisico in bambini con DSA rispetto alle terapie tradizionali (Peña et al., 2020).

Caro et al. (2020) hanno analizzato le differenze strutturali fra i Exergames commerciali ed Exergames progettati per i bambini con DSA, con differenze significative (a favore della seconda tipologia di EXGs) per quanto riguarda la più alta percentuale di movimenti fini degli arti e la più alta percentuale di feedback verbali.

Gli studi nel campo dell'attività fisica adattata evidenziano che la pratica con EXG determina una maggiore capacità di apprendimento motorio (abilità grosso-motorie) in bambini con disturbi dello sviluppo (Page et al., 2017), mentre, secondo Bonney et al. (2017) le abilità motorie acquisite tramite realtà virtuale sono *trasferibili* sia nei bambini con disturbo della coordinazione che nei bambini con sviluppo tipico.

Lo studio di Edwards et al. (2017) ha valutato gli effetti degli AVGs sulla competenza reale e percepita relativamente alle abilità di controllo degli oggetti in un campione sperimentale di bambini con DSA e un campione di controllo di 19 bambini con sviluppo tipico di età tra i 6-10 anni. I risultati, seppur parzialmente in disaccordo con quanto rilevato da altri studi in letteratura, hanno evidenziato soltanto un miglioramento della competenza percepita (e non di quella reale) che implicherebbe una migliore motivazione e partecipazione ad attività fisiche.

Benzing & Schmidt (2019) hanno valutato l'effetto della pratica con EXGs di 8 settimane sulle funzioni esecutive e sulle capacità motorie nei bambini con ADHD (disturbo da deficit di attenzione), mostrando significativi effetti positivi in entrambi i domini. Lo studio di Peña et al. (2020) ha proposto, attraverso gli EXGs, un nuovo approccio alla terapia vestibolare nei bambini con autismo, evidenziando un maggiore impegno cognitivo e fisico rispetto ai bambini che seguono terapie tradizionali.

Studi suggeriscono che l'attività fisica ad alto impegno cognitivo sollecita maggiormente lo sviluppo delle funzioni esecutive, mentre l'attività aerobica con basso impegno cognitivo (es. running) non apporta miglioramenti significativi (Nakutin & Gutierrez, 2019).

4. Conclusione

L'utilizzo delle tecnologie (EXG; EXGs) nella didattica delle attività motorie si pone in continuità con le consuete attività ludico-ricreative extrascolastiche dei bambini. In tal modo si generano flussi d'interesse e assonanze cognitive che aumentano l'attrattività e la motivazione ad apprendere.

Purtroppo stili di vita sedentari e inattività fisica determinano una riduzione della qualità della vita con conseguenti ricadute negative sullo stato di salute generale e una forte incidenza sul sistema sanitario nel medio-lungo periodo. I protocolli di attività fisica adattata basati sugli EXGs inclusi nella presente revisione sistematica hanno evidenziato effetti positivi sulle funzioni esecutive, sulla coordinazione e sui comportamenti stereotipati e ripetitivi in bambini e adolescenti con DSA, specialmente in fase acuta (nell'immediato post-test).

I risultati, pertanto, suggeriscono che tali attività video-ludiche, e quindi maggiormente attrattive e coinvolgenti (per determinati aspetti), possano incoraggiare bambini e adolescenti ad essere fisicamente attivi, bypassando alcune barriere che limitano loro la partecipazione all'attività fisica.

Possibili indirizzi di ricerca futuri potrebbero essere orientati da un lato (a) allo studio e alla valutazione, nel medio-lungo termine, degli effetti derivanti dalla pratica con EXGs, (b) all'analisi delle possibili modifiche sullo stato di salute generale e sulla qualità della vita in bambini e adolescenti con DSA, che si ripercuote poi in età adulta e (c) alla definizione di caratteristiche grafiche, di gioco e meccanismi di azione specifici degli EXGs progettati per bambini e adolescenti con DSA.

Ulteriore indirizzo di studio per la didattica potrebbe essere l'utilizzo delle tecnologie per attuare percorsi interdisciplinari, con particolare attenzione alla variazione delle metodologie didattiche (direttive; non-direttive) ed alle modalità organizzative nei diversi ambienti di apprendimento.

Riferimenti Bibliografici

- Abrams, R. A., Meyer, D. E., & Kornblum, S. (1990). Eye-hand coordination: Oculomotor control in rapid aimed limb movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 2, 248–267. American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.16.2.248>
- Adolph, K. E. (2008). Learning to Move. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 213–218. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00577.x>
- Allison, G., & Cassidy, V. (2020). The Influence of Language Context on Repetitive Speech Use in Children With Autism Spectrum Disorder. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 29(1), 327–334. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-00003
- Ambrose, K., Simpson, K., & Adams, D. (2021). The relationship between social and academic outcomes and anxiety for children and adolescents on the autism spectrum: A systematic review. *Clinical Psychology Review*, 90, 102086. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cpr.2021.102086>
- Anderson-Hanley, C., Tureck, K., & Schneiderman, R. L. (2011). Autism and exergaming: effects on repetitive behaviors and cognition. *Psychology Research and Behavior Management*, 4, 129–137. <https://doi.org/10.2147/PRBM.S24016>
- Bäckström, A., Johansson, A.-M., Rudolfsson, T., Rönnqvist, L., von Hofsten, C., Rosander, K., & Domellöf, E. (2021). Motor planning and movement execution during goal-directed sequential manual movements in 6-year-old children with autism spectrum disorder: A kinematic analysis. *Research in Developmental Disabilities*, 115, 104014. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ridd.2021.104014>
- Barendse, E. M., Hendriks, M. P. H., Thoonen, G., Aldenkamp, A. P., & Kessels, R. P. C. (2018).

- Social behaviour and social cognition in high-functioning adolescents with autism spectrum disorder (ASD): two sides of the same coin? *Cognitive Processing*, 19(4), 545–555. <https://doi.org/10.1007/s10339-018-0866-5>
- Benzing, V., & Schmidt, M. (2018). Exergaming for Children and Adolescents: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. *Journal of Clinical Medicine*. <https://doi.org/10.3390/jcm7110422>
- Benzing, V., & Schmidt, M. (2019). The effect of exergaming on executive functions in children with ADHD: A randomized clinical trial. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(8), 1243–1253. <https://doi.org/10.1111/sms.13446>
- Benzing, V., Spitzhüttl, J., Siegwart, V., Schmid, J., Grotzer, M., Heinks, T., ... Everts, R. (2020). Effects of Cognitive Training and Exergaming in Pediatric Cancer Survivors - A Randomized Clinical Trial. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(11), 2293–2302. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002386>
- Best, J. R. (2010). Effects of Physical Activity on Children's Executive Function: Contributions of Experimental Research on Aerobic Exercise. *Developmental Review: DR*, 30(4), 331–551. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
- Bruininks, R. H., & Bruininks, B. D. (2005). Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency (2nd ed.). Minneapolis, MN: Pearson Assessment.
- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54(24), 1451 LP – 1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
- Buss, A. T., & Lowery, K. N. (2020). *Inhibitory Control and Executive Function* (J. B. B. T.-E. of I. and E. C. D. (Second E. Benson (ed.); pp. 183–193). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.23669-9>
- Caro, K., Martínez-García, A. I., & Kurniawan, S. (2020). A performance comparison between exergames designed for individuals with autism spectrum disorder and commercially-available exergames. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08577-y>
- Caro, K., Tentori, M., Martínez-García, A. I., & Alvelais, M. (2017). Using the FroggyBobby exergame to support eye-body coordination development of children with severe autism. *International Journal of Human Computer Studies*, 105, 12–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.03.005>
- Carty, C., van der Ploeg, H. P., Biddle, S. J. H., Bull, F., Willumsen, J., Lee, L., ... Milton, K. (2021). The first global physical activity and sedentary behavior guidelines for people living with disability. *Journal of Physical Activity and Health*, 18(1), 86–93. <https://doi.org/10.1123/JPAH.2020-0629>
- Corbetta, M., Miezin, F. M., Dobmeyer, S., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: functional anatomy by positron emission tomography. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 11(8), 2383–2402. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.11-08-02383.1991>
- Crawley, D., Zhang, L., Jones, E. J. H., Ahmad, J., Oakley, B., San José Cáceres, A., Charman, T., Buitelaar, J. K., Murphy, D. G. M., Chatham, C., den Ouden, H., & Loth, E. (2020). Modeling flexible behavior in childhood to adulthood shows age-dependent learning mechanisms and less optimal learning in autism in each age group. *PLoS Biology*, 18(10), e3000908. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000908>
- D'Elia, L., Satz, P., Uchiyama, C. L., & White, T. (1996). *Color trails test*. PAR Odessa, FL.
- 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 pre-adolescent 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>
- De Pauw, K. (2000). ICSSPE. Vade Mecum. *Directory of Sport Sciences*. 2nd Edition
- Demetriou, E. A., DeMayo, M. M., & Guastella, A. J. (2019). Executive Function in Autism Spectrum Disorder: History, Theoretical Models, Empirical Findings, and Potential as an Endophenotype. *Frontiers in Psychiatry* (Vol. 10, p. 753). <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsy.2019.00753>

- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science (New York, N.Y.)*, 318(5855), 1387–1388. <https://doi.org/10.1126/science.1151148>
- Edwards P., and Tsouros A.D. (2008), A healthy city is an active city: a physical activity planning guide, WHO Regional Office for Europe, Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark.
- Edwards, J., Jeffrey, S., May, T., Rinehart, N. J., & Barnett, L. M. (2017). Does playing a sports active video game improve object control skills of children with autism spectrum disorder? *Journal of Sport and Health Science*, 6(1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.09.004>
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). Facial action coding system. *Environmental Psychology & Nonverbal Behavior*.
- Fang, Q., Aiken, C. A., Fang, C., & Pan, Z. (2018). Effects of Exergaming on Physical and Cognitive Functions in Individuals with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Games for Health Journal*, 8(2), 74–84. <https://doi.org/10.1089/g4h.2018.0032>
- Febriantini, W. A., Fitriati, R., & Oktaviani, L. (2021). An analysis of verbal and non-verbal communication in autistic children. *Journal of Research on Language Education*, 2(1), 53–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.33365/jorle.v2i1.923>
- Flynn, R. M., & Colon, N. (2016). Solitary Active Videogame Play Improves Executive Functioning More Than Collaborative Play for Children with Special Needs. *Games for Health Journal*, 5(6), 398–404. <https://doi.org/10.1089/g4h.2016.0053>
- Gallahue, D.L., Ozmun, J.C., Goodway, J. (2006) Understanding motor development: infants, children, adolescents, adults. McGraw-hill, Boston
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2000). *Behavior rating inventory of executive function: BRIEF*. Psychological Assessment Resources Odessa, FL.
- Gola, G. (2021). Cosa succede nel cervello quando si insegna? La prospettiva Teaching Brain. *RTH-Education & Philosophy*, 8, 56–60. <https://doi.org/10.6093/2284-0184/7628>
- Graham, J. D., Bremer, E., Bedard, C., Dutta, P., Ogrodnik, M., & Cairney, J. (2020). Acute Effects of an Afterschool Running and Reading Program on Executive Functioning in Children: An Exploratory Study. *Frontiers in Public Health*, 8, 593916. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.593916>
- Habib, A., Harris, L., Pollock, F., & Melville, C. (2019). A meta-analysis of working memory in individuals with autism spectrum disorders. *PloS One*, 14(4), e0216198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216198>
- Henderson, S.E., Sugden, D.A., & Barnett, A.L. (2007). Movement Assessment Battery for Children-second edition. London: Pearson Psychological Corporation.
- Hill, E. L. (2004). Evaluating the theory of executive dysfunction in autism. *Developmental Review*, 24(2), 189–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dr.2004.01.001>
- Hilton, C. L., Cumpata, K., Klohr, C., Gaetke, S., Artner, A., Johnson, H., & Dobbs, S. (2014). Effects of exergaming on executive function and motor skills in children with autism spectrum disorder: a pilot study. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 68(1), 57–65. <https://doi.org/10.5014/ajot.2014.008664>
- Hutzler Y., Sherrill C.(2007), Defining adapted physical activity: international Perspectives, *Adapted Physical Activity Quarterly*, 24,1-20
- Hyman, S. L., Levy, S. E., Myers, S. M., Council on children with disabilities, S. O. N. D. A. N. D. B. P., Kuo, D. Z., Apkon, S., Davidson, L. F., Ellerbeck, K. A., Foster, J. E. A., Noritz, G. H., Leppert, M. O., Saunders, B. S., Stille, C., Yin, L., Weitzman, C. C., Childers Jr, D. O., Levine, J. M., Peralta-Carcelen, A. M., Poon, J. K., ... Bridgemohan, C. (2020). Identification, Evaluation, and Management of Children With Autism Spectrum Disorder. *Pediatrics*, 145(1), e20193447. <https://doi.org/10.1542/peds.2019-3447>
- IJsselsteijn, W., Poels, K., & De Kort, Y. A. W. (2008). The Game Experience Questionnaire: Development of a self-report measure to assess player experiences of digital games. *TU Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands*, 42.

- Kitago, T., Krakauer, J.W. (2013) Motor learning principles for neurorehabilitation. In: Handbook of clinical neurology, vol 110. Elsevier, pp 93–103
- Kvalø, S. E., Bru, E., Brønnick, K., & Dyrstad, S. M. (2017). Does increased physical activity in school affect children's executive function and aerobic fitness? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12), 1833–1841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/sms.12856>
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., & Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press, USA.
- Maenner, M., Shaw, K., Baio, J., Washington, A., Patrick, M., DiRienzo, M., ... Dietz, P. (2020). Prevalence of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years — Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2016. *MMWR. Surveillance Summaries*, 69, 1–12. <https://doi.org/10.15585/mmwr.ss6904a1>
- Martin, A., Booth, J. N., Laird, Y., Sproule, J., Reilly, J. J., & Saunders, D. H. (2018). Physical activity, diet and other behavioral interventions for improving cognition and school achievement in children and adolescents with obesity or overweight. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3(3), CD009728. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009728.pub4>
- Miller, S. E., Avila, B. N., & Reavis, R. D. (2020). Thoughtful Friends: Executive Function Relates to Social Problem Solving and Friendship Quality in Middle Childhood. *The Journal of Genetic Psychology*, 181(2–3), 78–94. <https://doi.org/10.1080/00221325.2020.1719024>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & Group, P.-P. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Montgomery, J. M., Newton, B., & Smith, C. (2008). Test Review: Gilliam, J. (2006). GARS-2: Gilliam Autism Rating Scale—Second Edition. Austin, TX: PRO-ED. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 26(4), 395–401. <https://doi.org/10.1177/0734282908317116>
- Must, A., Phillips, S., Curtin, C., & Bandini, L. G. (2015). Barriers to Physical Activity in Children With Autism Spectrum Disorders: Relationship to Physical Activity and Screen Time. *Journal of Physical Activity & Health*, 12(4), 529–534. <https://doi.org/10.1123/jpah.2013-0271>
- Nakutin, S. N., & Gutierrez, G. (2019). Effect of Physical Activity on Academic Engagement and Executive Functioning in Children With ASD. *School Psychology Review*, 48(2), 177–184. <https://doi.org/10.17105/SPR-2017-0124.V48-2>
- Ninot G, & Partyka M (2007), 50 bonnes pratiques pour enseigner les APA. Paris, Revue EPS.
- Obrusnikova, I., & Cavalier, A. R. (2011). Perceived Barriers and Facilitators of Participation in After-School Physical Activity by Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 23(3), 195–211. <https://doi.org/10.1007/s10882-010-9215-z>
- Oldehinkel, M., Mennes, M., Marquand, A., Charman, T., Tillmann, J., Ecker, C., Dell'Acqua, F., Brandeis, D., Banaschewski, T., Baumeister, S., Moessnang, C., Baron-Cohen, S., Holt, R., Bölte, S., Durston, S., Kundu, P., Lombardo, M. V., Spooren, W., Loth, E., ... Zwiers, M. P. (2019). Altered Connectivity Between Cerebellum, Visual, and Sensory-Motor Networks in Autism Spectrum Disorder: Results from the EU-AIMS Longitudinal European Autism Project. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 4(3), 260–270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2018.11.010>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pan, C. Y., Chu, C. H., Tsai, C. L., Sung, M. C., Huang, C. Y., & Ma, W. Y. (2017). The impacts of physical activity intervention on physical and cognitive outcomes in children with autism spectrum disorder. *Autism*, 21(2), 190–202. <https://doi.org/10.1177/1362361316633562>
- Pedersen BK, & Saltin B (2006), Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16, 5-65.
- Pena, O., Cibrian, F. L., & Tentori, M. (2020). Circus in Motion: a multimodal exergame sup-

- porting vestibular therapy for children with autism. *Journal on Multimodal User Interfaces*. <https://doi.org/10.1007/s12193-020-00345-9>
- Peña, O., Cibrian, F. L., & Tentori, M. (2021). Circus in Motion: a multimodal exergame supporting vestibular therapy for children with autism. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 15(3), 283–299. <https://doi.org/10.1007/s12193-020-00345-9>
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive Functions and Developmental Psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(1), 51–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1996.tb01380.x>
- Pham, D., Silver, S., Haq, S., Hashmi, S. S., & Eissa, M. (2020). Obesity and Severe Obesity in Children with Autism Spectrum Disorder: Prevalence and Risk Factors. *Southern Medical Journal*, 113(4), 168–175. <https://doi.org/10.14423/SMJ.0000000000001068>
- Piaget, J., & Cook, M. T. (1952). *The origins of intelligence in children*.
- Rafiei Milajerdi, H., Sheikh, M., Najafabadi, M. G., Saghaei, B., Naghdi, N., & Dewey, D. (2021). The Effects of Physical Activity and Exergaming on Motor Skills and Executive Functions in Children with Autism Spectrum Disorder. *Games for Health Journal*, 10(1), 33–42. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0180>
- Raygoza-Romero, J., Gonzalez-Hernandez, A., Bermudez, K., Martinez-Garcia, A. I., & Caro, K. (2021). Move&Learn: An Adaptive Exergame to Support Visual-Motor Skills of Children with Neurodevelopmental Disorders. *Proceedings of the Conference on Information Technology for Social Good*, 169–174. <https://doi.org/10.1145/3462203.3475904>
- Read, J. C. (2008). Validating the Fun Toolkit: an instrument for measuring children’s opinions of technology. *Cognition, Technology & Work*, 10(2), 119–128.
- Romine, C. B., Lee, D., Wolfe, M. E., Homack, S., George, C., & Riccio, C. A. (2004). Wisconsin Card Sorting Test with children: a meta-analytic study of sensitivity and specificity. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 19(8), 1027–1041. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2003.12.009>
- Schmitt, L. M., White, S. P., Cook, E. H., Sweeney, J. A., & Mosconi, M. W. (2018). Cognitive mechanisms of inhibitory control deficits in autism spectrum disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 59(5), 586–595. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12837>
- Syropoulou, A., Vernadakis, N., Papastergiou, M., & Kourtessis, T. (2021). The presence, enjoyment, mood experience, attitude and preference towards exergames scale in children with mild intellectual disability. *Sport Sciences for Health*. <https://doi.org/10.1007/s11332-021-00794-z>
- Toscano, C. V. A., Carvalho, H. M., & Ferreira, J. P. (2018). Exercise Effects for Children With Autism Spectrum Disorder: Metabolic Health, Autistic Traits, and Quality of Life. *Perceptual and Motor Skills*, 125(1), 126–146. <https://doi.org/10.1177/0031512517743823>
- Van der Elst, W., Van Boxtel, M. P. J., Van Breukelen, G. J. P., & Jolles, J. (2006). The Stroop color-word test: influence of age, sex, and education; and normative data for a large sample across the adult age range. *Assessment*, 13(1), 62–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177%2F1073191105283427>
- Zablotsky, B., Black, L. I., Maenner, M. J., Schieve, L. A., Danielson, M. L., Bitsko, R. H., ... Boyle, C. A. (2019). Prevalence and Trends of Developmental Disabilities among Children in the United States: 2009-2017. *Pediatrics*, 144(4). <https://doi.org/10.1542/peds.2019-0811>
- Zeng, X., Cai, L., Wong, S. H.-S., Lai, L., Lv, Y., Tan, W., ... Chen, Y. (2021). Association of Sedentary Time and Physical Activity With Executive Function Among Children. *Academic Pediatrics*, 21(1), 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2020.02.027>
- Zhao, M., & Chen, S. (2018). The Effects of Structured Physical Activity Program on Social Interaction and Communication for Children with Autism. *BioMed Research International*, 2018, 1825046. <https://doi.org/10.1155/2018/1825046>
- Ziereis, S., & Jansen, P. (2015). Effects of physical activity on executive function and motor performance in children with ADHD. *Research in Developmental Disabilities*, 38, 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.12.005>
- Shapiro, Lawrence. 2019. *Embodied Cognition*. Routledge.
- Varela, F. J., E. Thompson, E. Rosch, and J. Kabat-Zinn. 2017. *The Embodied Mind, Revised Edition: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press.