

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale**

**Corso di laurea Magistrale in Neuroscienze e Riabilitazione  
Neuropsicologica**

**Tesi di laurea Magistrale**

**Effetti transienti di un videogioco d'azione sulle abilità di  
lettura in bambini al primo anno della scuola primaria**

*Short term effects of an action video game on children's reading  
skills in the first year of primary school*

***Relatore***

Prof. Andrea Facoetti

***Correlatori***

Dott.ssa Giovanna Puccio

Dott.ssa Sara Bertoni

Dott. Sandro Franceschini

***Laureanda:*** Monica Di Giuliano

***Matricola:*** 2014914

Anno Accademico 2021/22

# INDICE

<b>Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>Capitolo I: I videogiochi d'azione .....</b>	<b>4</b>
1.1 Definizione e background teorico .....	4
1.2 Principali caratteristiche metodologiche e risultati di studi di intervento.....	9
<b>Capitolo II: Un potenziale trattamento non linguistico per il potenziamento della lettura.....</b>	<b>14</b>
2.1 Abilità di lettura tra sviluppo tipico e atipico .....	14
2.2 Funzioni attentivo-esecutive: excursus teorico.....	16
2.2.1 L'attenzione visuospaziale e temporale .....	20
2.3 Evidenze dai videogiochi d'azione .....	22
2.4 Correlati neurali .....	24
<b>Capitolo III: Uno studio di intervento sulle abilità di lettura in prima età scolare.....</b>	<b>29</b>
3.1 Studio corrente e obiettivi di ricerca.....	29
3.2 Metodo.....	30
3.2.1 Partecipanti.....	30
3.2.2 Materiali e procedure.....	31
3.3 Analisi statistiche e risultati.....	36
3.3.1 L'attenzione visuospaziale e temporale: risultati.....	36
3.3.2 Le abilità di lettura: risultati.....	39
3.4 Discussione e conclusioni.....	41
<b>Bibliografia.....</b>	<b>47</b>

## **Introduzione**

Dalla psicoanalisi al costruttivismo, dal sociocostruttivismo alla teoria psicosociale dello sviluppo: il ruolo che il gioco e le sue funzioni hanno rivestito - e tuttora rivestono - a partire dalle origini della storia della psicologia è evidente.

In epoca postmoderna, infatti, la questione ci conduce alla comprensione del ruolo cognitivo ed emozionale caratterizzante una particolare forma di strumento ludico: i videogiochi d'azione.

A tal fine, la presente dissertazione scientifica sarà divisa in tre parti: nel primo capitolo verrà data una caratterizzazione teorica e metodologica degli studi sui videogiochi d'azione, sintetizzando i principali risultati multidimensionali degli studi di intervento a breve e lungo termine.

Nel secondo capitolo, il focus sarà su una delle funzioni neurocognitive potenziabili attraverso l'uso di videogiochi d'azione: le abilità di lettura. Verrà inquadrato sia lo sviluppo tipico che atipico di questa forma di apprendimento, dando enfasi alle funzioni attentivo - esecutive e, in particolare, all'attenzione visiva spaziale e temporale. In conclusione, verranno riassunti i risultati dagli studi di intervento con videogiochi d'azione, con particolare riferimento ai correlati neurali sottostanti.

Nel terzo capitolo, infine, verrà presentato lo studio sperimentale condotto, ossia un progetto di intervento a breve termine rivolto a bambini del primo anno di scuola primaria, in cui verrà data enfasi ai possibili risvolti neurocognitivi dei videogiochi d'azione sulle abilità di lettura e sulle funzioni coinvolte, principalmente di natura attentiva spaziale e temporale, con promettenti risvolti generalizzabili in caso di rischio o diagnosi di dislessia in età evolutiva.

# Capitolo I

## I videogiochi d'azione

### 1.1 Definizione e background teorico

I videogiochi d'azione si caratterizzano per le seguenti peculiarità qualitative (Arsenault, 2009; Spence e Feng, 2010; Bavelier et al., 2012; Green e Bavelier, 2015; Bediou et al., 2018):

- Alti livelli di tempi di reazione;
- Alto grado di processamento percettivo, coordinamento visuomotorio, uso della memoria di lavoro (WM) e di funzioni esecutive;
- Flessibilità cognitiva nel passaggio da uno stato di attenzione sostenuta (su determinati bersaglio pianificati) a quella distribuita (monitoraggio del campo visivo centrale - periferico); orientamento attentivo tra numerosi stimoli distraenti;
- Classificazione in *first/third person shooters* (FPS/TPS), a seconda che il gioco sia vissuto in prima persona o in terza persona.

**Tabella 1:** Sintesi delle caratteristiche principali dei videogiochi d'azione rispetto ad altri generi di gioco (Spence e Feng, 2010)

Table 1  
Sensory, Perceptual, and Cognitive Functions Exercised by Different Genres of Video Games

Function	Game characteristic	Action	Driving	Maze/puzzle
Sensory				
Detection	Complex 3-D setting, targets in clutter	*****	****	**
Attention				
Capture	Abrupt-onset events	*****	****	**
Select	Discriminate/select significant objects	*****	**	.
Switch	Task switching, multitasking	*****	****	.
Divide	Multiple foci, track multiple objects	*****	****	**
Distribute	Peripheral events	*****	***	.
Visuomotor				
Coordination	Aiming, shooting, operating hardware	*****	***	.
Speed	Rapid action/reaction	*****	*****	.
Memory				
Working	Allocate resources, make decisions	*****	****	**
Long term	Integrate knowledge	**	.	***
Cognition				
Spatial	Mental rotation, wayfinding, navigation	*****	**	***
Analytical	Solve puzzles, devise strategies	**	**	****
Auditory	Speech, game sounds, music	***	**	.
Emotional	Arousal (threat)	*****	****	.

Note. Importance: \*\*\*\*\* = very high; \*\*\*\* = high; \*\*\* = medium; \*\* = low; . = very low.

I meccanismi e processi teorici evidenziabili secondo la letteratura neuropsicologica sono i seguenti:

- ❖ “*Learning to learn*” e plasticità cerebrale (Bavelier et al., 2012): la capacità di apprendere velocemente come mettere in atto nuovi compiti è un processo definito come “*learning to learn*”. La gamma di compiti che migliorano dopo il gioco d'azione è abbastanza atipico e di varia natura nel campo dell'apprendimento, in base all'esperienza. Il principio computazionale di base richiede ai soggetti di prendere una decisione basata su una quantità limitata di dati rumorosi (come accade nella vita quotidiana). Questa quantità è nota come la distribuzione posteriore sulle scelte, identificabile nella funzione  $p(c|e)$ , dove “c” sono le scelte ed “e” sono le prove. L'obiettivo principale dell'apprendimento è migliorare la precisione di tale inferenza probabilistica. I partecipanti che incontrano per la prima volta un nuovo compito in laboratorio non hanno modo di avere una perfetta conoscenza delle statistiche delle prove, il che a sua volta significa che la distribuzione posteriore calcolata sulle scelte sarà subottimale: è solo attraverso una ripetuta esposizione al compito che i soggetti possono imparare queste statistiche e, di conseguenza, prendere decisioni più accurate, generalizzando l'apprendimento oltre lo specifico compito di intervento con processi inferenziali probabilistici utilizzabili in varie forme di apprendimento – ad esempio attentive, percettive e cognitive - (Ma e Huang, 2009; Green et al., 2010);
- ❖ Principi computazionali di base (Bavelier et al., 2012): la generalizzazione dell'apprendimento dipende dalle risorse, dalla conoscenza e delle regole di apprendimento, che si identificano in principi computazionali chiave dell' apprendere ad imparare. Maggiori risorse permettono di fare distinzioni a grana più fine, (percettive, concettuali, motorie), ed un aumento delle risorse permette agli studenti di raggiungere una maggiore prestazione asintotica (più capacità di apprendimento), o anche un apprendimento più veloce. Il concetto è strettamente legato a

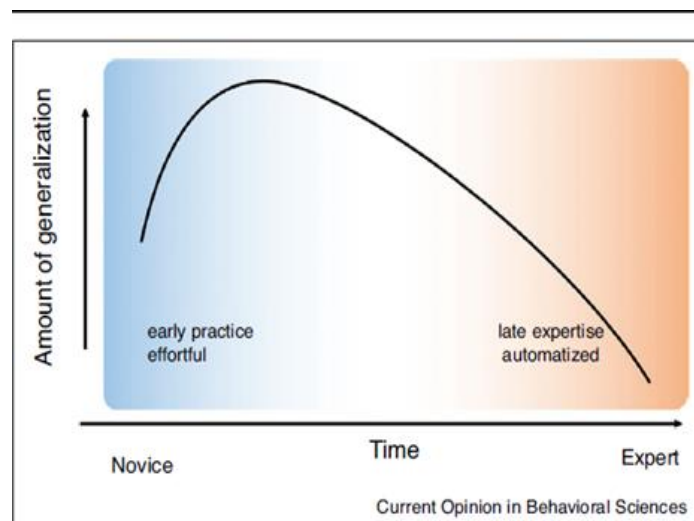
quello definito nel campo dell'attenzione top-down e del controllo esecutivo (Corbetta e Shulman 2002; Rougier et al., 2007), meccanismi mediati dal sistema colinergico del prosencefalo basale per l'allocazione delle risorse attentive sul bersaglio di apprendimento e esclusione dei distrattori, così come il miglioramento della precisione di rappresentazioni sensoriali. La conoscenza si riferisce alla struttura rappresentazionale utilizzata per guidare il comportamento (Botvinick, 2008): modelli di comportamento gerarchici implicano che compiti come l'esecuzione di un gioco siano organizzati in sottoattività e singoli atti motori e cognitivi. A sua volta, conoscere attività di gioco simili rende l'apprendimento più facile e generalizzabile: giochi e i compiti di laboratorio devono condividere una struttura a qualche livello di astrazione, così come i programmi di formazione. Un ruolo cruciale è giocato dalle strutture della corteccia prefrontale per consentire rappresentazioni gerarchiche e coordinare le risorse dinamicamente in base al compito (Badre, 2008; Botvinick, 2008; Sakai, 2008). Quando un'architettura neurale e cognitiva del compito diventa più complessa, è fondamentale che l'algoritmo di apprendimento possa modificare le sue rappresentazioni in modo lineare. La conoscenza e le regole di apprendimento sono intimamente interdipendenti: architetture diverse richiedono diverse regole di apprendimento. Per facilitare la generalizzazione, gli algoritmi di apprendimento richiedono una struttura condivisa, un fatto che limita il modo in cui le regole di apprendimento dovrebbero modificare le rappresentazioni: ad esempio, il riconoscimento del parlato e il riconoscimento dei caratteri scritti a mano possono essere ottenuti utilizzando inizialmente architetture simili e la stessa regola di apprendimento. La mancanza di differenziazione strutturale tra le aree corticali suggerisce un algoritmo di apprendimento ampiamente condiviso, almeno a livello corticale. La regolazione fine coinvolge i neuromodulatori: i

cambiamenti nelle risposte dei neuroni che sintetizzano questi neurotrasmettitori potrebbero facilmente generalizzarsi attraverso i compiti e modalità sensoriali. I videogiochi d'azione alterano i modelli di rilascio di queste sostanze neurochimiche (Koepp et al., 1998; Bavelier et al., 2012);

- ❖ *Expertise* ed effetti di generalizzazione (Bavelier et al., 2018): la possibilità di *near* e *far transfer effect* tramite l'uso di videogiochi d'azione in approcci di intervento è data dalla combinazione di diversi livelli di complessità, novità, variabilità. I videogiocatori sviluppano alcuni comportamenti “gioco - specifici” dopo alcune ore di training, così come i giocatori che intuitivamente riportano di non poter giocare ad un gioco lì dove l'asse di apprendimento è differente dalla loro routine quotidiana. Questo è dato dal coinvolgimento di due aspetti fondamentali: il controllo attentivo e la flessibilità cognitiva, il cui potenziamento correla con il meccanismo di generalizzazione; invece, lo sviluppo di un certo grado di *expertise* in un dato compito è dato da un processo di automatizzazione, che richiede un minore utilizzo del controllo attentivo, e della flessibilità cognitiva, il cui potenziamento è nullo. La generalizzazione diminuisce quando i processi di apprendimento sono finalizzati all' *expertise*. La fase dell'apprendimento che conduce alla massima generalizzazione corrisponde ad uno stadio lento e associato alla quantità di pratica, che nel tempo porta ad un maggiore grado di automatizzazione e minore uso delle due funzioni esecutive. Per cui la funzione di generalizzazione è una curva ad U asimmetrica. Per questo è fondamentale del tempo per raggiungere *l'expertise*, che varia a seconda del dominio. Esistono due tipologie di metodi con cui valutare il grado di generalizzazione (Bavelier et al., 2018): uno più comune basato sull'addestramento del soggetto su un compito e subito dopo valutarne gli effetti a breve termine su compito nuovi e mai soggetti a training (ipotesi degli elementi comuni – *near transfer*

*effect*); il secondo valuta quanto il training faciliti l'apprendimento di nuovi compiti nel tempo, indipendentemente dagli effetti a breve termine (*“learning to learn” – far transfer effect*). Questi meccanismi sono co-occorrenti e non mutualmente esclusivi e il controllo attentivo e quello di flessibilità agevolano il secondo tipo di generalizzazione, come osservato con i videogiochi d'azione. Infine, la differenza sostanziale tra videogiocatori esperti e inesperti risulta essere radicata nel confronto tra processi top-down e *feed-forward*: mentre i videogiocatori esperti utilizzano solo i processi cognitivi di alto livello, i non esperti hanno bisogno di informazioni di basso livello che andranno modulate e integrate da quelli di alto livello: le informazioni vengono prima selezionate dai livelli primari e superiori del dominio cognitivo considerato, per poi automatizzare i meccanismi top-down che verranno influenzati fortemente dalle esperienze precedenti, portando a risultati in termini di *“learning to learn”* non isolati allo specifico compito (Thorndike e Woodworth, 1901; Bavelier et al., 2012; Deveau, 2014; Bavelier et al., 2018).

**Figura 1:** Rappresentazione grafica della curva di generalizzazione (Bavelier et al., 2018)





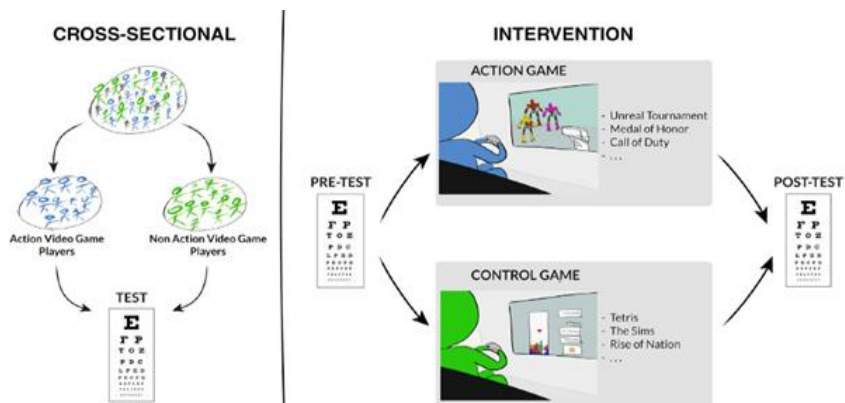
## 1.2 Principali caratteristiche metodologiche e risultati degli studi di intervento

Le ricerche sulle possibili associazioni tra l'utilizzo di videogiochi d'azione e performance cognitiva hanno iniziato ad avere successo intorno alla metà degli anni 80'; è possibile ravvisare due approcci metodologici di base (Spence e Feng, 2010; Bediou et al., 2018; Dale et al., 2020):

- ✓ Approcci quasi-sperimentali o trasversali: le prestazioni di individui che quotidianamente giocano ad una grande quantità di videogiochi vengono confrontati con le prestazioni di individui che non giocano a quei tipi di videogiochi in esame. La misura critica è la differenza prestazionale, avendo come ipotesi nulla che i videogiocatori abbiano prestazioni migliori. Questa tipologia di disegno di ricerca non permette di rivelare una relazione causale tra gioco e capacità cognitive, e non viene valutato il genere di gioco utilizzato. Complessivamente, viene prediletta la valutazione dell'impatto del soprannominato "*on-off*" (giochi unici nel loro genere). Anche se il pregiudizio di auto-elezione è un fattore di rischio per tali disegni di ricerca, viene documentato il profilo cognitivo in crescita nel segmento della popolazione definita come videogiocatori, una questione sociale importante, e fornito un utile indicatore in termini clinici per investire in uno studio di formazione (Griffith et al., 1983; Castel et al., 2005; Bediou et al., 2018; Dale et al., 2020);
- ✓ Approcci di intervento sperimentali: i partecipanti alla ricerca, non esperti nel gioco, vengono sottoposti a training attraverso l'uso di un particolare genere di gioco (in base ai meccanismi/dinamiche di base implicate) per poterne valutare l'impatto causale sulle capacità cognitive valutate e poi avviene il confronto con un ulteriore gruppo di controllo che utilizzi un videogioco di genere diverso e altrettanto attivante (Mayer, 2011). La misura critica è valutare se il gruppo addestrato al gioco bersaglio del training cognitivo ha mostrato maggiori

miglioramenti tra pre e post intervento rispetto a quello di controllo. A differenza degli studi trasversali, tutti i partecipanti a uno studio di intervento sono reclutati con lo stesso metodo e con randomizzazione casuale rispetto alla condizione (Gagnon, 1985; Feng et al., 2007; Bediou et al., 2018; Dale et al., 2020). Oltre al disegno di ricerca, le variabili critiche che vengono manipolate sperimentalmente con l'uso dei videogiochi d'azione sono, secondo le più recenti metanalisi (Bediou et al., 2018; Pallavicini et al., 2018): età del partecipante (effetti differenziali in termini di plasticità e apprendimento in età giovane o adulta); tipologia di variabili dipendenti (domini neurocognitivi analizzati); variabili legate al gioco (genere e categoria di gioco); durata dei training (breve o lungo termine); effetto principale vs differenziale sulla prestazione (ipotesi del bias di aspettative);

**Figura 2:** rappresentazione dei due principali disegni di ricerca (Bavelier e Green, 2019)



Da un punto di vista cognitivo, è importante l'analisi e la differenziazione tra effetti a breve e lungo termine ottenibili tramite i disegni di ricerca di intervento. Secondo Bavelier e colleghi (2012) per confermare un effetto di causalità in media i partecipanti di uno studio di intervento dovrebbero essere

sottoposti al training per circa 1 o 2 ore per una media di 2/10 settimane a seconda della durata di allenamento, con non meno di 24 ore tra la fine della formazione e il post test per verificare gli effetti a lungo termine. Per studiare quelli a breve termine, invece, la possibilità di indurre causalmente cambiamenti cognitivi avviene con in media trenta minuti di trattamento.

Complessivamente, dal punto di vista di possibili vincoli metodologici nel progettare uno studio di intervento è necessario (Bavelier et al., 2012):

- Verificare gli effetti di causalità: disconferma del *bias* della popolazione (per cui il gioco d'azione tende ad attrarre individui con abilità intrinsecamente superiori). E' fondamentale a questo proposito servirsi di uno studio di formazione controllato con un gruppo sperimentale e uno di controllo sottoposti a training su videogiochi d'azione e non (con caratteristiche altrettanto di intrattenimento) reclutati in doppio cieco da una fascia di popolazione *naive* rispetto al genere di gioco. Si noti che, oltre a controllare il semplice test/retest, la presenza di un controllo attivo (*active group*) garantisce che qualsiasi effetto osservato nel gruppo sperimentale sia veramente il risultato del gioco d'azione piuttosto che un semplice riflesso del potere di un intervento di per sé;
- Se si considera l'ecosistema dei giochi postmoderni, bisogna tenere presente: le storie individuali di gioco, ossia l'esposizione nell'ultimo anno o esperienze precedenti, in quanto il tempo totale di esposizione è un fattore sempre più scarsamente correlato con le effettive esperienze passate di gioco; criteri di classificazione e inclusione campionaria di videogiocatori non d'azione rispetto al passato, perché l'accessibilità alle piattaforme di gioco rende difficile identificare *naive* "puri"; generi di gioco e dinamiche di gioco, per l'esposizione di massa attuale a diversi ibridi e categorie di gioco; grado di libertà nell'interfaccia tra giocatore e ambiente di gioco, ossia il carico

cognitivo idiosincratico per ogni giocatore in base al tipo di interazione piuttosto che per il genere in sé, per cui non solo i generi ma anche i profili dei giocatori sono diversi in relazione a come beneficiano o meno dei processi sottesi al videogioco d'azione.

In base a questi vincoli metodologici è quindi fondamentale (1) studiare gli effetti dei videogiochi d'azione sulla cognizione in base ad un solido criterio di classificazione dei diversi generi di gioco e (2) valutare accuratamente l'esperienza di esposizione passata dei videogiocatori a diversi generi di gioco (Bavelier et al., 2012).

In conclusione, i risultati principali derivanti dai diversi studi di intervento possono essere schematizzati rispettivamente nel potenziamento transiente e a lungo termine dei seguenti domini (Spence e Feng, 2010; Bavelier et al., 2012; Chisholm e Kingstone, 2015; Green e Bavelier, 2015; Bavelier et al., 2018; Bediou et al., 2018; Pallavicini et al., 2018; Franceschini et al., 2022):

- Dominio percettivo-motorio: risoluzione spaziale - temporale visiva; acuità visiva e visione periferica (“*crowding effect*”); mascheramento attentivo e sensibilità al contrasto (effetti su paradigmi di *backward masking*); velocità, livelli di accuratezza e processamento/coordinazione visuomotoria (Green e Bavelier, 2007; Green et al., 2010; Li et al., 2010);
- Dominio cognitivo: per la cognizione verbale (e.g. lettura), numerica (e.g. *subitizing* e capacità di calcolo) e spaziale (e.g. mappaggio spaziale dell'ambiente a livello ippocampale, rotazione mentale, WM visuospatiale, discipline STEM); funzioni esecutive (ad esempio di WM visiva, flessibilità cognitiva, controllo inibitorio e *multitasking*); sistemi e sottosistemi attentivi (a livello bottom-up e top-down, capacità di *multitracking* e *switching*, ammiccamento attentivo e attenzione cross - modale); presa di decisioni e capacità di problem solving; infine mnestici, come nella memoria a lungo

termine, a breve termine visiva e spaziale (Spelke, 2005; Green e Bavelier, 2006; Feng et al., 2007; Ratcliff e McKoon, 2008; Greenfield, 2009; Anderson et al., 2011; Anderson e Bavelier, 2011);

- Dominio emozionale: processamento affettivo di stimoli biologici e simbolici (ad esempio di stimoli quali espressioni facciali e parole); esperienza di flusso ("*flow experiences*"); capacità di coping (a livello soprattutto delle strategie di fronteggiamento dello stress e dell'ansia); emozioni a valenza positiva (percezione di divertimento) e stato di arousal generale. In questo ultimo dominio, a livello metodologico ed epistemologico, è fondamentale fare attenzione alla distinzione tra emozioni discrete, categoriali o dimensionali nell'utilizzo delle batterie testistiche; in più, ai principi teorici alla base del "*Self Determination Theory*" e "*General Aggression Model*", in base ai principali bisogni psicologici che inducono all'utilizzo dei videogiochi - necessità di connessione sociale, autonomia, competenza e fronteggiamento di emozioni a valenza negativa - (Csikszentmihalyi, 1988; Przybylski et al., 2010; Hemenover e Bowman, 2018; Pichon et al., 2021; Franceschini et al., 2022).

## Capitolo II

### Un potenziale trattamento non linguistico per il potenziamento della lettura

#### 2.1 Abilità di lettura tra sviluppo tipico e atipico

Durante gli stadi iniziali di apprendimento della lettura, lo sviluppo tipico è delineato dall'apprendimento di come singole lettere/gruppi di lettere (nuovi codici ortografici) si decodifichino nei suoni corrispondenti (codici fonologici pre-esistenti), passando dal lessico e costruendo le basi per la decodifica fonologica (Sprenger-Charolles et al., 2003; Vidyasagar e Pammer, 2010). Con la pratica, si crea una connessione diretta tra la stringa ortografica e il linguaggio orale, sviluppando il lessico ortografico. Prima della lettura formale (Stein, 2001; Lyon et al., 2003; Krause, 2015), i bambini possiedono un sostanziale network fonologico lessicale. Per cui è fondamentale comprendere perché questo non si verifichi in caso di dislessia evolutiva (DE), un disturbo specifico dell'apprendimento ereditario a livello neurobiologico, caratterizzato da difficoltà marcate nell'acquisizione e consolidamento delle capacità di lettura in termini di rapidità e/o accuratezza, in assenza di altri criteri diagnostici peculiari (DSM-5, 2013). A livello eziopatologico, si considerano diverse cornici epistemologiche: visuospaziali, per le sottofunzioni di orientamento attentivo a livello di ancoraggio – disancoraggio dalle unità percettive, uditive e visive, così come in termini di denominazione rapida automatizzata e dimensioni del fuoco dell'attenzione; cerebellari, per difficoltà nell'automatizzazione di compito che verranno iper appresi - come la lettura – che si manifestano in errori come, ad esempio, quelli di recupero dell'etichetta lessicale, anomalie agrammatismo; magnocellulare,

dalle vie visive di basso livello per movimenti oculari, visione periferica ed errori di sostituzione/posizione delle lettere a quelle cognitive di ordine superiore in termini attentivi (Vicari e Caselli, 2017, pp.123-134). Ulteriore aspetto è la distinzione, secondo il modello a due vie di Coltheart e colleghi (2001) tra dislessia superficiale (deficit lessicale) o fonologica (deficit sub-lessicale), a seconda di possibili deficit nella via lessicale o sub-lessicale del linguaggio (passaggio o meno dalla memoria semantica e uso delle vie di conversione). In aggiunta sono da annoverare anche altre forme patognomiche (Tallal, 1980; Bradley e Bryant, 1983; Chandrasekaran et al., 2009; Hornickel, et al., 2012): dislessia attentiva (disturbo dell'elaborazione visiva delle lettere che compongono le parole); lettera per lettera (la lettura avviene solo tramite il processamento delle singole lettere) o profonda (incapacità di lettura di stringhe di pseudoparole, con errori di vario tipo per le parole). Ma la cornice epistemologica predominante definisce la dislessia in termini di deficit di origine fonologica ovvero una difficoltà marcata di lettura di pseudoparole (soprattutto nelle ortografie regolari e trasparenti) per difficoltà di processamento fonemico (che coinvolgerebbe principalmente il giro temporale inferiore, area di Wernicke – 22BA), alla base del normale meccanismo di conversione grafema – fonema (Vicari e Caselli, 2017, pp. 123-34). Tuttavia, la DE è un disturbo multifattoriale: dagli studi di Shaywitz e Shaywitz (2007) e Peterson e Pennington (2012), è emerso come il processo di segmentazione fonemica si baserebbe su ulteriori meccanismi cognitivi dominio-generalisti. Infatti, una traiettoria di sviluppo tipico del sistema linguistico nelle sue componenti principali (fonologica, lessicale, morfosintattica) coinvolge non solo componenti genetiche, ma anche l'insieme delle caratteristiche funzionali specifiche che ne modificano l'ontogenesi, ossia importanti meccanismi cognitivi di base (percettivi, attentivi, sensorimotori, comunicativi e di processamento delle informazioni),

fondamenta per abilità cognitive più complesse (Valenza e Turati, 2005, pp.81-108). I trattamenti linguistici maggiormente diffusi, basati sulle strategie di decodifica fonologica esplicite e sistematiche, risultano controversi e altamente impegnativi (Gabrieli, 2009; Goswami, 2011; Franceschini et al., 2013; Franceschini et al., 2015): risorse attentive deficitarie, infatti, ne possono compromettere il corretto utilizzo.

In questo orizzonte epistemologico sulla lettura è quindi possibile mettere in luce un particolare meccanismo dominio – generale su cui è possibile intervenire in misura complementare ai trattamenti standard: l’attenzione.

Contestualmente ad oggi, in termini riabilitativi e preventivi, possono essere utilizzati i videogiochi d'azione come trattamenti non linguistici rivolti al sistema dell’elaborazione visiva che, per caratteristiche e dinamiche di base peculiari, intervengono su funzioni attentivo - esecutive alla base della lettura (Franceschini et al., 2013; Franceschini et al., 2015; Bertoni et al., 2021).

## **2.2 Funzioni attentivo-esecutive: excursus teorico**

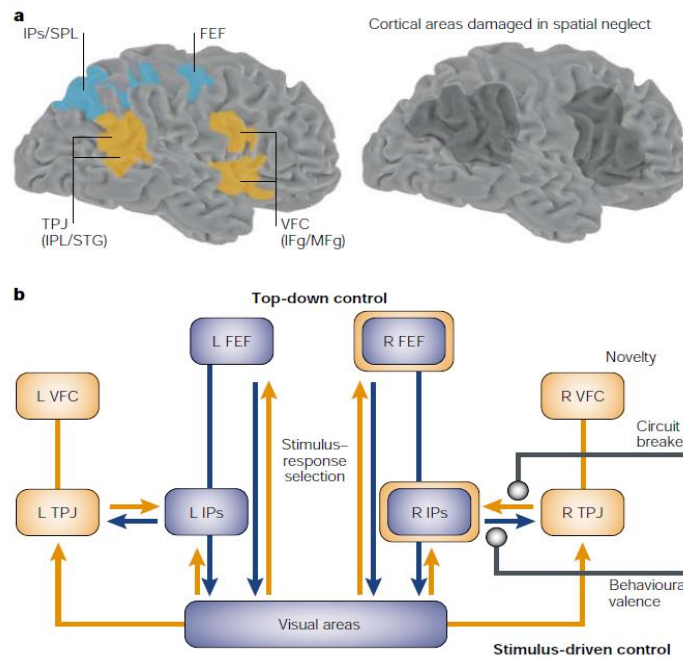
Dal punto di vista anatomo-fisiologico, il sistema attentivo è caratterizzato da tre sottosistemi interconnessi e distinti a livello neurale (Posner e Petersen, 1990). Il sistema di allerta e vigilanza, (network noradrenergico e frontoparietale ventrale) è responsabile del raggiungimento e del mantenimento di uno stato di sensibilità alle informazioni ricevute, attraverso una componente tonica (attenzione sostenuta) e fasica (stato transitorio modulabile dagli stimoli ambientali). In seguito, è definito il sistema di orientamento (network parietale posteriore), ossia di orientamento selettivo del focus attentivo ad una data posizione spaziale. In particolare, il modello di Corbetta e Shulman (2002) spiegherebbe il diverso coinvolgimento del circuito frontoparietale responsabile a livello



top-down (volontario/endogeno) e bottom-up (automatico/esogeno) dell'orientamento:

- Sistema frontoparietale dorsale bilaterale: dal solco intraparietale inferiore (IPs) al *frontal eye field* (FEF) a livello top-down, queste aree regolano: comportamenti diretti ad un obiettivo; orientamento spaziale e connessione tra rappresentazioni sensoriali e risposte motorie; a livello bottom up e top-down, insieme a quello ventrale, la detenzione di uno stimolo inatteso in base a criteri di salienza;
- Sistema ventrale frontoparietale destro: bilateralmente dalla corteccia frontale ventrale (VCF) alla giunzione temporoparietale (TPJ), responsabile in termini bottom-up di meccanismi *stimulus - driven* nella detenzione di stimoli inattesi. E' coinvolto il sottosistema di allerta a livello di attenzione temporale, con l'interruzione del primo sistema di controllo top-down quando gli stimoli sono identificati al di fuori del proprio focus di processamento (TPJ e IPS). Il network ventrale sarebbe mediato dal rilascio di noradrenalina (locus coeruleus - LC), con proiezioni maggiori alle aree di destra che interconnettono TPJ e VFC, attive durante i meccanismi non solo di allerta e vigilanza (*warning effect*, lateralizzato nell'emisfero sinistro), ma anche di attenzione selettiva per stimoli salienti o nuovi non attesi. In più, a livello elettroencefalografico, l'allerta fasica produrrebbe un potenziale evento relato definito come CNV (*Contingent Negative Variation*), che emerge con il segnale di *warning* e rimane fino alla presentazione del bersaglio (non se l'intervallo temporale di comparsa del bersaglio è noto): le aree corticali coinvolte sono quelle della corteccia cingolata anteriore (sistema esecutivo) e adiacenti, persistendo in caso di stimolo visivo nella corteccia parietale controlaterale alla posizione del bersaglio (si sovrappone con le aree deputate all'orientamento spaziale).

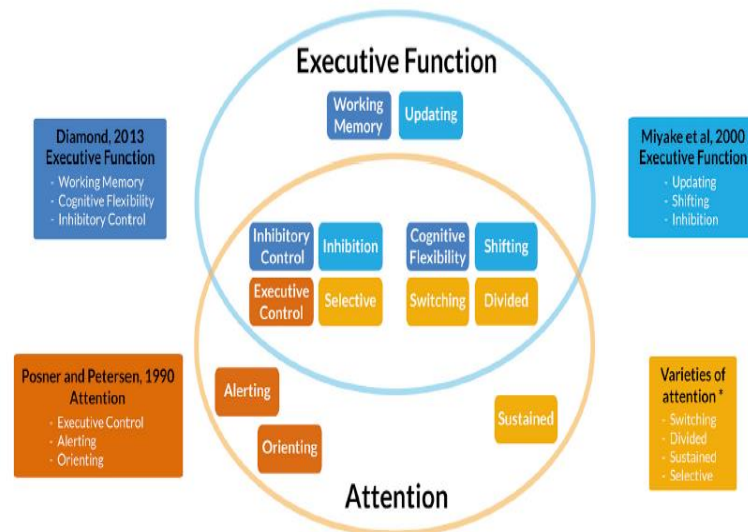
**Figura 3:** Network frontoparietale dorsale e ventrale secondo il modello di Corbetta e Shulman (2002)



L'orientamento dell'attenzione, inoltre, è caratterizzato da tre funzioni: ancoraggio (pulvinar), disancoraggio (corteccia parietale) e spostamento (collicolo superiore). L'ultimo sottosistema è quello relativo al controllo esecutivo, modulato dal network anteriore (corteccia prefrontale mediale), per il controllo e l'integrazione di questi sottosistemi (Posner e Petersen, 1990; Corbetta e Shulman, 2002; Valenza e Turati, pp.81-108,2005). L'attenzione è una funzione multicomponentiale e multisensoriale (modello di Van Zomeran e Brouwer, 1994), con processi qualitativamente differenti a livello di selettività e intensità, come l'attenzione selettiva (focus su un dato stimolo bersaglio e inibizione delle fonti di distrazione), divisa e alternata (risorse attentive su più canali/compiti) e sostenuta. Inoltre, l'allocazione delle risorse attentive, in modalità esogena o endogena, può avvenire in quattro sub - domini, tra cui quello spaziale e temporale (Posner, 2011; Klein e Lawrence, 2012).

Gli effetti di apprendimento e plasticità cerebrale indotti dai videogiochi d'azione si ricollegano al concetto di controllo attentivo (Bavelier e Green, 2019): viene potenziata la capacità del soggetto di focalizzare l'attenzione su un dato compito e inibire potenziali fonti di distrazione, monitorando l'ambiente circostante. Sotto questa definizione rientrano: processi attentivi, di natura selettiva, divisa e sostenuta; esecutivi (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000), come la flessibilità cognitiva (*shifting*), la WM (aggiornamento) e processi inibitori. Il controllo attentivo racchiude in sé perlopiù processi di tipo top-down (dorsali) piuttosto che bottom-up (ventrali), potenziabili tramite studi di intervento (si veda, ad esempio, Franceschini et al., 2015), e ciò potrebbe dipendere dal diverso grado di plasticità funzionale di questi ultimi processi (Posner, 2011). Tuttavia, rivalutare attentivamente stimoli sensoriali in rapido cambiamento è una delle funzioni principali per il passaggio da uno stato attentivo ad un altro (Bavelier e Green, 2019). Infine, la capacità dei videogiochi d'azione di potenziare il controllo attentivo sarebbe dato da tre meccanismi chiave ravvisabili, in modo peculiare, dalle dinamiche incluse nell'intreccio narrativo - altamente impegnativo a livello attentivo ed esecutivo - del genere d'azione stesso (cfr. para. 1.1): la capacità di prendere decisioni cognitive e motorie sotto pressione temporale; attenzione divisa, soppressione dei distrattori e attenzione sostenuta; spostamento da uno stato attentivo all'altro.

**Figura 4:** Relazione tra sistema attentivo ed esecutivo per i processi di controllo attentivo implicati nei videogiochi d'azione (Bavelier e Green, 2019)



### 2.2.1 L'attenzione visuospatiale e temporale

L'attenzione visiva può orientarsi nello spazio e nel tempo sotto forma di “spotlight”: si attiva un meccanismo attentivo top-down di ricerca visiva in cui si possa sequenziare in modo seriale da sinistra verso destra le lettere durante periodi di fissazione accurati dal punto di vista spaziale e rapidi a livello temporale (Vidyasagar e Pammer, 2010). Quindi l'attenzione visiva orientata nello spazio potenzia la rappresentazione di uno stimolo atteso, influenzando i primari processi sensoriali visivi e a livello temporale, tramite un rapido disancoraggio e ancoraggio del focus attentivo da uno stimolo precedentemente importante ad uno corrente, filtrando il possibile rumore di stimoli distraenti - presupposto di esclusione percettiva del rumore - (Facoetti et al., 2008; Yeshurun e Rashal, 2010; Ruffino et al., 2014; Krause, 2015; Bavelier e Green, 2019). Nei primi stadi di apprendimento associativo linguistico,

l'orientamento visivo spaziale e temporale è cruciale per il processamento ortografico dei grafemi, step primario per il successivo mappaggio cross modale grafema-fonema: questo avviene attraverso la via sub – lessicale nella lettura ad alta voce e interna, in quanto in prima accezione tutte le parole sono “pseudoparole” per il bambino, per l’immaturo sviluppo delle rappresentazioni ortografiche – lessicali (Sprenger-Charolles et al., 2003; Perry et al., 2007; Ruffino et al., 2014). Durante la segregazione grafemica, il focus dell’attenzione passa da uno stato inizialmente globale e parallelo (bottom-up) ad uno locale e seriale per isolare il primo grafema (top-down), procedendo con il mappaggio grafema – fonema, attraverso un meccanismo di ancoraggio e disancoraggio costante e rapido dal punto di vista temporale e spaziale da ogni unità sub – lessicale, fino a quando non si giunge alla fine della stringa (attivazione della WM). In caso di diagnosi o rischio di DE, è visibile l’incapacità di escludere il rumore percettivo focalizzandosi sullo stimolo bersaglio quando ci sono interferenze indotte a livello spaziale o temporale (Sperling et al., 2005; Ruffino et al., 2014), producendo maggiori errori sub – lessicali quali possibili predittori delle successive abilità di lettura. L’attenzione spaziale (Ruffino et al., 2014) permette anche di accelerare il meccanismo di processamento delle informazioni, influenzando i processi post-sensoriali (memoria a breve termine, decisioni percettive e risposte volontarie). E’ fondamentale, inoltre, fare riferimento al concetto di *Visual Attention Span* (VAS) spaziale e temporale (Facoetti et al., 2008; Visser, 2014; Valdois et al., 2019): si tratta della quantità di attenzione visiva disponibile per il processamento in parallelo e simultaneo di stringhe di lettere, in base alla distribuzione del focus attentivo spaziale – temporale su ogni singola unità. Ogni elemento compete nella scansione di molteplici stimoli visivi per poter essere processato nella MBT visiva, presupposti alla base della velocità articolatoria stessa. Essa predice le future capacità di fluenza

prima dell'apprendimento formale della lettura, la lettura di parole irregolari e pseudoparole.

In conclusione, un deficit non solo visivo, ma multisensoriale dell'attenzione spaziale e temporale visibile fin dall'età prescolare in relazione alle future abilità di lettura, può comportare effetti decrementali sulla segmentazione uditiva (linguaggio orale) e visiva (stringhe di lettere): training con videogiochi d'azione possono tuttavia intervenire dall'età prescolare a quella scolare su questi presupposti attentivi multisensoriali – dimensionali (Hari e Renvall, 2001; Facoetti et al., 2005; Lallier et al., 2010; Goswami, 2011; Ruffino et al., 2014).

### **2.3 Evidenze dai videogiochi d'azione**

Gli studi di intervento con videogiochi d'azione dimostrano un potenziamento del sistema di controllo attentivo a livello spazio-temporale (Bavelier e Green, 2019): Franceschini e colleghi (2013) hanno dimostrato gli effetti positivi del training delle abilità di lettura in bambini con DE, in termini di decodifica fonologica e lettura di parole, maggiori rispetto ad un anno di apprendimento spontaneo o più grandi/uguali rispetto ai trattamenti standard. Dal punto di vista dell'attenzione visuospatiale, bambini con DE sono più lenti in compiti di ricerca visiva: considerando che le abilità di ricerca visiva seriale sono predittive delle future abilità di lettura al primo e secondo anno di scuola primaria, questi interventi non linguistici sono fondamentali in quanto aumentano la velocità di ricerca, tuttavia non l'accuratezza all'aumentare del numero di distrattori (effetto di abitudine attentiva). Risultati simili si contestualizzano in compito di conteggio (*subitizing* e WM visuospatiale), mentre in compito di *Useful Field of View* (capacità di estrazione di una informazione dall'intero campo visivo, in modo *covert*) i videogiochi d'azione migliorano la

soglia di accuratezza, che correla con le abilità di lettura. Anche in compito di *Visual Attention Span*, dopo training, i bambini con DE migliorano sia le proprie capacità attentive distribuite che focalizzate, tramite il calcolo dell'indice di inefficienza (tempo/accuratezza) in prove di decodifica fonologica. Per l'effetto *crowding*, in vari range di eccentricità, videogiocatori esperti mostrano una riduzione dell'effetto rispetto ai non esperti, che però sottoposti a training di circa 20 h riescono a minimizzare il meccanismo stesso, migliorando conseguentemente la velocità di lettura di parole (Franceschini et al., 2015). In soggetti con DE e con difficoltà specifiche del linguaggio sono stati constatati anche deficit di attenzione visiva temporale in compiti di ammiccamento attentivo o mascheramento attenzionale (*backward masking*): un training con videogiochi d'azione permette di ridurre le differenze tra esperti e non esperti producendo miglioramenti in termini di tempi di reazione (TRs). Inoltre, il concetto di denominazione rapida automatizzata (RAN), quale velocità di accesso alla WM fonologica e meccanismi attentivi visivi, migliora post - trattamento (Cancer et al., 2020; Bertoni et al., 2021). I risultati di questi trattamenti non linguistici sono cross-culturali (Franceschini et al., 2017). In più, studi recenti (Bertoni et al., 2021) hanno dimostrato gli effetti di training con videogiochi d'azione dopo 12 ore di allenamento su soggetti con DE in termini di controllo attenzionale nelle sue tre componenti principali, come definiti da Bavelier e Green (2019): vengono potenziati i meccanismi di decodifica fonologica (meccanismi bottom-up visivi e di controllo top-down attentivo) e visuospatiali in compiti di ricerca visiva (riduzione della curva di velocità e appiattimento di quella relativa alla accuratezza, per cui il videogioco d'azione riduce e annulla l'effetto *set-size* dei distrattori), con effetti a lungo termine. In conclusione, studi longitudinali in età prescolare (Facoetti et al., 2010; Franceschini et al., 2012) hanno dimostrato il coinvolgimento

attivo del sistema attentivo visivo nel predire le future abilità di lettura anche in campioni di popolazioni non cliniche. Attraverso ad esempio prove di ricerca visiva seriale (attenzione spaziale selettiva), è stato dimostrato come i futuri scarsi lettori compiano maggiori errori in questi compiti; in altri, come quelli di *cuing* spaziale (orientamento automatico dell'attenzione) non viene mostrato l'effetto di validità e facilitazione dell'orientamento attentivo solo nelle condizioni valide (specifico deficit di potenziamento dell'attenzione visiva). Inoltre, non si verifica l'effetto *crowding* percettivo (corretta identificazione di stimoli periferici), a suggerimento del fatto che il deficit sia selettivamente di natura attentiva. In più, la mancanza di facilitazione a seguito dell'effetto *warning* in finestre temporali brevi tra scomparsa del *cue* e comparsa del bersaglio in questo gruppo di lettori suggerisce anche deficit attentivi visivi di natura non solo spaziali, ma anche temporali. Studi di intervento di prevenzione, nel confronto tra condizione di videogioco d'azione e non, evidenziano miglioramenti selettivi con videogiochi d'azione sulle abilità attentive visive spazio - temporali in bambini ad alto rischio di sviluppare dislessia (Facoetti et al., 2008; Franceschini et al., 2012).

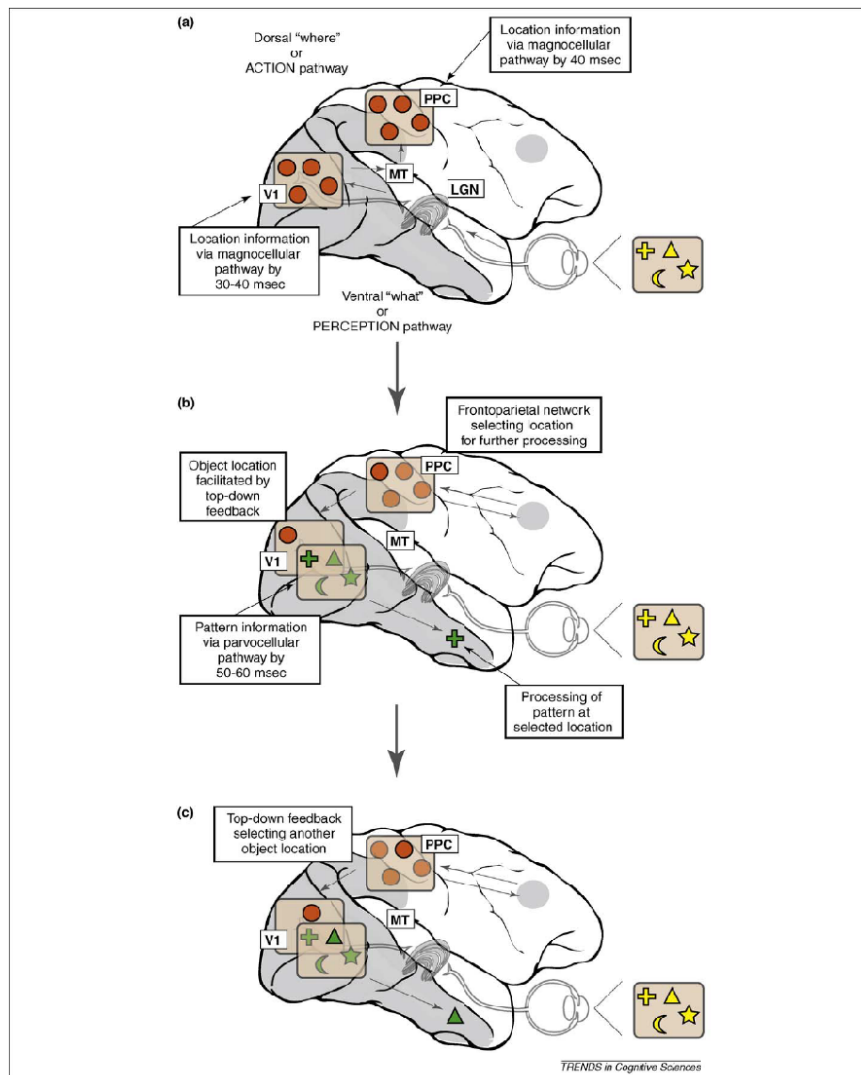
## **2.4 Correlati neurali**

Un sistema neurale che modula dai primi stadi di apprendimento della lettura i processi attentivi visuospatiali e temporali (Pugh et al., 2001; Vidyasagar e Pammer, 2010; Stein, 2019) è quello magnocellulare – dorsale. L'informazione visiva giunge nella corteccia striata mediante tre vie di elaborazione visiva a livello retinico: il sistema magnocellulare (MD), quello parvocellulare (PV) e quello koniocellulare. Il sistema MD passa attraverso il nucleo genicolato laterale e da quella visiva primaria, giungendo nell'area mediale temporale (MT) e in quella parietale: vengono supportate le funzioni relative alla percezione del movimento,



posizione spaziale e controllo oculomotorio (basse frequenze spaziali e alte temporali). Il sistema dorsale (*where system*) invia le proprie proiezioni principalmente nell'area MT e alla giunzione temporoparietale (TPJ), nonché nella parietale posteriore (giro angolare e sopramarginale), ricevendo gli input principali dalla MD. Queste aree sono fondamentali a livello sinistro per la conversione grafema – fonema. Il sistema PV identifica lo stimolo visivo nelle sue caratteristiche salienti (forma, colore, luminosità) ad alte frequenze spaziali e basse temporali, con proiezioni principalmente temporali: il sistema ventrale (*what system*) riceve il proprio input principale da quest'ultimo. Da questo punto di vista, un ruolo fondamentale è quello dell'area fusiforme per *visual word fusiform area* - VWFA - (Stein, 2014). In linea con la teoria magnocellulare, anomalie nei soggetti con scarse capacità di lettura o DE possono essere rintracciate in qualsiasi punto del sistema dorsale, fino alle aree prefrontali e frontoparietali per l'orientamento e il controllo attentivo (Corbetta e Shulman, 2002): nelle prime fasi di ricerca visiva seriale per la segmentazione grafemica, il giro angolare e sopramarginale che ricevono input transienti dalla MD per orientare velocemente l'attenzione sulle singole lettere/gruppi di lettere, supportano la VWFA nell'identificarle nel loro specifico ordine, attraverso il controllo top-down dell'attenzione spaziale nel network frontoparietale dorsale, che a sua volta fornisce feedback che operano da filtro per le informazioni derivanti dalla PV alla V1. Per cui la via visiva si interconnette con quella linguistica attraverso proiezioni parietali e temporali (Stein, 2001, 2014, 2019).

**Figura 5:** Connettività funzionale tra i sistemi dorsali e ventrali visivi attentivi a livello top-down e bottom-up dalla MD (Vidyasagar e Pammer, 2010)



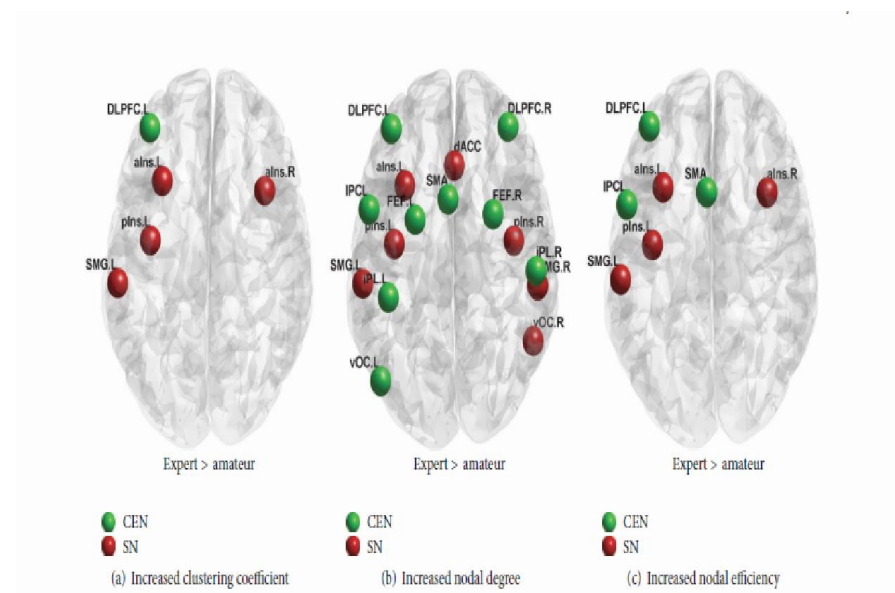
Sia in bambini dislessici che a rischio familiare, questi deficit potrebbero perciò connettersi alla via MD dorsale – attentiva: si potrebbe dedurre, infatti, che training con videogiochi d'azione inducano maggiore plasticità cerebrale nei meccanismi top-down frontoparietali di controllo attentivo e potenzino la via bottom-up *stimulus – driven* parietale, a partire dagli input dalla via MD: questo implicherebbe miglioramenti in comportamenti diretti ad un obiettivo, come la lettura (Ahissar e Hochstein, 2004; Weissman et al., 2006). I videogiocatori d'azione potrebbero così attivare il network frontoparietale durante il

processamento di stimoli visivi (compito di ricerca visiva), interconnettendo aree top-down e sensoriali regolate principalmente dalla TPJ di destra (orientamento attentivo spazio - temporale multisensoriale) e dal giro frontale medio di destra (Föcker et al., 2008). Deficit dalla via visiva dorsale ai circuiti frontoparietali attentivi sono stati discussi in merito anche alla decodifica fonologica (Valdois et al., 2012). In linea con il presupposto di *expertise* e pratica (Bavelier et al., 2018), i videogiocatori esperti inoltre, attiverrebbero meno i circuiti frontoparietali.

In stato di riposo, l'analisi dei pattern di connettività funzionale globale e locale rivela l'importanza del *Saliency Network* (SN) e il *Central Executive Network* (CEN). Il SN stimola il controllo attentivo top-down del CEN per mettere in atto un processo di spostamento dell'attenzione e controllo esecutivo nei confronti dello stimolo saliente, e i videogiochi d'azione potenziano tali meccanismi (Gong et al., 2016). Dal punto di vista delle abilità di lettura (Twait et al., 2018), i bambini con DE presentano: una minore ampiezza di potenziali evento-relati (ERP) in nodi chiave del SN durante il monitoraggio di errori legati alla lettura di parole e pseudoparole; una deattivazione del SN in compito di comprensione narrativa del testo, in particolare nella corteccia cingolata anteriore - ACC (controllo attentivo e spostamento dell'attenzione) e insula anteriore (cattura dell'attenzione e facilitazione delle funzioni esecutive-mnestiche di WM); il SN è inoltre negativamente correlato con le capacità di WM e spostamento tra un network neurale e l'altro (tra *Default Mode Network* e CEN). In termini di orientamento attentivo e sistema di allerta (Corbetta e Shulman, 2002), il sistema ventrale di destra e quello dorsale bilaterale del network attentivo ricevono input specifici a seconda della modalità sensoriale e sono coordinati a livello top – down dai nodi neurali lateralizzati a destra del SN e del CEN, che insieme formano un sistema di controllo cognitivo sopramodale (CCN) che coordina lo stato di

arousal fasico/tonico e quello di orientamento dell'attenzione. L'attività dell'ACC (sistema esecutivo), entro questi nodi neurali, è fondamentale per il *warning effect*; più in generale il rilascio di noradrenalina dal LC modula sia il segnale di allarme alla base del sistema fasico di allerta che quello frontoparietale dorsale spaziale. Questi nodi risultano caratterizzati da oscillazioni di frequenza normalmente definiti come patologici (quali delta o theta rispetto a quelle gamma) alla base delle competenze fonologiche dei soggetti con dislessia, in linea con un' ipotesi evolutiva legata ad alterazioni nella responsività allo stress. E i videogiochi d'azione possono sia a livello preventivo che riabilitativo potenziare la banda oscillatoria delle onde alpha tra pseudoparole, come indicatore di maggiore stato di allerta e attenzione visuospatiale a livello posteriore, o beta bassa nella controparte frontale anteriore come stato di riduzione dell'inattività corticale (Kershner, 2021).

**Figura 6:** Pattern di connettività funzionale tra SN e CEN in giocatori d'azione esperti e non esperti (Gong et al., 2016)



## Capitolo III

### Uno studio di intervento sulle abilità di lettura in prima età scolare

#### 3.1 Studio corrente ed obiettivi di ricerca

Nello studio corrente l'obiettivo è esplorare il potenziamento cognitivo transiente delle funzioni attentive - esecutive top-down e bottom-up alla base delle abilità di lettura, in linea con i modelli teorici dell'attenzione (Posner e Petersen, 1990; Corbetta e Shulman, 2002) e con il concetto di controllo attentivo enfatizzato da Bavelier e Green (2019), in relazione agli studi di intervento con videogiochi d'azione.

In particolare, ci si focalizzerà su una delle modalità sensoriali con cui studiare il sistema attentivo, ossia quella visiva: l'attenzione visiva spaziale e temporale sono candidati promettenti per spiegare i meccanismi dominio - generali coinvolti nell'apprendimento della lettura, dall'età prescolare a quella scolare (Pammer, 2010; Vidyasagar e Pammer, 2010; Ruffino et al., 2014; Franceschini et al., 2015). In base ai principi metodologici correnti sugli studi di intervento a breve termine (Bavelier et al., 2012), verrà data enfasi sia alle differenze che alla possibilità di miglioramento tra gruppo di giocatori dalla prestazione ottimale (esperti) al videogioco e coloro con prestazione sub-ottimale (non esperti) in alcuni domini neuropsicologici alla base delle abilità di lettura, tra condizione di pre - e post-trattamento.

Quindi, le ipotesi di partenza sono le seguenti:

H1: Qual è il profilo neuropsicologico di videogiocatori d'azione esperti e non esperti in condizione di baseline?

H2: E' possibile evidenziare gli effetti differenziali sui meccanismi attentivi spaziali e temporali alla base della lettura, tra condizione di baseline e di trattamento con un videogioco d'azione su esperti e non esperti (processi *goal-directed* e *bottom-up*)?

### **3.3 Metodo**

#### **3.3.1 Partecipanti**

Nella fase di definizione delle unità di rilevazione, sono state reclutate quattro scuole elementari nel comune di Padova (istituti comprensivi “L. Luzzati”, “ G. Ricci Curbastro”, “E. Cornaro” e “Quattro Martiri”). Da queste quattro scuole, sono stati inclusi nel campione 74 bambini frequentanti il primo anno di scuola primaria, di cui 37 femmine e 37 maschi, con età media pari a 6 anni e mezzo ( $M = 6,4$  anni;  $DS = 1,44$ ) e quoziente intellettivo nella norma. Il campione ha inoltre riportato punteggi ponderati nelle prove di disegno con i cubi nella norma ( $M = 10,7$ ;  $DS = 4,1$ ), come anche nel caso delle prove di somiglianze ( $M = 12,07$ ;  $DS = 4,6$ ), tratte dalla WISC-IV (Wechsler, 2008). In effetti, l'unità statistica su cui sono state fatte le analisi in baseline e condizione di intervento a seconda delle diverse prove e condizioni, è in totale di 67 bambini. La partecipazione alla ricerca è stata su base volontaria, previa firma del consenso informato, da parte di entrambi i genitori o tutori del minore, in cui sono state esplicitate le modalità e gli obiettivi generali dello studio.

### 3.3.2 Materiali e procedure

Il disegno di ricerca è strutturato attraverso due sessioni sperimentali, con una finestra temporale di distanza di una settimana tra ogni sessione e randomizzazione casuale e controbilanciata delle singole condizioni e prove. Il protocollo è caratterizzato dalle seguenti due possibili condizioni sperimentali: (i) baseline, per la valutazione cognitiva e comportamentale; (ii) intervento, attraverso l'uso di un trattamento non linguistico basato sull'uso del videogioco d'azione. Ogni partecipante è stato sottoposto a tutte le condizioni e sessioni sperimentali (procedura *within-subject*), con ciascun sperimentatore non a conoscenza delle singole condizioni e prove a cui è stato esposto il bambino con il rispettivo altro sperimentatore (singolo cieco): la durata totale di ogni sessione è stata di un'ora. Nella condizione di intervento, è stato utilizzato un genere di videogioco d'azione di categoria commerciale (Super Mario Kart) utilizzando la console Nintendo Switch. Il training a breve termine per ciascuna sessione di gioco ha avuto una durata complessiva di circa 30 minuti, con una distanza di una settimana tra una sessione e l'altra, secondo i diversi studi in letteratura relativi agli effetti transienti del gioco (Bavelier et al., 2012). Sono stati raccolti dati relativi alla prestazione in ciascuna partita in termini di numero totale di partite, monete e posizione in classifica. Il protocollo baseline ha invece previsto le seguenti prove cognitive e comportamentali:

- WISC-IV (*Wechsler Intelligence Scale for Children*, 2008): la scala di intelligenza di Wechsler è composta da 10 sub – test che misurano quattro indici fattoriali caratterizzanti il costrutto di QI, di cui sono state incluse due prove: una rientrante nell'ICV (dominio uditivo-verbale – intelligenza cristallizzata), ossia le somiglianze (SO); uno nel IRP (dominio visuoperceptivo – intelligenza fluida), ossia il disegno con i cubi (DC). Le SO

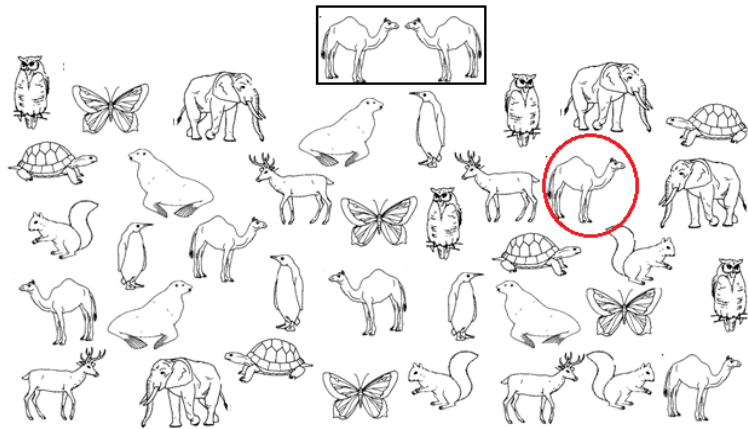
consistono nel richiedere operativamente al bambino di astrarre le similarità tra due concetti o eventi (processi di categorizzazione e astrazione verbale), fondamentali sono lo sviluppo del linguaggio, conoscenza lessicale e induzione. Il punteggio rientra nel range di 0, 1 o 2 per 23 items. Il DC richiede di riprodurre disegni geometrici di difficoltà crescente accostando fra loro superfici bianche e rosse di 14 cubetti (problem solving, capacità visuo-costruttive, visuo-motorie e spaziali, funzioni esecutive). Il punteggio rientra nel range da 0 a 7 a seconda delle figure eseguite e del livello di accuratezza/tempo massimo necessario per ciascuno dei 14 items;

- RAN non alfanumerico (Batteria De.Co.Ne Lab., Facoetti et al., 2022): per valutare le capacità di mappaggio cross-modale da stimoli visivi al linguaggio orale (che simula i processi cognitivi richiesti per la conversione grafema-fonema multisensoriale e recupero dell'etichetta fonologica dalla WM), è stata utilizzata una versione del compito di denominazione rapida automatizzata. In questo caso, è stata utilizzata una versione non alfanumerica in cui sono stati presentati 8 cerchi colorati (rossi, gialli, blu e verdi) disposti sia orizzontalmente su un foglio che verticalmente: l'ordine dei due fogli è controbilanciato. Un foglio di prova con 4 cerchi è stato somministrato prima della prova formale come familiarizzazione al compito. Il compito del bambino è quello di nominare il più velocemente possibile il colore di ogni cerchio. Per ciascuna prova sono stati misurati sia la velocità articolatoria e di recupero dell'etichetta lessicale (secondi) che gli errori (livello di accuratezza);
- Ricerca visiva (Batteria De.Co.Ne Lab., Facoetti et al., 2022): in questo caso, la prova prevede la presentazione di 6 scene visive. Il primo foglio è caratterizzato da soli animali-bersaglio, per familiarizzazione e misurazione del tempo di *barrage* in baseline. Il secondo, terzo e quarto foglio contengono 5 animali bersaglio da individuare, manipolando il numero di distrattori,



per un totale di 2 diverse condizioni *set-size* (22 distrattori nel *display - size* piccolo e 34 nel *display - size* grande) e consequenziale spaziatura tra bersaglio e distrattori (effetto *crowding*) e l'eccentricità visiva di presentazione del bersaglio, rispettivamente 2 a destra, 2 a sinistra e uno al centro. Il quarto foglio è identico al secondo (re-test), il terzo invece cambia solo in base alla condizione *set-size*. Il quinto foglio misura, invece, la memoria implicita a breve termine, per cui vengono presentati tutti i 9 animali che il bambino ha visto nelle precedenti prove di RV in quella sessione, tra 9 distrattori. L'ultimo foglio fa parte di un protocollo di ricerca visiva diversa e nuova: cambiano i bersaglio da identificare e i distrattori stessi (con le stesse variabili critiche di *set-size* ed eccentricità visiva), per poter evitare effetti di apprendimento. Le prove sono randomizzate e controbilanciate sia in base al tipo di bersaglio da identificare e sia rispetto alle condizioni di *set-size*. Le variabili misurate sono sia i livelli di accuratezza, segnando sia gli item individuati correttamente e le possibili intrusioni, sia il tempo in secondi di ricerca visiva. Questo compito fornisce un indice di attenzione visuo-spaziale distribuita e focalizzata nei rispettivi quattro stadi retrostanti il processo di detenzione del bersaglio, in modo parallelo e seriale - top-down e bottom-up - (Treisman, 1982; Chun e Wolfe, 2005; Eimer, 2014; Bertoni et al., 2021).

**Figura 7:** Esempio del foglio 6 di RV nuova nello studio corrente (Facoetti et al., 2022)



- Prove di lettura di parole e di ripetizione di trigrammi di pseudoparole: in ordine controbilanciato e randomizzato, i bambini sono stati esposti a due differenti prove rappresentanti i meccanismi lessicali, sub-lessicali e di decodifica fonologica (MBT fonologica) alla base dell'apprendimento della lettura. La prima tipologia di prove è una lista composta da parole da un minimo di 2 ad un massimo di 4 sillabe che i bambini devono leggere ad alta voce, con due possibili versioni somministrate a seconda della sessione sperimentale (così da evitare l'effetto test – retest). La seconda tipologia è, invece, una lista caratterizzata da trigrammi di pseudoparole che i bambini devono ripetere esattamente nella stessa sequenza con cui sono state pronunciate dallo sperimentatore, con un range di sillabe crescente in base alle capacità di MBT fonologica (da 2 a 8 trigrammi). Nel caso della lettura di parole, vengono misurate la velocità (secondi) e l'accuratezza in termini di errori commessi, calcolando un indice di velocità di sillabe lette in una data unità di tempo (sillabe/secondo), conteggiando solo le sillabe effettivamente lette; nel caso dei trigrammi di pseudoparole, vengono conteggiati il numero totale di parole e fonemi pronunciati correttamente.

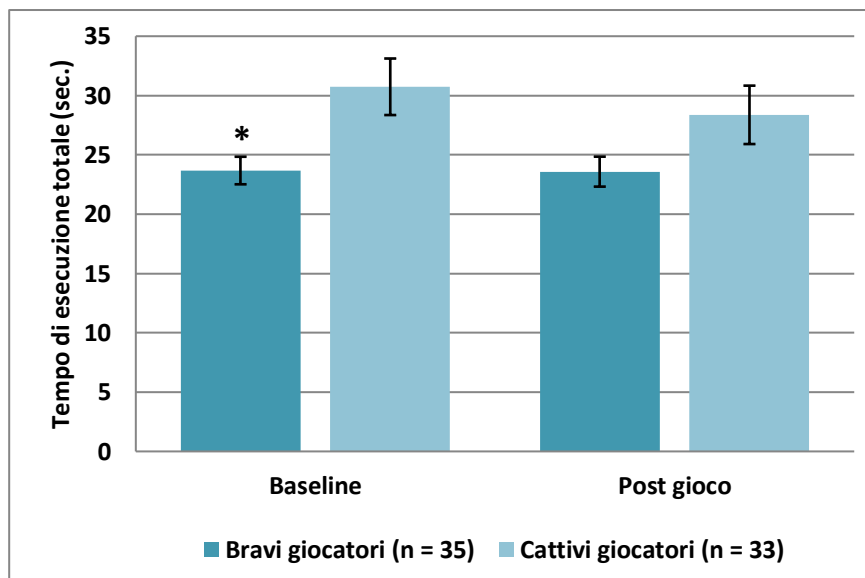
Durante il protocollo di tipo comportamentale, negli ultimi 30 minuti di sessione, è stato somministrato una versione alternativa di *Gaze Cuing* (Posner, 1980; Posner, 1985; Posner, 2008; Petersen e Posner, 2012) attraverso la seguente procedura sperimentale: con lo sguardo fisso (meccanismi attentivi *covert*) su un punto di fissazione centrale sullo schermo, di risoluzione 1024 x 768, il compito del bambino è stato quello di rispondere il più velocemente possibile (cliccando la barra spaziatrice) alla comparsa di uno stimolo bersaglio di natura non linguistica, senza dare specifiche informazioni rispetto alla sua posizione spaziale. Esso viene preceduto da due tipologie di *cue*: uno stimolo caratterizzato dal movimento dello sguardo (*gaze following*) o una freccia. Le variabili critiche manipolate sono state: la posizione spaziale (centrale o periferica) e validità dei *cue* (valido e invalido) oltre alla posizione del bersaglio (destra o sinistra dello schermo). Anche l'intervallo inter-stimolo - ISI era manipolato (breve di 280 ms - lungo di 780 ms). Il compito è funzionale per la misurazione dell'effetto *cuing* o validità: infatti il paradigma è caratterizzato dalla presentazione di 200 prove divise in 10 blocchi da 20 prove ciascuno, in modo randomico. Un quinto delle 20 prove per ciascun blocco è caratterizzato dall'assenza del bersaglio (prove *catch*). Prove valide e invalide hanno la stessa percentuale di possibilità di comparire. L'interdipendenza tra sistema di allerta e orientamento, secondo il paradigma di detezione del bersaglio e indizio spaziale (Posner, 2008) è data dalla manipolazione dell'ISI. Questa prova è stata somministrata sia come prova breve di familiarizzazione al primo incontro, indipendentemente dalla sessione sperimentale, che successivamente nelle altre due sessioni rimanenti come prova completa e formale.

### 3.4 Analisi statistiche e risultati

#### 3.4.1 L'attenzione visuospatiale e temporale: risultati

La mediana della distribuzione dei punteggi ottenuti al gioco ha permesso di dividere il campione in videogiocatori d'azione bravi ( $n = 35$ ) da quelli con performance non ottimale ( $n = 34$ ). In condizione di baseline, i giocatori esperti sono più veloci nell'eseguire il compito di ricerca visiva nuova ( $M = 23,6$  s;  $DS = 6,8$ ) dei non esperti ( $M = 30,7$  s;  $DS = 13,8$ ) in modo statisticamente significativo ( $t(47) = -2,66$ ,  $p = .010$ ). Tuttavia, post - trattamento, per  $t(49) = -1,73$ ,  $p = .009$ , non si registrano più differenze statisticamente significative tra i due gruppi a livello attentivo visuo-spaziale, suggerendo che si sia verificato un potenziamento transiente con soli 30 minuti di videogioco d'azione, annullando le differenze misurate in baseline.

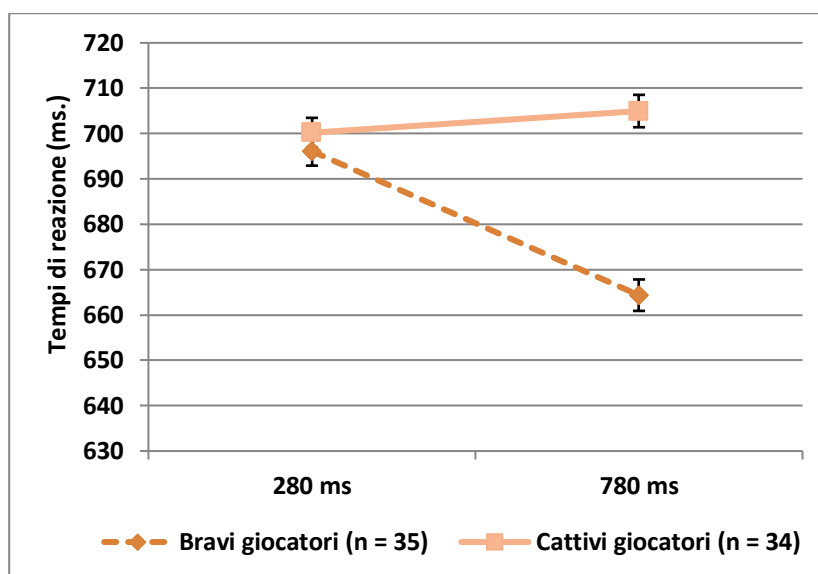
**Figura 8:** tempo di esecuzione totale della ricerca visiva nuova in baseline e post videogioco d'azione



Medie del tempo totale di esecuzione nella RV nuova e barre dell'errore standard in funzione del gruppo e della condizione sperimentale. \* Indica la significatività per  $\alpha < 0.05$ .

Per il *Cuing*, attraverso una ANOVA con disegno 2 x 2 x 2 x 2, sono stati considerati i fattori tra i soggetti relativi ai due gruppi di videogiocatori (bravi e cattivi) x le prestazioni ottenute a seconda della presentazione di due tipi di *cue* (freccia o sguardo), di ISI (280 vs 780) e di possibili condizioni delle prove (valide o invalide), come fattori tutti dentro i soggetti. In baseline, gli unici effetti significativi evidenziati sono quello principale relativo al *cue* utilizzato ( $F(1,67) = 5,827$   $p = .019$ ) e quello di interazione tra ISI e gruppo di appartenenza ( $F(1,67) = 5,491$ ,  $p = .022$ ). Per cui i bambini sembrerebbero più veloci nell'attivazione del sistema di allerta fasica alla comparsa della freccia ( $M = 678$  ms;  $DS = 13,8$ ) rispetto allo sguardo ( $M = 704$  ms;  $DS = 15,2$ ). Il test di confronto tra coppie di medie tra i due gruppi ha evidenziato come i bravi giocatori tra ISI breve e ISI lungo mostrino una differenza statisticamente significativa, con una risposta più veloce in caso di ISI lungo ( $M = 664$  ms;  $DS = 20,5$ ) rispetto alla condizione breve ( $M = 696$  ms,  $DS = 18,8$ ), dato  $p = .005$ . Al contrario per i cattivi giocatori, non si è rilevata alcuna differenza tra i due intervalli indizio-bersaglio, ad indicare una differenza attentiva temporale tra i due gruppi. Si veda la Figura 9 per medie ed errori standard in baseline a seconda dell'ISI.

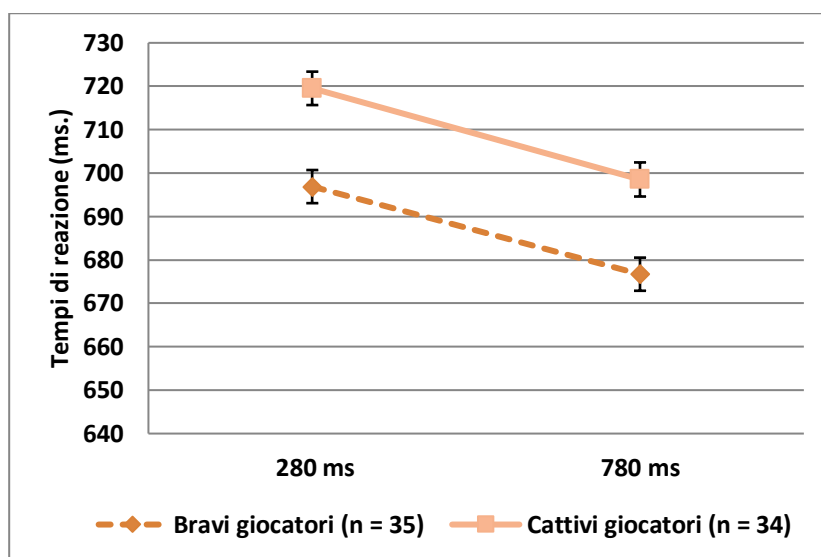
**Figura 9:** Effetti sulla attenzione temporale in pre - trattamento



Medie dei tempi di reazione e barre dell'errore standard in funzione del gruppo e dell'ISI nella condizione di baseline (ISI breve per bravi giocatori,  $M = 696$  ms,  $DS = 18,8$ ; per cattivi,  $M = 700$  ms,  $DS = 19,08$ ; ISI lungo per bravi,  $M = 664$  ms,  $DS = 20,5$ ; per cattivi,  $M = 704$  ms,  $DS = 20,8$ ).

Nella condizione di post - trattamento, attraverso la stessa ANOVA  $2 \times 2 \times 2 \times 2$ , è stato confermato: l'effetto principale del *cue* ( $F(1,67) = 5,652$ ,  $p = .020$ ) tra freccia ( $M = 685$  ms;  $DS = 15,1$ ) e sguardo ( $M = 709$  ms;  $DS = 17,03$ ); l'effetto principale dell'ISI ( $F(1,67) = 5,545$ ,  $p = .021$ ), per la differenza di effetto *warning* tra ISI lungo ( $M = 687$  ms;  $DS = 16,07$ ) e breve ( $M = 708$  ms;  $DS = 15,7$ ). Nell'analisi a posteriori di confronto post videogioco d'azione, per ISI breve - lungo non si registrano più differenze statisticamente significative in termini di attenzione temporale tra i due gruppi. Si veda la Figura 10 per medie ed errori standard per ISI a seconda del gruppo post gioco.

**Figura 10:** effetti sulla attenzione temporale post - trattamento



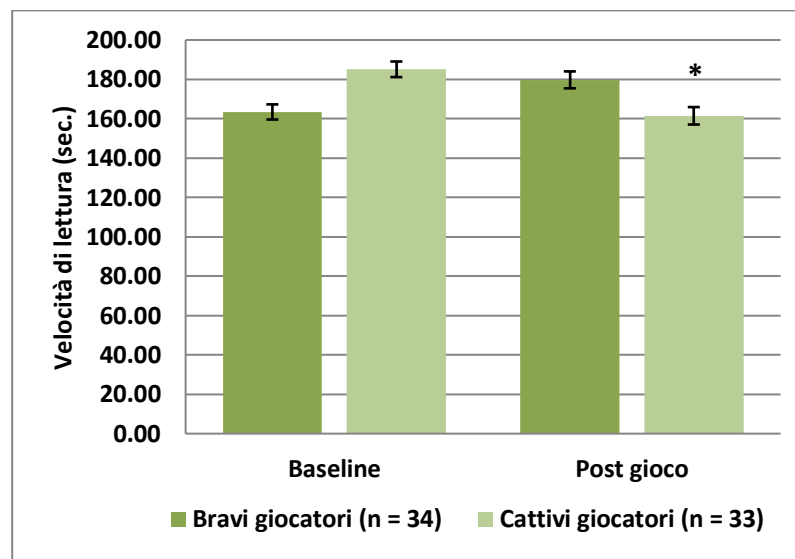
Medie dei tempi di reazione e barre dell'errore standard in funzione dell'ISI e del gruppo di videogiocatori, post - trattamento (ISI breve, per gruppo bravi con  $M = 696$  ms,  $DS = 22,1$ ; cattivi,  $M = 719$  ms,  $DS = 22,4$ ; ISI lungo, per bravi con  $M = 676$  ms,  $DS = 22,5$ ; cattivi,  $M = 698$  ms,  $DS = 22,8$ ).

### 3.4.2 Le abilità di lettura: i risultati

Per quanto riguarda i tempi impiegati per la lettura, è stata eseguita una ANOVA 2 x 2 sul campione di bravi giocatori ( $n = 34$ ) e cattivi giocatori ( $n = 33$ ): sono stati valutati come fattori i due tempi di esposizione alle prove (baseline e post - trattamento) x i due gruppi di videogiocatori (bravi e cattivi). Viene verificato un effetto di interazione tra il livello di esperienza nel gioco e il tempo di esposizione alla prova dato  $F(1,65) = 4,230$ ,  $p = .044$ . Il test di confronto tra coppie di medie ha evidenziato come i bravi giocatori sia per la prestazione ottenuta in baseline che post - trattamento, non risultino caratterizzati da differenze medie significative ( $p = .236$ ); lo stesso per i cattivi giocatori, dato  $p = .092$ . Più specificatamente, se si considerano entrambe le ipotesi di miglioramento o peggioramento post - trattamento a seconda dell'appartenenza al gruppo, invece, verrebbe confutata una

differenza significativa tra le medie per  $\alpha < 0.05$  ( $p = 0.46$ ): il miglioramento nel parametro di velocità di lettura si registra nello specifico in relazione al gruppo di giocatori non esperti (in baseline,  $M = 185$  s;  $DS = 22,7$ ; post gioco,  $M = 161$  s;  $DS = 25,4$ ). Si veda la figura 11 per medie ed errori standard dei due gruppi tra pre e post gioco in termini di velocità di lettura.

**Figura 11:** velocità di lettura di parole tra pre - e post - trattamento



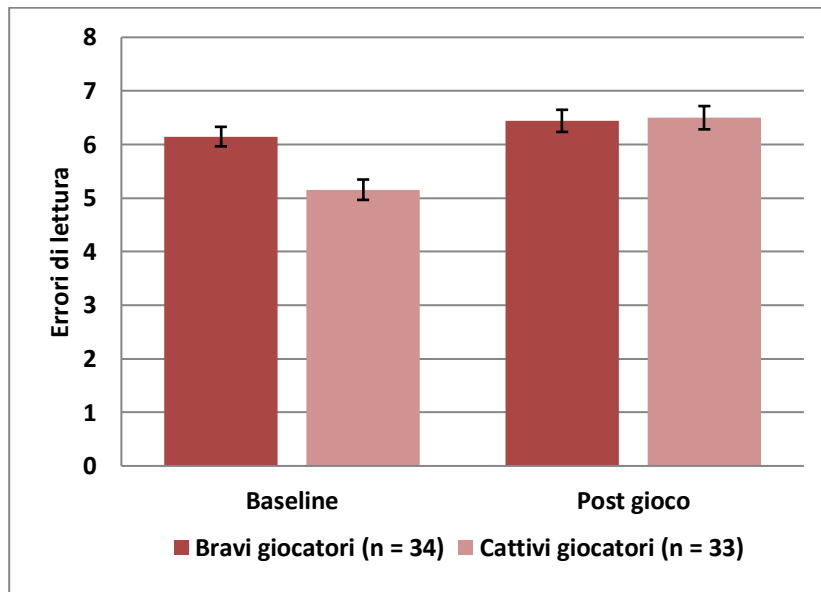
Medie della velocità di lettura di parole e barre dell'errore standard in funzione del gruppo e della condizione sperimentale. In baseline, non si rilevano differenze statisticamente significative tra gruppo bravi ( $M = 163$  s;  $DS = 22,4$ ) e cattivi giocatori ( $M = 185$  s;  $DS = 22,7$ ); post gioco, invece, il gruppo di cattivi giocatori migliora la velocità di lettura di parole ( $M = 161$  s;  $DS = 25,4$ ) rispetto ai bravi ( $M = 179$  s;  $DS = 25,09$ ). \* Indica la significatività per  $\alpha < 0.05$ .

Per il livello di accuratezza nelle abilità di lettura (numero di errori), è stato utilizzato una ANOVA 2 x 2 nel campione di bravi ( $n = 34$ ) e cattivi giocatori ( $n = 32$ ). Non vi sono effetti principali del tempo di esposizione ( $F(1,64) = 1,540$ ,  $p = .21$ ) o del gruppo ( $F(1,64) = .097$ ,  $p = .75$ ); neppure l'interazione risulta significativa ( $F(1,64) = .632$ ,  $p = .42$ ). Quindi tra pre e post non si registrano miglioramenti statisticamente significativi nel



livello di accuratezza alla base della lettura di parole. Si veda il Figura 12 per medie ed errori standard tra pre e post gioco in termini di accuratezza nella lettura.

**Figura 12:** Numero di errori nella lettura di parole tra pre - e post - trattamento



Medie degli errori di lettura di parole e barre dell'errore standard in funzione del gruppo e della condizione sperimentale. In baseline, non si rilevano differenze tra la medie di errori commessi dal gruppo bravi ( $M = 6,14$ ;  $DS = 1,06$ ) e cattivi giocatori ( $M = 5,1$ ;  $DS = 1,09$ ); lo stesso post - trattamento (bravi,  $M = 6,4$ ,  $DS = 1,21$ ; cattivi,  $M = 6,5$ ,  $DS = 1,25$ ).

### 3.5 Discussione e conclusioni

In condizione di pre - trattamento, sono state rilevate differenze significative tra i due gruppi in termini attentivi spaziali (ricerca visiva) e temporali (effetto *warning*). In particolare, i giocatori meno esperti risultano più lenti nella velocità di esecuzione di compiti di ricerca visiva nuova. Tuttavia, nel post - trattamento, le differenze non sono più significative tra i due gruppi. In questi compiti (Treisman, 1982; Chun e Wolfe, 2005; Eimer, 2014) sono implicati sia processi bottom-up (distribuiti) che top-

down (focalizzati) che si attivano a livello parallelo e seriale, con quattro stadi di elaborazione (preparazione, guida, selezione e di identificazione del bersaglio). In linea con le ricerche presenti in letteratura (Facoetti et al., 2010; Franceschini et al., 2015; Bertoni et al., 2021) il miglioramento sarebbe spiegabile in termini di meccanismi attentivi bottom-up e di controllo top-down visuospatiali. L'interdipendenza tra processi di attenzione globale e focalizzata (principi di esclusione del rumore di fondo) e flessibilità cognitiva - due tra i tre meccanismi chiave alla base delle dinamiche del videogioco d'azione - si collegherebbero significativamente con gli stadi di guida (area MT/V4) e selezione (corteccia cingolata posteriore - PCC, FEF e talamo) nella ricerca visiva (Eimer, 2014; Bavelier e Green, 2019; Bertoni et al., 2021). Ulteriore processo da considerare è, inoltre, il possibile presupposto di migliore esclusione del rumore ed estrazione del segnale, alla base dell'attenzione, potenziando meccanismi di selezione attentiva precoci nella RV: infatti, una ipotesi accreditata nell'ambito della lettura è quella di rumore neuronale (Sperling et al., 2005; Bertoni et al., 2021; si veda Hancock et al., 2017 per una rassegna). Dal punto di vista cortico - sottocorticale, bisognerebbe verificare se il training con il videogioco d'azione abbia agito, in linea con diversi studi a riguardo (Gong et al., 2016; Twait et al., 2018; Kershner, 2021), sulla maggiore plasticità cerebrale nei meccanismi top-down e bottom-up frontoparietali dorsali bilaterali di controllo attentivo (Corbetta e Shulman, 2002) - come nella PCC di destra per l'orientamento spaziale - a partire dagli input dalla via MD attentiva, contestualizzabili in stato di riposo nel network sovraordinato del SN e CEN (CCN). Il training con videogiochi d'azione attiverebbe, infatti, il network frontoparietale durante il processamento di stimoli visivi, interconnettendo aree top-down e sensoriali regolate principalmente dalla TPJ e giro frontale medio di destra (Föcker et al., 2008). Spostando l'attenzione sul paradigma *cuing* si è

registrata una maggiore velocità di risposta alla presentazione della freccia piuttosto che del movimento dello sguardo. E' possibile che, in base alla letteratura corrente, gli stimoli simbolici di avvertimento come l'uso di una freccia piuttosto che il *gaze following*, producano uno spostamento dell'attenzione riflessivo e automatico, non solo volontario e controllato (più lento in termini di dispendio cognitivo), influenzando i TRs del soggetto e la rappresentazione visiva del bersaglio (Stevens et al., 2008). Inoltre, è risultato il fatto che il gruppo di giocatori più bravi mostri un effetto *warning* (attenzione temporale) significativo, che facilita la preparazione alla risposta motoria dell'organismo e il successivo orientamento dell'attenzione in finestre temporali più lunghe, rispetto a quelle in cui l'ISI tra *cue* e bersaglio è breve. Questo non si verifica nel caso del gruppo di meno bravi, complessivamente rallentati in entrambe le condizioni e in assenza di un'efficiente attivazione del sistema di allerta fasica. I TRs, a seconda dell'ISI, sono stati un'utile indicazione del sottosistema di allerta in termini di attenzione temporale: ci si aspetta che in finestre temporali brevi rispetto a quelle più lunghe sia più difficile reagire e discriminare lo stimolo bersaglio (tempi di reazione più lenti di allerta fasica), condizione assimilabile a quella di *cueing detection* nel paradigma di Posner (2008); più l'intervallo di tempo è lungo, più il sistema noradrenergico di allerta permette all'organismo di preparare una risposta motoria efficace al bersaglio, sopprimendo fisiologicamente l'attività corrente. Tuttavia, nel post - trattamento non si rivelano più queste differenze: entrambi migliorano in finestre temporali più lunghe la sensibilità del sottosistema noradrenergico di allerta (Posner e Petersen, 1990); nel caso dell'ISI breve non vi sono stati invece risultati significativi, poiché in generale entrambi i gruppi (specie quello dei meno esperti) risultano rallentati nei propri tempi di reazione se non viene dato sufficiente tempo per preparare la risposta alla

comparsa del bersaglio. Questo dato sarebbe simile a quanto accade in pazienti adulti con neglet emispaziale destro (network parietale e TPJ di destra) e in fase evolutiva in caso di *left mini neglect* per rischio di DE, in base a deficit di disancoraggio attentivo in caso di intervalli temporali brevi, che gradualmente si annullano durante finestre temporali più lunghe (Losier e Klein, 2001). In questo caso, le difficoltà avrebbero genesi da uno stadio precedente e interdipendente a quello di orientamento, di tipo attentivo *stimulus driven* e a dominio temporale basato sull'allerta fasica. Studi di prevenzione in età prescolare hanno dimostrato deficit selettivi nell'effetto *warning* per ISI breve in futuri scarsi lettori, in linea con le teorie correnti relative a difficoltà di spostamento automatico dell'attenzione (TPJ di destra) a livello multisensoriale e spazio - temporale in bambini a rischio di dislessia (Corbetta e Shulman, 2002; Franceschini et al., 2012): nonostante nello studio corrente non ci siano differenze post - trattamento per ISI breve tra i due gruppi, si può meglio comprendere perché questi presupposti teorici siano maggiormente evidenti a livello medio nel caso del gruppo di videogiocatori meno bravi/esperti. A livello neurale tali risultati dovrebbero essere verificati da ulteriori ricerche sul possibile coinvolgimento del LC, per le proprie proiezioni noradrenergiche nel network frontoparietale ventrale di destra bottom-up e *stimulus driven* (Corbetta e Shulman, 2002), principalmente alle aree che interconnettono TPJ e VFC, attive durante i meccanismi di allerta e vigilanza (*warning effect*); lo stesso dicasi per l'ACC, fondamentale per il *warning effect*, facente parte del SN (Twait et al., 2018; Kershner, 2021), e anche per l'IPS di destra, attiva quando il contesto ambientale richiede di porre attenzione contemporaneamente ad aspetti spaziali e temporali dello stimolo, in compiti come quelli che combinano processi di *cueing detection* e spaziali (Coull e Frith, 1998; Posner, 2008). Anche se i videogiochi d'azione hanno maggiori effetti sui processi top-down piuttosto che *stimulus-*

*driven* in termini di plasticità strutturale e funzionale, è infatti decisiva la rivalutazione attentiva di stimoli sensoriali in rapido cambiamento, in quanto una delle funzioni principali per il passaggio da uno stato attentivo ad un altro (Bavelier e Green, 2019). Complessivamente, questi risultati sono importanti anche alla luce del fatto che sia la ricerca visiva che il paradigma *posner* sono utilizzati come procedure sperimentali per identificare possibili condizioni di rischio e prevenzione di scarse capacità di lettura o DE fin dall'età prescolare, per i meccanismi attenzionali atipici sottostanti (Facoetti, 2012). Infine, ultimo dato principale rilevato tra pre - e post - test, è il miglioramento nella lettura di parole in uno dei principali predittori delle future capacità di fluenza ovvero la velocità di lettura (sillabe/secondo). Indipendentemente dal gruppo di appartenenza, l'intervento con videogiochi d'azione risulta promettente nelle abilità di lettura; tuttavia, il gruppo che ottiene miglioramenti significativi in questo predittore è solo quello di giocatori dalla prestazione subottimale. In termini di accuratezza, invece, non sono state rilevate differenze significative tra i due gruppi, probabilmente perché è necessario implementare sia paradigmi classici fonologici che ortografici che lavorino su aspetti relativi l'accuratezza attraverso training visivo attentivo, migliorando a cascata anche la velocità di lettura (Bertoni et al., 2021). L'aumento di velocità di lettura nel gruppo di meno esperti non ha portato, inoltre, a decrementi nel livello di accuratezza tra pseudoparole. In linea con la letteratura corrente, le abilità di lettura possono essere potenziate a livello transiente con soli 30 minuti di gioco e i risultati si evidenziano nei meccanismi dominio - generali esplorati a livello attentivo spaziale - temporale (Bavelier et al., 2012; Franceschini et al., 2012). Il fatto che siano state rivelate queste differenze tra pre e post test tra i due gruppi potrebbero essere in linea con i presupposti teorici di *expertise*, effetto pratica e principi computazionali coinvolti nei processi di apprendimento e

“*learning to learn*” caratterizzanti i videogiochi d'azione e i profili neuropsicologici differenti tra i due gruppi di giocatori (Bavelier et al., 2012). Infine, non sono stati evidenziati risultati significativi in termini di mappaggio cross modale nel RAN non alfanumerico o di MBT fonologica post - trattamento: questo presumibilmente potrebbe ricollegarsi al fatto che gli effetti di migliore attenzione spazio - temporale visiva non si generalizzano ai circuiti e domini neurocognitivi (aree parvocellulari occipito-ventrali di sinistra, aree uditive primarie e secondarie bilaterali) caratterizzanti queste prove, e parzialmente dissociabili rispetto a quelle in esame (de Carvalho et al., 2014; Levarg e Hulme, 2014).

Complessivamente, le conclusioni di questo progetto sperimentale permettono di confermare a livello epistemologico e metodologico l'efficacia predittiva e riabilitativa dei videogiochi d'azione quali trattamenti non linguistici che potenziano a breve termine i processi dominio - generali alla base della lettura, come quelli attentivi visuospatiali e temporali. Questi risultati sono promettenti nel contestualizzarsi nell'ambito dei disturbi del neurosviluppo, considerando l'insieme delle ricerche di intervento condotte sulla dislessia evolutiva o deficit specifici del linguaggio. Obiettivo futuro potrebbe essere quello di: (i) estendere la ricerca a dati di natura anche uditiva, in linea con le teorie più moderne di DE quale disturbo multisensoriale e multifattoriale; (ii) implementare un paradigma di intervento a lungo termine che verifichi gli effetti di *near* e *far-transfer effect* o “*learning to learn*”, focalizzando l'attenzione su un campione estratto da una popolazione clinica; (iii) usufruire in parallelo alle procedure di screening neuropsicologiche, anche di tecniche di neuroimaging per verificare le aree neurali bersaglio - in stato di riposo e non - potenziabili tramite questo genere di videogiochi (Bavelier et al., 2012; Ruffino et al., 2014; Gong et al., 2016; Bediou et al., 2018).

## **Bibliografia**

- Ahissar, M.; Hochstein, S. The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends Cogn. Sci.* 2004, 8, 457–464.
- Anderson AF, Bavelier D. (2011). Action game play as a tool to enhance perception, attention and cognition. In *Computer Games and Instruction*, ed. S Tobias, D Fleycher, pp. 307–29. Charlotte, NC: Information Age.
- Anderson AF, Kludt R, Bavelier D. (2011). Verbal versus visual working memory skills in action video game players. Poster presented at the Psychonomics Soc. Meet., Seattle.
- Arsenault, D. (2009). Video game genre, evolution and innovation. *Eludamos. Journal for Computer Game Culture*, 3, 149–176.
- Badre D. (2008). Cognitive control, hierarchy, and the rostro-caudal organization of the frontal lobes. *Trends Cogn. Sci.* 12:193–200.
- Bavelier, D., Green, C. S., Pouget, A., & Schrater, P. (2012).
- Bavelier, D., Bediou, B., & Green, C. S. (2018). Expertise and generalization: lessons from action video games. *Current opinion in behavioral sciences*, 20, 169-173.
- Bavelier, D., & Green, C. S. (2019). Enhancing attentional control: lessons from action video games. *Neuron*, 104(1), 147-163.
- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological bulletin*, 144(1), 77.
- Bertoni, S., Franceschini, S., Puccio, G., Mancarella, M., Gori, S., & Facoetti, A. (2021). Action video games enhance attentional control and phonological decoding in children with developmental dyslexia. *Brain Sciences*, 11(2), 171.
- Botvinick MM. (2008). Hierarchical models of behavior and prefrontal function. *Trends Cogn. Sci.* 12:201–8.

- Bowers, P. G., & Swanson, L. B. (1991). Naming speed deficits in reading disability: Multiple measures of a singular process. *Journal of experimental child psychology*, 51(2), 195-219.
- Bradley, L., & Bryant, P. (1983). Categorizing sound and learning to read: a casual connection. *Nature* 301, 419–421. doi: 10.1038/301419a0
- Brain plasticity through the life span: learning to learn and action video games. *Annual review of neuroscience*, 35, 391-416.
- Brodbeck, M. I., & Dupuis, P. (2020). The Short Term Effects of Action and Non Action Videogame Play on Attention. *Intersect: The Stanford Journal of Science, Technology, and Society*, 14(1).
- Cancer, A., Bonacina, S., Antonietti, A., Salandi, A., Molteni, M., & Lorusso, M. L. (2020). The effectiveness of interventions for developmental dyslexia: Rhythmic reading training compared with hemisphere-specific stimulation and action video games. *Frontiers in Psychology*, 11, 1158.
- Castel, A. D., Pratt, J., & Drummond, E. (2005). The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. *Acta Psychologica*, 119, 217–230.
- Chandrasekaran, B., Hornickel, J., Skoe, E., Trent, N., & Kraus, N. (2009). Context-dependent encoding in the human auditory brainstem relates to hearing speech in noise: implications for developmental dyslexia. *Neuron* 64, 311–319. doi: 10.1016/j.neuron.2009.10.006.
- Chisholm, J. D., & Kingstone, A. (2015). Action video games and improved attentional control: Disentangling selection-and response-based processes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(5), 1430-1436.
- Chun, M. M., & Wolfe, J. M. (2001). Chapter nine visual attention. *Blackwell handbook of sensation and perception*, 272.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word



recognition and reading aloud. *Psychological review*, 108(1), 204.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews neuroscience*, 3(3), 201-215.

Coull, J. T., & Frith, C. D. (1998). Differential activation of right superior parietal cortex and intraparietal sulcus by spatial and nonspatial attention. *Neuroimage*, 8(2), 176-187.

Csikszentmihalyi, M. (1988). The flow experience and its significance for human psychology. *Optimal experience: Psychological studies of flow in consciousness*, 2, 15-35.

Dale, G., Joessel, A., Bavelier, D., & Green, C. S. (2020). A new look at the cognitive neuroscience of video game play. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 192-203.

De Carvalho, C. A., Kida, A. D. S., Capellini, S. A., & de Avila, C. R. (2014). Phonological working memory and reading in students with dyslexia. *Frontiers in psychology*, 5, 746.

Deveau J et al.: How to build better memory training games. *Front Syst Neurosci* 2014, 8:243.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135.

Eimer, M. (2014). The neural basis of attentional control in visual search. *Trends in cognitive sciences*, 18(10), 526-535.

Facoetti, A., Lorusso, M. L., Cattaneo, C., Galli, R., & Molteni, M. (2005). Visual and auditory attentional capture are both sluggish in children with developmental dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 65(1), 61–72.

Facoetti, A., Ruffino, M., Peru, A., Paganoni, P., & Chelazzi, L. (2008). Sluggish engagement and disengagement of non-spatial attention in dyslexic children. *Cortex*, 44(9), 1221-1233.

Facoetti, A., Corradi, N., Ruffino, M., Gori, S., & Zorzi, M. (2010). Visual spatial attention and speech segmentation are

both impaired in preschoolers at familial risk for developmental dyslexia. *Dyslexia*, 16(3), 226-239.

Facoetti, A. (2012). Spatial attention disorders in developmental dyslexia: towards the prevention of reading acquisition deficits. *Visual aspect of dyslexia*, 123-136.

Facoetti, A., Gori, S., Franceschini, S., Bertoni, S., Ronconi, L., Ruffino, M., Mascheretti, S., Marino, C., Giora, E., De Sperati, C., Pedrolli, K., & Trussardi, A.N., (2022). <https://dpg.unipd.it/en/deconelab> .

Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science*, 18, 850–855.

Föcker, J.; Cole, D.; Beer, A.L.; Bavelier, D. Neural bases of enhanced attentional control: Lessons from action video game players. *Brain Behav.* 2018, 8, e01019.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current biology*, 22(9), 814-819.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current biology*, 23(6), 462-466.

Franceschini, S., Bertoni, S., Ronconi, L., Molteni, M., Gori, S., & Facoetti, A. (2015). “Shall we play a game?”: Improving reading through action video games in developmental dyslexia. *Current Developmental disorders reports*, 2(4), 318-329.

Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., ... & Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific reports*, 7(1), 1-12.

Franceschini, S., & Bertoni, S. (2019). Improving action video games abilities increases the phonological decoding speed and phonological short-term memory in children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 130, 100-106.

Franceschini, S., Bertoni, S., Lulli, M., Pievani, T., & Facchetti, A. (2022). Short-term effects of video-games on cognitive enhancement: The Role of positive emotions. *Journal of Cognitive Enhancement*, 6(1), 29-46.

Gabrieli, J. D. (2009). Dyslexia: A new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325, 280–283.

Gagnon, D. (1985). Videogames and spatial skills: an exploratory study. *Edu. Technol. Comm. J.* 33: 263–275.

Gong, D., He, H., Ma, W., Liu, D., Huang, M., Dong, L., ... & Yao, D. (2016). Functional integration between salience and central executive networks: a role for action video game experience. *Neural plasticity*, 2016.

Goswami, U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 3–10.

Green CS, Bavelier D. (2006). Effects of action video game playing on the spatial distribution of visual selective attention. *J. Exp. Psychol.: Hum. Percept. Perform.* 32:1465–78.

Green CS, Bavelier D. (2007). Action video game experience alters the spatial resolution of vision. *Psychol. Sci.* 18:88–94

Green CS, Pouget A, Bavelier D (2010) Improved probabilistic inference as a general learning mechanism with action video games. *Curr Biol* 20: 1573–1579.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2015). Action video game training for cognitive enhancement. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, 103-108.

Greenfield PM. (2009). Technology and informal education: What is taught, what is learned. *Science* 323:69–71.

Griffith, J.L., P. Voloschin, G.D. Gibb & J.R. Bailey (1983). Differences in eye-hand motor coordination of video-game users and non-users. *Percept. Mot. Skills* 57: 155–158.

Hari, R., & Renvall, H. (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in cognitive sciences*, 5(12), 525-532.

- Hemenover, S. H., & Bowman, N. D. (2018). Video games, emotion, and emotion regulation: Expanding the scope. *Annals of the International Communication Association*, 42(2), 125-143.
- Hornickel, J., Zecker, S. G., Bradlow, A. R., & Kraus, N. (2012). Assistive listening devices drive neuroplasticity in children with dyslexia. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 16731–16736. doi: 10.1073/pnas.1206628109.
- Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” compiti: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.
- Kershner, J. R. (2021). An evolutionary perspective of dyslexia, stress, and brain network homeostasis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 575546.
- Khoshnoud, S., Igarzábal, F. A., & Wittmann, M. (2020). Peripheral-physiological and neural correlates of the flow experience while playing video games: a comprehensive review. *PeerJ*, 8, e10520.
- Klein, R. M., & Lawrence, M. A. (2012). On the modes and domains of attention. *Cognitive neuroscience of attention*, 2, 11-28.
- Koechlin E, Summerfield C. (2007). An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends Cogn. Sci.* 11:229–35.
- KoeppMJ, Gunn RN, Lawrence AD, Cunningham VJ, Dagher A, et al. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature* 393:266–68.
- Krause, M. B. (2015). Pay attention!: sluggish multisensory attentional shifting as a core deficit in developmental dyslexia. *Dyslexia*, 21(4), 285-303.
- Lallier, M., Tainturier, M. J., Dering, B., Donnadieu, S., Valdois, S., & Thierry, G. (2010). Behavioral and ERP evidence

for amodal sluggish attentional shifting in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 48(14), 4125.

Lervåg, A., & Hulme, C. (2009). Rapid automatized naming (RAN) taps a mechanism that places constraints on the development of early reading fluency. *Psychological science*, 20(8), 1040-1048.

Li RW, Polat U, Scalzo F, Bavelier D. (2010). Reducing backward masking through action game training. *J. Vis.* 10:1–13

Losier, B. J., & Klein, R. M. (2001). A review of the evidence for a disengage deficit following parietal lobe damage. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 25(1), 1-13.

Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). Defining dyslexia, comorbidity, teachers' knowledge of language and reading: A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53, 1–14.

Ma WJ, Huang W. (2009). No capacity limit in attentional tracking: evidence for probabilistic inference under a resource constraint. *J. Vis.* 9:1–30.

Mayer, R. E. (2011). Does styles research have useful implications for educational practice?. *Learning and Individual Differences*, 21(3), 319-320.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Pallavicini, F., Ferrari, A., & Mantovani, F. (2018). Video games for well-being: A systematic review on the application of computer games for cognitive and emotional training in the adult population. *Frontiers in psychology*, 2127.

Perry, C., Ziegler, J. C., and Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: the CDP+ model of reading aloud. *Psychol. Rev.* 114, 273–315. doi: 10.1037/0033-295X.114.2.273.

Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *The lancet*, 379(9830), 1997-2007.

- Pichon, S., Bediou, B., Antico, L., Jack, R., Garrod, O., Sims, C., ... & Bavelier, D. (2021). Emotion perception in habitual players of action video games. *Emotion*, 21(6), 1324.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I., Rafal, R. D., Choate, L. S., & Vaughan, J. (1985). Inhibition of return: Neural basis and function. *Cognitive neuropsychology*, 2(3), 211-228.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25-42.
- Posner, M. I. (2008). Measuring alertness. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129(1), 193-199.
- Posner, M. I. (Ed.). (2011). *Cognitive neuroscience of attention*. Guilford Press.
- Przybylski, A. K., Rigby, C. S., & Ryan, R. M. (2010). A motivational model of video game engagement. *Review of general psychology*, 14(2), 154-166.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., ... Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders*, 34(6), 479-492.
- Ratcliff R, McKoon G. (2008). The diffusion decision model: theory and data on two-choice decision competition. *Neural Comput.* 20:873-922
- Rougier NP, Noelle DC, Braver TS, Cohen JD, O'Reilly RC. (2005). Prefrontal cortex and flexible cognitive control: rules without symbols. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:7338-43.
- Ruffino, M., Gori, S., Boccardi, D., Molteni, M., & Facoetti, A. (2014). Spatial and temporal attention in developmental dyslexia. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 331.
- Sakai K. (2008). Task set and prefrontal cortex. *Annu. Rev. Neurosci.* 31:219-45.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2007). The neurobiology of reading and dyslexia. *The ASHA Leader*, 12(12), 20-21.

Spelke ES. (2005). Sex differences in intrinsic aptitude for mathematics and science?: A critical review. *Am. Psychol.* 60:950–58.

Spence, I., & Feng, J. (2010). Video games and spatial cognition. *Review of general psychology*, 14(2), 92-104.

Sperling, A. J., Lu, Z. L., Manis, F. R., & Seidenberg, M. S. (2005). Deficits in perceptual noise exclusion in developmental dyslexia. *Nature neuroscience*, 8(7), 862-863.

Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Bechenec, D., & Serniclaes, W. (2003). Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: a four-year longitudinal study. *J. Exp. Child Psychol.* 84, 194–217. doi: 10.1016/S0022-0965(03)00024-9.

Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12-36.

Stein, J. (2014). Dyslexia: the role of vision and visual attention. *Current developmental disorders reports*, 1(4), 267-280.

Stein, J. (2019). The current status of the magnocellular theory of developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 130, 66-77.

Stevens, S. A., West, G. L., Al-Aidroos, N., Weger, U. W., & Pratt, J. (2008). Testing whether gaze cues and arrow cues produce reflexive or volitional shifts of attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(6), 1148-1153.

Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonetic, and reading disabilities in children. *Brain Lang.* 9, 182–198. doi: 10.1016/0093-934X(80)90139-X.

Thorndike EL, Woodworth RS: The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. *Psychol Rev* 1901, 8:247-261.

Treisman, A. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 8(2), 194.

Twait, E., Farah, R., & Horowitz-Kraus, T. (2018). Decreased functional connectivity of the salience network during narrative

comprehension in children with reading difficulties: An fMRI study. *NeuroImage: Clinical*, 20, 987-992.

VA, A. (2014). Tr. it: *Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali*, Quinta edizione, DSM-5. Raffaello Cortina Editore.

Valdois, S., Lassus-Sangosse, D., & Lobier, M. (2012). The visual nature of the visual attention span disorder in developmental dyslexia. *Visual aspects of dyslexia*, 111-122.

Valdois, S., Roulin, J. L., & Bosse, M. L. (2019). Visual attention modulates reading acquisition. *Vision research*, 165, 152-161.

Valenza, E. (2005). *Lo sviluppo cognitivo. Dalle teorie classiche ai nuovi orientamenti*. Il Mulino.

Van, Z., Zomeren, A. H., Brouwer, W. H., & Brouwer, W. H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. Oxford University Press, USA.

Vicari & Caselli (2017). *La neuropsicologia dello sviluppo*. Il Mulino.

Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in cognitive sciences*, 14(2), 57-63.

Visser, T. A. (2014). Evidence for deficits in the temporal attention span of poor readers. *PLoS One*, 9(3), e91278.

Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale--Fourth Edition (WAIS-IV)*. APA PsycTests.

Weissman, D.; Roberts, K.C.; Visscher, K.M.;Woldorff, M.G. The neural bases of momentary lapses in attention. *Nat. Neurosci.* 2006, 9, 971–978.

Yeshurun, Y., & Rashal, E. (2010). Precueing attention to the bersaglio location diminishes crowding and reduces the critical distance. *Journal of vision*, 10(10), 16-16.