



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea in Neuroscienze e Riabilitazione Neuropsicologica

Tesi di Laurea Magistrale

**L'Effetto a Breve Termine del Gioco sulle Abilità Senso-Motorie in Bambini
Prescolari**

The Short-Term Effect of Play on Sensory-Motor Skills in Preschool Children

Relatore

Prof. Andrea Facoetti

Correlatori

Dott.ssa Sara Bertoni

Dott. Sandro Franceschini

Dott.ssa Giovanna Puccio

Laureanda: Benedetta Casagrande

Matricola: 2020951

Anno Accademico 2021/2022

Indice

Introduzione	3
1. Le abilità senso-motorie: correlati neurali e ruolo del gioco	5
1.1 Correlati neurali	5
1.1.1 I tratti spinali discendenti	6
1.1.2 Aree cerebrali fondamentali per la pianificazione del movimento	8
1.1.2.1 La corteccia motoria	8
1.1.2.2 I nuclei della base	9
1.1.2.3 Il cervelletto	10
1.1.3 L'inizio del movimento volontario	11
1.2 Gioco: correlati neurali e influenza sulle abilità senso-motorie	12
1.2.1 Correlati neurali del gioco	12
1.2.2 Le funzioni del gioco e i suoi effetti sulle abilità senso-motorie	13
1.3 Videogiochi e abilità senso-motorie	15
1.4 L'utilizzo dei videogiochi con individui a sviluppo atipico	19
2. Gli effetti a breve termine del gioco sulle abilità di mira e sulla destrezza manuale	21
2.1 Obiettivi ed ipotesi della ricerca	21
2.2 Metodo	21
2.2.1 Partecipanti	21
2.2.2 Strumenti	22
2.2.3 Procedura	23
2.3 Risultati	26
2.3.1 Funzionamento cognitivo generale	26
2.3.2 Abilità di mira	26
2.3.3 Destrezza manuale	28
2.3.4 Questionario post-gioco	32
2.4 Discussione	33
Conclusioni	37
Bibliografia	39

Introduzione

Il presente elaborato si propone di indagare gli effetti a breve termine indotti dal gioco sulle competenze grosso-motorie, nello specifico sull'abilità di mira, e fino-motorie, in particolare sulla destrezza manuale, in bambini prescolari di cinque anni.

Nel primo capitolo, di natura compilativa, vengono riportati i correlati neurali del sistema senso-motorio. Inoltre, vengono sintetizzati i correlati neurali e le funzioni del gioco, ponendo particolare attenzione sui risultati delle ricerche che hanno trovato che esso abbia un effetto sulle abilità senso-motorie. Successivamente viene preso in analisi l'effetto indotto dai videogiochi sulle abilità senso-motorie di popolazioni a sviluppo tipico e atipico, in particolare sugli individui affetti da disturbo della coordinazione motoria (DCD).

Nel secondo capitolo, invece, viene illustrata una parte dello studio empirico condotto dal laboratorio De.Co.Ne. Lab (Developmental Cognitive Neuroscience Lab) dell'Università degli Studi di Padova. L'obiettivo della ricerca è stato quello di valutare gli effetti a breve termine e transienti del gioco sulle funzioni cognitive e sociali di bambini prescolari. In questo elaborato viene trattata unicamente la parte riguardante l'effetto del gioco sulle abilità di mira e sulla destrezza manuale.

1. Le abilità senso-motorie: correlati neurali e ruolo del gioco

1.1 Correlati neurali

I movimenti permettono all'essere umano di agire su e interagire con l'ambiente che lo circonda (Kelso, 2014). La centralità delle abilità motorie è dimostrata dal fatto che le strutture cerebrali che le mediano siano le prime a maturare (Mandolesi & Petrosini, 2017). Ad esempio, le strutture cerebellari, che sono fondamentali per il processo di coordinazione motoria, maturano già nel primo anno di vita (Mandolesi & Petrosini, 2017) e anche le altre aree motorie hanno uno sviluppo precoce (Stiles & Jernigan, 2010).

Il sistema motorio è formato da tutti i muscoli e dai neuroni che inviano loro gli impulsi nervosi (Bear et al., 2017).

Il controllo motorio è esercitato dal midollo spinale (che gestisce la contrazione muscolare coordinata) e dal cervello (che si occupa di dirigere e controllare i programmi motori del midollo spinale) (Bear et al., 2017).

Il sistema motorio centrale (detto anche sistema senso-motorio data l'importante influenza dell'informazione sensoriale sul controllo motorio) è organizzato secondo tre diversi livelli di controllo ordinati secondo una gerarchia (Bear et al., 2017). Il livello più alto riguarda l'abilità del cervello di generare strategie motorie (i.e. la capacità di identificare lo scopo finale del movimento e creare la strategia motoria per raggiungerlo) e comprende le aree associative della corteccia e i nuclei della base (Bear et al., 2017). A questo livello le informazioni provenienti dai sensi permettono la formazione di una rappresentazione mentale del corpo in relazione all'ambiente che lo circonda (Bear et al., 2017). Il livello intermedio concerne la generazione delle contrazioni muscolari secondo una sequenza spazio-temporale adatta per ottenere l'obiettivo finale del movimento (i.e., la tattica) ed è costituito dalla corteccia motoria e dal cervelletto (Bear et al., 2017). Il ricordo dell'informazione sensoriale derivante dai movimenti compiuti in passato funge da base per le decisioni tattiche che vengono prese a questo livello (Bear et al., 2017). Il livello più basso riguarda l'esecuzione motoria (i.e. l'attivazione dei gruppi di

motoneuroni e interneuroni che producono il movimento finalizzato al raggiungimento dello scopo) ed è composto dal tronco encefalico e dal midollo spinale (Bear et al., 2017). A questo livello si ha l'attivazione del sistema sensoriale al fine di mantenere la postura, la tensione e la lunghezza muscolare prima e dopo ogni movimento volontario (Bear et al., 2017).

1.1.1 I tratti spinali discendenti

Il cervello comunica con i motoneuroni alfa del midollo spinale attraverso i tratti spinali discendenti (Bear et al., 2017). Essi sono costituiti dagli assoni dei neuroni cerebrali e scendono lungo il midollo dividendosi in due vie principali: la via laterale e la via ventromediale (Bear et al., 2017).

La via laterale controlla i movimenti volontari dei muscoli distali (Bear et al., 2017). Essa, a sua volta, è composta dal tratto corticospinale e dal tratto rubrospinale (Freberg, 2019). Gran parte degli assoni del tratto corticospinale hanno origine nella corteccia motoria (aree 4 e 6 del lobo frontale) e nelle aree somatosensoriali del lobo parietale (Bear et al., 2017). Per formare questo tratto, gli assoni provenienti dalla corteccia attraversano la capsula interna, passano attraverso la base del peduncolo cerebrale e attraverso il ponte fino ad unirsi per formare un tratto alla base del bulbo, detto tratto piramidale (Bear et al., 2017). Il tratto piramidale decussa nella giunzione del bulbo con il midollo spinale e a partire dal punto in cui gli assoni si intersecano essi si uniscono nella colonna laterale del midollo spinale formando il tratto corticospinale laterale (Bear et al., 2017). Gli assoni del tratto corticospinale laterale terminano nell'area del midollo spinale nella quale sono contenuti i motoneuroni e gli interneuroni che controllano i muscoli distali (Bear et al., 2017). Le fibre del tratto rubrospinale hanno origine nel nucleo rosso del mesencefalo e ricevono *input* dalla stessa regione corticale frontale che invia *input* al tratto corticospinale (Bear et al., 2017). Gli assoni del tratto rubrospinale scorrono paralleli a quelli del tratto corticospinale (Bear et al., 2017; Freberg, 2019). Tuttavia, questo tratto riveste una minore importanza nel controllo motorio dell'essere umano, poiché la maggior parte delle funzioni sono assunte dal tratto corticospinale (Bear et al., 2017).

Come evidenziato anche dagli studi condotti sulle scimmie da Lawrence e Kuypers (1968), anche nell'essere umano le lesioni della via laterale causano problemi soprattutto nei movimenti fini (Bear et al., 2017).

La via ventromediale è implicata nel controllo della locomozione e della postura (Bear et al., 2017). Essa, utilizzando le informazioni sensoriali riguardanti l'ambiente visivo, l'equilibrio e la posizione del corpo, rende possibile il mantenimento dell'equilibrio e della postura (Bear et al., 2017). Questa via viene controllata dal tronco encefalico ed è formata da quattro tratti: il tratto tettorale, il tratto vestibolospinale e i tratti reticolospinali pontino e midollare (Bear et al., 2017). Tutti questi tratti scaturiscono dal tronco encefalico e finiscono negli interneuroni spinali che esercitano il loro controllo sui muscoli prossimali e assiali (Bear et al., 2017). Il tratto vestibolospinale ha origine nei nuclei vestibolari del bulbo ed è costituito da due componenti (Bear et al., 2017). Una di esse, proiettando bilateralmente al midollo spinale, controlla i muscoli della schiena e del collo grazie all'attivazione dei circuiti spinali cervicali, l'altra, proiettando ipsilateralmente fino al midollo spinale lombare, aiuta a mantenere correttamente la postura eretta (Bear et al., 2017). Il tratto tettorale ha origine nel collicolo superiore del tetto del mesencefalo e anch'esso, insieme al tratto vestibolospinale, controlla la postura del capo e del collo oltre che a contribuire al controllo dei muscoli del tronco superiore e delle spalle (Bear et al., 2017). I tratti reticolospinali pontino e bulbare hanno origine nella formazione reticolare del tronco encefalico, rispettivamente a livello del ponte e del bulbo (Freberg, 2019), e la loro attività neurale viene controllata dalla corteccia (Bear et al., 2017). Il tratto reticolospinale pontino, poiché facilita i riflessi antigravitari, aiuta a mantenere la postura eretta (Bear et al., 2017), mentre il tratto reticolospinale bulbare svincola i muscoli antigravitari dal controllo dei riflessi (Bear et al., 2017).

1.1.2 Aree cerebrali fondamentali per la pianificazione del movimento

Alcune aree cerebrali rivestono un ruolo di particolare rilievo per quanto riguarda la pianificazione, l'esecuzione e il controllo del movimento (Evarts, 1973). Esse sono la corteccia motoria, i nuclei della base e il cervelletto (Evarts, 1973).

1.1.2.1 La corteccia motoria

La corteccia è la principale responsabile del comportamento motorio, in particolare del movimento volontario (Bear et al., 2017). Nello specifico, la corteccia motoria si trova nel lobo frontale del cervello ed è costituita dalle aree di Brodmann 4 e 6 (Rizzolatti & Luppino, 2001). L'area 4 viene chiamata corteccia motoria primaria (M1) ed è collocata anteriormente al solco centrale del giro precentrale (Rizzolatti & Luppino, 2001). L'area 6 si trova in posizione anteriore rispetto all'area 4 (Bear et al., 2017) e si occupa nello specifico del controllo dei movimenti volontari specializzati (Campbell, 1905). In quest'area sono contenute lateralmente l'area premotoria (APM), la quale partecipa al mantenimento di un piano motorio fino a quando esso non può essere attuato (Freberg, 2019) e si collega con i neuroni reticolospinali che innervano le unità motorie prossimali, e nella regione mediale l'area motoria supplementare (AMS), la quale è coinvolta nel controllo di complesse sequenze di movimenti (Freberg, 2019) e dalla quale hanno origine gli assoni che innervano le unità motorie distali (Bear et al., 2017).

Altre due aree che partecipano alla pianificazione del movimento sono l'area di Brodmann 5 e l'area di Brodmann 7 (Bear et al., 2017). L'area 5 si trova nella corteccia parietale posteriore e a essa arrivano gli *input* somatosensoriali provenienti dalle aree 3, 1 e 2 (Bear et al., 2017). Anche l'area 7 si trova nella corteccia parietale posteriore, essa riceve gli *input* dalle aree della corteccia visiva di ordine superiore (Bear et al., 2017). Le regioni appartenenti alla corteccia parietale posteriore sono interconnesse con alcune regioni prefrontali ed insieme a esse costituiscono il livello più elevato della gerarchia del controllo motorio, poiché in queste aree vengono prese le decisioni su quali azioni

intraprendere tenendo in considerazione il loro possibile risultato (Bear et al., 2017). Queste porzioni di corteccia inviano gli assoni che confluiscono nell'area 6, la quale ha un ruolo molto importante nella pianificazione delle sequenze motorie complesse che vengono compiute con la muscolatura distale (Bear et al., 2017).

1.1.2.2 I nuclei della base

Lo striato (costituito dal nucleo caudato e dal putamen), il globo pallido (formato da un segmento esterno, GPe, e da un segmento interno, GPi), il nucleo subtalamico e la sostanza nera costituiscono i nuclei della base (Heimer, 1983; Graybiel, 2000). Essi consistono in un raggruppamento di grandi nuclei incorporati nella materia bianca degli emisferi cerebrali (Freberg, 2019).

I nuclei della base sono coinvolti in varie abilità (ad esempio, memoria e apprendimento (Packard & Knowlton, 2002; Grahn et al., 2009; Foerde & Shohamy, 2011)). Per quanto riguarda l'attività motoria essi hanno un ruolo nella scelta e nell'avvio dei movimenti volontari (Freberg, 2019). I nuclei della base sono connessi con il talamo e con la corteccia motoria attraverso complessi circuiti interattivi (Freberg, 2019). Il circuito motorio che attraversa i nuclei della base è formato da una via diretta e da una via indiretta (Graybiel, 2000). La via diretta permette ai nuclei della base di facilitare l'inizio dei movimenti volontari (Bear et al., 2017). Attraverso questa via le sinapsi eccitatorie provenienti dalla corteccia stimolano le cellule del putamen le quali, attraverso delle sinapsi inibitorie, si connettono ai neuroni del GPi, i quali, mediante delle sinapsi inibitorie, si connettono con il nucleo ventrale laterale del talamo dorsale (Bear et al., 2017). Dal nucleo ventrale laterale del talamo dorsale una connessione eccitatoria con l'AMS facilita la scarica dei suoi neuroni implicati nel movimento (Bear et al., 2017).

La via indiretta opera contemporaneamente alla via diretta e si occupa di inibire i programmi motori inadeguati o che risultano essere in competizione con quelli stimolati dalla via diretta (Bear et al., 2017). Attraverso la via indiretta i neuroni dello striato inibiscono le cellule del GPe che, a loro volta, inibiscono le cellule del GPi e del nucleo

subtalamico (Bear et al., 2017). Inoltre, il nucleo subtalamico viene eccitato dai neuroni della corteccia e le sue proiezioni stimolano il GPi che inibisce il talamo (Bear et al., 2017).

1.1.2.3 Il cervelletto

Il cervelletto si occupa delle funzioni di controllo motorio (Glickstein & Doron, 2008) e riveste un ruolo di particolare importanza nel sequenziamento di movimenti complessi (Freberg, 2019). Esso è connesso sia alle strutture cerebrali che fanno parte della via ventromediale sia a quelle che fanno parte della via laterale (Bear et al., 2017). Esso è connesso con la via ventromediale attraverso il verme (i.e. la struttura che divide il cervelletto in due emisferi), il quale invia *output* alle strutture del tronco encefalico. Il cervelletto laterale è particolarmente importante per il controllo dei movimenti degli arti (Bear et al., 2017). Attraverso il cervelletto laterale passa un circuito motorio nel quale gli assoni delle cellule piramidali dello strato V della corteccia sensomotoria proiettano verso i nuclei pontini che a loro volta trasmettono informazioni al cervelletto (Bear et al., 2017). Il cervelletto, attraverso il nucleo ventrale laterale del talamo, è connesso alla corteccia motoria (Bear et al., 2017). Esso, dopo aver ricevuto un segnale che racchiude l'intenzione di un movimento, invia alla M1 le indicazioni riguardanti la forza, la direzione e la coordinazione del movimento programmato, per questo motivo questa via è particolarmente importante per una corretta realizzazione di movimenti volontari, pianificati ed eseguiti con più arti (Bear et al., 2017). Inoltre, il cervelletto svolge un ruolo sostanziale nell'apprendimento motorio (Bear et al., 2017). Infatti, esso confronta continuamente il movimento che la corteccia aveva pianificato di compiere con il movimento che è stato effettivamente compiuto e, in caso di discrepanze, esse vengono compensate attraverso delle modificazioni messe in atto da dei circuiti cerebellari (Bear et al., 2017).

1.1.3 L'inizio del movimento volontario

Attraverso l'utilizzo di strumenti di neuroimmagine quali la tomografia a emissione di positroni (PET) e la risonanza magnetica funzionale (fMRI) è stato rilevato che i lobi frontali e parietali sono le prime aree che mostrano un incremento di attività quando viene iniziato un movimento (Freberg, 2019). Per questo motivo, sembra che queste aree cerebrali siano quelle che pianificano e valutano i movimenti e le loro conseguenze prima che essi stessi vengano iniziati (Freberg, 2019). La AMS è connessa con la M1, la quale, a sua volta, è connessa con i motoneuroni attraverso una via monosinaptica eccitatoria (Bear et al., 2017). I motoneuroni vengono attivati dalla corteccia motoria attraverso le cellule piramidali che si trovano nel quinto strato corticale (Freberg, 2019). Quindi, l'inizio del movimento volontario avviene attraverso la seguente serie di passaggi: inizialmente nella corteccia prefrontale e nel lobo parietale viene presa la decisione di compiere un movimento, in seguito l'AMS e l'APM pianificano il movimento unendo gli *input* provenienti dal talamo e dai nuclei della base (Freberg, 2019). Successivamente, la M1 manda i segnali attraverso la via laterale, la quale li conduce a diversi siti subcorticali che si occupano dell'analisi sensomotoria (Bear et al., 2017) e ai motoneuroni spinali, i quali danno inizio alla contrazione muscolare (Freberg, 2019).

Per quanto riguarda la codifica del movimento, essa avviene attraverso diverse popolazioni di neuroni (Freberg, 2019). Infatti, durante ogni movimento sono attive molte cellule della corteccia motoria, le quali ne determinano la direzione e la precisione (Bear et al., 2017).

1.2 Gioco: correlati neurali e influenza sulle abilità senso-motorie

1.2.1 Correlati neurali del gioco

Il gioco è una delle attività emotive e cognitive (Bateman & Nacke, 2010) più coinvolgenti praticate non solo da diverse specie animali, ma anche dagli esseri umani fin dalla prima infanzia (Burghardt, 2005).

Come evidenziato da Bateman e Nacke (2010) alcune aree del sistema nervoso dei mammiferi sono cruciali per quanto riguarda il gioco. Il sistema dopaminergico di ricompensa risulta particolarmente centrale per questa attività (Bateman & Nacke, 2010). Infatti, il *nucleus accumbens*, struttura di ricompensa dopaminergica nel sistema limbico, riveste un ruolo centrale non solo nel processo di automatizzazione dei comportamenti (i.e. *habit formation*; Olds & Milner, 1954) e nella dipendenza (Arias-Carrión & Pöppel, 2007) ma anche nell'orientamento alla ricompensa dei giochi digitali e non (Koepp et al., 1998; Koster, 2005.). Inoltre, Skinner (1938, 1997) ha evidenziato il ruolo delle strutture di ricompensa nel mediare l'attivazione del centro del piacere, nozione che è stata usata da alcuni ideatori di videogiochi come mezzo per motivare i giocatori (Hopson, 2001). Anche la corteccia orbitofrontale, con le sue strette connessioni con il sistema dopaminergico, ha un ruolo di rilievo; infatti, prendere decisioni strategiche (processo mediato dalla corteccia orbitofrontale) durante il gioco è gratificante (Bateman & Nacke, 2010). In aggiunta, anche il neurotrasmettitore adrenalina, una catecolamina prodotta nelle ghiandole surrenali, ricopre un ruolo nel gioco (Bateman & Nacke, 2010). Esso viene rilasciato nelle risposte di attacco-fuga, ma è anche responsabile dell'euforia che spesso viene provata durante il gioco (Bateman & Nacke, 2010). Per quanto riguarda il gioco competitivo fisico (Booth et al., 1989) e non (Mazur et al., 1992), l'ormone steroideo testosterone sembra essere il fattore neurobiologico di maggior rilievo (Bateman & Nacke, 2010). Infine, per quanto concerne il gioco sociale, Vanderschuren et al. (2016) hanno dimostrato che nei ratti esso è modulato dagli endocannabinoidi.

1.2.2 Le funzioni del gioco e i suoi effetti sulle abilità senso-motorie

Essendo il gioco un comportamento diffuso in diverse specie animali (e.g., Fagen, 1981; Mather & Anderson, 1999; Gamble & Cristol, 2002; Burghardt, 2005; Dapporto et al., 2006) è assai probabile che esso porti dei benefici a livello evolutivo (Pellegrini et al., 2007). Per questo motivo, sono state proposte diverse teorie riguardo la sua funzione. Ad esempio, Spencer (1872) ha suggerito che gli animali giochino quando hanno un *surplus* energetico da smaltire (teoria del *surplus* energetico). Hall (1904) invece ha proposto la teoria della rievocazione secondo la quale il gioco permette di praticare comportamenti che un tempo erano vantaggiosi, ma che adesso hanno una ridotta utilità. Secondo Groos (1901), invece, gli animali giocano guidati dall'istinto con il fine di affinare le loro abilità (teoria dell'istinto-pratica). Inoltre, riflettendo su come il gioco aiuti gli organismi ad adattarsi all'ambiente, sono state proposte diverse modalità attraverso le quali esso favorirebbe questo processo. Il gioco potrebbe fungere da *training* per eventi non attesi poiché permetterebbe agli animali di sperimentare risposte motorie ed emotive utilizzabili in maniera flessibile durante situazioni di emergenza inattese (Špinková et al., 2001). È stato anche ipotizzato che esso possa portare diversi benefici sociali (e.g. Fagen, 1981; Lee, 1983; Bekoff, 2001; Sussman et al., 2005; Bekoff & Pierce, 2009; Pellis & Pellis, 2009), tuttavia i dati empirici hanno supportato solo parzialmente queste ipotesi (Graham & Burghardt, 2010). Un'ulteriore possibile funzione, come suggerito anche dalla teoria dell'istinto-pratica di Groos (1901), potrebbe essere quella di esercitarsi in competenze che saranno utili da adulti (Groos, 1898) attraverso l'esecuzione di azioni energiche e articolate che stimolano i sistemi percettivo, neurale e motorio (Graham & Burghardt, 2010). Infine, l'ipotesi del gioco come *training* motorio, collegata a quella appena descritta, è di particolare rilievo per questo elaborato. Poiché il gioco è tendenzialmente un'attività vigorosa (Graham & Burghardt, 2010) è stato ipotizzato che esso funga da esercizio fisico o da mezzo per sviluppare e mantenere competenze fisiche (Brownlee, 1954). Però, sebbene il gioco possa aumentare la prestazione fisica, esso sembra non fornire abbastanza esercizio per mantenere la forma fisica (Byers, 1998). Un'altra ipotesi sostiene che il gioco modifichi il sistema neuromuscolare che nei giovani animali è in fase di sviluppo (Bekoff & Byers, 1981; Byers & Walker, 1995). Byers e Walker

(1995) hanno osservato che il periodo in cui è maggiormente presente il gioco corrisponde al picco di sinaptogenesi nel cervelletto di topi, gatti e ratti. Questi autori suggeriscono che giocare durante periodi sensibili possa facilitare lo sviluppo di tipologie appropriate di fibre muscolari scheletriche (anche se attualmente non ci sono prove a sostegno di questa ipotesi) e aumentare la sinaptogenesi cerebellare. Tuttavia, questa ipotesi deve essere indagata ulteriormente perché, sebbene sia noto che svolgere dell'attività motoria durante il primo sviluppo postnatale possa influenzare la formazione delle sinapsi nel cervelletto (Floeter & Greenough, 1979; Pysh & Weiss, 1979; Brown et al., 1991), la maggior parte delle sinapsi cerebellari sono già presenti prima dell'apparizione del gioco (Byers e Walker 1995) e, in diverse specie, il gioco persiste oltre il periodo sensibile per la sinaptogenesi (Graham & Burghardt, 2010).

Sebbene la maggior parte degli studi precedentemente citati si sia focalizzata sui modelli animali, anche l'essere umano è stato oggetto di studio. Ad esempio, per analizzare nel dettaglio il ruolo del gioco nello sviluppo delle competenze motorie nell'uomo, Butcher ed Eaton (1989) hanno condotto uno studio nel quale vengono esaminate le competenze motorie di bambini prescolari in relazione al loro comportamento quotidiano. In questa ricerca è stata investigata la relazione tra le competenze fine e grosso motorie (valutate attraverso alcuni *subtest* del Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency), i comportamenti messi in atto durante il gioco libero e il livello di attività motoria durante il gioco libero. Come ipotizzato dai ricercatori, il comportamento di gioco libero e il livello di attività motoria correlavano significativamente con aspetti della competenza motoria. In particolare, i bambini che avevano trascorso il tempo di gioco per lo più facendo giochi che coinvolgevano le abilità grosso-motorie e caratterizzati da un maggiore livello di attività sono risultati avere maggiori abilità grosso-motorie (e.g., buone abilità di corsa), mentre bambini che si sono impegnati in giochi che richiedevano un maggiore utilizzo di abilità fino-motorie e caratterizzati da un minore livello di attività hanno mostrato maggiori abilità fino-motorie (e.g. più efficiente controllo visuo-motorio).

1.3 Videogiochi e abilità senso-motorie

Grazie all'avvento di tecnologie sempre più innovative è stata introdotta una nuova tipologia di gioco che viene particolarmente apprezzata dagli esseri umani: il videogioco. Infatti, più di tre miliardi di persone in tutto il mondo (DFC Intelligence, 2020) spendono parte del loro tempo giocando con i videogiochi.

A causa della loro pervasività nella vita quotidiana diversi autori hanno investigato il loro effetto sulle funzioni cognitive e sullo sviluppo cerebrale.

Tra le varie tipologie di videogiochi, quella i cui effetti sono stati maggiormente indagati è quella dei videogiochi d'azione (AVG). Gli AVG sono caratterizzati da scenari visivamente ricchi di dettagli e da diversi obiettivi da raggiungere che fanno in modo che i giocatori li percepiscano come avvincenti (Bavelier et al., 2012). Inoltre, essi sono contraddistinti dall'importanza dell'integrazione della percezione globale e della contemporanea elaborazione di stimoli periferici, da un'elevata velocità di movimento degli oggetti e di molteplici eventi transitori, da un'imprevedibilità sia spaziale sia temporale e da una grande quantità di carico motorio e percettivo (Green & Bavelier, 2003; Chiappe et al., 2013; Dye et al., 2009). Queste caratteristiche permettono di ipotizzare che essi possano esercitare un effetto su diverse abilità e per questo motivo hanno ricevuto particolare attenzione.

Una ricerca pionieristica è stata condotta da Green e Bavelier (2003). Questi autori, focalizzandosi sui possibili effetti indotti dagli AVG su alcune abilità visive, hanno dimostrato che non solo c'è una differenza nell'attenzione visiva tra videogiocatori abituali e non videogiocatori, ma anche che non giocatori sottoposti a delle sedute di allenamento con gli AVG mostrano marcati miglioramenti nelle abilità rispetto alla fase precedente all'allenamento, dimostrando quindi il ruolo causale del gioco ed i suoi effetti positivi (Green & Bavelier, 2003).

In seguito all'innovativo articolo di Green e Bavelier (2003), diversi autori hanno dedicato le loro ricerche all'indagine dell'effetto degli AVG su diverse funzioni cognitive, tra le quali la rotazione mentale (Feng et al., 2007), il controllo visuo-motorio

(Li et al., 2016), la memoria (Li et al., 2015) e l'attenzione visuo-spaziale (Green & Bavelier, 2006).

Tra le diverse funzioni cognitive che sono state indagate, questo elaborato ha lo scopo di riportare alcuni tra i risultati più significativi riguardanti l'effetto indotto dagli AVG sulle abilità senso-motorie.

Ad esempio, West et al. (2013) si sono occupati di indagare l'effetto degli AVG sulle risposte motorie. Questi autori hanno condotto uno studio nel quale hanno investigato il potenziale collegamento esistente tra l'esperienza di gioco con gli AVG e i cambiamenti nel comportamento oculomotorio. Essi hanno testato giocatori abituali di AVG e non giocatori in un compito di deviazione della traiettoria saccadica, il quale fornisce una misura del contributo dato dai processi *top-down* e *bottom-up* necessari per un'efficace guida dei movimenti oculomotori. I risultati suggeriscono che giocare con gli AVG influenzi il controllo oculomotorio e la sottostante interazione tra i processi *top-down* e *bottom-up*. Infatti, nei tempi di reazione saccadica più lunghi, sono emersi schemi di controllo oculomotorio *top-down* diversi nei due gruppi. Nello specifico, i non giocatori hanno dimostrato una maggiore inibizione iniziale dei distrattori ma non duratura nel tempo e i giocatori hanno mostrato un'inibizione crescente all'aumentare della lunghezza dei tempi di reazione saccadica. Una possibile spiegazione di questi risultati è che i videogiocatori possiedano una maggiore quantità di attenzione residuale per codificare i distrattori rispetto ai non videogiocatori (Green & Bavelier, 2003, 2006) e questo può risultare in degli effetti di cattura prolungata del distrattore che superano l'inibizione frontale (McSorley et al., 2006). Inoltre, nei due gruppi è emerso un diverso andamento temporale del contributo frontale al controllo oculomotorio. In particolare, i non giocatori hanno mostrato una ridotta inibizione quando è stato concesso più tempo alle strutture frontali per influenzare i movimenti oculari rispetto ai giocatori che hanno mostrato una forte inibizione quando è stato concesso abbastanza tempo per ignorare gli effetti di cattura iniziali. Questo suggerisce che l'esperienza con i videogiochi possa modulare l'inibizione generata dalla corteccia. In aggiunta, l'accuratezza della prestazione è migliorata nel tempo solamente per i videogiocatori, i quali sembrano essere in grado, più dei non giocatori, di imparare come svolgere il compito in maniera ottimale.

Non solo la prestazione motoria (e.g., West et al., 2013), ma anche l'apprendimento motorio è stato oggetto di studio. Ad esempio, la ricerca condotta da Gozli et al. (2014) ha voluto indagare gli effetti degli AVG sull'apprendimento senso-motorio attraverso un compito di tracciamento del movimento. I ricercatori hanno trovato che quando il *target* si muoveva seguendo uno schema costante nelle diverse prove i videogiocatori miglioravano più velocemente, superando i non giocatori. Infatti, nel primo esperimento, i partecipanti dovevano seguire il percorso di un pallino che si muoveva in modo cadenzato. Nella prima prova non è stata riscontrata una prestazione significativamente migliore dei videogiocatori rispetto ai non videogiocatori e questo suggerisce che, mentre giocare con i videogiochi in maniera costante richiede un assiduo controllo motorio, giocare con questi giochi non conferisca un vantaggio affidabile in un nuovo compito senso-motorio. Tuttavia, verso la fine della sessione sperimentale, i videogiocatori erano significativamente più accurati nel seguire il movimento ripetitivo del pallino rispetto ai non giocatori. La differenza tra i due gruppi è probabilmente dovuta alla superiore capacità dei videogiocatori di imparare a svolgere compiti di natura senso-motoria. Invece, quando lo schema di movimento del *target* non era costante, non c'era differenza tra giocatori e non giocatori. Ciò è evidenziato dal secondo esperimento, nel quale i partecipanti dovevano seguire un pallino che si muoveva in maniera diversa in ogni prova. In questo caso non è stato riscontrato nessun miglioramento significativo per i videogiocatori. Questi risultati suggeriscono che giocare con i videogiochi non induca dei miglioramenti nel controllo senso-motorio, ma migliori l'apprendimento senso-motorio, rendendo possibile una prestazione superiore in compiti caratterizzati da una struttura costante e prevedibile.

Altre ricerche sulle funzioni senso-motorie hanno dimostrato che, in confronto ai videogiocatori amatoriali, gli esperti videogiocatori con AVG hanno migliore risoluzione spaziale della visione (Green & Bavelier, 2007), abilità di elaborazione temporale multisensoriale (Donohue et al., 2010), coordinazione motoria occhio-mano (Jones et al., 1976), sensibilità al contrasto (Li et al., 2009) e movimento corporeo (Kennedy et al., 2011).

Inoltre, alcuni studi, servendosi di strumenti di neuroimmagine, hanno esaminato gli effetti indotti dall'esperienza di gioco con AVG sull'attivazione cerebrale e sulla

plasticità neurale. Ad esempio, lo studio condotto da Granek et al. (2010), attraverso l'uso dell'fMRI in un disegno evento-relato, ha esaminato l'effetto dell'esperienza con i videogiochi sul controllo neurale in compiti visuo-motori di difficoltà crescente. Prendendo in esame la rete neurale che si occupa del controllo motorio (che comprende la corteccia prefrontale, la corteccia premotoria, la corteccia senso-motoria primaria e la corteccia parietale posteriore) è stata riscontrata una maggiore attivazione della corteccia prefrontale nei videogiocatori esperti in compiti visuo-motori che coinvolgono una complessa coordinazione oculo-manuale ma che sono distinti dal videogioco. Invece nei non videogiocatori è stata riscontrata una minore attivazione prefrontale e una maggiore attivazione delle aree senso-motorie (i.e. la corteccia motoria primaria, la corteccia premotoria laterale, la corteccia parietale posteriore e l'area parietale associativa). Questi risultati, quindi, suggeriscono che i videogiochi abbiano causato una riorganizzazione cerebrale che si riflette non solo giocando ma anche mentre si compiono altri movimenti visivamente guidati.

Oppure lo studio di Gong et al. (2015) ha esaminato la relazione esistente tra l'esperienza con gli AVG e la plasticità delle subregioni dell'insula e dei loro network funzionali. L'insula è divisa in diverse subregioni, quelle anteriori sono implicate in un network attentivo anteriore (A-network), quelle posteriori sono coinvolte in un network senso-motorio posteriore (P-network) e poi esiste una terza subregione che rappresenta una zona di transizione tra le subregioni anteriore e posteriore (Cauda et al., 2011). Questi autori, comparando esperti videogiocatori con videogiocatori amatoriali, hanno rilevato che gli esperti videogiocatori hanno una maggiore connettività funzionale e un maggiore volume di materia grigia nelle subregioni dell'insula, in particolar modo nelle regioni posteriori dell'insula di sinistra. Inoltre, i videogiocatori esperti hanno mostrato una maggiore connettività funzionale tra i network attenzionale e senso-motorio e questo aumento dovuto all'esperienza (perché era correlato con il tempo trascorso dalle persone a giocare con gli AVG) è maggiormente evidente nell'insula di sinistra (Gong et al., 2015). Questo accrescimento è concorde con i dati precedenti che indicano che l'attenzione sia fondamentale per le funzioni senso-motorie (Corbetta & Shulman, 2002) e potrebbe essere la base neurale della migliore coordinazione tra funzioni attentive e senso-motorie negli esperti videogiocatori (Gong et al., 2015).

In aggiunta, l'esperienza con gli AVG è associata con un aumento del volume della materia grigia nello striato dorsale (Erickson et al., 2010; Kühn et al., 2011), nella corteccia parietale posteriore di destra (Tanaka et al., 2013), nella corteccia entorinale, nell'ippocampo, nella corteccia occipitale (Kühn & Gallinat, 2014), nella formazione ippocampale destra, nella corteccia prefrontale dorsolaterale di destra e in entrambi gli emisferi del cervelletto (Kühn et al., 2014).

1.4 L'utilizzo dei videogiochi con individui a sviluppo atipico

In aggiunta alle ricerche che hanno indagato gli effetti che vengono indotti dai videogiochi su individui a sviluppo tipico, alcuni studi hanno esplorato i potenziali benefici che i videogiochi possono avere su particolari popolazioni cliniche (e.g. Bonnechère et al., 2014; Rodriguez Jiménez et al., 2015).

In particolare, alcune ricerche si sono focalizzate sugli effetti positivi che i videogiochi possono avere su soggetti affetti dal disturbo della coordinazione motoria (DCD) o disprassia. Secondo la quinta edizione del manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali (DSM-5) (American Psychiatric Association [APA], 2013) un bambino può ricevere una diagnosi di DCD quando vengono soddisfatti i seguenti quattro criteri: la sua coordinazione motoria è inferiore a quella attesa per la sua età cronologica e per il suo livello di intelligenza, il disturbo motorio interferisce con il suo rendimento scolastico o con le attività della vita quotidiana, i sintomi si manifestano fin dalla prima infanzia e la sua coordinazione motoria atipica non è causata da altre condizioni mediche generali.

Essendo che i bambini con disturbo della coordinazione motoria esperiscono delle problematiche che possono limitare non solo i loro risultati accademici e le loro abilità sociali e fisiche (Wilson et al., 2013; Zwicker et al., 2013) ma anche la loro qualità della vita generale (Zwicker et al., 2018), diversi interventi sono stati usati per migliorare le loro abilità motorie (Smits-Engelsman et al., 2013; Miyahara et al., 2017; Preston et al., 2017; Smits-Engelsman et al., 2018; Jane et al., 2018). Recentemente sono stati sviluppati degli interventi che hanno lo scopo di migliorare le abilità motorie attraverso

l'uso dei videogiochi essendo questi molto motivanti e sfidanti per i bambini (Mentiplay et al., 2019). Tuttavia, il loro utilizzo con bambini con DCD ha prodotto risultati contrastanti (Mentiplay et al., 2019). Alcuni studi hanno trovato un effetto positivo dei videogiochi su certi aspetti della forza e della struttura corporea, quali forza (e.g. Smits-Engelsman et al., 2017; Bonney et al., 2017a; Bonney et al., 2017b), performance anaerobica (e.g. Smits-Engelsman et al., 2017; Bonney et al., 2017a; Bonney et al., 2017b) ed equilibrio statico e dinamico (e.g. Ju et al., 2018). Tuttavia, spesso questi miglioramenti sono risultati simili a quelli indotti nel gruppo di controllo da interventi che non consistevano nell'utilizzo dei videogiochi (e.g. Ferguson et al., 2013; Straker et al., 2015; Bonney et al., 2017a; Bonney et al., 2017b). Inoltre, alcuni benefici sono stati trovati anche valutando il livello di attività con la Movement Assessment Battery for Children - Second Edition (Movement ABC-2) (e.g. Jelsma et al., 2014; Smits-Engelsman et al., 2015; Bonney et al., 2017a; Bonney et al., 2017b; Ju et al., 2018), il Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency - Second Edition (BOT-2) (e.g. Mombarg et al., 2013; Hammond et al., 2014) e questionari in cui i bambini autovalutavano le loro abilità motorie (e.g. Hammond et al., 2014; Straker et al., 2015) le cui risposte suggeriscono che, sebbene non ci siano miglioramenti significativi nella prestazione a compiti motori dopo aver giocato con l'AVG, la percezione delle loro abilità motorie migliori nei bambini con DCD dopo l'intervento (Straker et al., 2015).

Alcune ricerche (e.g. Smits-Engelsman et al., 2015; Smits-Engelsman et al., 2017; Bonney et al., 2017b) hanno proposto lo stesso intervento con videogiochi sia a bambini con sviluppo tipico sia a bambini con DCD. Questi studi hanno rilevato delle differenze nei due gruppi, con un miglioramento maggiore dei bambini con DCD. Verosimilmente questo risultato è dovuto al fatto che i bambini con sviluppo tipico probabilmente possiedono un migliore funzionamento motorio alla *baseline* e che quindi il loro margine di miglioramento non risulti essere ampio tanto quanto quello dei bambini con DCD che alla *baseline* hanno un funzionamento motorio minore (Mentiplay et al., 2019). Di conseguenza sono necessari ulteriori studi con campioni di dimensioni maggiori e con disegni sperimentali aventi una metodologia più rigorosa per determinare l'efficacia dei videogiochi nell'attenuare le difficoltà motorie di bambini con DCD (Mentiplay et al., 2019).

2. Gli effetti a breve termine del gioco sulle abilità di mira e sulla destrezza manuale

2.1 Obiettivi ed ipotesi della ricerca

L'argomento del presente elaborato è tratto da una ricerca più ampia il cui scopo è stato quello di indagare gli effetti a breve termine indotti da una singola sessione di gioco con un videogioco d'azione (AVG) mettendoli a confronto con gli effetti indotti da una singola sessione di gioco con un gioco da tavolo visuo-costruttivo di tipo *puzzle game* (NAVG) su alcuni meccanismi cognitivi (ad esempio, attenzione visiva, abilità fonologiche, memoria a breve termine e abilità senso-motorie) in un gruppo di bambini frequentanti l'ultimo anno della scuola dell'infanzia. L'obiettivo dello studio è stato quello di analizzare il possibile effetto differenziale indotto dai due giochi a seconda del livello di divertimento provato dai bambini. Infatti, recenti ricerche (e.g., Franceschini et al., 2022) hanno dimostrato un effetto del divertimento sulle abilità cognitive. In linea con queste ricerche (e.g., Franceschini et al., 2022) è stato ipotizzato di trovare un effetto positivo sulle diverse abilità cognitive dopo le sessioni di gioco anche in relazione alla quantità di divertimento provato, aspettandosi di trovare effetti maggiori nella condizione in cui è stato esperito maggiore divertimento.

2.2 Metodo

2.2.1 Partecipanti

Hanno partecipato alla ricerca 45 bambini di cui 19 femmine e 26 maschi con età media di 5,4 anni (DS = 0,36 anni). Tutti i bambini frequentavano l'ultimo anno della scuola dell'infanzia, alcuni presso l'istituto I.S. "Sacra Famiglia" di Verona e altri presso

l'istituto IX I.C. "G. Ricci Curbastro" di Padova. Il gruppo di bambini ha partecipato alla ricerca tra il mese di Novembre 2021 e il mese di Febbraio 2022.

2.2.2 Strumenti

Per la valutazione del funzionamento cognitivo generale sono state utilizzate due prove tratte dalla Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence - Fourth Edition (WPPSI – IV) (Wechsler, 2019): la prova di disegno con i cubi e la prova del vocabolario.

Per la prova del disegno con i cubi sono stati utilizzati 14 cubetti (6 completamente rossi, 6 completamente bianchi e 4 metà bianchi e metà rossi) della dimensione di 3 x 3 x 3 cm.

Per la prova del vocabolario è stata utilizzata la scheda contenente le parole di cui doveva essere fornita una definizione e le immagini racchiuse nel libretto degli stimoli della WPPSI – IV (Wechsler, 2019).

Per la valutazione delle abilità di mira, una competenza grosso-motoria, è stata utilizzata la prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio. Per la valutazione della destrezza manuale, un'abilità fino motoria, è stata usata la prova del salvadanaio. Entrambe le prove sono state tratte dalla Movement Assessment Battery for Children - Second Edition (Movement ABC-2) (Henderson et al., 1992).

Per la prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio sono stati utilizzati un cartoncino della misura di 40 cm x 55 cm all'interno del quale è stato inserito un cerchio di cartoncino di diverso colore dal raggio di 15 cm, questi hanno avuto la funzione di tappeto bersaglio. Un altro cartoncino della misura di 40 cm x 55 cm è servito da tappeto per la postazione. Il sacchetto che è stato utilizzato aveva un peso di 200 g.

Per la prova del salvadanaio è stata utilizzata una scatola di cartone della misura di 6.7 cm x 9.25 cm la quale, sul lato superiore, presentava una fessura della misura di 0.35 cm x 3.6 cm. Come gettoni da inserire all'interno del salvadanaio sono state utilizzate 12 monete da un euro.

Per la sessione di gioco con l'AVG è stato utilizzato il videogioco "Mario Kart 8 Deluxe" per Nintendo Switch.

Invece, per la sessione di gioco con il NAVG è stato utilizzato il gioco da tavolo "Tangram".

Per la valutazione delle emozioni post gioco è stato utilizzato un questionario costituito da una scala Likert a nove punti. Al bambino veniva chiesto di indicare quanto il gioco con cui aveva appena giocato fosse stato difficile e quanto fosse stato divertente. Inoltre, gli è stato chiesto quanto in quel preciso momento si sentisse agitato, allegro ed energico.

2.2.3 Procedura

La ricerca è stata condotta utilizzando un paradigma a singolo cieco. Il paradigma del singolo cieco prevedeva che lo sperimentatore che valutava le funzioni cognitive dopo la sessione di gioco non fosse a conoscenza del gioco appena svolto dal bambino.

Lo studio è stato realizzato attraverso un disegno sperimentale within-subject controllato e randomizzato. Tutti i bambini sono stati valutati tre volte a distanza di sette giorni l'una dall'altra. La prima sessione (T1) è stata dedicata alla raccolta dei dati di *baseline* (i.e. una valutazione pre-test). Durante questa sessione sono stati raccolti i dati riguardanti il funzionamento cognitivo generale attraverso la prova del disegno con i cubi e la prova di vocabolario.

La prova del disegno con i cubi è un *subtest* della batteria WPPSI – IV (Wechsler, 2019). Essa fa parte delle prove che indagano le capacità di ragionamento visuo-percettivo. Per la fascia di età di cui si è interessata la ricerca, la prova consiste di 15 compiti in cui il bambino deve riprodurre con i cubi a sua disposizione le figure che gli vengono presentate dallo sperimentatore alcune attraverso un modello, altre attraverso una rappresentazione grafica presente su di un libretto. Il bambino ha a disposizione un tempo crescente (da 30 secondi per le prime figure, fino a 90 secondi per le ultime). Viene preso il tempo e segnati gli errori di esecuzione.

La prova del vocabolario fa parte delle prove appartenenti alla WPPSI – IV (Wechsler, 2019) che indagano la comprensione verbale. Prendendo in considerazione la fascia di età a cui si è rivolta la ricerca, la prova è costituita da una lista di 20 parole. Il compito del bambino è fornire una definizione delle stesse che sia il più completa possibile. Il parametro che viene valutato in questa prova è l'accuratezza.

Durante la seconda (T2) e terza (T3) sessione, invece, i bambini hanno giocato con uno dei due giochi prima di essere sottoposti ad un'altra valutazione. In queste sessioni sperimentali i bambini hanno giocato per 30 minuti ad uno dei due giochi tra “Mario Kart 8 Deluxe” e “Tangram”. Una metà del campione ha giocato in T2 con l'AVG e in T3 con il NAVG; l'altra metà ha giocato in T2 con il NAVG e in T3 con l'AVG. L'AVG “Mario Kart 8 Deluxe” oltre ad essere stato scelto per la semplicità di utilizzo e la comodità di poter essere utilizzato in un dispositivo portatile, è stato selezionato perché altamente motivante in quanto, disponendo di molteplici trofei costituiti da diversi livelli, spronava il bambino a superare il suo record personale. Anche il gioco del “Tangram” è stato selezionato per la facilità di utilizzo e per il suo essere coinvolgente per la fascia di età presa in esame dalla ricerca. In questo gioco in scatola visuo-costruttivo delle forme geometriche di legno colorate devono essere utilizzate per completare delle figure che vengono proposte su di un cartoncino. È presente solo il contorno delle figure che il soggetto deve riempire servendosi dei pezzi che gli vengono forniti dallo sperimentatore. Le immagini vengono proposte una dopo l'altra seguendo livelli di difficoltà crescente.

Immediatamente dopo il gioco è stato somministrato il questionario cartaceo relativo all'autovalutazione delle emozioni.

Inoltre, in tutte e tre le sessioni (in T2 e T3 dopo i 30 minuti di gioco) sono state valutate la destrezza manuale e l'abilità di mira dei bambini.

La destrezza manuale è stata valutata in ciascuno dei tre incontri attraverso la prova del salvadanaio. Questa prova è un *subtest* appartenente alla sezione “Destrezza manuale” della batteria Movement ABC – 2 (Henderson et al., 1992). In questo compito viene utilizzato un salvadanaio di cartone con una fessura per le monete che viene posto con il lato corto rivolto verso il bambino. Sul tavolo, parallelamente al salvadanaio, vengono posizionate 12 monete disposte in tre file da quattro. Quando gli viene dato il via, il

bambino con una mano deve tenere fermo il salvadanaio, e con l'altra deve prendere le monete una alla volta e infilarle il più velocemente possibile nella fessura del salvadanaio. Viene valutata prima la mano dominante, poi quella non dominante. Per ciascuna mano viene contato il numero di errori commessi (i.e. monete posizionate scorrettamente nella fessura del salvadanaio al primo tentativo) per le prime sei monete e per le seconde sei monete, la somma dei quali fornisce il numero di errori commessi in totale. Inoltre, vengono prese due misurazioni temporali: la prima va dal momento in cui la mano valutata viene alzata dal tavolo a quando la sesta moneta tocca il fondo del salvadanaio e la seconda va da quando la sesta moneta tocca il fondo del salvadanaio a quando la dodicesima e ultima moneta tocca il fondo del salvadanaio. La somma di queste due misurazioni temporali permette di ottenere una misurazione del tempo totale. La prova formale di ognuna delle due mani viene immediatamente preceduta da una fase di esercizio in cui il bambino ha la possibilità di esercitarsi con sei monete. Questa prova misura l'accuratezza e la velocità del movimento eseguito con ciascuna delle due mani.

Le abilità di mira sono state valutate in ciascuno dei tre incontri mediante la prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio. Questa prova è un *subtest* appartenente alla sezione "Mirare e Afferrare" della batteria Movement ABC – 2 (Henderson et al., 1992). In questo compito viene posizionato un tappeto che rappresenta la base sopra la quale deve posizionarsi il bambino e sul terreno, a una distanza di 180 cm viene posizionato il tappeto bersaglio. Il bambino, lanciando il sacchetto con una mano, deve cercare di farlo atterrare in qualunque punto del tappeto bersaglio. Viene valutata prima la mano dominante e poi quella non dominante. Il bambino ha a disposizione 10 tiri per ciascuna mano che vengono immediatamente preceduti da una fase di esercizio che consta di cinque tiri di prova per ciascuna mano. Viene contato il numero di centri compiuti con ciascuna mano che rappresentano una misura dell'accuratezza.

2.3 Risultati

2.3.1 Funzionamento cognitivo generale

In seguito alla valutazione del funzionamento cognitivo generale, il gruppo di giovani partecipanti ha ottenuto un punteggio ponderato nella norma sia alla prova di disegno con i cubi ($M = 10.62$, $DS = 3.73$) sia alla prova del vocabolario ($M = 13.84$, $DS = 5.01$) risultando pertanto idoneo alla ricerca (Tabella 1).

	Punteggio Minimo	Punteggio Massimo	Media	Deviazione Standard
Disegno con i cubi	4	19	10.62	3.73
Vocabolario	3	19	13.84	5.01

Tabella 1. Sono riportati nella tabella il punteggio minimo, massimo, la media e la deviazione standard dei punteggi ottenuti dai partecipanti nella prova di disegno con i cubi e nella prova del vocabolario.

2.3.2 Abilità di mira

L'analisi dei dati della prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio è stata eseguita attraverso un'analisi della varianza (ANOVA) con disegno 3×2 . Essa, quindi, prende in considerazione due variabili: la sessione e la mano utilizzata. La variabile sessione ha tre livelli ovvero T1, post AVG e post NAVG. La variabile mano utilizzata ha due livelli: mano dominante (DD) e mano non dominante (ND). All'interno di questo disegno di analisi è stata inserita solo l'accuratezza (i.e. il numero di canestri effettuati dal soggetto) poiché la velocità non viene misurata.

È stato riscontrato un effetto principale della sessione a prescindere dalla mano utilizzata ($F_{(1, 44)} = 4.486$, $p = .040$), ovvero la prestazione dei giovani partecipanti è stata diversa quando il compito è stato eseguito in T1 ($M = 5.578$, $DS = 2.093$), dopo aver giocato con

l'AVG (M = 4.522, DS = 2.160) e dopo aver giocato con il NAVG (M = 4.933, DS = 2.428) (Figura 1). Dal confronto a coppie della prestazione effettuata in T1 con quella realizzata dopo aver giocato con l'AVG e con quella eseguita dopo aver giocato con il NAVG si ottengono rispettivamente una $p = .001$ e una $p = .040$. Questi risultati evidenziano un peggioramento significativo nell'esecuzione del compito dopo entrambi i giochi.

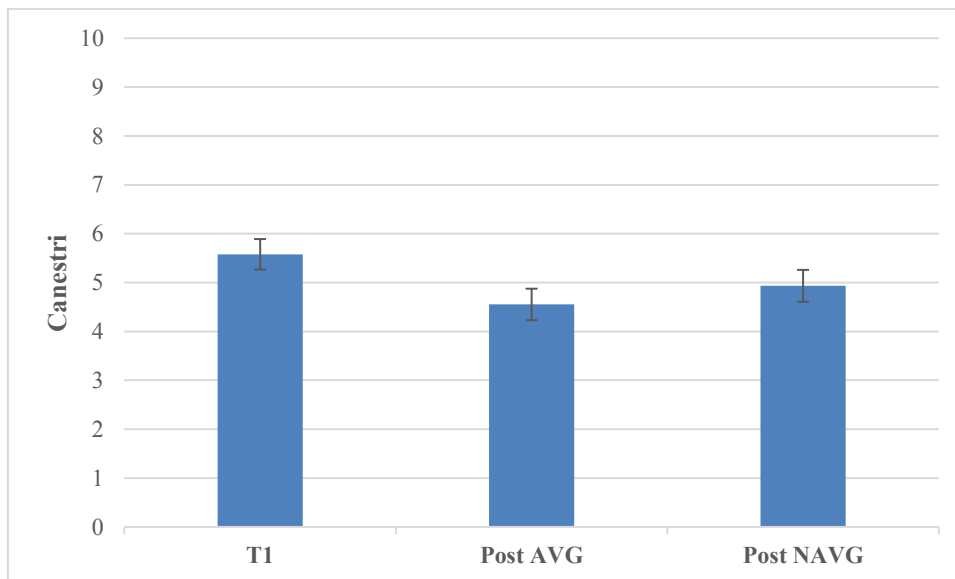


Figura 1. Il grafico mostra il numero medio di canestri effettuati dai soggetti in T1, dopo aver giocato con l'AVG e dopo aver giocato con il NAVG. Le barre rappresentano l'errore standard.

Inoltre, è stato rilevato un effetto principale della mano dominante rispetto alla mano non dominante indipendentemente da quando è stato svolto il compito ($F_{(1, 44)} = 5.729$, $p = .021$). In tutte e tre le sessioni, i bambini hanno eseguito una prestazione migliore utilizzando la mano dominante (T1: mano DD: M = 5.89, DS = 2.258, mano ND: M = 5.27, DS = 2.425; Post AVG: mano DD: M = 4.71, DS = 2.464, mano ND: M = 4.33, DS = 2.345; Post NAVG: mano DD: M = 5.15, DS = 2.513, mano ND: M = 4.71, DS = 2.555) (Figura 2).

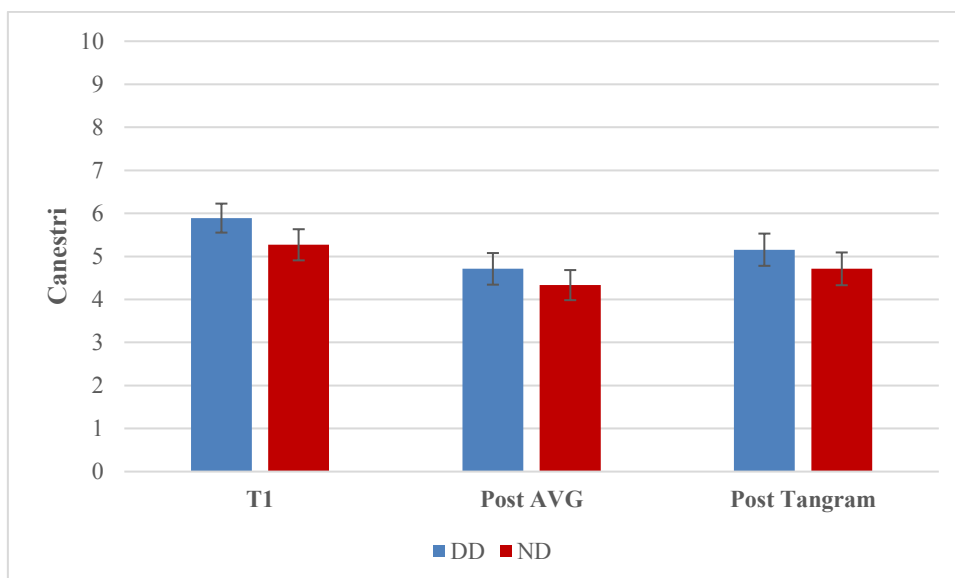


Figura 2. Il grafico mostra il numero medio di canestri effettuati dai soggetti con la mano dominante (DD) e con la mano non dominante (ND) in T1, dopo aver giocato con l'AVG e dopo aver giocato con il NAVG. Le barre rappresentano l'errore standard.

2.3.3 Destrezza manuale

Per svolgere l'analisi dei dati della prova di destrezza manuale del salvadanaio è stata utilizzata un'ANOVA con disegno 3 x 2, quindi avente la medesima struttura di quella utilizzata per l'analisi dei dati della prova di mira del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio. Anche in questo caso sono state prese in considerazione la variabile a tre livelli della sessione e la variabile a due livelli della mano utilizzata. Questa volta, all'interno del disegno di analisi sono stati inseriti la velocità (i.e. il tempo impiegato dal soggetto per portare a termine il compito) e il numero di errori.

Per quanto riguarda la velocità è stato constatato un effetto della sessione con un miglioramento significativo in seguito ai 30 minuti di gioco con l'AVG solo rispetto alla sessione T1 ($F_{(1,44)} = 5.897$, $p = .019$). Infatti, si può notare una significativa diminuzione del tempo impiegato per l'esecuzione del compito dopo l'AVG ($M = 27.084$ sec, $DS = 8.734$) rispetto alla sessione T1 ($M = 30.396$ sec, $DS = 6.621$) ma non dopo aver giocato con il NAVG ($M = 29.548$ sec, $DS = 6.077$) (Figura 3).

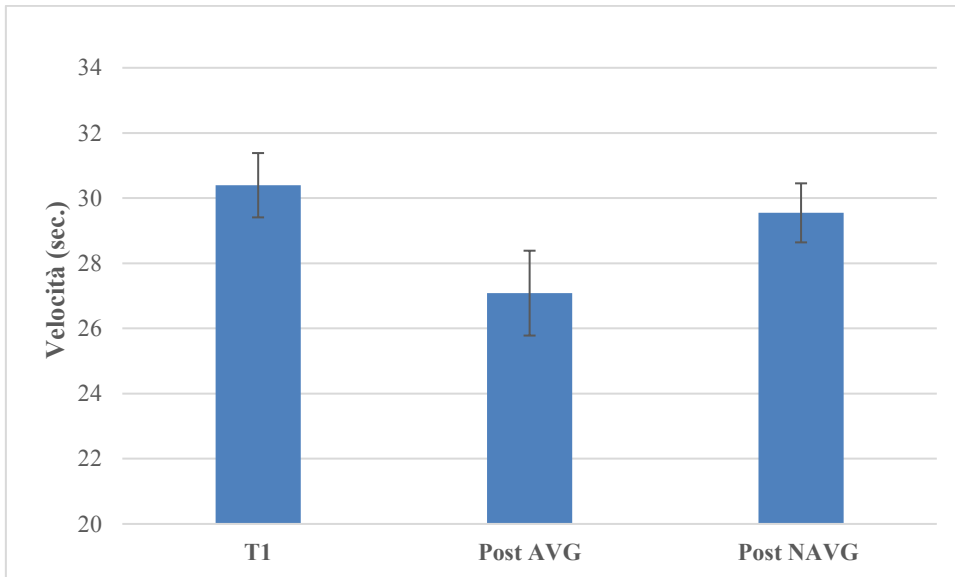


Figura 3. Il grafico mostra la velocità media di esecuzione del compito in T1, dopo aver giocato con l'AVG e dopo aver giocato con il NAVG. Le barre rappresentano l'errore standard.

Inoltre, è stata evidenziata un'interazione significativa tra le due variabili considerate ($F_{(1, 44)} = 12.625, p = .001$). Per quanto riguarda la mano dominante, non viene riscontrato un significativo aumento della velocità di esecuzione del compito tra la sessione T1 ($M = 29.938$ sec, $DS = 8.201$), dopo aver giocato con l'AVG ($M = 28.670$ sec, $DS = 7.438$) e dopo aver giocato con il NAVG ($M = 28.558$ sec, $DS = 6.355$). Invece, per quanto concerne la mano non dominante, è stato trovato un significativo miglioramento della prestazione solo in seguito alla sessione di gioco con l'AVG ($M = 25.499$ sec, $DS = 11.625$) rispetto la condizione T1 ($M = 30.853$ sec, $DS = 7.583$), ma non dopo la sessione di gioco con il NAVG ($M = 30.537$ sec, $DS = 8.036$) (Figura 4). Infatti, eseguendo un confronto a coppie tra la sessione T1 e la sessione di gioco con l'AVG si ottiene una $p = .002$ ed eseguendo un confronto a coppie tra la sessione di gioco con l'AVG e la sessione di gioco con il NAVG si ottiene una $p = .011$. È da notare un interessante risultato prendendo in considerazione la sessione di gioco con l'AVG, dal confronto a coppie tra la mano dominante e la mano non dominante emerge una $p = .019$ che indica che giocare con l'AVG sembra indurre una inversione della dominanza manuale.

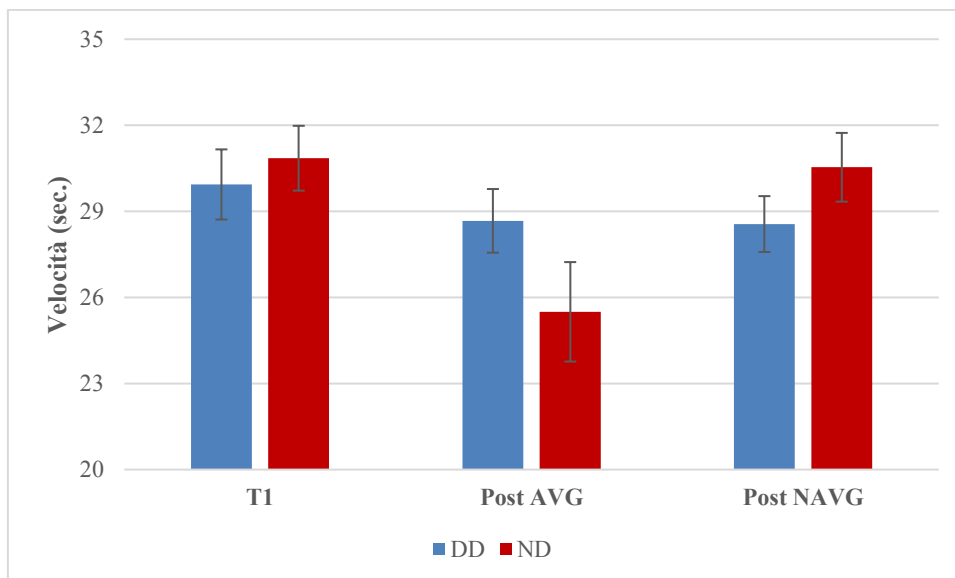


Figura 4. Il grafico mostra la velocità media di esecuzione del compito con la mano dominante (DD) e la mano non dominante (ND) in T1, dopo aver giocato con l'AVG e dopo aver giocato con il NAVG. Le barre rappresentano l'errore standard.

Per quanto riguarda gli errori si registra un effetto della sessione a prescindere dalla mano utilizzata ($F_{(1,44)} = 9.236, p = .004$). Rispetto al numero di errori rilevati in T1 ($M = 0.644, DS = 0.832$), si riscontra un aumento degli stessi sia dopo aver giocato con l'AVG ($M = 1.011, DS = 0.932$) che dopo aver giocato con il NAVG ($M = 1.044, DS = 1.107$) (Figura 5). Sebbene la differenza nella quantità di errori compiuti nelle tre sessioni possa sembrare esigua, essa è significativa poiché generalmente nella prova l'accuratezza è a soffitto.

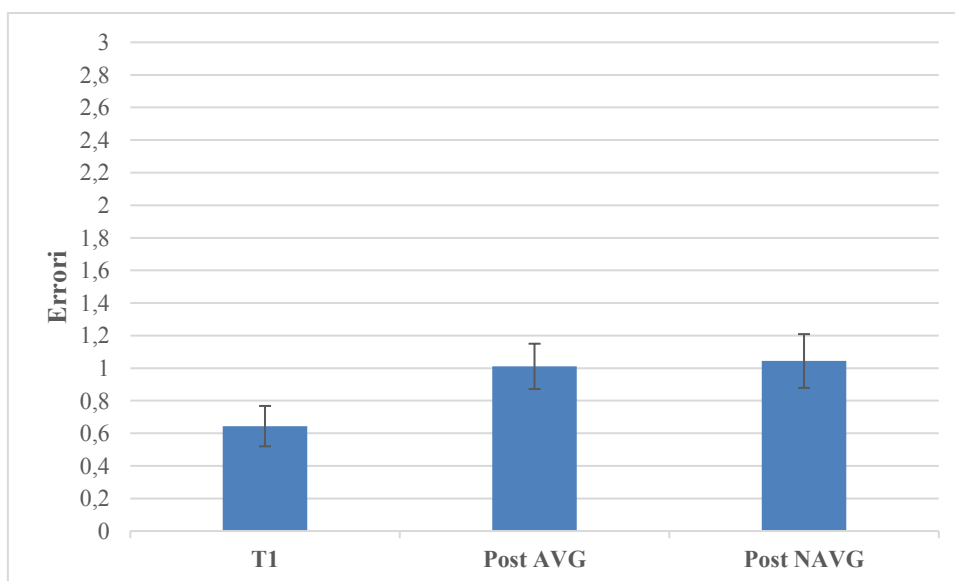


Figura 5. Il grafico mostra il numero medio di errori compiuti dai soggetti nell'esecuzione del compito in T1, dopo aver giocato con l'AVG e dopo aver giocato con il NAVG. Le barre rappresentano l'errore standard.

Per escludere un possibile *trade-off* tra rapidità ed accuratezza, all'interno del disegno di analisi precedentemente descritto è stato inserito anche un indice composito, chiamato indice di inefficienza (i.e., il rapporto tra tempo in secondi e l'accuratezza in frequenza), che permette di ottenere una variabile in cui la velocità è pesata sull'accuratezza ottenuta. Per quanto riguarda la mano dominante, non è stata trovata una significativa diminuzione dell'inefficienza tra la sessione T1 (M = 31.297, DS = 9.312), dopo aver giocato con l'AVG (M = 31.918, DS = 11.535) e dopo aver giocato con il NAVG (M = 31.102, DS = 8.665). Invece, per quanto concerne la mano non dominante, è stata riscontrata una significativa riduzione dell'inefficienza solo in seguito alla sessione di gioco con l'AVG (M = 28.809, DS = 14.464) ma non in confronto sia con il T1 (M = 33.813, DS = 9.511) che con la sessione di gioco con il NAVG (M = 34.991, DS = 11.445) (Figura 6). Quindi, grazie a questa analisi viene registrata la presenza di un'interazione significativa tra sessione e mano utilizzata ($F_{(1, 44)} = 10.924$, $p = .002$) dalla quale si evince che solo in seguito all'AVG si ha una significativa riduzione dell'inefficienza (i.e. un aumento dell'efficienza) nella sola mano non dominante.

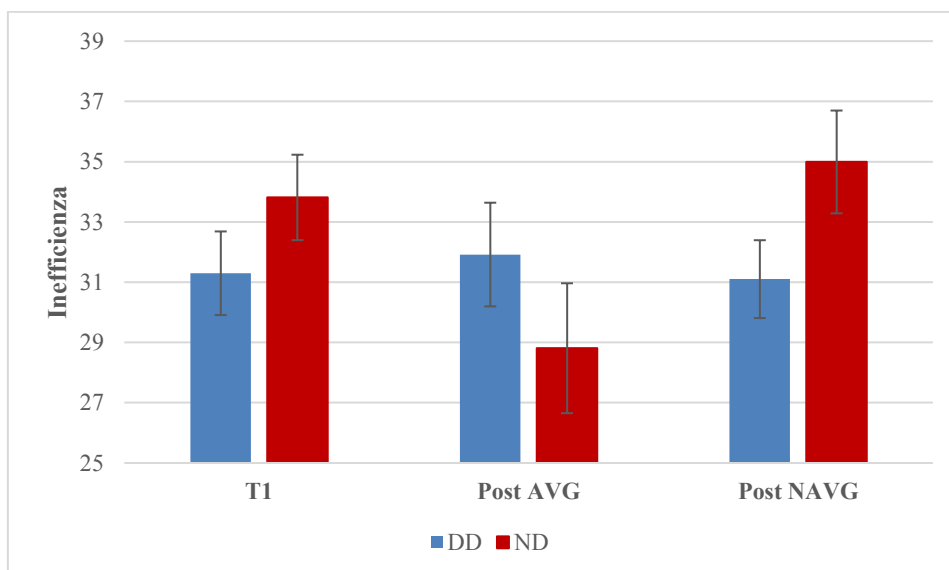


Figura 6. Il grafico mostra il valore medio dell'indice di inefficienza per la mano dominante (DD) e per la mano non dominante (ND) in T1, dopo aver giocato con l'AVG e dopo aver giocato con il NAVG. Le barre rappresentano l'errore standard.

2.3.4 Questionario post-gioco

Eseguendo un'ANOVA dei punteggi ricavati dalle risposte date dai bambini ai questionari post-gioco risulta significativa la sessione in cui è stato compilato il questionario ($F_{(1,44)} = 4.221$, $p = .046$) con un divertimento maggiore provato con l'AVG ($M = 8.18$, $DS = 1.64$) rispetto al NAVG ($M = 7.40$, $DS = 2.04$) (Figura 7).

Inoltre, per quanto riguarda la difficoltà (AVG: $M = 3.93$, $DS = 3.00$; NAVG: $M = 4.62$, $DS = 2.81$), la sessione non è risultata significativa ($F_{(1,44)} = 1.464$, $p = .233$) (Figura 7).

Per quanto concerne le emozioni provate in seguito ai giochi, la sessione non è risultata significativa. Infatti, i bambini hanno riportato di sentirsi agitati ($F_{(1,44)} = 0.044$, $p = .834$) in egual misura dopo aver giocato con l'AVG ($M = 4.22$, $DS = 3.09$) e dopo aver giocato con il NAVG ($M = 4.13$, $DS = 3.18$) (Figura 7). Sebbene non significativa, anche la misura in cui i giovani partecipanti si sentivano allegri ($F_{(1,44)} = 2.054$, $p = .159$) risulta maggiore dopo l'AVG ($M = 7,07$, $DS = 1,86$) rispetto a dopo il NAVG ($M = 6.42$, $DS = 2.53$) (Figura 7). Infine, per quanto riguarda il sentirsi energici nessuna differenza viene rilevato dopo i due giochi ($F_{(1,44)} = 1.120$, $p = .296$) (AVG: $M = 6.11$, $DS = 2.61$; NAVG: $M = 6.55$, $DS = 2.62$) (Figura 7).

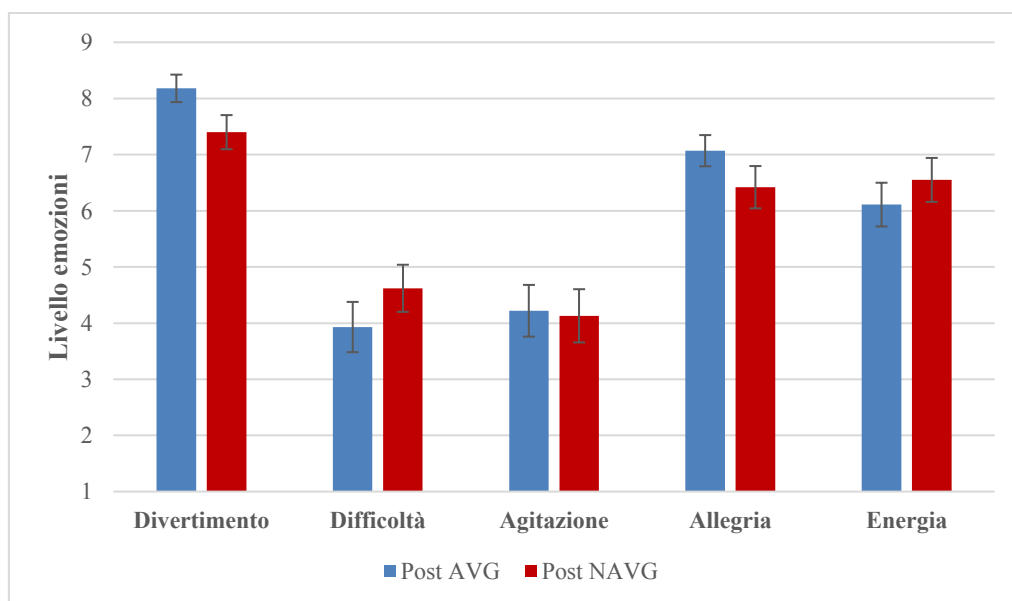


Figura 7. Il grafico mostra i livelli medi delle emozioni esperite dai soggetti dopo aver giocato con l'AVG e dopo aver giocato con il NAVG. Le barre rappresentano l'errore standard.

2.4 Discussione

Come evidenziato dai risultati, giocare con un AVG ha indotto effetti differenti sulle abilità di mira e sulla destrezza manuale dei bambini della scuola dell'infanzia.

Per quanto riguarda le abilità di mira, non viene riscontrato un miglioramento. Inoltre, i risultati trovati non sono in linea con gli studi precedentemente effettuati da Noce (2021) e da Franceschini et al. (2022). In questa ricerca si rileva un significativo peggioramento della prestazione; invece, nello studio di Noce (2021) era stato trovato un risultato nullo (i.e. nessuna differenza). Nello studio di Franceschini et al. (2022) era stato trovato un significativo miglioramento in entrambe le prove utilizzate per valutare le abilità grosso-motorie, quali la prova che richiedeva di afferrare una palla con una sola mano e la prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio. Nella prova in cui era necessario afferrare una palla con una sola mano è stato rilevato che la palla è stata afferrata mediamente un maggior numero di volte dopo aver giocato con l'AVG ($M = 2.99$, $DS = 2.01$) rispetto alla *baseline* ($M = 2.12$, $DS = 1.88$) e rispetto a dopo aver giocato con il NAVG ($M = 2.12$, $DS = 1.78$) (Franceschini et al., 2022). Nella prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio è stato osservato un maggior numero medio di centri dopo aver giocato con l'AVG ($M = 4.45$, $DS = 1.78$) rispetto alla *baseline* ($M = 3.4$, $DS = 1.78$) e rispetto a dopo aver giocato con il NAVG ($M = 3.16$, $DS = 1.84$) (Franceschini et al., 2022). Nella presente ricerca viene però riscontrato un effetto della mano dominante rispetto alla mano non dominante che potrebbe essere spiegato dal fatto che sia notoriamente più facile eseguire un compito con la mano dominante piuttosto che con la mano non dominante (e.g. Steenhuis & Bryden, 1999).

Tuttavia, nella prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto viene valutata solo la variabile dell'accuratezza e non quella della velocità. Disponendo della variabile della velocità sarebbe possibile valutare la componente striatale di *habit learning* riguardante l'associazione stimolo-risposta (Graybiel, 2000). Sono quindi necessarie ulteriori ricerche che si occupino di questo aspetto.

Per quanto riguarda la destrezza manuale, viene constatato un miglioramento nella mano non dominante solo dopo aver giocato con l'AVG. Questo risultato non solo avvalora

l'ipotesi sperimentale, ma anche replica gli studi precedenti di Noce (2021) e di Franceschini et al. (2022). Infatti, Noce (2021) ha evidenziato una significativa riduzione dell'inefficienza nel compito del salvadanaio dopo aver giocato con l'AVG ($M = 27.03$, $DS = 6.04$) rispetto alla *baseline* ($M = 30.87$, $DS = 6.76$) e rispetto a dopo aver giocato con il NAVG ($M = 28.61$, $DS = 6.31$). Anche Franceschini et al. (2022), utilizzando il compito di posizionamento dei chiodini, hanno riscontrato una significativa diminuzione dell'inefficienza dopo aver giocato con l'AVG ($M = 133.94$, $DS = 24$) rispetto alla *baseline* ($M = 150.64$, $DS = 26.42$) e rispetto a dopo aver giocato con il NAVG ($M = 145.36$, $DS = 28.2$).

Sono state avanzate diverse ipotesi per spiegare questo risultato. Una di esse sostiene che inizialmente i bambini non avessero una preferenza manuale per svolgere il compito, ma che essa si sia sviluppata, facendoli diventare più veloci, per la mano non dominante dopo aver giocato con l'AVG. Tuttavia, questa ipotesi non è molto convincente poiché in bambini di cinque anni è già presente una dominanza manuale, sebbene essa sia debole e diventi più consistente con l'aumentare dell'età (Scharoun & Bryden, 2014).

Una seconda ipotesi suggerisce che migliori solamente la mano non dominante perché essa, essendo meno allenata, potrebbe avere un margine di miglioramento maggiore ed essere quindi la componente più sensibile al meccanismo di apprendimento.

Inoltre, i risultati emersi da questa ricerca, sia per le abilità di mira che per la destrezza manuale, possono essere spiegati anche attraverso altre ipotesi. Una di queste suggerisce che i risultati trovati nel lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio in questo studio siano diversi rispetto a quelli trovati in precedenza a causa del diverso sviluppo dei sistemi di controllo prefrontali dei bambini della scuola dell'infanzia, che hanno partecipato alla presente ricerca, rispetto a quelli dei bambini frequentanti diverse classi della scuola primaria, che hanno preso parte allo studio di Noce (2021) e di Franceschini et al. (2022). Il ridotto sviluppo delle funzioni di controllo senso-motorio nei prescolari potrebbe far emergere una differenza nella natura specifica dei circuiti senso-motori richiesti per l'efficiente realizzazione dei due diversi compiti. In particolare, si ipotizza che per la prova del salvadanaio vengano utilizzati maggiormente i circuiti più automatici comprendenti la M1, i nuclei della base e il cervelletto. Invece, per la prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio si suppone che vengano utilizzati in maggior

misura i circuiti volontari costituiti dalle aree prefrontali dorsolaterali, le aree premotorie, le aree motorie supplementari e la corteccia motoria primaria (Freberg, 2019), le quali, essendo meno mature, causerebbero una prestazione peggiore a questo compito.

Un'altra ipotesi, collegata a quella precedentemente descritta, suggerisce che il lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio richieda la precisa integrazione da parte della corteccia prefrontale di informazioni veicolate dal circuito senso-motorio dorsolaterale, che controlla i tratti distali degli arti, e dal circuito senso-motorio ventromediale, che controlla maggiormente il tronco e le parti prossimali degli arti (Bear et al., 2017). La prova del salvadanaio invece richiederebbe principalmente l'utilizzo del circuito dorsolaterale per il fine controllo dei tratti distali degli arti, con minime richieste al circuito ventromediale implicato nel controllo posturale (Bear et al., 2017).

Un'altra ipotesi ancora propone che la prova del salvadanaio richieda una continua ripetizione dello stesso atto motorio caricando maggiormente i nuclei della base e il cervelletto e in minor misura l'APM e l'AMS. Mentre i movimenti eseguiti per compiere la prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio, seppur ripetuti per dieci volte, potrebbero costituire un singolo atto motorio che si riprogramma in base al *feedback* ambientale e che si aggiusta sulla base dell'esperienza motoria precedente integrando così maggiori fonti di informazioni sensoriali.

Tuttavia, tutte le ipotesi sopra riportate sono complicate dal fatto che il miglioramento nella prova del salvadanaio, un compito presumibilmente più automatico-cerebellare, si ottenga solo per la mano non dominante che, essendo meno specializzata per la destrezza manuale, dovrebbe invece richiedere un potenziale maggior ruolo del controllo volontario prefrontale.

Tuttora, l'ipotesi più plausibile, in parte supportata dalla letteratura sugli AVG (e.g. Nelson & Strachan, 2009), suggerisce che essi aumentino la velocità a spese però dell'accuratezza. Questa spiegazione permette di interpretare i risultati attuali come una riduzione generale nell'accuratezza, sia nella prova del lancio del sacchetto all'interno del tappeto bersaglio che nella prova del salvadanaio, associata ad un concomitante aumento nella velocità senso-motoria, anche se riscontrata solo nella prova del salvadanaio e unicamente per la mano non dominante.

Tuttavia, per quanto riguarda la prova del salvadanaio, l'indice di inefficienza, evidenziando che si ha un significativo aumento dell'efficienza (i.e. una diminuzione dell'inefficienza) solo in seguito all'AVG nella sola mano non dominante, puntualizza che la prestazione pesata sia per velocità sia per accuratezza migliori dopo aver giocato con l'AVG contrariamente a quanto attualmente presente in letteratura (e.g. Nelson & Strachan, 2009).

Inoltre, diversamente da quanto trovato da Nelson & Strachan (2009), il presente studio rileva una diminuzione dell'accuratezza non solo in seguito alla sessione di gioco con l'AVG, ma anche in seguito alla sessione di gioco con in NAVG.

Per quanto concerne l'aumento degli errori riscontrati nella prova del salvadanaio dopo entrambi i giochi, esso potrebbe essere spiegato dal fatto che il gioco, come lo stress (e.g. Feenstra, 2000; Morilak et al., 2005), sia associato alla liberazione di ingenti quantità di noradrenalina (e.g. Vanderschuren et al, 2016). Questa catecolamina, silenziando i circuiti volontari prefrontali, causerebbe un aumento degli errori e, al contempo, un aumento della velocità a causa della conseguente maggiore attivazione dei circuiti più automatici del *Saliency Network*, circuito che comprende diverse strutture limbiche (Seeley et al., 2007).

Infine, alla luce di questi risultati, questo studio potrebbe fornire un interessante spunto per ricerche ed interventi futuri che utilizzino gli AVG come strumenti di potenziamento per le abilità fino-motorie, specialmente di bambini con disturbo della coordinazione motoria in cui è noto che esse siano particolarmente compromesse (Barnhart et al., 2003).

Conclusioni

In conclusione, quanto è emerso da questa ricerca conferma solo parzialmente i risultati ottenuti nelle ricerche precedenti (e.g. Noce, 2021; Franceschini et al. 2022). Per quanto riguarda le abilità di mira non vengono confermati i risultati delle ricerche che sono state svolte in precedenza. Invece, per quanto concerne la destrezza manuale vengono avvalorati i risultati degli studi precedenti (e.g. Noce, 2021; Franceschini et al., 2022) trovando un effetto positivo degli AVG su tale abilità.

Per questa ragione si può ipotizzare che particolari popolazioni cliniche nelle quali si riscontra una marcata compromissione delle abilità fino-motorie (e.g. individui con DCD) potrebbero ottenere dei miglioramenti in queste abilità attraverso interventi di potenziamento effettuati utilizzando gli AVG (e.g., Gozli et al., 2014; Li et al., 2016).

Bibliografia

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (DSM-5®). American Psychiatric Publishing.
- Arias-Carrión, O., & Pöppel, E. (2007). Dopamine, learning, and reward-seeking behavior. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 67(4), 481-488.
- Barnhart, R. C., Davenport, M. J., Epps, S. B., & Nordquist V. M. (2003). Developmental coordination disorder. *Physical Therapy*, 83(8), 722-731. <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.722>
- Bateman, C., & Nacke, L. E. (2010). The neurobiology of play. *Proceedings of the International Academic Conference on the Future of Game Design and Technology*, 10, 1-8. <https://doi.org/10.1145/1920778.1920780>
- Bavelier, D., Green, C. S., Pouget, A., & Schrater, P. (2012). Brain Plasticity Through the Life Span: Learning to Learn and Action Video Games. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 391-416. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-152832>
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2017). *Neuroscienze. Esplorando il cervello* (4° ed.). Edra.
- Bekoff, M. (2001). Social play behaviour. Cooperation, fairness, trust, and the evolution of morality. *Journal of Consciousness Studies*, 8(2), 81-90.
- Bekoff, M., & Byers, J. A. (1981). A critical re-analysis of the ontogeny and phylogeny of mammalian social and locomotor play: an ethological hornet's nest. In K. Immelmann, G. W. Barlow, L. Petrinovich, & M. B. Main (A cura di), *Behavioral Development: The Bielefeld Interdisciplinary Project* (pp. 296-337). Cambridge University Press.
- Bekoff, M., & Pierce, J. (2009). *Wild justice: the moral lives of animals*. University of Chicago Press.

- Bonnechère, B., Jansen, B., Omelina, L., Degelaen, M., Wermenbol, V., Rooze, M., & Jan, S. V. S. (2014). Can serious games be incorporated with conventional treatment of children with cerebral palsy? A review. *Research in Developmental Disabilities, 35*(8), 1899-1913. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.04.016>
- Bonney, E., Ferguson, G. D., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2017a). The efficacy of two activity-based interventions in adolescents with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities, 71*, 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.013>
- Bonney, E., Jelsma, L. D., Ferguson, G. D., & Smits-Engelsman, B. C. M (2017b). Learning better by repetition or variation? Is transfer at odds with task specific training?. *PLoS One, 12*(3), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174214>
- Booth, A., Shelley, G., Mazur, A., Tharp, G., & Kittok, R. (1989). Testosterone, and winning and losing in human competition. *Hormones and Behavior, 23*(4), 556-571. [https://doi.org/10.1016/0018-506X\(89\)90042-1](https://doi.org/10.1016/0018-506X(89)90042-1)
- Brown, M. C., Hopkins, W. G., & Keynes, R. J. (1991). *Essentials of neural development*. Cambridge University Press.
- Brownlee, A. (1954). Play in domestic cattle in Britain: an analysis of its nature. *British Veterinary Journal, 110*(2), 48-68. [https://doi.org/10.1016/S0007-1935\(17\)50529-1](https://doi.org/10.1016/S0007-1935(17)50529-1)
- Burghardt, G. M. (2005). *The genesis of animal play: testing the limits*. MIT Press.
- Butcher, J. E., & Eaton, W. O. (1989). Gross and fine motor proficiency in preschoolers: relationships with free play behaviour and activity level. *Journal of Human Movement Studies, 16*(1), 27-36.
- Byers, J. A. (1998). Biological effects of locomotor play: Getting into shape, or something more specific? In M. Bekoff, & J. A. Byers (A cura di), *Animal play: Evolutionary, comparative, and ecological perspectives* (pp. 205–220). Cambridge University Press.

- Byers, J. A., & Walker, C. B. (1995). Refining the motor training hypothesis for the evolution of play. *The American Naturalist*, *146*(1), 25-40. <https://doi.org/10.1086/285785>
- Campbell, A. W., (1905). *Histological studies on the localisation of cerebral function*. University Press.
- Cauda, F., D'Agata, F., Sacco, K., Duca, S., Geminiani, G., & Vercelli, A. (2011). Functional connectivity of the insula in the resting brain. *NeuroImage*, *55*(1), 8-23. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.049>
- Chiappe, D., Conger, M., Liao, J., Caldwell, J. L., & Vu, K. P. L. (2013). Improving multi-tasking ability through action videogames. *Applied Ergonomics*, *44*(2), 278-284. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.08.002>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(3), 201-215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Dapporto, L., Turillazzi, S., & Palagi, E. (2006). Dominance interactions in young adult paper wasp (*Polistes dominulus*) foundresses: A playlike behavior?. *Journal of Comparative Psychology*, *120*(4), 394-400. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.120.4.394>
- Donohue, S. E., Woldorff, M. G., & Mitroff, S. R. (2010). Video game players show more precise multisensory temporal processing abilities. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*(4), 1120-1129. <https://doi.org/10.3758/APP.72.4.1120>
- Dye, M.W., Green, C. S., & Bavelier, D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Current Directions in Psychological Science*, *18*(6), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01660.x>
- Editorial Team. (2020, 14 agosto). *Global video game consumers population passes 3 billion*, DFC Intelligence. <https://www.dfcint.com/dossier/global-video-game-consumer-population/>

- Erickson, K. I., Boot, W. R., Basak, C., Neider, M. B., Prakash, R. S., Voss, M. W., Graybiel, A. M., Simons, D. J., Fabiani, M., Gratton, G. & Kramer, A. F. (2010). Striatal volume predicts level of video game skill acquisition. *Cerebral Cortex*, 20(11), 2522-2530. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp293>
- Evarts, E. V. (1973). Brain mechanisms in movement. *Scientific American*, 229(1), 96-103. <https://www.jstor.org/stable/24923151>
- Fagen, R. M. (1981). *Animal Play Behavior*. Oxford University Press.
- Feenstra, M. G. (2000). Dopamine and noradrenaline release in the prefrontal cortex in relation to unconditioned and conditioned stress and reward. *Progress in Brain Research*, 126, 133-163. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(00\)26012-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(00)26012-3)
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J., (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science*, 18(10), 850-855. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x>
- Ferguson, G. D., Jelsma, L. D., Jelsma, J. & Smits-Engelsman, B. C. M. (2013). The efficacy of two task-orientated interventions for children with Developmental Coordination Disorder: Neuromotor Task Training and Nintendo Wii Fit training. *Research in Developmental Disabilities*, 34(9), 2449-2461. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.05.007>
- Floeter, M. K., & Greenough, W. T. (1979). Cerebellar plasticity: modification of Purkinje cell structure by differential rearing in monkeys. *Science*, 206(4415), 227-229. <https://doi.org/10.1126/science.113873>
- Foerde, K., & Shohamy, D. (2011). The role of the basal ganglia in learning and memory: Insight from Parkinson's disease. *Neurobiology of Learning and Memory*, 96(4), 624-636. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2011.08.006>
- Franceschini, S., Bertoni, S., Lulli, M., Pievani, T., & Facoetti, A. (2022). Short-term effects of video-games on cognitive enhancement: The role of positive emotions. *Journal of Cognitive Enhancement*, 6(1), 29-46. <https://doi.org/10.1007/s41465-021-00220-9>

- Freberg, L. A. (2019). *Discovering biological psychology* (2° ed.). Wadsworth.
- Gamble J. R., & Cristol, D. A. (2002). Drop-catch behaviour is play in herring gulls, *Larus argentatus*. *Animal Behaviour*, 63(2), 339-345. <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1903>
- Glickstein, M., & Doron, K. (2008). Cerebellum: connections and functions. *The Cerebellum*, 7(4), 589-594. <https://doi.org/10.1007/s12311-008-0074-4>
- Gong, D., He, H., Liu, D., Ma, W., Dong, L., Luo, C., & Yao, D. (2015). Enhanced functional connectivity and increased gray matter volume of insula related to action video game playing. *Scientific reports*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep09763>
- Gozli, D. G., Bavelier, D., & Pratt, J. (2014). The effect of action video game playing on sensorimotor learning: Evidence from a movement tracking task. *Human Movement Science*, 38, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.09.004>
- Graham, K. L., & Burghardt, G. M. (2010). Current perspectives on the biological study of play: signs of progress. *The Quarterly Review of Biology*, 85(4), 393-418. <https://doi.org/10.1086/656903>
- Grahn, J. A., Parkinson, J. A., & Owen, A. M. (2009). The role of the basal ganglia in learning and memory: Neuropsychological studies. *Behavioural Brain Research*, 199(1), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.11.020>
- Granek, J. A., Gorbet, D. J., & Sergio, L. E. (2010). Extensive video-game experience alters cortical networks for complex visuomotor transformations. *Cortex*, 46(9), 1165-1177. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.10.009>
- Graybiel, A. M. (2000). The basal ganglia. *Current Biology*, 10(14), 509-511.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534-537. <https://doi.org/10.1038/nature01647>

- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition*, *101*(1), 217-245. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.10.004>
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2007). Action-video-game experience alters the spatial resolution of vision. *Psychological Science*, *18*(1), 88-94. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01853.x>
- Groos, K. (1898). *The Play of Animals*. D. Appleton & Company.
- Groos, K. (1901). *The Play of Man*. D. Appleton & Company.
- Hall, G. S. (1904). *Adolescence: Its psychology and its relations to physiology, anthropology, sociology, sex, crime, religion, and education* (Vol. 1). D. Appleton & Company.
- Hammond, J., Jones, V., Hill, E. L., Green, D., & Male, I. (2014). An investigation of the impact of regular use of the Wii Fit to improve motor and psychosocial outcomes in children with movement difficulties: a pilot study. *Child: care, health and development*, *40*(2), 165-175. <https://doi.org/10.1111/cch.12029>
- Heimer, L. (1983). Basal Ganglia. In L. Heimer (A cura di), *The Human Brain and Spinal Cord* (pp. 199-209). Springer.
- Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett A. (1992). *Movement Assessment Battery for Children - Second Edition (Movement ABC-2)*. Pearson.
- Hopson, J. (2001). *Behavioral Game Design*. Gamasutra.
- Jane, J. Y., Burnett, A. F., & Sit, C. H. (2018). Motor skill interventions in children with developmental coordination disorder: a systematic review and meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *99*(10), 2076-2099. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.12.009>
- Jelsma, L. D., Geuze, R. H., Mombarg, R., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2014). The impact of Wii Fit intervention on dynamic balance control in children with

- probable Developmental Coordination Disorder and balance problems. *Human Movement Science*, 33, 404-418. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.12.007>
- Jones, E. G., Burton, H., Saper, C. B., & Swanson, L. W. (1976). Midbrain, diencephalic and cortical relationships of the basal nucleus of Meynert and associated structures in primates. *Journal of Comparative Neurology*, 167(4), 385-419. <https://doi.org/10.1002/cne.901670402>
- Ju, Y. J., Du, Y. C., Lin, L. Y., Hou, C. R., Lin, P. Y., & Cherng, R. J. (2018). The effect of laboratory-developed video games on balance performance in children with developmental coordination disorder. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 30(01), Articolo 1850005. <https://doi.org/10.4015/S1016237218500059>
- Kelso, J. A. S. (2014). *Human motor behavior. An introduction*, Psychology Press.
- Kennedy, A. M., Boyle, E. M., Traynor, O., Walsh, T., & Hill, A. D. K. (2011). Video gaming enhances psychomotor skills but not visuospatial and perceptual abilities in surgical trainees. *Journal of Surgical Education*, 68(5), 414-420. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2011.03.009>
- Koepp, M. J., Gunn, R. N., Lawrence, A. D., Cunningham, V. J., Dagher, A., Jones, T., Brooks, D.J., Bench, C. J., & Grasby, P. M. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 393(6682), 266-268. <https://doi.org/10.1038/30498>
- Koster, R. (2005). *A theory of fun for game design*. Paraglyph Press.
- Kühn, S., & Gallinat, J. (2014). Amount of lifetime video gaming is positively associated with entorhinal, hippocampal and occipital volume. *Molecular Psychiatry*, 19(7), 842-847. <https://doi.org/10.1038/mp.2013.100>
- Kühn, S., Gleich, T., Lorenz, R. C., Lindenberger, U., & Gallinat, J. (2014). Playing Super Mario induces structural brain plasticity: gray matter changes resulting from training with a commercial video game. *Molecular Psychiatry*, 19(2), 265-271. <https://doi.org/10.1038/mp.2013.120>

- Kühn, S., Romanowski, A., Schilling, C., Lorenz, R., Mörsen, C., Seiferth, N., Banaschewski, T., Barbot, A., Barker, G. J., Büchel, C., Conrod, P. J., Dalley, J. W., Flor, H., Garavan, H., Ittermann, B., Mann, K., Martinot, J-L., Paus, T., Rietschel, M., ... Gallinat, J. (2011). The neural basis of video gaming. *Translational Psychiatry*, *1*(11), 1-5. <https://doi.org/10.1038/tp.2011.53>
- Lawrence, D. G., & Kuypers, H. G. (1968). The functional organization of the motor system in the monkey: I. The effects of bilateral pyramidal lesions, *Brain*, *91*(1), 1-14. <https://doi.org/10.1093/brain/91.1.1>
- Lawrence, D. G., & Kuypers, H. G. (1968). The functional organization of the motor system in the monkey: II. The effects of lesions of the descending brain-stem pathways. *Brain*, *91*(1), 15-36. <https://doi.org/10.1093/brain/91.1.15>
- Lee, P. C. (1983). *Play as a means for developing relationships*. Sinauer Associates.
- Li, L., Chen, R., & Chen, J. (2016). Playing action video games improves visuomotor control. *Psychological Science*, *27*(8), 1092-1108. <https://doi.org/10.1177/0956797616650300>
- Li, X., Cheng, X., Li, J., Pan, Y., Hu, Y., & Ku, Y. (2015). Examination of mechanisms underlying enhanced memory performance in action video game players: a pilot study. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1-6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00843>
- Li, R., Polat, U., Makous, W., & Bavelier, D. (2009). Enhancing the contrast sensitivity function through action video game training. *Nature Neuroscience*, *12*(5), 549-551. <https://doi.org/10.1038/nn.2296>
- Mandolesi, L., & Petrosini, L. (2017). Lo sviluppo del sistema nervoso. In S. Vicari, & M. C. Caselli (A cura di), *Neuropsicologia dell'età evolutiva* (pp. 29-42). Il Mulino.
- Mather, J. A., & Anderson, R. C. (1999). Exploration, play and habituation in octopuses (*Octopus dofleini*). *Journal of Comparative Psychology*, *113*(3), 333-338. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.113.3.333>

- Mazur, A., Booth, A., & Dabbs Jr, J. M. (1992). Testosterone and chess competition. *Social Psychology Quarterly*, 55(1), 70-77. <https://doi.org/10.2307/2786687>
- McSorley, E., Haggard, P., & Walker, R. (2006). Time course of oculomotor inhibition revealed by saccade trajectory modulation. *Journal of Neurophysiology*, 96(3), 1420-1424. <https://doi.org/10.1152/jn.00315.2006>
- Mentiplay, B. F., FitzGerald, T. L., Clark, R. A., Bower, K. J., Denehy, L., & Spittle A. J. (2019). Do video game interventions improve motor outcomes in children with developmental coordination disorder? A systematic review using the ICF framework. *BMC Pediatrics*, 19(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1381-7>
- Miyahara, M., Hillier, S. L., Pridham, L., & Nakagawa, S. (2017). Task-oriented interventions for children with developmental co-ordination disorder. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 7, 1-76. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010914.pub2>
- Mombarg, R., Jelsma, L. D., & Hartman, E. (2013). Effect of Wii-intervention on balance of children with poor motor performance. *Research in Developmental Disabilities*, 34(9), 2996-3003. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.06.008>
- Morilak, D. A., Barrera, G., Echevarria, D. J., Garcia, A. S., Hernandez, A., Ma, S., & Petre, C. O. (2005). Role of brain norepinephrine in the behavioral response to stress. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 29(8), 1214-1224. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2005.08.007>
- Nelson, R. A., & Strachan, I. (2009). Action and puzzle video games prime different speed/accuracy tradeoffs. *Perception*, 38(11), 1678-1687. <https://doi.org/10.1068/p6324>
- Noce, F. (2021). *Giocare divertendosi induce una atipica distribuzione dell'attenzione visuo-spaziale* [Tesi di master]. Università degli Studi di Padova.

- Olds, J., & Milner, P. (1954). Positive reinforcement produced by electrical stimulation of septal area and other regions of rat brain. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 47(6), 419-427. <https://doi.org/10.1037/h0058775>
- Packard, M. G., & Knowlton, B. J. (2002). Learning and memory functions of the basal ganglia. *Annual Review of Neuroscience*, 25(1), 563-593. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.25.112701.142937>
- Pellegrini, A. D., Dupuis, D., & Smith, P. K. (2007). Play in evolution and development. *Developmental Review*, 27(2), 261-276. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.09.001>
- Pellis, S., & Pellis, V. (2009). *The Playful Brain: Ventures to the Limits of Neuroscience*. Oneworld Press.
- Preston, N., Magallón, S., Hill, L. J. B., Andrews, E., Ahern, S.M., & Mon-Williams, M. (2017). A systematic review of high quality randomized controlled trials investigating motor skill programmes for children with developmental coordination disorder. *Clinical Rehabilitation*, 31(7), 857-870. <https://doi.org/10.1177/0269215516661014>
- Pysh, J. J., & Weiss, G. M. (1979). Exercise during development induces an increase in Purkinje cell dendritic tree size. *Science*, 206(4415), 153-157. <https://doi.org/10.1126/science.482938>
- Rizzolatti, G., & Luppino, G. (2001). The cortical motor system. *Neuron*, 31(6), 889-901. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00423-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00423-8)
- Rodríguez Jiménez, M., Pulina, F., & Lanfranchi, S. (2015). Video games and Intellectual Disabilities: a literature review. *Life Span and Disability XVIII*, 2, 147-165.
- Scharoun, S. M., & Bryden, P. J. (2014). Hand preference, performance abilities, and hand selection in children. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00082>
- Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., Reiss, A. L., & Greicius, M. D. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for

salience processing and executive control. *Journal of Neuroscience*, 27(9), 2349-2356. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007>

Skinner, B. F. (1938). *The Behavior of Organisms: An Experimental Analysis*. D. Appleton & Company.

Skinner, B. F. (1997). *Schedules of Reinforcement*. Copley Publishing Group.

Smits-Engelsman, B. C. M., Blank, R., Van Der Kaay, A. C., Mosterd-Van Der Meijs, R., Vlugt-van den brand, E., Polatajko, H. J., & Wilson, P. H. (2013). Efficacy of interventions to improve motor performance in children with developmental coordination disorder: a combined systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(3), 229-37. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12008>

Smits-Engelsman, B. C. M., Jelsma, L. D., Ferguson, G. D., & Geuze, R. H. (2015). Motor learning: an analysis of 100 trials of a ski slalom game in children with and without developmental coordination disorder. *PLoS One*, 10(10), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140470>

Smits-Engelsman, B. C. M., Jelsma, L. D., & Ferguson, G. D. (2017). The effect of exergames on functional strength, anaerobic fitness, balance and agility in children with and without motor coordination difficulties living in low-income communities. *Human Movement Science*, 55, 327-337. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.07.006>

Smits-Engelsman, B. C. M., Vinçon, S., Blank, R., Quadrado, V. H., Polatajko, H., & Wilson, P. H. (2018). Evaluating the evidence for motor-based interventions in developmental coordination disorder: a systematic review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, 74, 72-102. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.002>

Spencer, H. (1872). *The Principles of Psychology* (2° ed., Vol. 2). D. Appleton & Company.

- Špinka M., Newberry R. C., & Bekoff, M. (2001). Mammalian play: training for the unexpected. *The Quarterly Review of Biology*, 76(2), 141-168. <https://doi.org/10.1086/393866>
- Steenhuis, R. E., & Bryden, M. P. (1999). The relation between hand preference and hand performance: What you get depends on what you measure. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 4(1), 3-26. <https://doi.org/10.1080/713754324>
- Stiles, J., & Jernigan, T. L. (2010). The basics of brain development. *Neuropsychology Review*, 20(4), 327-348. <https://doi.org/10.1007/s11065-010-9148-4>
- Straker, L., Howie, E., Smith, A., Jensen, L., Piek, J. & Campbell, A. (2015). A crossover randomised and controlled trial of the impact of active video games on motor coordination and perceptions of physical ability in children at risk of developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 42, 146-160. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.04.011>
- Sussman, R. W., Garber, P. A., & Cheverud, J. M. (2005). Importance of cooperation and affiliation in the evolution of primate sociality. *American Journal of Physical Anthropology*, 128(1), 84-97. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20196>
- Tanaka, S., Ikeda, H., Kasahara, K., Kato, R., Tsubomi, H., Sugawara, S. K., Mori, M., Hanakawa, T., Sadato, N., Honda, M. & Watanabe, K. (2013). Larger right posterior parietal volume in action video game experts: a behavioral and voxel-based morphometry (VBM) study. *PLoS One*, 8(6), 1-6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066998>
- Vanderschuren, L. J., Achterberg, E. M., & Trezza, V. (2016). The neurobiology of social play and its rewarding value in rats. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 70, 86-105. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.025>
- Wechsler, D. (2019). *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence - Fourth Edition (WPPSI-IV)*. Giunti Psychometrics.

- West, G. L., Al-Aidroos, N., & Pratt, J. (2013). Action video game experience affects oculomotor performance. *Acta Psychologica*, *142*(1), 38-42. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.08.005>
- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B. C. M., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *55*(3), 21-228. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x>
- Zwicker, J. G., Harris, S. R., & Klassen, A. F. (2013). Quality of life domains affected in children with developmental coordination disorder: a systematic review. *Child: Care, Health and Development*, *39*(4), 562-580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2012.01379.x>
- Zwicker, J. G., Suto, M., Harris, S. R., Vlasakova, N., & Missiuna, C. (2018). Developmental coordination disorder is more than a motor problem: children describe the impact of daily struggles on their quality of life. *British Journal of Occupational Therapy*, *81*(2), 65-73. <https://doi.org/10.1177/0308022617735046>