



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di Laurea in

**Scienze psicologiche dello sviluppo,
della personalità e delle relazioni interpersonali**

Elaborato finale

Utilizzo di strategie game-based nell'apprendimento numerico tra scuola dell'infanzia e scuola primaria: una revisione della letteratura

The role of game-based strategies in fostering kindergarten and primary school students' number knowledge: a systematic review

Relatrice:

Prof.ssa Daniela Lucangeli

Laureando: **Tommaso Orlando**

Matricola: **2008695**

Anno Accademico 2021/2022

Indice

INTRODUZIONE	5
1. LA COGNIZIONE NUMERICA	6
1.1 Le componenti di base dell'intelligenza numerica	6
1.1.1 Abilità dominio-specifiche: il senso del numero	8
1.1.2 Ulteriori abilità dominio-specifiche: la linea numerica mentale	9
1.1.3 Abilità dominio-generalì: la memoria di lavoro	11
1.2 I modelli che spiegano la cognizione numerica	12
1.2.1 Il modello di comprensione numerica e calcolo aritmetico	13
1.2.2 Il modello del triplo codice	13
1.2.3 Il modello di apprendimento delle abilità di calcolo	14
1.2.4 Il modello delle relazioni	15
1.2.5 Il modello causale	15
1.2.6 Il modello transizionale	16
1.2.7 La teoria integrata dello sviluppo numerico	17
2. L'APPRENDIMENTO ATTRAVERSO IL GIOCO	18
2.1 I fondamenti del gioco funzionale all'apprendimento	18
2.1.1 Le basi teoriche dell'apprendimento <i>game-based</i>	20
2.1.2 Il funzionamento del gioco per l'apprendimento	21
2.1.3 Il contenuto veicolato	23
2.2 I modelli del gioco per apprendere	24

2.2.1	Il modello Input-Process-Outcome	24
2.2.2	Il modello esperienziale	25
2.2.3	Il modello delle sei I	25
2.2.4	Il modello del cerchio magico	26
3.	LA REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA	27
3.1	Introduzione alla revisione	27
3.1.1	I quesiti di ricerca	28
3.2	I metodi adottati	29
3.2.1	I criteri di elegibilità	30
3.2.2	La ricerca in letteratura	30
3.2.3	L'estrazione dei dati	31
3.3	I risultati ottenuti	32
3.3.1	Gli esiti della ricerca	36
3.3.2	Le caratteristiche degli studi inclusi	36
3.4	Discussione	38
3.4.1	La risposta al primo quesito	38
3.4.2	La risposta al secondo quesito	39
3.4.3	La risposta al terzo quesito	40
	CONCLUSIONI	44
4.1	Una sintesi	44
4.1	Le direzioni future	45
	BIBLIOGRAFIA	46

Introduzione

Questo elaborato finale si propone di indagare, esaminando i relativi riscontri sperimentali, gli effetti del *gioco digitale per l'apprendimento* sulla cognizione numerica degli studenti di scuola dell'infanzia e scuola primaria.

Attraverso una revisione sistematica della letteratura – condotta in aderenza alle raccomandazioni del nuovo protocollo PRISMA 2020 – proverà a restituire una risposta per ciascuno dei tre quesiti di ricerca, volti a identificare: le componenti della cognizione numerica coinvolte negli interventi *game-based* digitali, nonché i modelli teorici su cui hanno fondamento; le caratteristiche dell'interazione tra gioco e giocatore, incluse le tipologie di feedback utilizzate; i gradi di efficacia dimostrati dagli interventi. La ricerca ha riguardato 22 studi sperimentali o quasi sperimentali con gruppo di controllo, pubblicati dal 2013 in poi, che hanno coinvolto un totale di 4647 studenti.

I risultati indicano che il gioco digitale è uno strumento estremamente valido per il potenziamento delle abilità numeriche, prospettando una sua implementazione a scopo preventivo sulle possibili difficoltà in matematica.

1.

La cognizione numerica

1.1 Le componenti di base dell'intelligenza numerica

La naturale propensione di molte specie animali al rapporto col numero è verificata dalla comunità scientifica, che la considera innata e dalla filogenesi condivisa. I pulcini, ad esempio, hanno dimostrato di saper discriminare due quantità simili, se composte da uno, due o tre elementi. A seguito del rinforzo di una delle numerosità, infatti, i pulcini la individuano correttamente nelle prove successive, e la scelgono (Rugani et al., 2008). Similmente, tra due contenitori opachi nei quali hanno visto depositare differenti quantità di spicchi di mela (da uno a quattro), i macachi preferiscono sempre il contenitore in cui ricordano essere stati posti più spicchi (Hauser et al., 2000).

Non sorprenda, dunque, che un'equivalente familiarità con il numero venga rilevata nell'uomo, ancor prima che l'ambiente possa intervenire nello sviluppo. Per indagare le abilità numeriche dei neonati sono state impiegate tre diverse tipologie di conferma sperimentale: la tecnica dell'abituazione-

disabituazione, il paradigma della violazione dell'aspettativa e il compito di ricerca manuale. Nella prima, viene mostrata al neonato una serie di stimoli dalla stessa numerosità, sino ad ottenere una consistente riduzione del suo tempo di fissazione (fase di abituazione). Presentato, poi, uno stimolo con numerosità differente, esso viene osservato più a lungo, a dimostrazione del fatto che il neonato lo discrimina dal precedente (Antell & Keating, 1983). Il paradigma della violazione dell'aspettativa si basa sull'assunto secondo cui il bambino fissa più a lungo la situazione incongruente con la sua aspettativa aritmetica. Lo sperimentatore, mostratogli un pupazzo all'interno di un teatrino e schermatolo, poi, alla vista del bambino, ne aggiunge un secondo (o, posti due, ne sottrae uno); abbassato lo schermo, la visione di due pupazzi è congruente con l'aspettativa e la visione di un solo pupazzo non lo è (o, viceversa). I risultati hanno dimostrato come i tempi di fissazione, aumentati nella situazione di incongruenza, siano indicativi della presenza di aspettative aritmetiche già nei piccolissimi (Wynn, 1992). Nella compito di ricerca manuale, infine, il bambino cerca di recuperare il corretto numero di oggetti che ha visto riporre all'interno di una scatola opaca, anche nel caso in cui lo sperimentatore vi abbia, senza essersi mostrato, sottratto alcuni elementi (Feigenson & Carey, 2005).

A fundamenta di tale innata predisposizione, verificata sperimentalmente, la psicologia individua due famiglie di componenti in reciproca interazione: le abilità dominio-specifiche, i precursori non-simbolici della matematica, e le abilità dominio-generalì, condivise con molteplici aree cognitive. Quando una (o

più) di queste componenti risulta deficitaria o compromessa, le difficoltà in matematica sono gravemente amplificate (Purpura et al., 2017).

1.1.1 Abilità dominio-specifiche: il senso del numero

Secondo Dehaene, i numeri costituiscono una delle dimensioni attraverso cui il nostro sistema nervoso ordina e interpreta il mondo esterno, una sorta di lente posta a filtro delle nostre percezioni. In particolare, la categorizzazione avviene grazie ad una rappresentazione analogica del numero, intrinsecamente definita preverbale e non-simbolica: la numerosità, o magnitudine (Dehaene, 1997). L'abilità di comprendere intuitivamente una numerosità (discriminando, ad esempio, gruppi di elementi non equivalenti), senza ricorrere al conteggio esplicito e denotando una particolare acuità numerica, prende il nome di *senso del numero* (Dehaene, 2001; Jordan et al., 2010).

A definire la capacità complessiva del senso del numero concorrono due *core system*, che si attivano automaticamente in risposta a specifici stimoli – non sovrapponibili tra l'uno e l'altro – e mantengono il loro funzionamento lungo tutto l'arco della vita. Inoltre, i due sistemi sono accomunati da un limitato potere discriminativo (Feigenson et al., 2004). Il primo permette di cogliere, approssimata, la relazione di proporzionalità che intercorre tra due quantità differenti, distinguendole. È efficace, seppur poco preciso, nel processamento di stimoli afferenti a più modalità percettive – ma non miste – come, ad esempio, la modalità visiva e la temporale-uditiva (Lipton & Spelke, 2003). Il secondo permette di tenere traccia di piccole numerosità di elementi, registrando la

continuità – o il mutamento – della loro composizione. Preliminarmente, e poi contestualmente, ad esso opera il *subitizing*, un processo estremamente preciso nel riconoscimento dell'esatta magnitudine di un gruppo, necessario affinché la rilevazione continua possa essere efficace (Gallistel & Gelman, 1992).

I due *core system* corrispondono, a livello cognitivo, a due meccanismi distinti, attivati rispettivamente da piccole o grandi numerosità: sono l'*Approximate Number System* (ANS) e l'*Object Tracking System* (OTS), di natura preverbale e non simbolica, caposaldi delle abilità dominio-specifiche (Siegler, 2016). La precisione dell'ANS varia in relazione al rapporto w tra numerosità minore e numerosità maggiore, coerentemente con la legge di Weber: segue una riduzione logaritmica all'aumentare del valore di w ma, nel corso dello sviluppo, migliora sensibilmente, passando da una buona acuità a 1:3 nel neonato a una buona acuità a 7:8 al termine dell'adolescenza (Halberda et al., 2008; Park & Starns, 2015). La variabile determinante nel funzionamento dell'OTS è la capacità, estremamente limitata: esso dimostra precisione costante nel tracciare gruppi di elementi contigui nello spazio-tempo, a patto che la loro numerosità si attesti entro il tre o il quattro (Piazza, 2010).

1.1.2 Ulteriori abilità dominio-specifiche: la linea numerica mentale

Ad affiancare il modulo numerico di base – *number sense* – nel compito di rappresentazione semantica del numero (ovvero l'attribuzione di significato al numero stesso attraverso la magnitudine) sono le componenti spaziali della cognizione. Esse consentono la sua organizzazione su una linea numerica

mentale, espediente particolarmente adatto alla figurazione, sia assoluta che relativa, della magnitudine (Gunderson et al., 2012). La forma della linea numerica mentale viene desunta dalla robusta rilevazione sperimentale di tre effetti, caratterizzanti i compiti di discriminazione di quantità. L'effetto distanza, per cui il tempo di reazione diminuisce al crescere della differenza tra le due numerosità, indica che i numeri, sulla linea, sono ordinati progressivamente (Moyer & Landauer, 1967). L'effetto *Spatial Numeric Association of Response Codes* (SNARC), per cui la risposta a basse numerosità è più rapida se eseguita con la mano sinistra e, viceversa, la risposta ad alte numerosità è più rapida quando eseguita con la mano destra, indica che l'orientamento crescente della linea procede da sinistra verso destra (Dehaene et al., 1993). L'effetto grandezza, per cui – a parità di intervallo tra numerosità – la prestazione peggiora al crescere delle dimensioni della coppia, fornisce un'indicazione sulla scala della linea, suggerendone una progressiva compressione (Dehaene et al., 1998): la scala è logaritmica, con buona aderenza alla legge di Weber. Dunque, per eguagliare l'affidabilità riservata alle piccole numerosità, è necessario che la distanza tra le grandi numerosità cresca logaritmicamente con esse (Nieder & Miller, 2003). Nel corso dello sviluppo, con l'intervento della scolarizzazione, questa prima, intuitiva, linea logaritmica verrà gradualmente sostituita con una a carattere lineare, formalmente più appropriata (Berteletti et al., 2010). La centralità del ruolo della linea numerica mentale nella comprensione semantica e nella rappresentazione ordinata della magnitudine, inoltre, ne estende l'utilizzo a

sequenze non-numeriche, che mostrano il medesimo pattern di sviluppo – da logaritmiche a lineari – precedentemente esposto (Berteletti et al., 2012).

1.1.3 Abilità dominio-generalì: la memoria di lavoro

Il contributo della memoria di lavoro ai meccanismi di espressione e sviluppo dell'intelligenza numerica è ritenuto di prim'ordine, tanto da inficiarne il buon funzionamento quando deficitaria (Raghubar et al., 2010). Essa, nel modello classico di Baddeley e Hitch, si articola in tre componenti (poi quattro, con l'aggiunta successiva del buffer episodico; A. Baddeley, 2000): l'esecutivo centrale, sovraordinato e flessibile, che manipola le informazioni in elaborazione ed esercita potere di controllo e coordinamento sui due (poi tre, come detto in precedenza) rimanenti sottosistemi passivi specializzati; il loop fonologico, responsabile del mantenimento temporaneo di informazioni verbali; e, infine, il taccuino visuospaziale, responsabile del mantenimento temporaneo di informazioni visuospaziali e della generazione di immagini mentali (A. D. Baddeley & Hitch, 1974).

L'esecutivo centrale, per la sua funzione di controllo superiore, è coinvolto nel processamento di tutti i compiti matematici, dai più semplici ai più complessi. In particolare, permette di acquisire nuove strategie risolutive e di scegliere, tra quelle già apprese, la più adatta alla situazione specifica (Lemaire & Siegler, 1995). Supporta, inoltre, il recupero dei fatti aritmetici dalla memoria a lungo termine, contribuendo al calcolo di operazioni a singola e multipla cifra (Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000). Nel percorso di analisi e ricerca attiva

della risposta nei problemi matematici, l'esecutivo centrale si occupa di coordinare le varie fasi della risoluzione, tenere traccia dei risultati intermedi e integrare il tutto, sinteticamente, al termine del processo (DeStefano & LeFevre, 2004).

Al loop fonologico è affidato il compito di codificare e conservare il codice verbale impiegato nel conteggio e, durante il calcolo delle operazioni, il valore degli operatori aritmetici (Holmes & Adams, 2006). Il suo intervento è particolarmente significativo – in un'ottica di ricerca dei principi cognitivi condivisi tra le diverse funzioni della mente – nell'evidenziare una solida connessione tra linguaggio e matematica: le sottrazioni vengono risolte più rapidamente se, immediatamente prima, viene letta una proposizione negativa, indicando un effetto di priming semantico cross-dominio di cui, con ogni probabilità, il loop fonologico è mediatore (Castro & Macizo, 2021).

L'azione del taccuino visuospatiale è ripartita su due sottosistemi, uno visivo e uno spaziale: il primo codifica l'informazione visiva, la forma dello stimolo; il secondo codifica l'informazione spaziale, la posizione dello stimolo (Darling et al., 2009). Alla memoria di lavoro spaziale, capace di elaborare dati posizionali, sono associate le prestazioni nel conteggio e nella comprensione delle forme. Essendo legata al concetto di magnitudine, che può manipolare, affianca l'attivazione del senso del numero (Silverman & Ashkenazi, 2022).

1.2 I modelli che spiegano la cognizione numerica

La psicologia vanta molteplici tentativi di sintesi dei meccanismi sottesi alla cognizione numerica, da cui sono derivati modelli di tipo cognitivo, neuropsicologico e di sviluppo. Vengono qui riportati i più significativi.

1.2.1 Il modello di comprensione numerica e calcolo aritmetico

Secondo McCloskey (McCloskey et al., 1985), l'architettura della cognizione numerica è suddivisa in due componenti distinte, messe in comunicazione da una terza: sono il sistema di elaborazione del numero, il sistema di calcolo e, a far da ponte, la rappresentazione semantica astratta. Il sistema di elaborazione del numero, costituito a sua volta dal sistema di comprensione (che riceve gli input) e dal sistema di produzione (che genera gli output), si occupa dell'elaborazione lessicale e sintattica dei numeri arabi e dei numeri verbali, presentati in forma orale o scritta. Il sistema di calcolo permette di rispondere alle richieste aritmetiche, riconoscendo gli operatori aritmetici, recuperando i fatti aritmetici già memorizzati ed eseguendo le procedure di calcolo. La rappresentazione semantica astratta, centrale rispetto agli altri sistemi, traduce l'informazione in formato neutro, amodale, riferito alla magnitudine numerica, affinché possa essere elaborata e transitare tra le componenti.

1.2.2 Il modello del triplo codice

Dehaene propone un modello cognitivo e neuropsicologico fondato sulla coesistenza di tre diverse rappresentazioni del numero – corrispondenti ad altrettante aree di elaborazione – chiamate codici (Dehaene, 1992): il codice analogico di quantità, il codice visivo-arabico e il codice verbale. Il codice analogico di quantità è deputato alla comprensione semantica del numero, ovvero la sua magnitudine. Viene attivato durante l'esecuzione di compiti di confronto tra grandezze, giudizio sull'ordine e calcolo approssimato. Il codice visivo-arabico si occupa della rappresentazione e manipolazione dei numeri in formato arabico, sia in lettura che in scrittura, con il coinvolgimento delle funzioni spaziali. Viene attivato nel calcolo scritto e in compiti di giudizio di parità. Il codice verbale, infine, è coinvolto nella rappresentazione lessicale, fonologica e sintattica del numero in parola. Viene attivato durante il recupero di fatti aritmetici e per l'esecuzione del calcolo a mente. Ciascun codice poggia su distinti correlati neurali, indipendenti uno dall'altro ma, organicamente, in reciproca interazione funzionale.

1.2.3 Il modello di apprendimento delle abilità di calcolo

Lucangeli descrive l'evoluzione della cognizione numerica in abilità di calcolo attraverso un percorso di acquisizione, padroneggiamento e integrazione di tre processi di base, nel corso del tempo (Lucangeli et al., 2009): i processi semantici, che regolano la comprensione della magnitudine, slegata da codici specifici; i processi lessicali, che si occupano della denominazione del numero; i processi sintattici, che attribuiscono valore posizionale alle cifre, ovvero il

rispettivo ordine di grandezza. Perfezionati i meccanismi di base, necessari per la corretta comprensione e produzione dei numeri, potranno completarsi gli apprendimenti successivi di conteggio, calcolo a mente e calcolo scritto.

1.2.4 Il modello delle relazioni

LeFevre, con il suo *pathways model*, spiega lo sviluppo delle competenze matematiche in termini di vie di relazioni – non mutualmente interdipendenti – tra precursori cognitivi e abilità di base (LeFevre et al., 2010). I precursori cognitivi individuati sono le abilità linguistiche, le abilità quantitative e l'attenzione spaziale: le prime influenzano lo sviluppo del sistema numerico simbolico; le seconde influenzano lo sviluppo dei processi semantici della magnitudine; la terza sostiene entrambi. Le abilità di base, dunque, sono il sistema numerico simbolico e i processi semantici della magnitudine che, ciascuno in misura diversa, diventano predittori di specifiche competenze matematiche.

1.2.5 Il modello causale

Nel modello causale, Butterworth individua le relazioni che intercorrono tra livello biologico, cognitivo e comportamentale nella definizione delle abilità aritmetiche (Butterworth et al., 2011). Le aree parietali, tra cui il solco intraparietale, sono responsabili della rappresentazione della magnitudine a livello cognitivo che, a sua volta, sostiene altri sistemi cognitivi e si traduce in comportamenti di manipolazione aritmetica. La connessione tra corteccia

occipito-temporale e corteccia parietale si riflette nell'associazione tra simboli numerici e rispettive magnitudini. La corteccia prefrontale è deputata all'apprendimento di nuovi fatti aritmetici e procedure. Il contesto educativo, poiché fattore ambientale, può intervenire sugli *outcome* di queste relazioni, potenziando o recuperando specifiche funzioni.

1.2.6 Il modello transizionale

Secondo Purpura, la conoscenza numerica, definita come la capacità di identificare i numeri arabi e di riferirli alle loro rispettive magnitudini, è il mediatore che permette la transizione, all'inizio della scuola primaria, dalle abilità matematiche informali alle abilità matematiche formali (Purpura & Lonigan, 2013; Purpura et al., 2013). Le prime comprendono tre tipologie di competenze, acquisite precedentemente all'inizio della frequenza scolastica: di numerazione, ovvero regole e processi del conteggio e comprensione della quantità; relazionali, ovvero la capacità di riconoscere connessioni tra elementi di una numerosità e associazioni tra i numeri sulla linea numerica mentale; aritmetiche, ovvero la comprensione di come una numerosità possa comporsi o scomporsi. Le seconde comprendono abilità e concetti imparati a scuola, con l'uso di notazioni e algoritmi convenzionali. Il passaggio dalle prime alle seconde avviene attraverso due mappature – o processi associativi – successive: dalle abilità matematiche informali alla conoscenza numerica; dalla conoscenza numerica alle abilità matematiche formali.

1.2.7 La teoria integrata dello sviluppo numerico

Per Siegler, lo sviluppo della cognizione numerica si realizza attraverso un allargamento progressivo della gamma di numeri di cui si riesce a ben comprendere la magnitudine (Siegler & Lortie-Forgues, 2014). Gli stadi successivi sono quattro e, al termine dello sviluppo, coesistono parallelamente: incremento della precisione con cui vengono rappresentate magnitudini non-simboliche; associazione tra le rappresentazioni non-simboliche e simboliche di piccoli numeri interi; estensione della gamma di numeri interi di cui si ben comprende la magnitudine; rappresentazione accurata di numeri razionali, tra cui frazioni, numeri decimali, percentuali e numeri negativi. Sinteticamente, la linea numerica mentale si espande verso destra per includere numeri interi più grandi, verso sinistra per includere i numeri negativi e al suo interno per includere i numeri decimali. Il denominatore comune, cuore del processo di sviluppo, è la comprensione della magnitudine.

2.

L'apprendimento attraverso il gioco

2.1 I fondamenti del gioco funzionale all'apprendimento

Preliminarmente alla disamina delle caratteristiche più salienti del gioco funzionale all'apprendimento, è necessario tentare una sintesi dei frammentari sforzi volti a definire cosa sia un gioco, in senso generale (Plass et al., 2020).

In quanto attività sostanzialmente universale, trasversale al susseguirsi delle età della vita, viene descritta attraverso l'individuazione degli elementi comuni a tutte le sue manifestazioni: il gioco è un sistema di regole in cui il giocatore si adopera, osservandole scrupolosamente, per il raggiungimento di un obiettivo stabilito in precedenza (Gredler, 1996; Salen & Zimmerman, 2003). Questo sistema, isolato dalla realtà del giocatore, gli risulta estremamente attrattivo (Caillois, 1961; Mayer, 2014).

Le regole costituiscono, allo stesso tempo, l'intelaiatura del sistema e l'apparato normativo che lo governa: sono sistemiche, se *informano* l'universo del gioco; e procedurali, se *informano* l'azione del giocatore all'interno del gioco

(Crookall & Arai, 1995). La loro pervasività, tuttavia, non soffoca l'autonomia di quest'ultimo, permettendogli di pianificare mosse e strategie, esprimere il suo stile d'azione personale e rispondere degli esiti conseguenti. È così che, nel complesso, accresce il suo senso di controllo (Garris et al., 2002).

L'obiettivo del gioco genera un contesto sfidante ottimale, a misura di giocatore: gli ostacoli che gli si frappongono sono, per quest'ultimo, né troppo né poco richiedenti (Malone & Lepper, 1987). Dunque, esso è presentato con grande chiarezza all'attenzione del giocatore, ma l'eventualità del suo raggiungimento rimane incerta. Non è unico, ma composito, e si disvela gradualmente, seguendone la progressione. Esso è – o diviene, proseguendo il corso del gioco – colmo di significato e importanza per il giocatore (Garris et al., 2002).

Ulteriori elementi caratteristici del gioco, corollari ai principali già menzionati, costituiscono il contesto immersivo in cui si cala il giocatore: la fantasia, attraverso la quale esperisce situazioni che non avrebbe modo di incontrare nella realtà (Thomas & Macredie, 1994); una notevole quantità di stimoli sensoriali (visivi e uditivi, soprattutto nel gioco digitale) ad elevata intensità (Malone & Lepper, 1987); un certo grado di mistero, che gli elicità curiosità e iniziativa di scoperta (Garris et al., 2002). Complessivamente, questi elementi individuano, assieme alla struttura delle regole, diverse tipologie di gioco, tra cui: gioco di avventura, con sfide a lungo termine affrontate tramite esplorazione e raccolta di materiali; gioco di azione, che mette alla prova il tempo di risposta; gioco di costruzione, caratterizzato da progettazione, gestione

delle risorse e messa in opera; puzzle, letteralmente *enigmi* dalle dinamiche semplici; gioco di ruolo, in cui dar vita a personaggi; e gioco strategia, con pianificazione ad ampio respiro (Ke, 2016).

2.1.1 Le basi teoriche dell'apprendimento *game-based*

Il gioco per l'apprendimento, o *serious game*, è costruito sulle medesime fondamenta del gioco convenzionale, su cui viene abilmente innestato un obiettivo sovraordinato (che può rimanere celato al giocatore): la trasmissione di un contenuto educativo. La sua variabilità tipologica, unita alla vastità potenziale del bacino contenutistico, coinvolge più d'una teoria dell'apprendimento: il comportamentismo, la teoria dell'elaborazione delle informazioni e il costruttivismo (Homer et al., 2020).

Nel comportamentismo, il condizionamento operante consente di alterare la frequenza del manifestarsi di un comportamento attraverso meccanismi di rinforzo o punizioni (Skinner, 1953). Nel gioco, in particolar modo digitale, le azioni del giocatore sono accompagnate da continui condizionamenti: mosse favorevoli al raggiungimento dell'obiettivo vengono premiate attraverso l'assegnazione di punti o ricompense, il miglioramento del personaggio e la progressione della storia, chiamati rinforzi positivi; mosse non compatibili con il raggiungimento dell'obiettivo vengono scoraggiate attraverso la decurtazione di punti e l'obbligo alla ripetizione di porzioni di storia, chiamati punizioni (Homer et al., 2020).

Per la teoria dell'elaborazione delle informazioni, la pioggia di stimoli a cui viene esposto il giocatore è prerequisito dell'apprendimento: essa viene sottoposta ad una prima selezione dal flusso attentivo, che ne individua i più rilevanti; dai registri sensoriali, gli stimoli vengono inviati alla memoria di lavoro, che li raccoglie e organizza le risposte; la ripetizione dell'intero processo elicitazioni modificazioni cognitive, con la codifica delle nuove associazioni stimolo-risposta in memoria a lungo termine (Schunk, 2012). Similmente, la teoria cognitiva dell'apprendimento multimediale elogia, nel gioco digitale, la suddivisione degli stimoli in visivi e uditivi, permettendo di evitare la saturazione di uno dei due canali e assicurando una buona allocazione delle risorse cognitive del giocatore per l'immagazzinamento in memoria a lungo termine (Mayer, 2005).

Il costruttivismo, infine, evidenzia come l'agente sostanziale del proprio apprendimento sia il giocatore stesso, grazie a un'autonoma e personale modellazione della conoscenza (Duffy & Cunningham, 1996). L'insieme delle caratteristiche del gioco per l'apprendimento potrebbe essere definito, dunque, *politeorico* (Homer et al., 2020). Alcune di esse, di particolare interesse, vengono presentate nel prossimo paragrafo.

2.1.2 Il funzionamento del gioco per l'apprendimento

La notevole valenza cognitiva del gioco, quando impiegato come strumento di trasmissione della conoscenza, ha origine nella sua strutturale capacità di risultare estremamente coinvolgente per il giocatore. Egli è portato

ad investire – ricavandone soddisfazione e benessere – ingenti risorse attentive nella selezione delle informazioni rilevanti presentategli, che riorganizza con coerenza e integra negli schemi di conoscenza pregressa (Mayer, 2014). Lo stato di coinvolgimento provato dal giocatore prende il nome di esperienza di flusso (o esperienza ottimale), ovvero una condizione di prolungato utilizzo di abilità complesse in risposta a un contesto significativamente sfidante, per cui la persona si immerge completamente nella sua attività (Csikszentmihalyi, 1990). L'equilibrio tra i livelli di abilità e sfida – con l'ultima che mette costitutivamente alla prova le prime, senza mai eccederle – è mantenuto grazie ad un graduale e coevo innalzamento di entrambi: il gioco si adatta alla progressione del giocatore, a sua volta motivato a seguirne il flusso (Hamari et al., 2016).

L'adattabilità, dunque, è indispensabile per la registrazione di un buon impatto cognitivo: è la capacità del gioco di proporsi al giocatore in modalità che lo riflettano, tenendo conto delle sue abilità e del grado di conoscenza dimostrato (Plass et al., 2015). Essendo suoi attributi variabili, vanno valutati regolarmente nel corso dell'esperienza e affrontati progettando la messa in opera di specifici strumenti: i sostegni, o *scaffolds*, elementi di aiuto temporaneo che vengono rimossi al raggiungimento dell'obiettivo di competenza, contribuendo all'indipendenza del giocatore (Reiser & Tabak, 2014); gli indizi, o *cues*, che indirizzano la sua attenzione verso elementi, all'interno del gioco, utili al superamento della sfida; i livelli a difficoltà crescente, necessari per evitare frustrazione o noia, proposti a seconda della prestazione del giocatore (Plass & Pawar, 2020).

Un ultimo pilastro dell'apprendimento *game-based*, posto ad affiancare l'opera di coinvolgimento e adattabilità, è il feedback (Wouters et al., 2013), ovvero un'informazione riguardante la prestazione che, comunicata al giocatore, ne vuole modificare la conoscenza o il comportamento al fine di sostenerne un buon apprendimento (Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2008). Il feedback può essere efficace in diversi modi: segnalando il differenziale qualitativo tra le prestazioni, corrente e auspicata; riducendo il carico cognitivo gravante su un giocatore inesperto o in difficoltà, sostenendone l'azione; correggendo un errore dichiarativo, procedurale o strategico; rinforzando i comportamenti responsabili di una prestazione positiva, o scoraggiandoli quando la prestazione è negativa (Narciss & Huth, 2004; Paas et al., 2003; Song & Keller, 2001). I primi tre casi appartengono alla categoria dei feedback *process-oriented*, poiché spiegano e guidano attivamente (Johnson et al., 2017). L'ultimo, al contrario, ricade negli *outcome-oriented*, che si limitano a riportare la correttezza (o non) delle risposte del giocatore (Lester et al., 2020). La tipologia più comune, afferente ai rinforzi positivi, assegna una ricompensa (in punti, o simili) al raggiungimento dell'obiettivo (Howard-Jones & Jay, 2016).

2.1.3 Il contenuto veicolato

Le meccaniche di gioco esposte, di concerto, fungono da facilitatori dell'apprendimento, veicolando conoscenza dichiarativa (fatti), procedurale o semantica (categorie, principi, significati), come avviene nel caso della matematica (Kacmaz & Dubé, 2022; Mayer, 2020). All'interno del gioco, la

presentazione del contenuto può assumere le forme più disparate, variabili per facilità di riconoscimento e controllo – sull’opportunità di usufruirne – esercitato dal giocatore, o per livello di integrazione con le meccaniche del mondo ludico (Ke, 2016; Pan et al., 2022): è obbligata se inserita all’avvio, tramite regole, istruzioni esplicite o esempi; è libera se disseminata nel corso dell’esperienza, tramite indizi o agenti interattivi (Kolovou et al., 2013; Pareto, 2014); è integrata quando la dinamica ludica è plasmata dal contenuto stesso, e richiede l’interazione diretta del giocatore per essere compresa (Habgood & Ainsworth, 2011). Un’ultima forma, indipendente dall’implementazione delle precedenti, può essere inserita al termine dell’esperienza, a seguito di una prestazione non ottimale: è il feedback correttivo post-errore, che contribuisce a ricostruire la conoscenza del giocatore e ad incoraggiare la persistenza nel dedicarsi al gioco (Hoffman & Nadelson, 2010; Kapur, 2008).

2.2 I modelli del gioco per apprendere

Vengono ora descritti alcuni modelli teorici che sintetizzano l’esperienza complessiva del gioco per l’apprendimento.

2.2.1 Il modello Input-Process-Outcome

Garris individua tre fasi comuni a tutti i giochi per l’apprendimento, che danno il nome al suo modello: input, process e outcome (Garris et al., 2002).

Nella prima, il contenuto educativo viene integrato nelle caratteristiche ludiche volute, e presentato al giocatore. Nella seconda, l'integrazione innesca un ciclo di gioco che si autosostiene, in cui si alternano manifestazioni di interesse e curiosità, comportamenti di persistenza e feedback del sistema. Nella terza, sedimentato l'esperienza, si raccolgono gli esiti di apprendimento.

2.2.2 Il modello esperienziale

Per Kiili, l'apprendimento *game-based* consiste nella modellazione delle strutture cognitive del giocatore attraverso l'azione e la pratica nel mondo ludico (Kiili, 2005). Il suo modello si compone di tre aree, con riferimento metaforico all'apparato cardiocircolatorio umano: loop ideativo, loop esperienziale e banca delle sfide. Quest'ultima è il cuore del sistema poiché, ponendo gli obiettivi di apprendimento adatti al livello del giocatore, genera l'esperienza di flusso e mantiene alta motivazione e coinvolgimento. Nel loop ideativo, la creatività ha modo di codificare ipotesi risolutive che siano compatibili con le regole del gioco. Nel loop esperienziale, le idee concepite vengono messe in atto, testate, e valutate, con notevoli conseguenze: l'osservazione attenta e le riflessioni consentono la formulazione di schemi mentali sulle nuove informazioni, a cui può seguire la progettazione di soluzioni migliori; le abilità si affinano, consentendo di esercitare un buon controllo sul gioco e raggiungendo, quindi, l'obiettivo di apprendimento.

2.2.3 Il modello delle sei I

Annetta teorizza un modello gerarchico a sei componenti che regola la progettazione del gioco per l'apprendimento (Annetta, 2010). Ciascuna di esse poggia sulla precedente, apparendo figurativamente nidificate in quest'ordine: identità (*Identity*), intrinseca alla natura umana e proiettata nel mondo ludico; immersività (*Immersion*), poiché elicitando l'esperienza di flusso; interattività (*Interactivity*), permettendo la comunicazione con agenti virtuali; difficoltà incrementale (*Increased complexity*), per mantenere un buon coinvolgimento al progredire delle abilità; insegnamento reattivo (*Informed teaching*), ovvero i feedback basati sulla performance; ed educazione (*Instructional*), essendo l'apprendimento obiettivo ultimo del gioco.

2.2.4 Il modello del cerchio magico

Secondo Plass, la struttura di base che caratterizza tutti i giochi – non fanno eccezione quelli per l'apprendimento – è composta di tre elementi: una sfida, proposta dal gioco; una risposta, fornita dal giocatore; un feedback, restituito dal gioco (Plass et al., 2015). Se quest'ultimo si rivela efficace, il circuito può chiudersi e l'esperienza ludica prosegue, dando vita ad un cerchio magico di apprendimento coinvolgente. Al centro dell'esperienza stanno le meccaniche di gioco e le caratteristiche del mondo ludico, informate dalla tipologia di teoria dell'apprendimento posta a riferimento.

3.

La revisione sistematica della letteratura

3.1 Introduzione alla revisione

Realizzato sui fondamenti teorici precedentemente esposti, il gioco è uno strumento educativo ad alto potenziale per lo sviluppo della competenza numerica e l'apprendimento della matematica (Smith et al., 2020). I risultati di numerosi studi indicano come gli approcci educativi basati sul gioco possano registrare maggiore efficacia rispetto ai tradizionali metodi d'insegnamento (Connolly et al., 2012), ipotizzando un loro inserimento nei curricula scolastici in affiancamento o in sostituzione di questi (Fritz et al., 2019): ne viene apprezzata, in particolar modo, la capacità di promuovere – insieme – motivazione, controllo e uso di abilità cognitive complesse nello studente (Clark et al., 2016).

In recenti revisioni della letteratura occupatesi di indagare l'impatto dei *serious games* sulla preparazione in matematica degli studenti, sono stati analizzati: l'impostazione pedagogica in uso nella progettazione dei giochi,

rilevando una prevalenza di elementi ispirati al comportamentismo; le meccaniche di gioco di innesto dei contenuti educativi, dimostrando una generale propensione all'adozione dei puzzle; la loro valenza supportiva per studenti che manifestano difficoltà nell'operare con la matematica, anche quando dovute a discalculia evolutiva, registrando un generale miglioramento nelle prestazioni; la loro influenza sul dominio affettivo degli studenti, segnalando incrementi decisi dei livelli di motivazione (Benavides-Varela et al., 2020; Kacmaz & Dubé, 2022; Pan et al., 2022; Vankúš, 2021). Tuttavia, queste revisioni includono studi riguardanti giochi non digitali, interventi digitali ma non ludici, popolazioni con specificità o di età non circoscritte, lasciando spazio a nuove, possibili analisi. La presente revisione si propone di approfondire la tematica del gioco per l'apprendimento, con un taglio che contribuisca a colmare questo spazio.

3.1.1 I quesiti di ricerca

Evidenze empiriche sempre più significative individuano l'intervento precoce come risorsa d'elezione in ottica di prevenzione o mitigazione delle possibili difficoltà di apprendimento della matematica, già in età prescolare e in riferimento alle competenze informali (Benavides-Varela et al., 2016; Outhwaite et al., 2019). Inoltre, programmi di potenziamento non convenzionali per gli alunni della scuola primaria dimostrano quanto siano auspicabili lo sviluppo e l'implementazione massiva di simili interventi, puntando a renderli curricolari e

facilitandone l'adozione, cosicché raggiungano il maggior numero possibile di studenti. (Lucangeli et al., 2003).

Questa revisione sistematica, dunque, si propone di verificare l'efficacia di interventi basati sul gioco nel potenziamento delle abilità numeriche, indagando studi sulla popolazione generale nella fascia di scuola dell'infanzia e scuola primaria. Nello specifico, sono formulati tre quesiti di ricerca:

1. Quali componenti della cognizione numerica sono coinvolte negli interventi *game-based* digitali rivolti a studenti di scuola dell'infanzia e scuola primaria, e a quali modelli teorici fanno riferimento?
2. Quali sono le caratteristiche dell'interazione tra gioco e giocatore nella presentazione del contenuto educativo, e quali tipologie di feedback vengono utilizzate nella restituzione della prestazione?
3. Quali gradi di efficacia dimostrano gli interventi, tenendo in considerazione le componenti target della cognizione numerica, le meccaniche di gioco scelte e l'età degli studenti a cui si rivolgono?

3.2 I metodi adottati

Il processo di identificazione, selezione, valutazione e sintesi degli studi per la revisione sistematica aderisce al protocollo *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), le cui linee guida, pubblicate in prima versione nel 2009, sono state recentemente aggiornate (Page, McKenzie,

et al., 2021). PRISMA 2020 – il cui obiettivo è assicurare una ricerca oggettiva, completa e accurata – si compone di una checklist di 27 item, raccomandazioni estese per il *reporting* e modelli riassuntivi nella forma di diagrammi di flusso (Page, Moher, et al., 2021).

3.2.1 I criteri di eligibilità

Nella seguente revisione sono stati inclusi studi controllati randomizzati o quasi-sperimentali con gruppo di controllo, pubblicati in versione definitiva come articoli *peer-reviewed* su riviste scientifiche, tra il 2012 e il 2022, in lingua inglese, italiana o francese. Tra questi, inoltre, sono stati inclusi solo studi che trattano di interventi basati sul gioco digitale, con verifica pre-post della prestazione in almeno un dominio della cognizione numerica (variabile dipendente), su popolazione con sviluppo tipico tra scuola dell'infanzia e scuola primaria (età 3-5 e 6-11).

Sono esclusi gli studi su interventi di *gamification*, poiché formalmente diversi dal gioco: con *gamification* si intende l'uso di elementi e meccaniche tipici del gioco in contesti diversi dal gioco (Domínguez et al., 2013).

3.2.2 La ricerca in letteratura

Per la ricerca di pubblicazioni da valutare sono stati utilizzati quattro database, di riferimento per la comunità scientifica: SCOPUS, Web of Science, PsycInfo e la Psychology & Behavioral Sciences Collection (PBSC). I primi due

sono stati sondati, in ultima consultazione, il 23 luglio 2022; i secondi due – tramite piattaforma EBSCO – il 25 luglio 2022.

Le parole chiave e le limitazioni utilizzate per la ricerca delle pubblicazioni sono comuni ai quattro database. In Tabella 3.1 si riportano due esempi delle stringhe di ricerca inserite.

Database	Stringa di ricerca
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("game" OR "games" OR "game-based" OR "videogame" OR "videogames" OR "gaming") AND ("math" OR "mathematics" OR {number knowledge} OR {numerical thinking} OR {numerical cognition} OR "numeracy" OR {number sense} OR {number line} OR {number naming} OR {numerical magnitude} OR {numerical skills} OR "subitizing" OR {approximate number system} OR "arithmetic" OR "arithmetics") AND ("kindergarten" OR {primary school} OR {elementary school} OR "child" OR "children" OR "preschool" OR "preschooler" OR "preschoolers")) AND PUBYEAR > 2012 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE,"j")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE,"final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE,"French") OR LIMIT-TO (LANGUAGE,"Italian"))
Web of Science	((TS = (("game" OR "games" OR "game-based" OR "videogame" OR "videogames" OR "gaming") AND ("math" OR "mathematics" OR "number knowledge" OR "numerical thinking" OR "numerical cognition" OR "numeracy" OR "number sense" OR "number line" OR "number naming" OR "numerical magnitude" OR "numerical skills" OR "subitizing" OR "approximate number system" OR "arithmetic" OR "arithmetics") AND ("kindergarten" OR "primary school" OR "elementary school" OR "child" OR "children" OR "preschool" OR "preschooler" OR "preschoolers")))) AND FPY = (2012-2022)) AND DT = (Article)) AND LA = (English OR Italian OR French)

Tabella 3.1 Esempi di stringhe di ricerca utilizzate.

3.2.3 L'estrazione dei dati

Sono stati raccolti, durante l'analisi delle pubblicazioni eligibili, dati riguardanti: identificativi e risultati degli studi, tipologie dei contenuti

matematici presentati, caratteristiche degli interventi proposti e componenti delle meccaniche di gioco, in linea con i fondamenti teorici esposti nei capitoli 1 e 2.

3.3 I risultati ottenuti

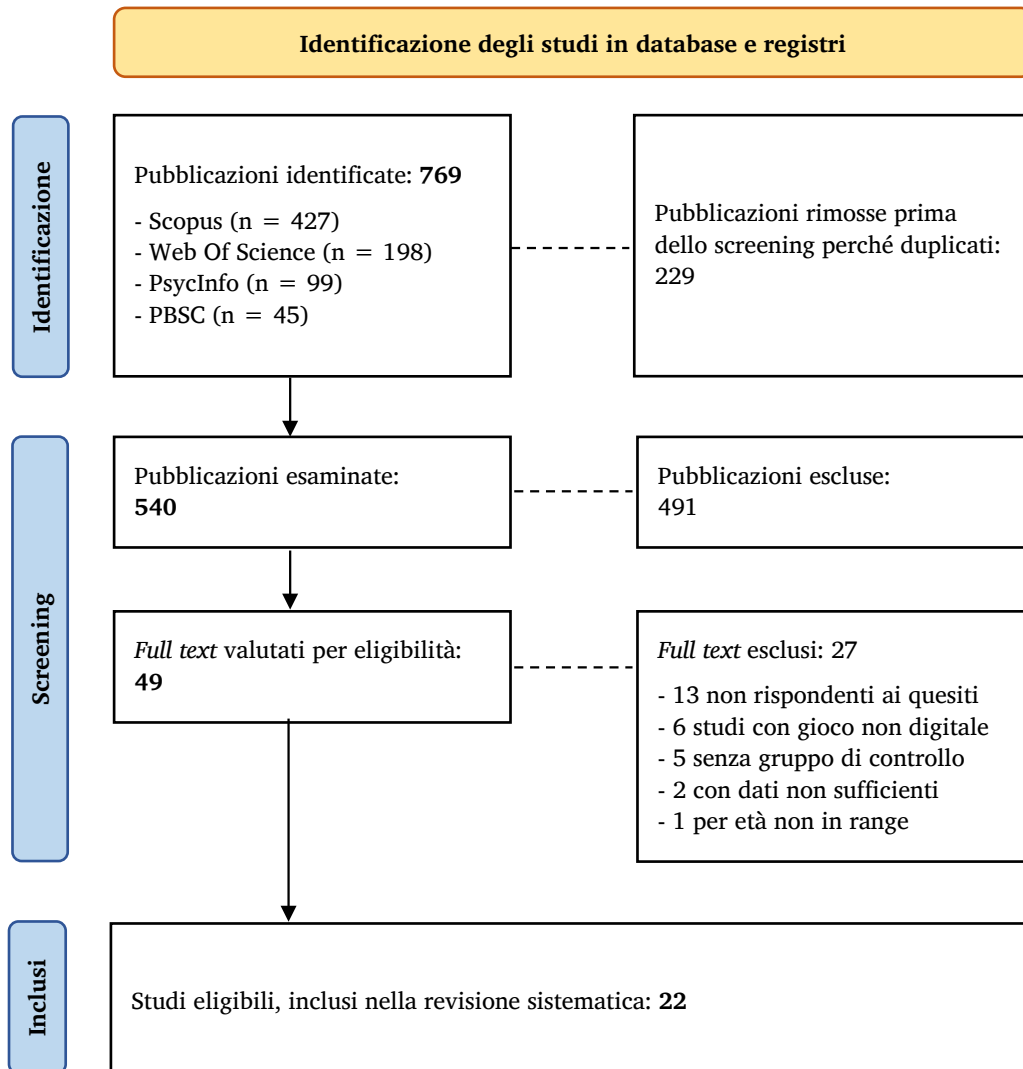


Figura 3.1 Diagramma di flusso PRISMA 2020.

Studio			Partecipanti			Risultati	
Autori	Anno	Paese	N	Scuola	Età	Effetto	Giudizio
Alzubi et al.	2018	Spagna	60	dell'infanzia	5-6	$X^2 = 41.65, p = 0.001$	+ positivo
Aragon-Mendizabal et al.	2017	Spagna	156	dell'infanzia	5-6	$d = 1.35$	+ positivo
Bakker et al.	2015	Paesi Bassi	719	Primaria	7-9	$d = 0.22, p < .01$	+ positivo
Brezovszky et al.	2019	Finlandia	1168	Primaria	9-11	da modesto ad ampio	+ positivo
Es-Sajjade & Paas	2020	UK	225	Primaria	10-11	da modesto ad ampio	+ positivo
Fazio et al.	2016	USA	51	Primaria	9-11	da modesto ad ampio	+ positivo
Fokides	2018	Grecia	201	Primaria	6-11	modesto	+ positivo
Freina et al.	2018	Italia	79	Primaria	9-11	$F(1) = 6.99, p = 0.010$	+ positivo
Hawes et al.	2015	Canada	61	Primaria	6-8	nullo	- negativo
Jay et al.	2019	UK	97	Primaria	7-8	$d = 0.6$	+ positivo
Kärki et al.	2022	Finlandia	195	Primaria	10-11	ridotto	+ positivo
Lee & Choi	2020	Repubblica di Corea	122	Primaria	6-10	ampio	+ positivo
Lin	2022	Taiwan	140	dell'infanzia	5-6	$\eta^2 = 0.44$	+ positivo
Moyer-Packenham et al.	2019	USA	193	Primaria	8-11	ampio, $p < 0.01$	+ positivo
Núñez Castellar et al.	2014	Belgio	74	Primaria	7-8	ampio, $p < 0.05$	+ positivo
Park et al.	2016	USA	103	dell'infanzia	4-5	ampio	+ positivo
Praet & Desoete	2014	Belgio	132	dell'infanzia	5	da ridotto a modesto	+ positivo
Ramani et al.	2020	USA	148	dell'infanzia	5	da ridotto a modesto	+ positivo
Riconscente	2013	USA	122	Primaria	10-11	ampio	+ positivo
Sella et al.	2016	Italia	45	dell'infanzia	4-5	ampio	+ positivo
Thai et al.	2022	USA	453	dell'infanzia	4-6	effect size = 0.23	+ positivo
van der Ven et al.	2017	Paesi Bassi	103	Primaria	6-7	da ridotto a modesto	+ positivo

Tabella 3.2 Le caratteristiche degli studi inclusi nella revisione sistematica.

Studio	Contenuto matematico		Caratteristiche dell'intervento				
	Autori	Modello teorico	Aspetto target della cognizione numerica	Sessioni	Tempo	Durata	Strumento valutativo
Alzubi et al.	-	-	Conteggio, ordinamento, memoria di lavoro	3/sett	30 min	4 mesi	TEDI-MATH
Aragon-Mendizabal et al.	Dehaene (2001)	-	Discriminazione, conteggio, calcolo	3/sett	30 min	35 sess	Early Numeracy Test
Bakker et al.	Miller et al. (2007)	-	Moltiplicazione (conoscenza dichiarativa, procedurale, semantica)	4	10 sett	2 anni	TempoTest Automatiseren, test non standard
Brezovszky et al.	McMullen et al. (2016, 2017)	-	Adaptive number knowledge	3/sett	30 min	10 sett	Arithmetic Production Task
Es-Sajjade & Paas	Sweller et al. (2011)	-	Equazioni	4/sett	30 min	4 sett	Test non standard
Fazio et al.	Hecht et al. (2003)	-	Frazioni, magnitudine	1	10 min	-	Test non standard
Fokides	-	-	Conteggio, calcolo, magnitudine	-	-	-	Test non standard
Freina et al.	Meyer et al. (2010)	-	Abilità visuospaziali	20	1 ora	7 mesi	AC-MT 6-11
Hawes et al.	Meyer et al. (2010)	-	Abilità visuospaziali	3/sett	20 min	6 sett	Nonverbal Exact Arithmetic, Children's Mental Transformation Task, Visual-Spatial Puzzle Task, Missing Term Problems
Jay et al.	Verguts and Fias (2005)	-	Fatti aritmetici (conoscenza dichiarativa)	10, 1/gior	20 min	2 sett	Westwood 1-min basic facts tests
Kärki et al.	McMullen et al. (2020)	-	Numeri razionali	3	30 min	2 sett	ASPT, Number Sets Test
Lee & Choi	-	-	Conteggio, calcolo, magnitudine	46, 1/gior	-	-	EGMA
Lin	Siegler et al. (2009)	-	Conteggio, calcolo, linea numerica	6	30 min	3 sett	Test non standard
Moyer-Packenham et al.	-	-	Calcolo, numeri razionali, abilità visuospaziali, conoscenza geometrica	1	-	-	Test non standard
Núñez Castellar et al.	-	-	Calcolo, fatti aritmetici	-	-	3 sett	Test non standard
Park et al.	Gallistel and Gelman (1992)	-	Calcolo non simbolico	10	12 min	3 sett	TEMA-3
Praet & Desoete	-	-	Conteggio, conoscenza semantica	9	25 min	5 sett	TEDI-MATH
Ramani et al.	Siegler et al. (2011)	-	Memoria di lavoro, magnitudine	10	15 min	-	Test non standard
Riconscente	Hecht et al. (2003)	-	Frazioni, magnitudine, linea numerica	1/gior	20 min	5 gior	Test non standard
Sella et al.	Dehaene (2011)	-	Conoscenza dichiarativa, semantica	2/sett	20 min	10 sett	BIN, AC-MT, number line task
Thai et al.	-	-	Conteggio, calcolo, conoscenza semantica	3/sett	15 min	14 sett	TEMA-3
van der Ven et al.	Ashcraft (1982)	-	Conteggio, fatti aritmetici	14	-	5 sett	Test non standard

Tabella 3.3 Le caratteristiche degli interventi.

Studio	Genere	Adattabilità	Presentazione del contenuto numerico				Tipologia di feedback		
			Obbligata (pre-game, regole, istruzioni esplicite)	Libera (indizi, agenti interattivi)	Legato a interazione soggetto-mondo	Feedback correttivi post-error	Rinforzo positivo	Penalità	Neutro
Alzubi et al.	Puzzle	No	Istruzioni						x
Aragon-Mendizabal et al.	Puzzle	Sì, livelli	Istruzioni			x	x	x	
Bakker et al.	Puzzle	Sì	Istruzioni, regole			x	x		
Brezovszky et al.	Avventura	Sì, livelli	Regole		x		x		x
Es-Sajjade & Paas	Puzzle	Sì	Regole, esempi				x		x
Fazio et al.	Puzzle	Sì	Regole			x	x	x	
Fokides	Avventura, puzzle	Sì, livelli		x					
Freina et al.	Puzzle	No	Istruzioni		x		x		
Hawes et al.	Puzzle	Sì	Istruzioni	x			x	x	
Jay et al.	Avventura, costruzione	Sì, livelli	Istruzioni		x		x		
Kärki et al.	Puzzle	Sì, livelli	Istruzioni				x		
Lee & Choi	Puzzle	Sì, livelli	Istruzioni	x			x		
Lin	Puzzle	Sì, livelli	Istruzioni						x
Moyer-Packenham et al.	Puzzle	Sì, livelli	Istruzioni	x		x	x		
Núñez Castellar et al.	Avventura, puzzle	Sì	Istruzioni				x		x
Park et al.	Puzzle	No			x				x
Praet & Desoete	Puzzle	Sì, livelli			x				x
Ramani et al.	Puzzle	No			x		x		x
Riconscente	Puzzle	Sì				x	x		
Sella et al.	Puzzle	Sì			x		x	x	
Thai et al.	Puzzle	Sì	Istruzioni	x	x	x	x		
van der Ven et al.	Azione	Sì				x	x	x	

Tabella 3.4 Le caratteristiche dei giochi digitali per l'apprendimento implementati.

3.3.1 Gli esiti della ricerca

L'interrogazione dei database ha restituito 769 risultati, di cui: 427 da Scopus, 198 da Web of Science, 99 da PsycInfo e 45 dalla PBSC. L'identificazione di 229 duplicati ha ridotto il bacino a 540 pubblicazioni. Di tutte, sono stati esaminati titolo e abstract, con la conseguente esclusione di 491 pubblicazioni. I *full text* dei 49 studi rimanenti sono stati valutati secondo i criteri di elegibilità, con la relativa esclusione di 27 tra essi: 13 perché non rispondenti ai quesiti di ricerca, 6 perché riguardanti interventi con giochi non digitali, 5 perché ideati senza gruppo di controllo, 2 perché riportanti dati non sufficienti, 1 perché rivolto a popolazione non in range di età. Dunque, 22 studi sono stati inclusi nella revisione sistematica. Il processo è riassunto dal diagramma di flusso in Figura 3.1.

3.3.2 Le caratteristiche degli studi inclusi

La pubblicazione degli studi inclusi è avvenuta tra il 2013 e il 2022 in Stati Uniti d'America (n = 6), Belgio (n = 2), Finlandia (n = 2), Italia (n = 2), Paesi Bassi (n = 2), Regno Unito (n = 2), Spagna (n = 2), Canada (n = 1), Grecia (n = 1), Repubblica di Corea (n = 1) e Taiwan (n = 1). Complessivamente sono stati raccolti dati da 4647 partecipanti, sommando numerosità variabili tra i 45 e i 1168. Quattordici studi hanno riguardato alunni di scuola primaria; i rimanenti otto, invece, bambini di scuola dell'infanzia. La sintesi dei dati sugli studi è consultabile in Tabella 3.2.

La durata degli interventi è stata, in media, di 9,6 settimane (intervallo 1-40 settimane), per 3,1 sessioni a settimana, tra i 10 e i 60 minuti ciascuna. La maggior parte degli studi ha utilizzato test non standardizzati per la valutazione di efficacia degli interventi; tra i test standardizzati, figurano in più di uno studio l'AC-MT, il TEDI-MATH e il TEMA-3. La categorizzazione del contenuto matematico è molteplice: in 14 interventi è simbolico, in 3 è non-simbolico e in 5 è misto; in 13 interventi è di carattere semantico (significato del numero), in 5 è procedurale, e in 10 è dichiarativo (fatti aritmetici); in 9 interventi riguarda le abilità spaziali e la linea numerica mentale; in 3 interventi le abilità dominio-generalì (memoria di lavoro). In particolare, negli studi che hanno riguardato bambini di scuola dell'infanzia, l'intervento ha sempre riguardato la conoscenza semantica (n=8), congiuntamente, in tre casi, alla dichiarativa, ed escludendo in tutti i casi la procedurale. La sintesi dei dati sugli interventi è consultabile in Tabella 3.3.

La tipologia di gioco digitale più impiegata negli interventi è stato il genere *puzzle* (n=20). I giochi di *avventura* sono stati scelti in 4 casi (di cui, 2 volte in unione al genere *puzzle* e 1 volta al genere *costruzione*); i giochi di *costruzione* in 1 caso (in unione al genere *avventura*); e i giochi d'*azione* in 1 caso. Caratteristiche di adattabilità sono state inserite in 18 giochi: la proposizione dinamica del contenuto sulla base delle prestazioni precedenti in 9 di essi; l'uso di livelli successivi statici in 9 di essi. Al contrario, 4 giochi non sono stati resi adattabili. Modalità multiple di presentazione del contenuto matematico sono state utilizzate in 10 giochi; una singola modalità in 12 giochi: 15 hanno optato

per una presentazione obbligata; 5 per una libera; 8 per una intrinseca alle meccaniche di gioco; 7 hanno inserito istruzioni correttive successivamente agli errori. Il feedback restituito ai giocatori è stato vario: in 17 giochi si è fatto uso di rinforzi positivi (incentivi); in 5 di punizioni; in 8 di pannelli informativi neutri. La sintesi dei dati sui giochi digitali per l'apprendimento è consultabile in Tabella 3.4.

3.4 Discussione

3.4.1 La risposta al primo quesito

Quali componenti della cognizione numerica sono coinvolte negli interventi *game-based* digitali rivolti a studenti di scuola dell'infanzia e scuola primaria, e a quali modelli teorici fanno riferimento?

In primo luogo, gli interventi hanno previsto l'esercizio, in misura non troppo diversa, di entrambi i domini di competenza, non-simbolico e simbolico: la piena comprensione delle quantità analogiche, infatti, è propedeutica alla manipolazione del numero astratto, come sostenuto dalla teoria integrata dello sviluppo numerico (Siegler, 2016). Il trasferimento della competenza, da non-simbolica a simbolica, avviene tramite un processo di mappatura che associa le magnitudini al relativo codice arabo (o verbale) (LeFevre et al., 2022). Il potenziamento dell'una contribuisce al potenziamento dell'altra, con una conseguente buona predizione delle future – o correnti, a seconda dell'età e del

grado d'istruzione frequentato dall'alunno – abilità aritmetiche (Ferres-Forga et al., 2022).

In secondo luogo, una differenza sostanziale tra gli interventi rivolti a bambini di scuola dell'infanzia e studenti di scuola primaria riguarda il carattere della conoscenza target: la totalità dei primi opera sulla conoscenza semantica del numero, con qualche accenno ai fatti aritmetici e non affrontando mai elementi procedurali; i secondi, invece, operano in egual misura sui tre tipi di conoscenza, semantica, procedurale e dichiarativa ($n=5$; $n=6$; $n=6$). Questa scelta degli sperimentatori è in linea con il modello di apprendimento delle abilità di calcolo, per cui il *core* numerico precede lo sviluppo di abilità più articolate (Lucangeli et al., 2009).

Alcuni studi, infine, hanno indagato gli effetti di interventi di tipo numerico-spaziale, basati sull'uso della linea numerica mentale, o dominio generali, con coinvolgimento della memoria di lavoro. Essi si rifanno alle teorie che affiancano il senso del numero, considerando la componente spaziale e quella dominio-generale come legate al suo sviluppo (Bull & Lee, 2014; Raghubar et al., 2010; Schneider et al., 2009).

3.4.2 La risposta al secondo quesito

Quali sono le caratteristiche dell'interazione tra gioco e giocatore nella presentazione del contenuto educativo, e quali tipologie di feedback vengono utilizzate nella restituzione della prestazione?

Vi sono differenze notevoli nella presentazione del contenuto numerico tra giochi per la scuola dell'infanzia e giochi per la scuola primaria. I primi utilizzano una sola modalità: o obbligata, tramite istruzioni dirette iniziali; o mediata dall'interazione tra il giocatore e il mondo ludico, essendo iscritto in esso. La modalità esplicita, vicina ai metodi tradizionali d'insegnamento, ha il vantaggio di lavorare per ripetizione routinaria (Deen et al., 2015); la modalità implicita si appoggia ai modelli costruttivisti esposti nel capitolo 2 (Duffy & Cunningham, 1996). I giochi per la scuola primaria, invece, fanno uso di più modalità simultanee, generando ridondanza. Ciò permette di: raggiungere la saturazione ricettiva postulata dalla teoria dell'elaborazione delle informazioni (Schunk, 2012); lasciare maggior controllo ai giocatori sul loro apprendimento, elicitando un aumento della motivazione intrinseca (Abdul Jabbar & Felicia, 2015).

Il feedback è un elemento centrale dell'esperienza ludica, soprattutto quando votata all'apprendimento. La maggioranza dei giochi esaminati prevede sistemi di feedback positivo, con il rinforzo delle prestazioni corrette attraverso la concessione di punti, premi o riconoscimenti, fondata sui principi del comportamentismo (Skinner, 1953). Solo in quattro casi, tutti afferenti al gruppo della scuola dell'infanzia, si è fatto ricorso unicamente al feedback neutro, di carattere prettamente informativo. La scelta è coerente con le modalità di presentazione del contenuto esposte in precedenza.

3.4.3 La risposta al terzo quesito

Quali gradi di efficacia dimostrano gli interventi, tenendo in considerazione le componenti target della cognizione numerica, le meccaniche di gioco scelte e l'età degli studenti a cui si rivolgono?

La quasi totalità degli interventi esaminati (eccetto uno) ha riportato effetti significativamente positivi sulla cognizione numerica dei partecipanti, dimostrando maggior efficacia rispetto alla varietà dei gruppi di controllo con cui sono stati confrontati. Questo esito è in linea con quelli di precedenti revisioni sistematiche, confermando quanto approcci educativi basati sul gioco (digitale, in questo caso) possano essere incisivi sull'apprendimento della matematica (Kacmaz & Dubé, 2022; Pan et al., 2022). Inoltre, non sono state rilevate differenze significative di efficacia tra interventi per bambini di scuola dell'infanzia e studenti di scuola primaria che, mediamente, si equivalgono. Se, dunque, il potenziale di tali programmi può esprimersi pienamente già in età prescolare, è necessario che la comunità educante si faccia carico della loro implementazione, contribuendo alla prevenzione o mitigazione del frequente emergere di successive difficoltà in matematica (Benavides-Varela et al., 2016; Outhwaite et al., 2019).

Tutte le tipologie di contenuto matematico implementate negli interventi hanno rafforzato, con effetto significativo, la cognizione numerica dei giocatori, avvalorando l'ipotesi che sia una commistione di conoscenza semantica, procedurale e dichiarativa a costruire le abilità matematiche (Butterworth et al., 2011; Crooks & Alibali, 2014). Analizzando gli interventi progettati per la scuola dell'infanzia, hanno dimostrato particolare efficacia quelli basati su componenti

non-simboliche, il cui contenuto approfondiva le relazioni tra quantità – in ottica di pre-calcolo. Ciò conferma quanto già evidenziato in precedenti ricerche: la consapevolezza analogica di quantità è predittiva rispetto al successivo sviluppo della competenza simbolica e delle abilità aritmetiche, rappresentando una via privilegiata per il loro potenziamento (Gilmore et al., 2010; Hutchison et al., 2020). Analizzando gli interventi progettati per la scuola primaria, sono prevedibilmente superiori in efficacia gli interventi basati su componenti simboliche. Gli effetti più ampi sono stati registrati dai giochi volti a potenziare la conoscenza semantica dei numeri razionali, ovvero la comprensione del significato dimensionale di decimali, frazioni e percentuali. Riscontri teorici, in linea con questo risultato, indicano come la manipolazione della magnitudine dei numeri razionali sia un'acquisizione portante per affinare le abilità matematiche nella scuola primaria (McMullen et al., 2020; Siegler, 2016). Il gruppo di studi che ha indagato l'impatto di giochi digitali aventi come target le componenti spaziali (come la linea numerica mentale) ha ottenuto, in generale, buoni risultati, confermando il loro legame con lo sviluppo delle abilità aritmetiche (Georges & Schiltz, 2021). Un solo studio si è rivelato inefficace, poiché progettato esclusivamente su compiti di rotazione mentale (Hawes et al., 2015).

Non sono rilevabili pattern di maggiore efficacia legati agli elementi dei giochi digitali analizzati. Tuttavia, per quanto riguarda il feedback, la quasi totalità degli interventi ad ampio effetto fa uso di meccanismi di rinforzo positivo, con l'assegnazione di ricompense. Come qui riscontrato, il rinforzo, a

ispirazione comportamentista, è largamente impiegato nei giochi per l'apprendimento, poiché fortemente correlato con la fissazione in memoria della conoscenza dichiarativa (Howard-Jones & Jay, 2016).

Conclusioni

4.1 Una sintesi

La revisione sistematica della letteratura, in linea con i risultati di revisioni precedenti, ha confermato l'efficacia di interventi basati sul gioco digitale per l'apprendimento numerico tra scuola dell'infanzia e scuola primaria. In particolare, ha evidenziato come sia possibile – e auspicabile – implementare tali tipologie di intervento già in età prescolare, facendo tesoro del potenziale preventivo e mitigativo da essi offerto.

Pur riscontrando effetti significativi per tutte le componenti numeriche implementate, vi è peculiarità tra scuola dell'infanzia e scuola primaria: nella prima, l'efficacia più ampia si deve all'uso di componenti non-simboliche e all'approfondimento delle relazioni di quantità; nella seconda, si indica una predilezione per le componenti simboliche, con particolare efficacia nel potenziare la comprensione semantica dei numeri razionali. Un'attenzione rilevante è stata rivolta alle componenti spaziali – la linea numerica mentale –

analizzandone il contributo all'apprendimento della matematica: i risultati raccolti, ancora una volta, confermano le teorizzazioni riportate nei capitoli precedenti.

Non è stato possibile, poiché i dati non ne suggeriscono, giungere a conclusioni dirimenti rispetto all'apporto delle diverse meccaniche di gioco implementate: nessuna delle tipologie sembra prevalere sulle altre, lasciando spazio ad ulteriori approfondimenti sul tema.

4.2 Le direzioni future

Saranno di sicuro interesse future analisi sperimentali sulla variabilità degli effetti delle diverse meccaniche di gioco: è necessario comprendere la dimensione dell'influenza che la presentazione del contenuto numerico ha sul potenziamento delle abilità matematiche; pur conoscendo i principi teorici che regolano il feedback e la sua efficacia sulla conoscenza dichiarativa (fatti aritmetici), è necessario approfondire come esso interagisca con l'acquisizione della conoscenza semantica e procedurale.

Infine, di importanza significativa saranno i futuri studi sugli effetti che un'implementazione curricolare – universale e prolungata nel tempo – di giochi digitali per l'apprendimento numerico avrà sul rapporto della popolazione generale con la matematica. E, contemporaneamente, sarà utile comprendere come questi interventi possano svolgere una funzione riabilitativa per alunni in difficoltà con la matematica, anche dovuta a discalculia evolutiva.

Bibliografia

- Abdul Jabbar, A. I., & Felicia, P. (2015). Gameplay Engagement and Learning in Game-Based Learning: A Systematic Review. *Review of Educational Research, 85*(4), 740–779. <https://doi.org/10.3102/0034654315577210>
- Alzubi, T., Fernandez, R., Flores, J., Duran, M., & Cotos, J. M. (2018). Improving the Working Memory during Early Childhood Education Through the Use of an Interactive Gesture Game-Based Learning Approach. *IEEE Access, 6*, 53998–54009. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870575>
- Annetta, L. A. (2010). The “I’s” Have It: A Framework for Serious Educational Game Design. *Review of General Psychology, 14*(2), 105–113. <https://doi.org/10.1037/a0018985>
- Antell, S. E., & Keating, D. P. (1983). Perception of Numerical Invariance in Neonates. *Child Development, 54*(3), 695. <https://doi.org/10.2307/1130057>
- Aragon-Mendizabal, E., Aguilar-Villagran, M., Navarro-Guzman, J., & Howell, R. (2017). Improving number sense in kindergarten children with low achievement in mathematics. *ANALES DE PSICOLOGIA, 33*(2), 311–318. <https://doi.org/10.6018/analesps.33.2.239391>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 4*(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pagg. 47–89). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bakker, M., van den Heuvel-Panhuizen, M., & Robitzsch, A. (2015). Effects of playing mathematics computer games on primary school students’ multiplicative reasoning ability. *Contemporary Educational Psychology, 40*, 55–71. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.09.001>

- Benavides-Varela, S., Butterworth, B., Burgio, F., Arcara, G., Lucangeli, D., & Semenza, C. (2016). Numerical Activities and Information Learned at Home Link to the Exact Numeracy Skills in 5–6 Years-Old Children. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00094>
- Benavides-Varela, S., Zandonella Callegher, C., Fagiolini, B., Leo, I., Altoè, G., & Lucangeli, D. (2020). Effectiveness of digital-based interventions for children with mathematical learning difficulties: A meta-analysis. *Computers & Education*, 157, 103953. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103953>
- Berteletti, I., Lucangeli, D., Piazza, M., Dehaene, S., & Zorzi, M. (2010). Numerical estimation in preschoolers. *Developmental Psychology*, 46(2), 545–551. <https://doi.org/10.1037/a0017887>
- Berteletti, I., Lucangeli, D., & Zorzi, M. (2012). Representation of numerical and non-numerical order in children. *Cognition*, 124(3), 304–313. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.05.015>
- Brezovszky, B., McMullen, J., Veermans, K., Hannula-Sormunen, M. M., Rodríguez-Aflecht, G., Pongsakdi, N., Laakkonen, E., & Lehtinen, E. (2019). Effects of a mathematics game-based learning environment on primary school students' adaptive number knowledge. *Computers and Education*, 128, 63–74. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.011>
- Bull, R., & Lee, K. (2014). Executive Functioning and Mathematics Achievement. *Child Development Perspectives*, 8(1), 36–41. <https://doi.org/10.1111/cdep.12059>
- Butterworth, B., Varma, S., & Laurillard, D. (2011). Dyscalculia: From Brain to Education. *Science*, 332(6033), 1049–1053. <https://doi.org/10.1126/science.1201536>
- Caillois, R. (1961). *Man, play, and games*. Free Press.
- Castro, S., & Macizo, P. (2021). All Roads Lead to Rome: Semantic Priming Between Language and Arithmetic. *Journal of Numerical Cognition*, 24.
- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E., & Killingsworth, S. S. (2016). Digital Games, Design, and Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 86(1), 79–122. <https://doi.org/10.3102/0034654315582065>
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661–686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Crookall, D., & Arai, K. (A c. Di). (1995). *Simulation and gaming across disciplines and cultures: ISAGA at a watershed*. Sage Publications.
- Crooks, N. M., & Alibali, M. W. (2014). Defining and measuring conceptual knowledge in mathematics. *Developmental Review*, 34(4), 344–377. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2014.10.001>

- Csikszentmihalyi, M. (1990). *FLOW: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Perennial.
- Darling, S., Sala, S. D., & Logie, R. H. (2009). Short Article: Dissociation between Appearance and Location within Visuo-Spatial Working Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(3), 417–425. <https://doi.org/10.1080/17470210802321984>
- Deen, M., van den Beemt, A., & Schouten, B. (2015). The Differences between Problem-Based and Drill and Practice Games on Motivations to Learn: *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations*, 7(3), 44–59. <https://doi.org/10.4018/IJGCMS.2015070103>
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1), 1–42. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90049-N](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N)
- Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics*. Oxford University Press.
- Dehaene, S. (2001). Precis of The Number Sense. *Mind and Language*, 16(1), 16–36. <https://doi.org/10.1111/1468-0017.00154>
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371–396. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>
- Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neurosciences*, 21(8), 355–361. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(98\)01263-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(98)01263-6)
- DeStefano, D., & LeFevre, J. (2004). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(3), 353–386. <https://doi.org/10.1080/09541440244000328>
- Domínguez, A., Saenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J.-J. (2013). Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. *Computers & Education*, 63, 380–392. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020>
- Duffy, T. M., & Cunningham, D. J. (1996). Constructivism: Implications for the Design and Delivery of Instruction. In D. H. Jonassen (A c. Di), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology*. Macmillan Library Reference USA.
- Es-Sajjade, A., & Paas, F. (2020). Educational theories and computer game design: Lessons from an experiment in elementary mathematics education. *Educational Technology Research and Development*, 68(5), 2685–2703. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09799-w>
- Fazio, L. K., Kennedy, C. A., & Siegler, R. S. (2016). Improving Children’s Knowledge of Fraction Magnitudes. *PLoS ONE*, 11(10). Scopus. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165243>

- Feigenson, L., & Carey, S. (2005). On the limits of infants' quantification of small object arrays. *Cognition*, 97(3), 295–313. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.09.010>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>
- Ferres-Forga, N., Halberda, J., Batalla-Ferres, A., & Bonatti, L. L. (2022). Improving mathematics performance in 7-year-old children: Training the mapping from estimated quantities to Arabic digits. *Journal of Numerical Cognition*, 8(1), 123–147. <https://doi.org/10.5964/jnc.8075>
- Fokides, E. (2018). Digital educational games and mathematics. Results of a case study in primary school settings. *Education and Information Technologies*, 23(2), 851–867. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9639-5>
- Freina, L., Bottino, R., & Ferlino, L. (2018). Visuospatial Abilities Training with Digital Games in a Primary School. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SERIOUS GAMES*, 5(3), 23–35. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v5i3.240>
- Fritz, A., Haase, V. G., & Räsänen, P. (A c. Di). (2019). *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3>
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44(1–2), 43–74. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90050-R](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90050-R)
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441–467. <https://doi.org/10.1177/1046878102238607>
- Georges, C., & Schiltz, C. (2021). Number line tasks and their relation to arithmetics in second to fourth graders. *Journal of Numerical Cognition*, 7(1), 20–41. <https://doi.org/10.5964/jnc.6067>
- Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, 115(3), 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.02.002>
- Gredler, M. E. (1996). Educational games and simulations: A technology in search of a (research) paradigm. In D. H. Jonassen (A c. Di), *Handbook of research on educational communications and technology* (pagg. 521–540). Macmillan.
- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: The role of the linear number line. *Developmental Psychology*, 48(5), 1229–1241. <https://doi.org/10.1037/a0027433>
- Habgood, M. P. J., & Ainsworth, S. E. (2011). Motivating Children to Learn Effectively: Exploring the Value of Intrinsic Integration in Educational Games. *Journal of the Learning Sciences*, 20(2), 169–206. <https://doi.org/10.1080/10508406.2010.508029>

- Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, *455*(7213), 665–668. <https://doi.org/10.1038/nature07246>
- Hamari, J., Shernoff, D. J., Rowe, E., Coller, B., Asbell-Clarke, J., & Edwards, T. (2016). Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. *Computers in Human Behavior*, *54*, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.045>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, *77*(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hauser, M. D., Carey, S., & Hauser, L. B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *267*(1445), 829–833. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1078>
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., & Poliszczuk, D. (2015). Effects of mental rotation training on children’s spatial and mathematics performance: A randomized controlled study. *Trends in Neuroscience and Education*, *4*(3), 60–68. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.05.001>
- Hoffman, B., & Nadelson, L. (2010). Motivational engagement and video gaming: A mixed methods study. *Educational Technology Research and Development*, *58*(3), 245–270. <https://doi.org/10.1007/s11423-009-9134-9>
- Holmes, J., & Adams, J. W. (2006). Working Memory and Children’s Mathematical Skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, *26*(3), 339–366. <https://doi.org/10.1080/01443410500341056>
- Homer, B. D., Raffaele, C., & Henderson, H. (2020). Games as Playful Learning: Implications of Developmental Theory for Game-Based Learning. In J. L. Plass, R. E. Mayer, & B. D. Homer (A c. Di), *Handbook of game-based learning* (pagg. 25–52). The MIT Press.
- Howard-Jones, P. A., & Jay, T. (2016). Reward, learning and games. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *10*, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.015>
- Hutchison, J. E., Ansari, D., Zheng, S., De Jesus, S., & Lyons, I. M. (2020). The relation between subitizable symbolic and non-symbolic number processing over the kindergarten school year. *Developmental Science*, *23*(2). <https://doi.org/10.1111/desc.12884>
- Jay, T., Habgood, J., Mees, M., & Howard-Jones, P. (2019). Game-Based Training to Promote Arithmetic Fluency. *Frontiers in Education*, *4*. Scopus. <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00118>
- Johnson, C. I., Bailey, S. K. T., & Van Buskirk, W. L. (2017). Designing Effective Feedback Messages in Serious Games and Simulations: A Research Review. In P. Wouters & H. van Oostendorp (A c. Di), *Instructional Techniques to Facilitate Learning and Motivation of Serious Games* (pagg. 119–140). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39298-1_7

- Jordan, N. C., Glutting, J., & Ramineni, C. (2010). The importance of number sense to mathematics achievement in first and third grades. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.07.004>
- Kacmaz, G., & Dubé, A. K. (2022). Examining pedagogical approaches and types of mathematics knowledge in educational games: A meta-analysis and critical review. *Educational Research Review*, 35, 100428. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100428>
- Kapur, M. (2008). Productive Failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379–424. <https://doi.org/10.1080/07370000802212669>
- Kärki, T., McMullen, J., & Lehtinen, E. (2022). Improving rational number knowledge using the NanoRoboMath digital game. *Educational Studies in Mathematics*, 110(1), 101–123. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10120-6>
- Ke, F. (2016). Designing and integrating purposeful learning in game play: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 64(2), 219–244. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9418-1>
- Kiili, K. (2005). Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education*, 8(1), 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.12.001>
- Kolovou, A., van den Heuvel-Panhuizen, M., & Köller, O. (2013). An Intervention Including an Online Game to Improve Grade 6 Students' Performance in Early Algebra. *Journal for Research in Mathematics Education*, 44(3), 510–549. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.44.3.0510>
- Lee, H. K., & Choi, A. (2020). Enhancing early numeracy skills with a tablet-based math game intervention: A study in Tanzania. *Educational Technology Research and Development*, 68(6), 3567–3585. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09808-y>
- LeFevre, J.-A., Fast, L., Skwarchuk, S.-L., Smith-Chant, B. L., Bisanz, J., Kamawar, D., & Penner-Wilger, M. (2010). Pathways to Mathematics: Longitudinal Predictors of Performance. *Child Development*, 81(6), 1753–1767. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01508.x>
- LeFevre, J.-A., Skwarchuk, S.-L., Sowinski, C., & Cankaya, O. (2022). Linking quantities and symbols in early numeracy learning. *Journal of Numerical Cognition*, 8(1), 1–23. <https://doi.org/10.5964/jnc.7249>
- Lemaire, P., & Siegler, R. S. (1995). Four aspects of strategic change: Contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(1), 83–97. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.1.83>
- Lester, J. C., Spain, R. D., Rowe, J. P., & Mott, B. W. (2020). Instructional Support, Feedback, and Coaching in Game-Based Learning. In J. L. Plass, R. E. Mayer, & B. D. Homer (A c. Di), *Handbook of game-based learning* (pagg. 209–238). The MIT Press.

- Lin, C.-H. (2022). Developing mental number line games to improve young children's number knowledge and basic arithmetic skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 222. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2022.105479>
- Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of Number Sense: Large-Number Discrimination in Human Infants. *Psychological Science*, 14(5), 396–401. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01453>
- Lucangeli, D., Poli, S., & Molin, A. (2003). *L'intelligenza numerica*. Erickson.
- Lucangeli, D., Poli, S., & Molin, A. (2009).
- Malone, T. W., & Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. In R. E. Snow & M. J. Farr (A c. Di), *Aptitude, learning, and instruction volume 3: Conative and affective process analyses* (pagg. 223–253). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. <https://learningenvironmentsdesign.pressbooks.com/chapter/malone-lepper-making-learning-fun-a-taxonomy-of-intrinsic-motivations-for-learning/>
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer (A c. Di), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1^a ed., pagg. 31–48). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.004>
- Mayer, R. E. (2014). *Computer Games for Learning: An Evidence-Based Approach*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9427.001.0001>
- Mayer, R. E. (2020). Cognitive Foundations of Game-Based Learning. In J. L. Plass, R. E. Mayer, & B. D. Homer (A c. Di), *Handbook of game-based learning* (pagg. 83–110). The MIT Press.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4(2), 171–196. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(85\)90069-7](https://doi.org/10.1016/0278-2626(85)90069-7)
- McMullen, J., Hannula-Sormunen, M. M., Lehtinen, E., & Siegler, R. S. (2020). Distinguishing adaptive from routine expertise with rational number arithmetic. *Learning and Instruction*, 68, 101347. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101347>
- Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for Judgements of Numerical Inequality. *Nature*, 215(5109), 1519–1520. <https://doi.org/10.1038/2151519a0>
- Moyer-Packenham, P. S., Lommatsch, C. W., Litster, K., Ashby, J., Bullock, E. K., Roxburgh, A. L., Shumway, J. F., Speed, E., Covington, B., Hartmann, C., Clarke-Midura, J., Skaria, J., Westenskow, A., MacDonald, B., Symanzik, J., & Jordan, K. (2019). How design features in digital math games support learning and mathematics connections. *Computers in Human Behavior*, 91, 316–332. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.036>

- Narciss, S., & Huth, K. (2004). How to design informative tutoring feedback for multi-media learning. In H. Niegemann, R. Brünken, & D. Leutner (A c. Di), *Instructional design for multimedia learning* (pagg. 181–195). Waxmann.
- Nieder, A., & Miller, E. K. (2003). Coding of Cognitive Magnitude. *Neuron*, *37*(1), 149–157. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01144-3](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01144-3)
- Núñez Castellar, E., Van Looy, J., Szmalec, A., & De Marez, L. (2014). Improving arithmetic skills through gameplay: Assessment of the effectiveness of an educational game in terms of cognitive and affective learning outcomes. *Information Sciences*, *264*, 19–31. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.09.030>
- Outhwaite, L. A., Faulder, M., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2019). Raising early achievement in math with interactive apps: A randomized control trial. *Journal of Educational Psychology*, *111*(2), 284–298. <https://doi.org/10.1037/edu0000286>
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, *38*(1), 1–4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... McKenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*(160). <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Pan, Y., Ke, F., & Xu, X. (2022). A systematic review of the role of learning games in fostering mathematics education in K-12 settings. *Educational Research Review*, *36*, 100448. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100448>
- Pareto, L. (2014). A Teachable Agent Game Engaging Primary School Children to Learn Arithmetic Concepts and Reasoning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *24*(3), 251–283. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0018-8>
- Park, J., Bermudez, V., Roberts, R. C., & Brannon, E. M. (2016). Non-symbolic approximate arithmetic training improves math performance in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, *152*, 278–293. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.07.011>
- Park, J., & Starns, J. J. (2015). The Approximate Number System Acuity Redefined: A Diffusion Model Approach. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01955>

- Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(12), 542–551. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.008>
- Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2015). Foundations of Game-Based Learning. *Educational Psychologist*, 50(4), 258–283. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>
- Plass, J. L., Homer, B. D., Mayer, R. E., & Kinzer, C. K. (2020). Theoretical foundations of game-based and playful learning. In J. L. Plass, R. E. Mayer, & B. D. Homer (A c. Di), *Handbook of game-based learning* (pagg. 3–24). The MIT Press.
- Plass, J. L., & Pawar, S. (2020). Adaptivity and Personalization in Game-Based Learning. In J. L. Plass, R. E. Mayer, & B. D. Homer (A c. Di), *Handbook of game-based learning* (pagg. 263–282). The MIT Press.
- Praet, M., & Desoete, A. (2014). Enhancing young children’s arithmetic skills through non-intensive, computerised kindergarten interventions: A randomised controlled study. *Teaching and Teacher Education*, 39, 56–65. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.12.003>
- Purpura, D. J., Baroody, A. J., & Lonigan, C. J. (2013). The transition from informal to formal mathematical knowledge: Mediation by numeral knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 453–464. <https://doi.org/10.1037/a0031753>
- Purpura, D. J., Day, E., Napoli, A. R., & Hart, S. A. (2017). Identifying domain-general and domain-specific predictors of low mathematics performance: A classification and regression tree analysis. *Journal of Numerical Cognition*, 3(2), 365–399. <https://doi.org/10.5964/jnc.v3i2.53>
- Purpura, D. J., & Lonigan, C. J. (2013). Informal Numeracy Skills: The Structure and Relations Among Numbering, Relations, and Arithmetic Operations in Preschool. *American Educational Research Journal*, 50(1), 178–209. <https://doi.org/10.3102/0002831212465332>
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.005>
- Ramani, G. B., Daubert, E. N., Lin, G. C., Kamarsu, S., Wodzinski, A., & Jaeggi, S. M. (2020). Racing dragons and remembering aliens: Benefits of playing number and working memory games on kindergartners’ numerical knowledge. *Developmental Science*, 23(4). psych. <https://doi.org/10.1111/desc.12908>
- Reiser, B. J., & Tabak, I. (2014). Scaffolding. In R. K. Sawyer (A c. Di), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (2^a ed., pagg. 44–62). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.005>

- Riconscente, M. M. (2013). Results from a controlled study of the iPad fractions game motion math. *Games and Culture*, 8(4), 186–214. Scopus.
<https://doi.org/10.1177/1555412013496894>
- Rugani, R., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2008). Discrimination of small numerosities in young chicks. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 34(3), 388–399. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.34.3.388>
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules of play: Game design fundamentals*. MIT Press.
- Schneider, M., Grabner, R. H., & Paetsch, J. (2009). Mental number line, number line estimation, and mathematical achievement: Their interrelations in grades 5 and 6. *Journal of Educational Psychology*, 101(2), 359–372. <https://doi.org/10.1037/a0013840>
- Schunk, D. H. (2012). *Learning theories: An educational perspective* (6th ed). Pearson.
- Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2000). Mental multiplication and working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12(4), 552–570.
<https://doi.org/10.1080/095414400750050231>
- Sella, F., Tressoldi, P., Lucangeli, D., & Zorzi, M. (2016). Training numerical skills with the adaptive videogame «The Number Race»: A randomized controlled trial on preschoolers. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(1), 20–29. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.02.002>
- Shute, V. J. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153–189. <https://doi.org/10.3102/0034654307313795>
- Siegler, R. S. (2016). Magnitude knowledge: The common core of numerical development. *Developmental Science*, 19(3), 341–361. <https://doi.org/10.1111/desc.12395>
- Siegler, R. S., & Lortie-Forgues, H. (2014). An Integrative Theory of Numerical Development. *Child Development Perspectives*, 8(3), 144–150. <https://doi.org/10.1111/cdep.12077>
- Silverman, S., & Ashkenazi, S. (2022). The unique role of spatial working memory for mathematics performance. *Journal of Numerical Cognition*, 8(1), 226–243.
<https://doi.org/10.5964/jnc.7159>
- Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior* (pagg. x, 461). Macmillan.
- Smith, J., Sears, N., Taylor, B., & Johnson, M. (2020). Serious games for serious crises: Reflections from an infectious disease outbreak matrix game. *Globalization and Health*, 16(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00547-6>
- Song, S. H., & Keller, J. M. (2001). Effectiveness of motivationally adaptive computer-assisted instruction on the dynamic aspects of motivation. *Educational Technology Research and Development*, 49(2), 5–22. <https://doi.org/10.1007/BF02504925>
- Thai, K.-P., Bang, H. J., & Li, L. (2022). Accelerating Early Math Learning with Research-Based Personalized Learning Games: A Cluster Randomized Controlled Trial. *Journal of*

- Research on Educational Effectiveness*, 15(1), 28–51. Scopus.
<https://doi.org/10.1080/19345747.2021.1969710>
- Thomas, P., & Macredie, R. (1994). Games and the Design of Human-Computer Interfaces. *Educational and Training Technology International*, 31(2), 134–142.
<https://doi.org/10.1080/0954730940310208>
- van der Ven, F., Segers, E., Takashima, A., & Verhoeven, L. (2017). Effects of a tablet game intervention on simple addition and subtraction fluency in first graders. *Computers in Human Behavior*, 72, 200–207. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.031>
- Vankúš, P. (2021). Influence of Game-Based Learning in Mathematics Education on Students' Affective Domain: A Systematic Review. *Mathematics*, 9(9), 986.
<https://doi.org/10.3390/math9090986>
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249–265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749–750.
<https://doi.org/10.1038/358749a0>