



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

## Corso di laurea in Psicologia Cognitiva Applicata

Tesi di Laurea Magistrale

**L'associazione spazio-numerica in bambini in età prescolare: uno studio  
con test computerizzati.**

**Spatial-numerical association in preschoolers:  
a study with computerized tests.**

***Relatrice***  
**Dott.ssa Rosa Rugani**

***Laureanda: Giada Zampieri***  
***Matricola: 2015008***

Anno Accademico 2021/2022



## INDICE

INTRODUZIONE.....	5
1. La cognizione numerica.....	5
1.1 <i>Approximate Number System</i> .....	7
1.2 <i>Object File System</i> .....	8
2. L'associazione spazio-numerica.....	10
2.1 Precocemente disponibile o appresa?.....	15
2.1.1 Adulti.....	15
2.1.2 Bambini e ragazzi in età scolare.....	16
2.1.3 Bambini in età prescolare.....	17
2.1.4 Neonati e bambini di pochi mesi.....	20
2.1.5 Animali.....	21
2.2 Paradigmi per l'indagine dell'associazione spazio numerica..	25
2.2.1 <i>SNARC effect</i> .....	26
2.2.2 <i>Number Line Bisection (NLB)</i> .....	27
2.2.3 <i>Number line estimation task</i> .....	29
2.2.4 Altre metodologie.....	30
METODO.....	32
3.1 Il presente studio.....	32
3.1.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche...	33
3.1.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate...	34
3.2 Partecipanti.....	35

3.3 Strumenti e procedure.....	36
3.3.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche...37	
3.3.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate...47	
3.4 Domande sperimentali.....	55
4. Analisi statistiche.....	58
4.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche.....58	
4.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate.....60	
RISULTATI.....	61
5.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche.....61	
5.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate.....70	
DISCUSSIONE.....	73
6.1 Limiti e direzioni future.....	76
CONCLUSIONI.....	79
BIBLIOGRAFIA.....	81

## INTRODUZIONE

### 1. La cognizione numerica

L'essere umano può arrivare a padroneggiare concetti matematici simbolici anche molto complessi grazie all'acquisizione di nozioni sempre più elaborate e astratte. Questi apprendimenti, determinati da un'educazione matematica, sembrano essere sostenuti da un sistema cognitivo chiamato *core system* numerico (Feigenson, Dehaene, Spelke, 2004). Una serie crescente di evidenze scientifiche suggerisce che tale *core system* sia precocemente disponibile sia nella specie umana così come in altre specie animali (Dehaene, 2011) e che garantisca agli individui una comprensione intuitiva elementare delle numerosità basata su una "rappresentazione [interna] quantitativa" e "non verbale", chiamata "senso del numero" (Dehaene, 1997; Dantzig, 1954), condivisa da umani e almeno alcuni altri animali.

La cognizione umana è infatti organizzata in pochi sottosistemi specializzati (Spelke, 2000) che permettono l'acquisizione e l'integrazione delle informazioni in entrata. Oltre al *core system* numerico ne esistono quindi altri che si occupano di oggetti, azioni, numeri e spazio, mentre un quinto sistema si occuperebbe di rappresentare partner sociali (Spelke, Kinzler, 2007). Grazie all'integrazione di queste strutture fondamentali si possono sviluppare abilità flessibili e sistemi di credenze adattivi (Spelke, Kinzler, 2007; Santos, Hughes, 2009). I *core system* sono stati osservati anche su infanti, primati non umani,

bambini e adulti di diverse culture. Sono inoltre presenti in persone che non hanno accesso all'educazione formale (Dehaene et al., 2006) e in altri animali, almeno nei domini "oggetti", "numeri" e "spazio" (Wang, Spelke, 2002). I *core system* sono quindi presenti precocemente e agiscono in modo relativamente automatico (Hauser, 2000; Hauser, Spelke, 2004).

Nel *core system* numerico la rappresentazione della numerosità è più imprecisa all'aumentare della *magnitudo*, o grandezza numerica, ed è presente a livello astratto. Il concetto del numero si applica infatti a entità che possono essere percepite da diverse modalità sensoriali, come per esempio gruppi di oggetti e sequenze di suoni (Starkey, Spelke, Gelman, 1990) e di azioni (Wynn, 1996; Xu, Spelke, Goddard, 2005; Lipton e Spelke, 2003; Lipton, Spelke, 2004). L'accuratezza è la stessa anche quando la percezione mediata da sistemi sensoriali diversi, sia in adulti che in bambini (Barth, Kanwisher, Spelke, 2003; Barth, La Mont, Lipton, Spelke, 2005). È stato osservato un senso del numero precoce anche in individui ciechi dalla nascita e quindi esso sembra svilupparsi anche senza alcun coinvolgimento del senso della vista (Kanjlia, Feigenson, Bedny, 2018). Inoltre le rappresentazioni numeriche possono essere combinate tra loro con operazioni di addizione o sottrazione (McCrink, Wynn, 2004).

Queste proprietà nella rappresentazione dei numeri sono state osservate in adulti, bambini e neonati, anche di culture che non prevedono un'istruzione matematica formale (Pica, Lemer, Izard, Dehaene, 2004), oltre che in animali non umani (Beran, Decker, Schwartz, Schultz, 2011). Esse sono sostenute da due sottosistemi cognitivi (Feigenson, Dehaene, Spelke, 2004), ciascuno con le proprie specificità (vanMarle, 2013; Mou, vanMarle, 2014).

## 1.1 *Approximate Number System*

Il primo Core System numerico è anche detto *Approximate Number System* (ANS) oppure *Analogue Magnitude System* (AMS) e si occupa della rappresentazione approssimativa della grandezza numerica (Lipton, Spelke, 2003; Van Oeffelen, Vos, 1982) per quantità “grandi”, ovvero che eccedono le 4 unità. Esso tiene inoltre conto delle relazioni esistenti tra differenti numerosità secondo una *ratio* tra le cardinalità (Dehaene, 2003). La *ratio* è il più piccolo rapporto tra due numerosità che l'individuo riesce a discriminare ed è una misura dell'acuità dell'ANS. Questo rapporto varia durante lo sviluppo: bambini di sei mesi possono discriminare gruppi di oggetti che presentano un rapporto di 1:2 tra le cardinalità (Xu, Spelke, 2000); a nove mesi questo rapporto può essere di 2:3; in bambini di tre anni di 3:4; a quattro anni di 4:5 e a sei anni di età di 5:6 fino ad arrivare, in adolescenza ed età adulta, a una *ratio tra* 9:10 e 10:11 (Lipton, Spelke 2003; Halberda, Feigenson, 2008; Van Oeffelen, Vos, 1982). Il miglioramento dell'acuità dell'ANS nel corso dello sviluppo dipende da una accresciuta efficienza dovuta all'accumularsi dell'esperienza quotidiana nella discriminazione numerica e alla maturazione dei substrati neurali che sostengono questa capacità (Halberda, Feigenson, 2008). Questi substrati sono stati individuati nel segmento orizzontale del solco intraparietale (IPS) (Feigenson, Dehaene, Spelke, 2004; Dehaene, Piazza, Pinel, Cohen, 2003).

## 1.2 Object File System

Il secondo *Core System* è anche detto *Object File System* (OFS) oppure *Object Tracking System* (OTS): questo sistema tiene traccia in modo preciso di numerosità piccole e permette quindi di individuare oggetti distinti. L'OTS è un meccanismo attentivo basato sugli oggetti, in cui ogni elemento nuovo introdotto in una scena reale viene rappresentato nella memoria di lavoro da un unico simbolo chiamato *object file*, che tiene traccia di informazioni spazio-temporali e di variazioni di proprietà o tipologia. Nonostante il sistema non sia specifico della rappresentazione numerica, la numerosità è rappresentata in modo implicito poiché l'OFS presenta un limite nella quantità di *file*-oggetto che possono essere tracciati e mantenuti contemporaneamente nella memoria di lavoro (Trick, Pylyshyn, 1994). Questo limite si attesta attorno a 3 o 4 oggetti a seconda degli studi (Feigenson, Dehaene, Spelke, 2004) ed è stato rilevato in adulti, bambini e animali.

L'OTS funziona in modo pre-attentivo. Una evidenza in tal senso è costituita dal fenomeno del *subitizing*: quando viene chiesto agli adulti di indicare l'esatto numero di oggetti presenti in un pattern, per numerosità 1-4 i Tempi di Risposta sono stabili e molto bassi, con risposte molto accurate (Atkinson, Campbell, Francis, 1976). Il sistema permette, inoltre, una discriminazione accurata tra piccoli gruppi di oggetti ed è presente anche in bambini di pochi mesi (Feigenson, Carey, Hauser, 2002; Starkey, Cooper, 1980) e di poche ore di vita (Antell, Keating, 1983).



Adulti e bambini (Feigenson, Carey, 2003) sono in grado di svolgere anche operazioni di addizione o sottrazione nel range dei piccoli numeri: già a 5 mesi di vita (Wynn, 1992) i bambini sanno riconoscere un esito corretto dell'operazione matematica a prescindere da variabili fisiche confondenti (Simon, Hespos, Rochat, 1995). La numerosità di un gruppo si conferma essere una caratteristica saliente.

Le basi neurali che sostengono questo meccanismo, nel caso di compiti visivi, sembrano essere le corteccie parietali e occipitali posteriori (Piazza, 2010).

## 2. L'associazione spazio-numerica

Uno dei funzionamenti caratteristici dei *core system* numerici, come la *ratio* nella capacità di discriminazione, può essere spiegato dalla peculiare rappresentazione interna che assumono le numerosità. Queste ultime tendono, infatti, a essere organizzate spazialmente sotto forma di Linea Numerica Mentale (LNM), la quale sembrerebbe avere un andamento logaritmico. L'intuizione che esistesse un'associazione tra quantità numeriche ed estensione spaziale negli esseri umani risale ai tempi di Galton (1880), il quale ha riportato che gli esseri umani si rappresentano i numeri come rappresentati lungo una LNM con numeri disposti in ordine crescente da sinistra a destra.

Evidenze a supporto sono arrivate nel 1993 (Dehaene, Bossini, Giroux, 1993) quando, in uno studio che si proponeva di indagare il/i meccanismo/i di codifica dei numeri e vagliare le varie ipotesi allora presenti, si è osservato un effetto della grandezza dei numeri-stimolo sui Tempi di Risposta dei partecipanti.

In particolare, in questo compito veniva richiesto di valutare se lo stimolo (numero arabo a una cifra) fosse pari o dispari e di rispondere premendo con una mano un pulsante posto a destra nel caso di parità e con l'altra mano un pulsante posto a sinistra nel caso di disparità. Si è osservato che, a prescindere dalla valutazione sulla parità dello stimolo, i partecipanti presentavano Tempi di Risposta (TR) inferiori quando il numero era piccolo rispetto all'intervallo di riferimento e la risposta era erogata col pulsante di sinistra. Allo stesso tempo i TR erano più bassi quando il numero era relativamente grande e la risposta era erogata col pulsante di destra, in confronto alle rispettive situazioni inverse.

Questo tipo di associazione spazio-numerica è stata chiamata *SNARC effect*, acronimo di *Spatial-Numerical Association of Response Codes* (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993; Mapelli et al., 2003; Casarotti et al., 2007): i differenti TR osservati sono coerenti con l'ipotesi di una LNM con numerosità disposte in ordine crescente da sinistra a destra.

La diversa collocazione spaziale mentale dei numeri non influisce solo sui Tempi di Risposta, ma anche sulla pianificazione e sullo svolgimento dell'azione. Uno studio si è occupato di indagare l'eventuale relazione tra movimento di *grasping* e i numeri in formato arabo raffigurati sull'oggetto che i partecipanti dovevano afferrare (Andres et al., 2008). Dallo studio è emerso che, soprattutto nelle prime fasi del movimento, l'apertura della mano era maggiore quando sull'oggetto apparivano numeri grandi, viceversa minore quando i numeri raffigurati erano piccoli. Questa differenza nell'apertura della mano è stata osservata nonostante i blocchi da afferrare fossero tutti della stessa dimensione e si differenziassero solo per l'informazione numerica contenuta. In questo caso i partecipanti dovevano categorizzare gli stimoli in base alla loro parità o disparità. L'effetto è stato trovato nonostante quindi la cardinalità non fosse rilevante. La salienza della *magnitudo* a prescindere dal compito proposto è stata osservata anche in un altro esperimento (Namdar et al., 2014) in cui ai partecipanti veniva chiesto di categorizzare l'oggetto guardando al colore del numero raffigurato.

Altri compiti che esplorano l'associazione spazio-numerica hanno monitorato l'esecuzione dell'azione. Per esempio, in uno studio (Gianelli et al., 2012) alcuni adulti sono stati sottoposti a un doppio compito. Questo richiedeva di

discriminare se un numero dettato fosse maggiore o minore di cinque e contemporaneamente di spostare un cubo nello spazio peripersonale. I risultati hanno mostrato come, con numeri piccoli, l'oggetto venisse spostato più a sinistra. Con numeri grandi, invece, era presente una deviazione verso destra nella traiettoria.

Un altro esperimento (Rugani, Betti, Sartori, 2018) ha indagato se il processamento di un numero possa influenzare l'esecuzione di un'azione. Qui veniva richiesto ai partecipanti adulti di "calciare", col dito indice della mano destra, una piccola sfera per centrare una porta da calcio in miniatura posta davanti all'osservatore. I partecipanti dovevano "calciare" la sfera solo dopo la presentazione di uno stimolo, che poteva essere non numerico (\$) oppure numerico (2, 5, 8). Considerando che con lo stimolo 5 il partecipante veniva istruito di rimanere fermo, sono stati misurati i Tempi di Risposta e le traiettorie tracciate dal dito indice in relazione agli altri simboli. Ne è emerso che i Tempi di Risposta erano minori quando la traiettoria verteva verso sinistra e lo stimolo precedente all'azione era 2 e quando lo stimolo era 8 e si deviava verso destra. Lo studio ha inoltre osservato una tendenza a "calciare" maggiormente verso sinistra con la numerosità piccola e verso destra con quella grande.

Questi risultati suggeriscono che la rappresentazione numerica non sia semplicemente una concettualizzazione astratta, anzi sia fortemente legata al controllo motorio e quindi alle trasformazioni senso-motorie (Lindemann, Abolafia, Girardi, Bekkering, 2007).

La specifica disposizione dei numeri sulla linea numerica mentale è stata oggetto di diverse ipotesi: questi potrebbero seguire una scala lineare,

logaritmica oppure in forma di potenza (Dehaene, 2003). Per esplorare questo aspetto, uno studio si è avvalso di tecniche di *neuroimaging*. Si misurava l'attività neuronale di due scimmie mentre queste risolvevano un compito di discriminazione tra numerosità diverse (Nieder, Miller, 2003): l'ipotesi più accreditata sembra quella della disposizione logaritmica. Anche uno studio condotto con un gruppo di persone indigene, che possiedono un lessico numerico ridotto e scarsa o nulla educazione formale, ha trovato evidenze di una disposizione logaritmica della LNM per numerosità non simboliche (Dehaene, Izard, Spelke, Pica, 2008). Questo spiegherebbe perché al crescere della numerosità aumenti la difficoltà di discriminazione. Si immagini l'acuità di percezione della singola numerosità come una curva gaussiana: più alta è la cardinalità, più le curve gaussiane sono ravvicinate tra loro e quindi facilmente confondibili perché in buona parte sovrapposte (Lucangeli, Mammarella, 2010).

L'associazione spazio-numerica è sostenuta da precisi substrati neurali, come confermato da studi su pazienti con *neglect* che vedono danneggiata questa capacità (Zorzi, Priftis, Umiltà, 2002). Questa associazione può trovare sostegno dalla *A Theory Of Magnitude* (ATOM), la quale asserisce che tale connessione sia da attribuire al solco intraparietale (IPS), coinvolto nel ANS, e che costituirebbe il substrato corticale comune per le stime di tempo, spazio e numerosità (Walsh, 2003). Questo potrebbe spiegare le interazioni tra tali domini e il perché le informazioni numeriche non solo siano spazialmente orientate a livello mentale, ma influenzino anche lo svolgimento di azioni quando il soggetto è esposto a tali informazioni. Tale ipotesi è confermata da osservazioni neurofunzionali (Hubbard, Piazza, Pinel, Dehaene, 2005) e da uno

studio (Cutini et al., 2014) che ha utilizzato la spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso (NIRS), un metodo che analizza l'attività emodinamica nelle varie aree cerebrali e che quindi rileva la localizzazione dell'attività cerebrale prevalente in un dato momento. Cutini e colleghi (2014) hanno rilevato un'attivazione del IPS in particolare nella sua porzione orizzontale e del giro angolare sinistro (ANG): un'area che sostiene gli aspetti linguistici e verbali dell'elaborazione numerica.

Il significato evolutivo dell'associazione spazio-numerica non è chiaro (Aulet, Lourenco, 2018): si trovano infatti differenti ipotesi a riguardo. Una di queste asserisce che tale associazione supporti la comprensione numerica e lo sviluppo delle abilità matematiche (Fischer, Shaki, 2014; Opfer, Thompson, Furlong, 2010). Ovvero persone che presentano un'associazione spazio-numerica più marcata riuscirebbero a padroneggiare compiti matematici più complessi. A tal riguardo esistono evidenze contrastanti: alcuni studi suggeriscono una correlazione inversa in adulti (Hoffmann, Mussolin, Martin, Schiltz, 2014; Cipora et al., 2016) e bambini misurando l'effetto SNARC con compiti non simbolici (Aulet, Lourenco, 2018), mentre altri non evidenziano alcun tipo di correlazione tra l'associazione spazio-numerica misurata con un paradigma SNARC e le abilità matematiche in età adulta (Bull, Cleland, Mitchell, 2013; Cipora, Nuerk, 2013) e nell'infanzia (Schneider, Grabner, Paetsch, 2009). Questi risultati potrebbero indicare che la misura dell'associazione spazio-numerica con paradigmi SNARC per testarne la direzionalità, non sia quella più adatta per studiare la correlazione con le abilità

matematiche. Questo tipo di misurazione infatti tiene conto unicamente dei Tempi di Risposta dei partecipanti: potrebbe essere utile integrare o sostituire questo indicatore con la direzione di scelta (Rugani, Zhang, Ahmed, Brannon, 2022).

## **2.1 Precocemente disponibile o appresa?**

Osservata l'associazione spazio-numerica, ci si è interrogati sulla sua origine: si tratta di una caratteristica plasmata culturalmente, come ipotizzato inizialmente (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993), oppure presente precocemente? Per trovare risposta a questa domanda, le ricerche si sono rivolte ai diversi possibili soggetti in cui è possibile osservare il fenomeno e più precisamente su adulti, bambini e ragazzi in età scolare, bambini in età prescolare, neonati e bambini di pochi mesi e animali.

### **2.1.1 Adulti**

Come descritto nei precedenti paragrafi, le prime osservazioni si siano concentrate sulla popolazione adulta. Alcune utili considerazioni riguardano la *handedness*: non sono state osservate differenze statisticamente significative tra destrimani e mancini nella direzione dell'effetto SNARC (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993; Mills, Rousseau, Gonzalez, 2014).

La direzione di scrittura sembra invece essere un moderatore della direzione della linea numerica mentale: adulti appartenenti a culture con direzione di scrittura destra-sinistra che hanno ricevuto educazione formale mostrano un'associazione spazio-numerica invertita (Zebian, 2005; Shaki, Fischer, Petrusic, 2009) o indebolita (Lopiccolo, Chang, 2021), mentre persone con abitudini di lettura miste, come gli israeliti che leggono le parole da destra verso sinistra e i numeri da sinistra verso destra, non mostrano un chiaro orientamento spaziale per i numeri (Shaki, Fischer, Petrusic, 2009).

Con queste informazioni si può affermare che l'associazione spazio-numerica viene influenzata da fattori culturali a cui le persone sono esposte soprattutto attraverso la scolarizzazione. Per indagare ulteriormente questo fenomeno e osservare se ci siano o meno differenze con gli adulti, ci si può quindi rivolgere a soggetti più giovani, che devono ancora completare il percorso di istruzione.

### **2.1.2 Bambini e ragazzi in età scolare**

Diversi studi hanno osservato un'associazione spazio numerica in bambini di varie età scolari, con risultati sovrapponibili. Sono stati proposti per esempio compiti di *grasping* (Mills, Rousseau, Gonzalez, 2014), in cui gli stimoli erano costituiti da cubi di legno numerati con cifre arabe da 0 a 19. Questi cubi venivano posti nello spazio extra-corporeo del soggetto, sia a destra che a sinistra. Nella fase di test lo sperimentatore nominava un numero e il soggetto doveva afferrare il blocco che presentava quel numero, prendendolo dal lato



che preferiva. I risultati hanno mostrato come con numerosità più piccole venisse afferrato più spesso il blocco nello spazio di sinistra, viceversa, con numerosità più grandi quello posto a destra. Lo stesso studio evidenzia come l'entità dell'associazione spazio-numerica non presenti differenze statisticamente significative considerando la mano - destra o sinistra - utilizzata: come negli adulti, anche nei bambini la *handedness* non sembra quindi essere un mediatore per l'associazione spazio-numerica.

Le ricerche in questa fascia d'età testimoniano la presenza di una associazione spazio-numerica simile a quella degli adulti (Imbo, De Brauwer, Fias, Gevers, 2012; Yang et al., 2014) anche quando le istruzioni vengono fornite verbalmente. Per comprendere meglio le caratteristiche di questa associazione si può guardare a soggetti di età inferiore, con poca o nulla esposizione all'istruzione formale.

### **2.1.3 Bambini in età prescolare**

Uno studio che ha coinvolto adulti e bambini di varie età, tra cui un gruppo di bambini in età prescolare di 5 anni (De Hevia, Spelke, 2009), ha individuato un'associazione spazio-numerica non direzionale utilizzando il paradigma della bisezione di linea affiancata da numerosità non simboliche, mostrando una preferenza per la cardinalità più alta. Nel paradigma della bisezione di linea si presenta al partecipante uno stimolo, in questo caso una linea, e gli si chiede di indicare il punto che divide a metà lo stimolo. Nella

variante con numerosità non simboliche affiancate, a destra e sinistra della linea sono presenti gruppi di oggetti, in questo caso pallini. In questo studio, i gruppi di pallini avevano sempre numerosità 9 a sinistra e 2 a destra oppure 9 a destra e 2 a sinistra. Si è osservato che i bambini tendevano a bisecare la linea in modo sbilanciato avvicinandosi verso la numerosità maggiore. Questi risultati erano mantenuti anche controllando per area sottesa dagli stimoli e lunghezza totale delle circonferenze. La numerosità ha quindi un'influenza sull'elaborazione spaziale.

Per esplorare l'aspetto della direzionalità, un altro studio (Opfer, Thompson, Furlong, 2010) ha coinvolto bambini occidentali di 4 anni mostrando loro alcune immagini che potevano essere ordinate verbalmente dallo sperimentatore da sinistra a destra o viceversa. In fase di test, il bambino doveva cercare un'immagine dopo che lo sperimentatore ne indicava la sua collocazione ordinale. I bambini a cui era stata fornita inizialmente una numerazione da sinistra a destra erano più accurati e più veloci nelle risposte. Questo risultato è coerente con una linea numerica mentale orientata da sinistra a destra.

Un'ulteriore evidenza del fatto che alcuni bambini già a questa età sono più propensi a contare da sinistra a destra è fornita da un recente studio (Rugani, Zhang, Ahmed, Brannon, 2022) che ha coinvolto bambini americani tra i 3 e i 6 anni di età. I partecipanti sedevano di fronte a una serie di coppette posta orizzontalmente rispetto a loro e osservavano lo sperimentatore nascondere un oggetto in una data posizione. In fase di test, i bambini hanno mostrato di ricordare meglio i *target* di sinistra rispetto a quelli di destra.

Utilizzando un paradigma differente, Patro e Haman (2012) hanno testato un gruppo di bambini polacchi con età media 4 anni e hanno trovato un'associazione spazio-numerica non simbolica con direzione sinistra-destra. In questo studio venivano presentati stimoli con numerosità diverse su un schermo. Si è osservato che i bambini reagivano più velocemente a piccole numerosità quando queste erano presentate a sinistra e grandi numerosità quando erano presentate a destra. Lo stesso effetto è stato trovato da un altro esperimento che ha utilizzato numerosità non simboliche (Ebersbach, Luwel, Verschaffel, 2014). Anche un altro studio che ha utilizzato un compito di discriminazione tra colori, in cui la numerosità non era saliente per il compito, (Hoffmann, Hornung, Martin, Schiltz, 2013) ha trovato lo stesso effetto in termini di direzionalità in bambini di 5 anni e mezzo.

Per osservare un eventuale effetto della cultura anche in questa fascia d'età, un altro esperimento (Shaki, Fischer, Göbel, 2012) ha preso in considerazione bambini tra i 3 e i 6 anni di differenti culture e direzioni di scrittura. Gli sperimentatori, dopo aver presentato ai partecipanti quattro pallini equidistanti tra loro, hanno chiesto esplicitamente di contarli ad alta voce. È emerso che già a questa età la direzione di conteggio sembra variare in modo coerente alla direzione di scrittura della cultura di appartenenza, con un effetto che aumenta con l'età del bambino, suggerendo dunque un'influenza cumulativa della cultura. Per ridurre al minimo l'influenza ambientale e verificare quindi se è presente una *baseline* comune in fasi precedenti dello sviluppo, altri studi hanno coinvolto infanti di pochi mesi e neonati.

#### **2.1.4 Neonati e bambini di pochi mesi**

La letteratura si è quindi concentrata anche su bambini di età inferiore, che mancano di conoscenza simbolica e di educazione matematica. Bambini anche di pochi mesi sono in grado di discriminare differenti numerosità in alcune condizioni (Lipton, Spelke, 2003). Data questa capacità di discriminazione, alcuni studiosi hanno indagato se esistesse un'associazione tra informazioni numeriche e spaziali anche in questi soggetti. Uno studio che si è avvalso del paradigma dell'abituazione ha osservato che neonati di 0-3 giorni di vita hanno mostrato di mappare spazialmente informazioni numeriche presentate sotto forma di sequenze uditive (De Hevia et al., 2014b). In particolare, i bambini si aspettavano che a una variazione di uno stimolo (per esempio sonoro) corrispondesse un cambiamento dell'altro (per esempio spaziale) nella stessa direzione, ovvero, che all'aumentare dell'uno aumentasse anche l'altro e al diminuire dell'uno corrispondesse una diminuzione dell'altro.

In un altro studio (De Hevia et al., 2014a), infanti di 7 mesi hanno mostrato una preferenza per numerosità ordinate in modo crescente orientate da sinistra verso destra: i bambini venivano abituati a sequenze numeriche non simboliche sotto forma di gruppi di pallini alternativamente in ordine crescente o decrescente. I partecipanti, nella fase di test, osservavano più a lungo le nuove sequenze numeriche quando erano nella condizione di ordine crescente da sinistra verso destra rispetto all'alternativa destra verso sinistra.

Questi risultati sembrano suggerire una predisposizione precocemente disponibile negli esseri umani a correlare l'ordine numerico con un orientamento

spaziale da sinistra verso destra, che precede l'acquisizione delle abilità simboliche, di un'educazione matematica formale e l'acquisizione di abilità di lettura e scrittura. L'ordine destra-sinistra delle LNM in alcune culture potrebbe quindi insorgere in un secondo momento, per influenza della direzione di lettura a cui i bambini possono venire esposti anche in età precedenti all'educazione formale. Per vagliare quindi l'ipotesi di una predisposizione prettamente biologica, è utile osservare se questi fenomeni siano presenti anche in animali non umani ed eventualmente osservare quali caratteristiche presentino.

### **2.1.5 Animali**

La ricerca comparata ha mostrato la presenza di un'associazione spazio-numerica anche in animali non umani. In uno studio su scimpanzè (*Pan troglodytes*) alcuni soggetti sono stati addestrati a toccare in ordine crescente dei numeri nel *range* 1-9 posti in ordine sparso su uno schermo (Adachi, 2014). Nella fase di test, le due estremità 1 e 9 erano poste alla stessa altezza: in metà dei *trial* l'ordine era sinistra-destra (quindi 1-9), nell'altra metà era destra-sinistra (quindi 9-1). Si è osservato come nella variante sinistra-destra i Tempi di Risposta fossero significativamente minori, mostrando quindi un effetto SNARC su base sequenziale in questi primati.

Un altro studio che si proponeva di indagare la rappresentazione spaziale della grandezza in gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*) e oranghi (*Pongo pygmaeus* e *Pongo abelii*) ha utilizzato stimoli non simbolici. Questi stimoli erano costituiti da gruppi

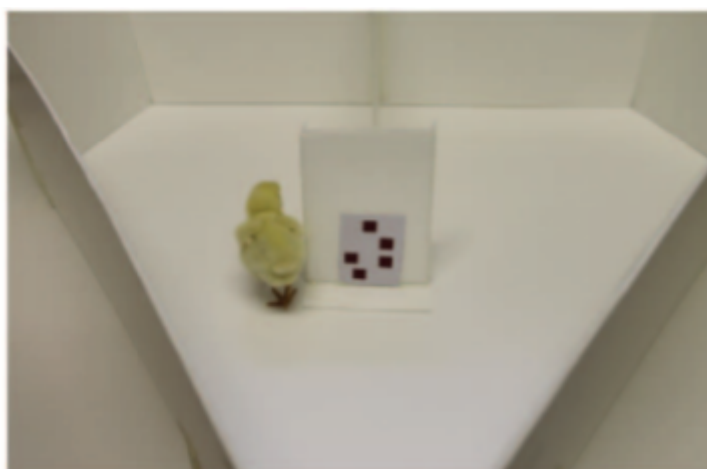
di pallini e il compito prevedeva la scelta del gruppo alternativamente con numerosità maggiore o minore (Gazes et al., 2017). I risultati hanno mostrato una tendenza all'associazione spazio-numerica con direzione non condivisa dal gruppo, ma coerente nei diversi *trial* del singolo soggetto.

Anche allontanandosi dalle grandi scimmie, filogeneticamente tra gli animali non umani più vicini all'*homo sapiens* in quanto appartenenti alla famiglia degli ominidi, alcuni studi testimoniano questa correlazione spazio-numerica. Anch'essi dell'ordine dei primati ma di diversa famiglia, alcuni macachi *rhesus* (*Macaca mulatta*) sono stati addestrati a selezionare l'elemento in quarta posizione a partire dal basso in una stringa di 5 oggetti disposta verticalmente (Drucker, Brannon, 2014). Nella fase di test, lo stimolo è stato ruotato di 90 gradi: posizionato quindi in orizzontale. I macachi hanno mostrato a questo punto di preferire in modo statisticamente significativo il quarto elemento a partire da sinistra, fornendo quindi evidenza di possedere una mappatura dei numeri spazialmente orientata, almeno in senso ordinale.

Un esperimento con simile metodologia (Rugani et al., 2010) è stato utilizzato per testare due specie appartenenti a una classe di animali diversi dai mammiferi: gli uccelli. In particolare sono stati testati il gallo domestico (*Gallus gallus*) e la nocciolaia di Clark (*Nucifraga columbiana*). Nella fase di *training*, ai partecipanti veniva mostrata una stringa di 16 oggetti in posizione verticale. Gli animali venivano addestrati a beccare il cibo posto su uno stimolo *target*, che poteva essere l'oggetto in quarta o sesta posizione dal basso. Nella fase di test, la stringa di oggetti veniva ruotata di 90°, trovandosi quindi in posizione orizzontale. In questa fase, entrambe le specie hanno mostrato una preferenza

nell'identificare la corretta posizione dell'oggetto *target* a partire dall'estremità di sinistra. L'associazione spazio-numerica qui è elicitata da un compito ordinale, quindi non si può affermare che la similitudine con l'essere umano riguardi anche la stima delle numerosità. Questi risultati però suggeriscono che la direzionalità di questa associazione sia osservabile precocemente.

A questo proposito, un altro studio sui pulcini di gallo domestico (*Gallus gallus*) si è occupato di indagare la presenza di un'associazione più specifica tra la posizione spaziale e la numerosità, rappresentata in forma non simbolica (Rugani et al., 2015). In particolare, pulcini di 3 giorni di vita, per ricevere una ricompensa in cibo, venivano addestrati ad aggirare un pannello raffigurante una numerosità target di 5 e posizionato al centro dell'apparato di *testing* (Figura 1).

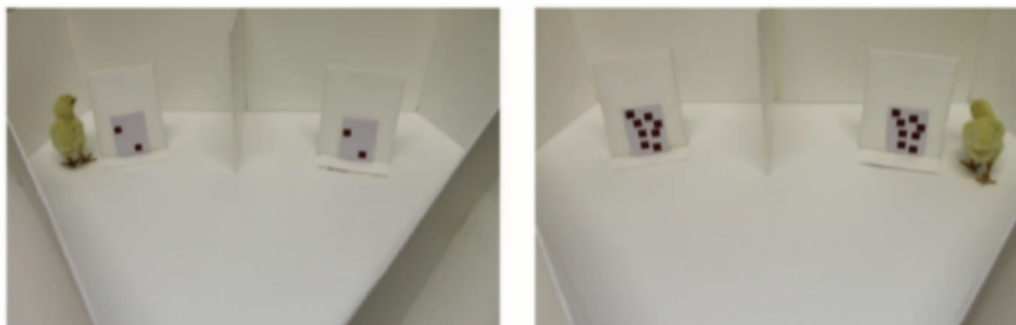


**Fig. 1** - Nella fase di abitudine i pulcini imparavano ad aggirare un pannello che raffigurava una numerosità 5.

Da Rugani, Vallortigara, Priftis, Regolin, 2015.

Una volta abituati alla numerosità 5, si procedeva con la fase di test, la quale era composta da due parti: un test “piccoli numeri” e uno “grandi numeri”. Nella

fase di test erano presenti due pannelli paralleli rispetto alla base dell'apparato. Nel test "piccoli numeri" questi pannelli riportavano ciascuno numerosità 2. Nel test "grandi numeri", invece, i due pannelli presentavano entrambi numerosità 8 (Figura 2). Gli animali, lasciati liberi di esplorare l'apparato, aggiravano per primo uno dei due pannelli alla ricerca di cibo.



**Fig. 2** - In fase di test i pulcini venivano sottoposti, con ordine randomizzato e controllato, a *trial* con numeri piccoli (a sinistra) e con numeri grandi (a destra). Venivano misurati la frequenza di scelta e il tempo impiegato.

Da Rugani, Vallortigara, Priftis, Regolin, 2015.

I soggetti hanno mostrato di scegliere più spesso il pannello di sinistra nei casi di test "piccoli numeri" e il pannello di destra quando entrambi riportavano numerosità 8. Si è inoltre osservato come, modificando la numerosità *target* in 20, nei test 8-8 i pulcini preferivano il pannello di sinistra e nei test 32-32 quello di destra: questi risultati supportano l'ipotesi di una LNM orientata da sinistra a destra e in cui la discriminazione tra numerosità avviene in modo relativo, non assoluto. Lo stesso paradigma, variando le numerosità, è stato applicato a insetti, in particolare alle api e ha trovato le medesime evidenze (Giurfa et al., 2022).

L'associazione spazio-numerica e la sua direzionalità sono state inizialmente e per molto tempo attribuite unicamente all'influenza della cultura e



in particolare della direzione di scrittura, ma più recentemente questa convinzione è stata messa in discussione da numerosi studi che, come visto nei paragrafi precedenti, hanno mostrato le stesse tendenze in soggetti non influenzati da fattori culturali come neonati e animali non umani (Rugani, de Hevia, 2017). Questa considerazione, comunque, non esclude l'influenza di cultura e contesto in età successive (McCrink, K., Opfer, J.E., 2014; Göbel et al., 2011; Dehaene, Bossini, Giraux, 1993), soprattutto per quanto riguarda la direzionalità. Benché non sia ancora stata data una spiegazione univoca del suo valore adattivo, si può affermare che si tratti quindi di una caratteristica con predisposizioni biologiche capace di favorire l'adattamento all'ambiente in cui il soggetto è inserito.

## **2.2 Paradigmi per l'indagine dell'associazione spazio numerica**

L'associazione spazio-numerica è stata studiata attraverso diversi metodi, che si propongono di fornire misurazioni differenti a declinazioni differenti dello stesso fenomeno. Alcuni dei principali sono l'effetto SNARC, la bisezione di linea e la *Number Line Estimation Task*.

### 2.2.1 SNARC effect

L'effetto SNARC, come accennato in precedenza, in soggetti adulti si esplica con minori Tempi di Reazione nei casi in cui è presente una coerenza tra la lateralizzazione spaziale a cui è implicitamente associato il numero-stimolo e la risposta manuale erogata (De Hevia, Girelli, Vallar, 2005). Questo effetto è stato approfondito in letteratura e ne sono state osservate le seguenti caratteristiche: (1) l'associazione spazio-numerica evidenziata non dipende dalla mano utilizzata per la risposta dal soggetto testato – e quindi dall'emisfero implicato nel movimento di una mano piuttosto che l'altra (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993) – ma dallo spazio extracorporeo su cui agisce quando eroga una risposta. Lo SNARC effect è stato infatti replicato con i partecipanti istruiti a “incrociare” le braccia per invertire la posizione delle mani, premendo con la mano destra il pulsante posto nello spazio di sinistra e viceversa (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993). (2) Il fatto che l'effetto sia stato osservato in *tasks* dove la “grandezza” (*magnitudo*) non era rilevante per il compito permette di ipotizzare anche che questo tipo di informazione venga estrapolata in modo spontaneo e automatico (Fischer et al., 2003). (3) L'effetto non sembra dipendere dalla *handedness* (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993), ovvero destrimani e mancini non hanno mostrato differenze statisticamente significative nei Tempi di Risposta.

### **2.2.2 Number Line Bisection (NLB)**

La bisezione di linee è un metodo neuropsicologico utilizzato per valutare la rappresentazione cognitiva di informazioni spaziali di oggetti visivi (Heilman, Watson, Valenstein, 1985). Questo metodo è stato adattato per lo studio dell'associazione spazio numerica per capire se l'accuratezza spaziale di soggetti sani può essere sistematicamente influenzata dalla codifica automatica dei numeri-stimolo presentati.

Il metodo della bisezione è stato utilizzato con diversi stimoli: (1) stringhe formate da cifre in notazione simbolica, ovvero numeri arabi (Fischer, 2001; De Hevia, Girelli, Vallar, 2006). In questa versione è presente un numero variabile di ripetizioni della stessa cifra, scritte in un carattere monospaziato, in modo tale da rendere omogenea la lunghezza della stringa anche quando si cambia numero. La posizione della linea all'interno del foglio o dello schermo può variare, per poter osservare eventuali interazioni statisticamente significative tra posizione della linea e associazione spazio-numerica. (2) Linee affiancate da cifre in notazione simbolica (Fischer, 2001; De Hevia, Girelli, Vallar, 2006). Anche in questo caso le linee possono cambiare per lunghezza e disposizione spaziale (alto, basso, destra, sinistra). A entrambi i lati sono posizionate delle cifre uguali (De Hevia, Spelke, 2009) oppure diverse tra loro in posizione "più piccola a destra e più grande a sinistra" o viceversa. (3) Linee affiancate da numerosità non simboliche (De Hevia, Spelke, 2009). In questo caso le numerosità sono rappresentate da gruppi di pallini, non da cifre arabe. Questa variante può risultare interessante per indagare la codifica di informazioni sulle

quantità non mediate culturalmente. Possono essere inoltre controllate le variabili “area sottesa dal gruppo di pallini” e “lunghezza totale delle circonferenze”. (4) Variante con spazio vuoto delimitato da cifre (De Hevia, Girelli, Vallar, 2006): in questo caso lo stimolo è composto da due cifre non collegate tra loro da linee o altre cifre. Questi compiti possono essere presentati in modalità carta-matita oppure computerizzata, come nel caso del nostro studio.

Nella bisezione di stringhe formate da cifre simboliche (1), che trovano impiego in adulti con istruzione matematica, è stata osservata una tendenza a bisecare verso destra quando la cifra aveva cardinalità relativamente alta (8 o 9, Fischer, 2001) e verso sinistra quando era relativamente bassa (1 o 2). Nelle linee affiancate da cifre simboliche (2) il *bias* rispetto al centro è sbilanciato verso il numero con la cardinalità più alta (Fischer, 2001), risultato osservato anche per la versione con numerosità non simboliche (3). Utilizzare stimoli con un formato non simbolico è vantaggioso perché possono essere proposti a bambini che non hanno ancora ricevuto un’istruzione matematica. In questo caso (De Hevia, Spelke, 2009) adulti e bambini mostrano simili bias spaziali: in particolare, i partecipanti bisecano sistematicamente la linea in modo sbilanciato verso la numerosità più grande. Anche utilizzando stimoli che prevedono la presentazione di uno spazio bianco delimitato da cifre (4) la bisezione si discosta dal centro avvicinandosi al numero con cardinalità maggiore (De Hevia, Girelli, Vallar, 2006). Questo fenomeno è chiamato effetto *magnitudo* ed è stato replicato in diverse condizioni che controllavano le variabili continue non numeriche come l’area totale sottesa dal gruppo di pallini

o lo spazio totale occupato dall'intero flanker (De Hevia, Spelke, 2009). Tale effetto è stato descritto come una sorta di illusione cognitiva in cui il lato della linea ipsilaterale alla numerosità più grande è rappresentato come più lungo e il lato della numerosità più piccola come più corto (De Hevia, Girelli, Vallar, 2006). La bisezione sbilanciata verso la numerosità maggiore compenserebbe quindi questo squilibrio illusorio. Gli studi che rilevano l'effetto *magnitudo* suggeriscono l'esistenza di un bias non direzionale, in cui l'esatta posizione spaziale delle diverse numerosità non è specificata.

### **2.2.3 Number line estimation task**

Nella sua versione più semplice, questo metodo richiede la presentazione di una linea orizzontale alle cui estremità sono segnati e apposti due numeri solitamente in notazione araba, che costituiscono il punto di partenza e la fine della linea numerica. Al partecipante viene fornito un numero, diverso da quelli presenti, e gli viene chiesto di collocarlo sulla linea. Per adattare questo metodo a diverse età, vengono utilizzate scale appropriate variando l'estremità maggiore (da 0 a 20 a 0 a 100; Muldoon et al., 2013). Questo compito indaga in modo preciso la rappresentazione numerica interna degli individui e risulta essere un predittore affidabile della competenza matematica (Schneider et al., 2018; Schneider, Grabner, Paetsch, 2009). Infatti, è stato osservato che bambini che hanno rappresentazioni più precise e quindi mostrano maggiore accuratezza in questo compito raggiungono risultati migliori

in matematica (Booth, Siegler, 2008; Friso-van den Bos et al., 2015; Muldoon et al., 2013; Siegler, Opfer, 2003; Simms et al., 2013). Queste evidenze sostengono l'ipotesi che la LNM possa facilitare l'acquisizione di concetti matematici e operazioni più avanzate (Case, Okamoto, 1996; de Hevia, 2021; Schneider, Grabner, Paetsch, 2009). Questo tipo di misurazione è senz'altro interessante, ma non può prescindere dalla conoscenza della notazione simbolica e quindi non è impiegabile in età prescolari, in cui l'associazione spazio-numerica è presente in forma non simbolica sin dal primo giorno di vita.

#### **2.2.4 Altre metodologie**

Altri studi hanno analizzato la direzione dell'approccio in compiti ordinali in bambini (Opfer, Thompson, Furlong, 2010; Rugani, Zhang, Ahmed, Brannon, 2022), macachi rhesus (Drucker, Brannon, 2014), pulcini di pollo domestico e nocciolaie di Clark (Rugani et al., 2010) e hanno trovato una migliore accuratezza nel ricordare *target* più vicini a sinistra rispetto che a destra. Questi dati sostengono l'ipotesi di una direzionalità della linea numerica mentale da sinistra verso destra.

Altri esperimenti hanno osservato l'influenza delle numerosità sulla pianificazione ed esecuzione dell'azione: Rugani, Betti e Sartori (2018), menzionati nei precedenti paragrafi, hanno analizzato la cinematica del movimento e hanno osservato un *bias* verso sinistra quando erano rappresentate numerosità piccole e un *bias* verso destra con numerosità grandi;

Gianelli e colleghi (2012) hanno riportato che adulti spostavano più a destra oggetti quando questi raffiguravano numerosità grandi, rispetto a quando raffiguravano numerosità piccole.

Un altro studio che ha preso in considerazione la direzione di scelta, come quello menzionato nei paragrafi precedenti di Rugani e colleghi (2015), ha riportato che pulcini abituati a una numerosità 5 posta in posizione centrale, si dirigevano verso sinistra quando lo stimolo raffigurava una numerosità più piccola e verso destra quando si trattava di una numerosità più grande. Anche l'esperimento di Giurfa e colleghi (2022), che ha utilizzato il medesimo paradigma, ha trovato le stesse evidenze su api.

## METODO

### 3.1 Il presente studio

Il presente studio si propone di indagare l'associazione spazio-numerica in bambini tra i 3 e i 5 anni compresi, utilizzando due paradigmi. Si è deciso di utilizzare una rappresentazione dei numeri in forma non simbolica: le numerosità sono state infatti raffigurate come gruppi di pallini colorati. Questa modalità di rappresentazione si è dimostrata predittiva della successiva acquisizione delle abilità matematiche formali (Wang, Halberada, Feigenson, 2021; Agrillo, Piffer, Adriano, 2013) e particolarmente adatta, poiché la sua comprensione non è suscettibile del livello di scolarizzazione dei partecipanti testati.

Ai bambini sono stati proposti due compiti basati su paradigmi differenti (1) per verificare se uno o entrambi misurassero la direzione dell'associazione spazio-numerica in età prescolare; (2) per osservare se le misure dell'associazione spazio-numerica nei diversi compiti mostrassero andamenti simili. Nel caso i paradigmi utilizzati siano affidabili, questo esperimento potrebbe porre le basi per osservare, in futuri studi longitudinali, se uno o entrambi siano correlati con le abilità matematiche in età scolare.

I due test sono stati proposti a tutti i bambini nello stesso giorno e sempre nello stesso ordine. Nello specifico, sono stati utilizzati un compito di



scelta tra stimoli con informazioni numeriche e un compito di bisezione di linea con numerosità affiancate.

### **3.1.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche**

La prima parte di questo compito è un tentativo di adattamento del paradigma ideato da Rugani e collaboratori (2015) per studiare l'associazione spazio-numerica nel pulcino di pollo domestico (*Gallus gallus*), descritto più nello specifico nei paragrafi precedenti. I soggetti, dopo aver familiarizzato con una numerosità target (5), nella fase di test associavano spontaneamente una numerosità più piccola (2) con lo spazio di sinistra e una numerosità più grande (8) con lo spazio di destra. Nella nostra versione adattata per bambini in età prescolare, gli stimoli sono proposti su uno schermo *touch* e consistono in quadrati ("carte") a sfondo uniforme con elementi colorati all'interno, alternativamente in numerosità 2, 5 oppure 8.

Nella seconda parte del compito, si è voluto osservare se una condizione di rinforzo positivo "congruente" all'orientamento sinistra-destra della LNM potesse facilitare l'apprendimento di una regola. In particolare, i bambini venivano assegnati a una di due condizioni: "congruente" oppure "incongruente". Ai bambini con condizione "congruente" si forniva un rinforzo positivo quando le numerosità rappresentate erano 2-2 e il bambino sceglieva la carta disposta a sinistra e quando le numerosità erano 8-8 e il bambino sceglieva la carta posizionata a destra. La regola era quindi "scegli a sinistra

quando osservi 2-2” e “scegli a destra quando osservi 8-8”. La condizione di rinforzo “incongruente” forniva *feedback* in modo opposto. La regola in questo caso era dunque “scegli a destra quando osservi 2-2” e “scegli a sinistra quando osservi 8-8”. Si è quindi voluto verificare se i bambini a cui era stata assegnata una condizione “congruente” presentassero una maggiore percentuale di risposte corrette rispetto ai bambini nella condizione “incongruente”.

### **3.1.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate**

Questo compito è un adattamento dello studio presentato da De Hevia e Spelke (2009), in cui è stato utilizzato un compito di bisezione per ottenere una misura dell'associazione spazio-numerica. Tale esperimento si è avvalso del paradigma della bisezione di linea con numerosità in posizione affiancata rispetto alla linea, presentate in formato non simbolico in forma di gruppi di pallini (per dettagli sulla metodologia, si veda il paragrafo 2.2.2). Nel suddetto studio, le cardinalità di questi gruppi erano sempre 2 oppure 9 e il gruppo di sinistra differiva sempre da quello di destra: le due condizioni possibili erano infatti “2-9” e “9-2”. Le ricercatrici hanno osservato una tendenza generale dei partecipanti, adulti e bambini, a bisecare verso la numerosità più grande (effetto *magnitudo*). Questi risultati supportano l'ipotesi che la rappresentazione spaziale e quella numerica siano fortemente interrelate anche in partecipanti che non hanno ricevuto un'istruzione formale.

Nel presente esperimento si è voluto testare se numeri piccoli spostassero l'attenzione dei partecipanti verso sinistra e numeri grandi spostassero l'attenzione verso destra, in linea con la rappresentazione mentale dei numeri ordinata da sinistra verso destra (LNM). È stato quindi mantenuto il paradigma sopra esposto, ma utilizzando numerosità di cardinalità 2 e 8 e disponendole in posizione sinistra-destra secondo le condizioni "2-2" oppure "8-8". Se l'ipotesi della disponibilità precoce della LNM disposta da sinistra verso destra è corretta e il compito di bisezione così declinato ne fornisce una misura accurata, ci si aspetta di osservare un punto di bisezione dei partecipanti maggiormente sbilanciato verso sinistra nella condizione "2-2" e maggiormente sbilanciato verso destra nella condizione "8-8".

### **3.2 Partecipanti**

Allo studio hanno partecipato 60 alunni di tre scuole dell'infanzia venete con età compresa tra 3 anni e 5 anni. La prima scuola è situata nel comune di Chioggia (VE): qui sono stati testati 23 bambini di cui 10 femmine e 13 maschi; la seconda scuola si trova a Padova e hanno partecipato 12 minori tra cui 6 femmine e 6 maschi; la terza scuola è nel comune di Cittadella (PD), dove hanno aderito 25 bambini: 13 femmine e 12 maschi.

Il campione finale per il compito di bisezione di linea è composto da tutti i partecipanti; quello per il compito di scelta invece è costituito dai 25 bambini provenienti dalla scuola di Cittadella (PD), poiché il test è stato modificato

rispetto alla versione iniziale incrementando il numero di prove nella fase di *training*.

### **3.3 Strumenti e procedure.**

In questo studio i bambini sono stati testati con un *notebook* Microsoft Surface Book 3, con Python 3.6.6 utilizzato per Psychopy 3 v2021.1.4, con cui sono stati programmati i giochi per schermo *touch*. Il portatile è stato utilizzato per somministrare i test poiché dotato di schermo *touch* rimovibile, il quale misura 13.5 pollici con risoluzione 3240 x 2160 e *refresh rate* di 59995 Hz. La luminosità è stata sempre impostata al 100% e il volume audio a 50%. Il pc è stato posto su un tavolo con lo schermo rivolto verso l'alto parallelamente al pavimento, in posizione centrale e a distanza di circa 20 cm dal lato del partecipante, in modo che fosse ben visibile anche da parte dello sperimentatore. Un *mouse* è stato collegato al PC via *bluetooth* e collocato sotto il tavolo in mano allo sperimentatore, in modo da non rientrare nel campo visivo del partecipante.

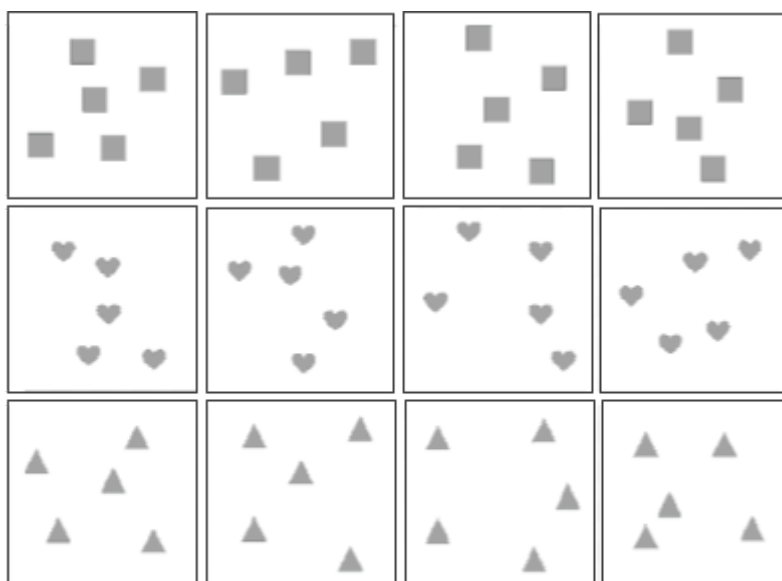
Per testare i partecipanti sono state utilizzate 3 sedie e un tavolo. In particolare, bambino e sperimentatore erano seduti uno di fronte all'altro col tavolo – sgombro da qualsiasi oggetto oltre al computer – a separarli. Un osservatore era seduto 1,5 metri dietro al bambino, in modo da avere buona visuale sulla scena senza interferire con la somministrazione.

L'osservatore ha segnato su una griglia di registrazione il numero del partecipante e i dati anagrafici, i nomi di osservatore e sperimentatore, nonché le annotazioni sullo svolgimento della prova come le informazioni di tipo comportamentale sul partecipante. Ciascun bambino entrava nella stanza accompagnato dall'osservatore, il quale lo faceva accomodare sulla sedia predisposta. Lo sperimentatore lo accoglieva e si presentava. Quando il bambino era pronto, lo sperimentatore iniziava a illustrargli il compito di scelta. L'ordine dei test è stato mantenuto fisso: inizialmente veniva proposto il (1) compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche e, subito dopo, il (2) compito di bisezione di linea con numerosità affiancate. Per indicare la collocazione spaziale degli stimoli nello schermo, nelle descrizioni dei compiti si fa riferimento a un sistema virtuale di coordinate cartesiane la cui origine è il centro dello schermo (0, 0), indicando prima la posizione delle ascisse e poi quella delle ordinate.

### **3.3.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche**

Questo studio prevede una fase di familiarizzazione, una di *intuition*, una di *training* e una di test. Il passaggio da una fase all'altra è intervallato sempre da una schermata a sfondo blu scuro (codice HEX: 14222F), per consentire allo sperimentatore di spiegare al partecipante la fase successiva e procedere, solo quando ritiene opportuno, con un *click* del *mouse*.

In ogni *trial* gli stimoli sperimentali consistono in quadrati (denominati “carte”) con lato 60 mm che contengono un numero variabile di oggetti. Nello specifico, gli stimoli nella fase di familiarizzazione sono dei quadrati che contengono oggetti in numerosità 5. In questa fase è presente una sola carta posta in posizione centrale (0, 0) rispetto allo schermo. All’interno della stessa carta vengono utilizzati oggetti identici in forma, dimensione e colore, ma le forme e i colori degli oggetti cambiano a ogni *trial*. In questa prima fase, gli oggetti contenuti sono quadratini (lato 8 mm), cuori (larghezza 8 mm, altezza 7 mm) oppure triangoli (base 8 mm, altezza 8 mm), disposti come in Figura 3. I colori delle carte e degli oggetti in esso contenuti sono descritti in Tabella 1.



**Fig. 3** - Forma e disposizione degli oggetti nella fase di familiarizzazione.

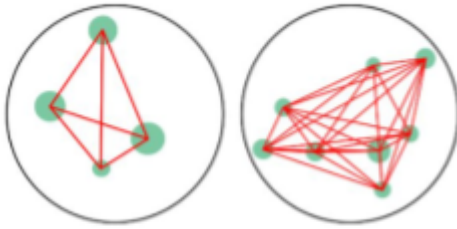
Nelle fasi di intuition, di *training* e di test le carte sono presentate sempre in coppia e distano 30 mm l’una dall’altra. Il centro della carta di sinistra si trova sempre in posizione (0, -45) mm; il centro della carta di destra invece in

posizione (0, 45) mm. In queste fasi, dentro ciascuna carta sono collocati dei pallini alternativamente in quantità 2 oppure 8 di raggio 3,6 mm. I pallini variano in disposizione spaziale e colore, ma a un determinato colore degli stessi corrisponde sempre un preciso colore dello sfondo della carta. Per ulteriori dettagli sulla combinazione dei colori di oggetti e sfondo, si veda la Tabella 1.

Gli stimoli (carte) in tutte le fasi del compito sono posti su uno sfondo blu scuro (codice HEX: 14222F).

In tutte le fasi, la disposizione dei pallini entro il riquadro è variabile in modo da controllare, entro la condizione “numerosità”, le variabili continue non numeriche “distanza tra elementi”, “convex hull” e “densità” (v. Figura 3 per una descrizione più accurata). Per la creazione di ciascuno stimolo è stato utilizzato un apposito *tool*, GeNEsIS (*Generation of Numerical Elements Images Software*, con Matlab versione R2021b), che permette di controllare, tra le altre, le variabili continue in Figura 4. Queste infatti possono mediare la percezione della numerosità (Leibovich, Katzin, Harel, Henik, 2017).

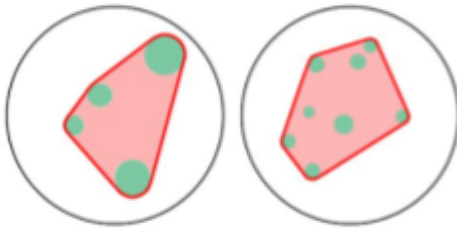
**a. Distanza tra elementi**



**a. Distanza tra elementi:**

La media delle distanze tra tutte le possibili coppie di elementi. Queste ultime sono calcolate come le distanze euclidee tra i centri degli elementi.

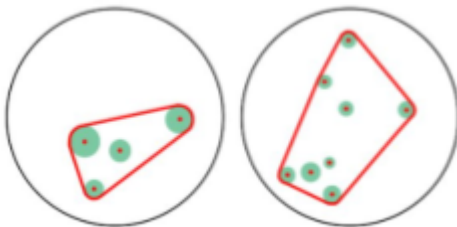
**b. Convex hull**



**b. Convex hull:**

L'area del più piccolo poligono convesso contenente tutti gli elementi; viene calcolato tramite la funzione `convhull()` di Matlab utilizzando i punti dei perimetri di tutti gli elementi. Pertanto, può essere vista come la superficie definita dai perimetri degli stimoli più esterni.

**c. Densità**



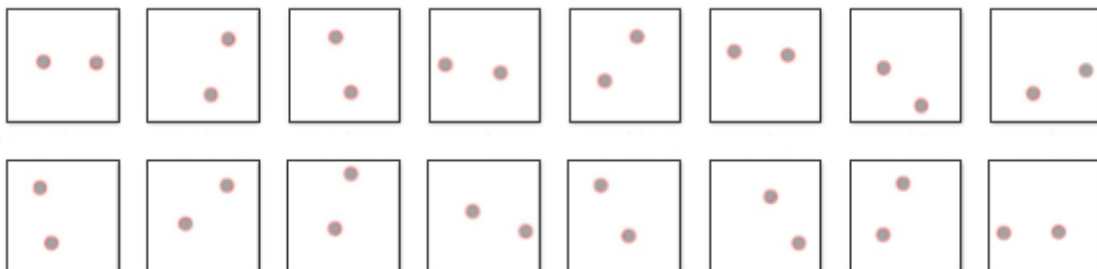
**c. Densità:**

Il numero di elementi ( $n$ ) diviso per l'area totale occupata ( $D = n/\text{convex hull}$ ).

**Fig. 4 -** Descrizione delle variabili continue controllate per la creazione degli stimoli.

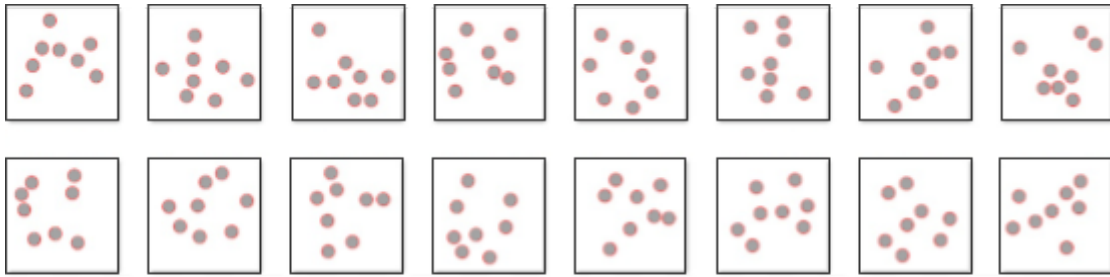
Da Zanon, Potrich, Bortot, Vallortigara, 2022.

Gli stimoli per le fasi di *intuition*, *training* e test, creati seguendo le indicazioni sopra esposte, sono raffigurati nelle Figure 5 e 6:



**Fig. 5 -** Disposizione dei pallini negli stimoli con numerosità due.





**Fig. 6** - Disposizione dei pallini negli stimoli con numerosità otto.

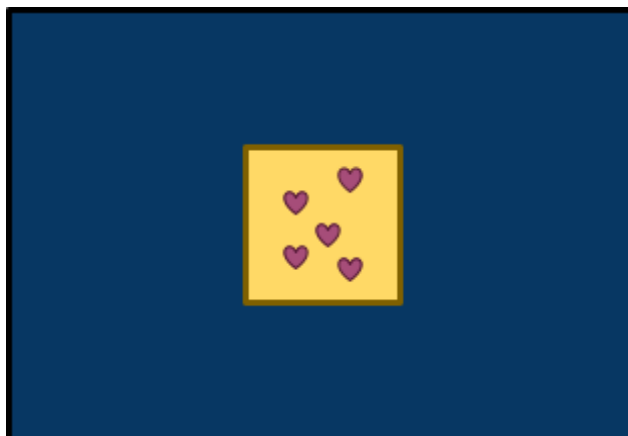
I colori degli stimoli sono descritti in Tabella 1:

Familiarization		Intuition		Training	
Coppie colori:		Coppie colori:		Coppie colori:	
Oggetti	Sfondo	Pallini	Sfondo	Pallini	Sfondo
D35FB7	FEFE62	0C7BDC	FFC20A	D35FB7	FEFE62
5D3A9B	E6876C			5D3A9B	E6876C
40B0A6	E1BE6A			40B0A6	E1BE6A
				0C7BDC	FFC20A

**Tab. 1** - Codici HEX dei colori degli stimoli per ogni fase.  
 Ogni coppia di colori è presentata in modo randomizzato entro ciascuna fase del compito.

Dopo aver accolto il bambino, lo sperimentatore avvia il gioco e sullo schermo appare una schermata con raffigurate delle carte. A questo punto viene spiegato al bambino che giocherà “a una caccia al tesoro con le carte. Sotto alcune carte infatti si nasconde un tesoro: proviamo a toccarle per vedere se lo troviamo!”. Con un *click* del *mouse* lo sperimentatore avvia la fase di familiarizzazione, che è composta da sei *trial*. Compare quindi una carta con 5

elementi (Figura 7) in posizione (0, 0) e il bambino viene esortato a toccarla. In 4 casi su 6, in ordine casuale, viene erogato un *feedback* positivo “fuochi d’artificio”, visivo e uditivo (con scoppiettii). In 2 casi su 6 viene fornito solo un *feedback* al tocco (uditivo, “flop”).



**Fig. 7 - Fase di familiarizzazione.**

Dopo i 6 *trial* di familiarizzazione, si passa alla fase di *intuition*, in cui compaiono due carte con numerosità 2-2 (Figura 8): viene fatto notare al bambino che “qui ci sono pochi pallini rispetto a prima. Scegli una delle due carte per vedere se trovi il tesoro”. Successivamente appaiono due carte con numerosità 8-8 (Figura 9) e si pone la stessa richiesta al bambino facendogli notare che “qui ci sono tanti pallini rispetto a prima”.

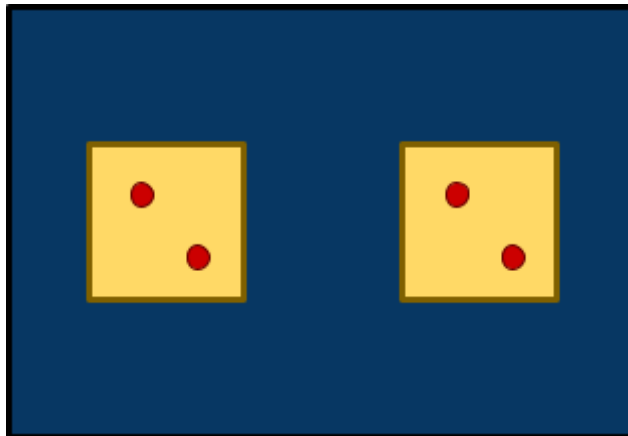


Fig. 8 - Fase di *intuition* con coppia 2-2.

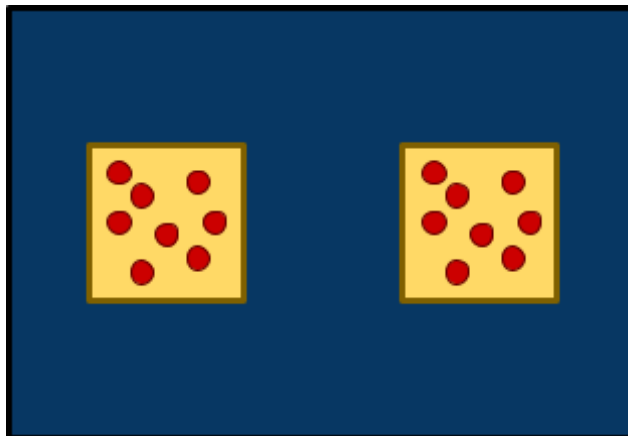


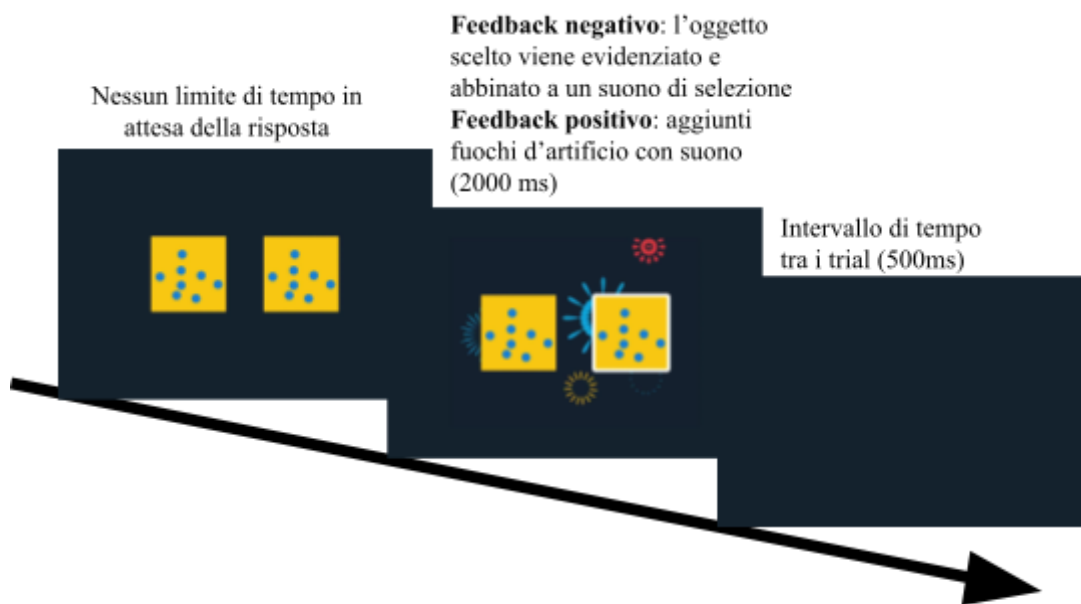
Fig. 9 - Fase di *intuition* con coppia 8-8.

Il 50% dei partecipanti è stato assegnato a una differente condizione in cui l'ordine di comparsa delle numerosità in fase di *intuition* è stato invertito: a questi partecipanti viene quindi mostrata prima una coppia 8-8 e poi una coppia 2-2. In questi due *trial* si misura l'eventuale associazione spazio-numerica in seguito alla fase di abituazione (familiarizzazione): per questo viene fornito solo il *feedback* al tocco e non i fuochi d'artificio. Successivamente viene presentata

una carta “di transizione” con numerosità 5 (come nella fase di familiarizzazione) che fornisce solo il *feedback* al tocco. Al termine è presente un *feedback* visivo e uditivo “fuochi d’artificio” su sfondo blu scuro (codice HEX: 14222F) non associato ad alcuna numerosità.

Lo sperimentatore spiega il compito successivo al bambino: “d’ora in poi ci saranno sempre due carte. Sotto una delle due carte si nasconde sempre un tesoro. Questo tesoro non è nascosto a caso, ma c’è una regola! Vediamo se riesci a trovare la regola”. Quando il bambino è pronto, lo sperimentatore avvia l’ultima parte del compito con un *click* del *mouse*.

Della fase di *training* e di quella di test si hanno 2 versioni: quella “congruente” e quella “incongruente” e i soggetti sono assegnati a una delle due condizioni in modo casuale. Nel primo caso vengono forniti *feedback* positivi di tipo “fuochi d’artificio” quando il soggetto sceglie la carta di sinistra in presenza di 2-2 e la carta di destra in presenza di 8-8. Nel secondo caso, viceversa, il *feedback* “fuochi d’artificio” compare scegliendo la carta di sinistra nel caso di 8-8 e quella di destra con la coppia 2-2. Al bambino non viene imposto un limite di tempo e tra una prova e l’altra è interposta una schermata nera per 5 ms (Figura 10).

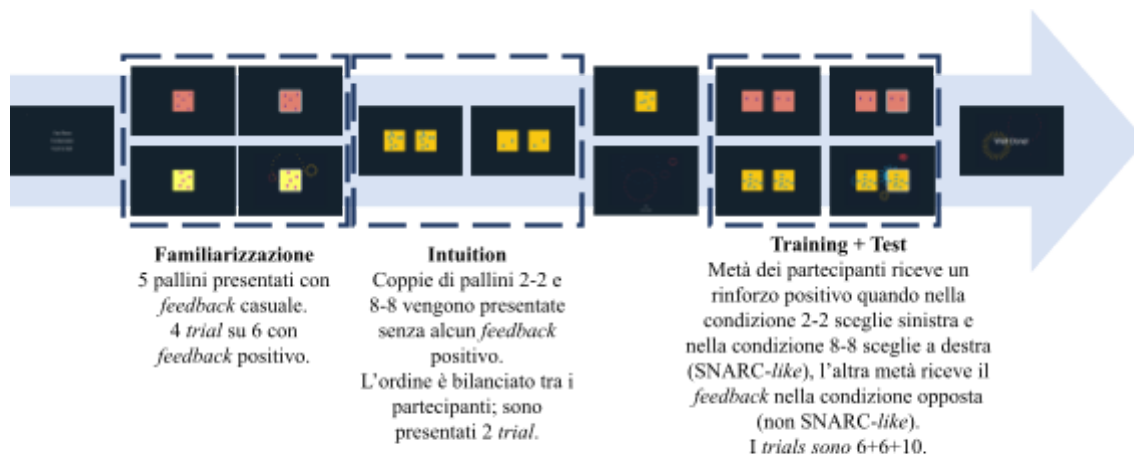


**Fig. 10** - Caratteristiche della fase di *training*.

Il *training* (12 prove in totale) è diviso in due blocchi uguali tra loro di 6 prove ciascuno. La presentazione delle numerosità entro ciascun blocco segue un ordine prestabilito, che per metà dei partecipanti è sempre 2-2-2-8-8-8; per gli altri invece è sempre 8-8-8-2-2-2. L'assegnazione a queste due condizioni è bilanciata tra i partecipanti.

Al termine di questa fase si passa a quella di test, che a livello procedurale ricalca la precedente, ma le numerosità vengono presentate in ordine randomizzato. Lo sperimentatore spiega quindi al bambino che “Fino ad ora ci siamo allenati. Adesso inizia il gioco vero e proprio, che è proprio come abbiamo appena visto. Quindi ci saranno sempre due carte e il tesoro si nasconderà sotto una sola, secondo una regola. Vediamo se riesci a trovare la regola!”. Questa parte è composta da 10 *trial*.

Per uno sguardo globale sul compito vedere la Figura 11:



**Fig. 11** - Le varie fasi del compito.

Le misurazioni e osservazioni effettuate durante la presentazione di questo compito riguardano (1) la frequenza di scelta della carta a sinistra (lato scelto per convenzione) nella fase di *intuition*, suddivisa per condizione di numerosità; (2) per le fasi di *training* e di test, la frequenza di scelta della carta a *feedback* positivo in relazione alla numerosità presentata e alla condizione di *training* assegnata (“congruente” o “incongruente”); (3) le osservazioni comportamentali salienti, come stanchezza o distrazione, mancata comprensione del compito.

Una volta terminato il compito si gratifica il bambino dicendo che è “riuscito a trovare tantissimi tesori! Hai fatto un ottimo lavoro”. Quando il partecipante è pronto, si procede con il secondo compito.

### 3.3.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate

Questo esperimento si compone di diverse fasi: 4 di *practising* e una di *testing*. Il passaggio da una fase all'altra è intervallato sempre da una stessa schermata che raffigura un giardino illustrato, per permettere allo sperimentatore di spiegare al partecipante il compito della fase successiva e procedere, solo quando ritiene opportuno, con un *click* del *mouse*.

Prima di iniziare il compito, lo sperimentatore spiega al bambino che “in questo gioco ci sono due gruppi di coccinelle che vorrebbero giocare tra loro. Per poterlo fare, però, devono trovarsi esattamente a metà strada.” Con un *click* lo sperimentatore avvia un'animazione esplicativa e fa notare al bambino: “vedi queste due coccinelle in alto? Sono felici perché sono riuscite a trovarsi al centro della loro strada. Quelle sotto invece sono un po' tristi perché non sono riuscite a incontrarsi”. In questa schermata è raffigurato un giardino con quattro coccinelle: due partono da sinistra e due da destra, due sono più in alto e due più in basso. La coppia in alto si incontra a metà strada, mentre quella in basso no: questa schermata è stata inserita per esemplificare il compito al bambino enfatizzando la *cover story*.

Quando il bambino è pronto si inizia con la fase di *practising*, che comprende un allenamento per la precisione del tocco (*practice 1*), in cui al bambino viene chiesto di toccare un *target* costituito da una coccinella di dimensione 12 x 12 mm (Figura 12): “per prima cosa la coccinella vorrebbe giocare con te. Toccala ogni volta che cerca di scappare!”.



**Figura 12** - Immagine impiegata per l'allenamento della precisione del tocco.

L'immagine compare sempre in posizioni diverse dello schermo in modo randomizzato, entro un'area da (-30, -30) mm a (30, 30) mm. Un *feedback* positivo (la coccinella si ingrandisce e viene emesso un suono) viene fornito quando il bambino riesce a toccare il centro dell'immagine "coccinella" con una distanza massima di 6 mm da esso. Il criterio di accuratezza coincide con quello che i bambini dovranno mantenere nelle fasi successive, in cui verrà loro richiesto di bisecare la linea. In particolare, la linea sarà lunga 80 mm: 40 mm a sinistra del centro e 40 mm a destra del centro. Il criterio di accuratezza si attesta al 15% della lunghezza e quindi, per ogni lato (destra, sinistra), il *feedback* positivo sarà emesso se il partecipante rientrerà nell'intervallo spaziale da -6 mm a 6 mm sulle ascisse rispetto al centro. La fase di *practice 1* dura almeno 6 *trial* e termina quando il partecipante riesce a toccare la coccinella e ricevere il *feedback* positivo per 3 volte consecutive.

La fase successiva è chiamata *practice 2*. In quest'ultima appare sullo schermo una linea bianca (codice HEX: FFFFFFFF) orizzontale con lunghezza di



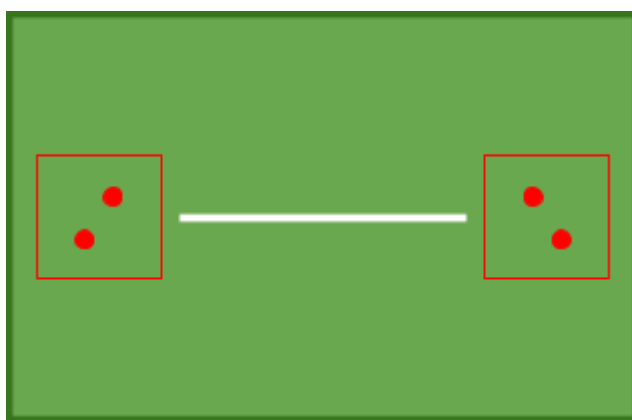
80 mm totali e spessore di 8 pixel. Per evitare che i partecipanti rispondano toccando sempre una specifica posizione dello schermo, la posizione della linea da bisecare cambia in altezza a ogni *trial*, assumendo posizioni *random* da (0, +20) mm a (0, -20) mm bilanciate per alto/basso. Queste caratteristiche della linea vengono mantenute per tutte le fasi successive. Nel *practice 2*, all bambino viene chiesto di bisecarla per 4 prove: “questa linea bianca è la strada che le coccinelle devono percorrere. Tu puoi aiutarle a incontrarsi toccando il centro della loro strada”. Il partecipante ha un limite di tempo per rispondere di 10 secondi: se non risponde il *trial* termina senza alcun *feedback*. Da questa fase e per tutte le successive, se la bisezione avviene entro il criterio del 15% (e quindi tra -6 mm e 6 mm sull’asse x rispetto al centro), il partecipante riceve un *feedback* positivo visivo (compare una coccinella) e uditivo.

Inoltre, a partire dal *practice 2*, il bambino inizia ogni *trial* toccando un quadrato nero con lato 20 mm (Figura 13) posto sempre in posizione (0, -80) mm. In questo modo l’attenzione di tutti i partecipanti prima di ogni prova viene indirizzata nella stessa area: “tocca il quadratino nero per iniziare”.

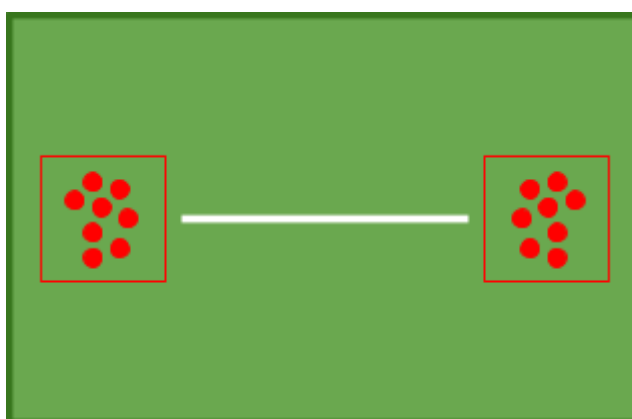


**Fig. 13** - Stimolo *starter*.

Successivamente si procede con la fase di *practice* 3. In questa fase, a sinistra e destra della linea bianca si affiancano le due numerosità in forma non simbolica. Queste numerosità sono rappresentate attraverso dei pallini posti entro una cornice e possono essere in gruppi di 2 oppure di 8. Le due numerosità presentate in ciascuna prova sono sempre uguali tra loro, quindi le coppie saranno 2-2 (Figura 14) oppure 8-8 (Figura 15).



**Fig. 14** - Esempio di linea affiancata da numerosità *due*.



**Fig. 15** - Esempio linea affiancata da numerosità *otto*.

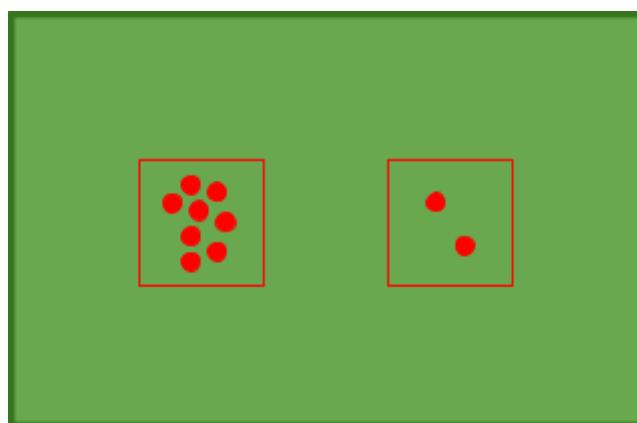
Ogni gruppo di pallini (i quali hanno sempre raggio 3 mm) è inserito in una “cornice” quadrata con lato 50 mm e spessore della linea di 4 pixel; il centro di queste “cornici” è posto alla stessa altezza della linea bianca, dalla quale sono distanziate di 5 mm. Il centro della cornice di sinistra sarà quindi in posizione (-70, altezza linea) mm, quello di destra in posizione (70, altezza linea) mm. Il colore dei pallini e della cornice è sempre rosso (codice HEX: FF0000), mentre il colore dello sfondo cambia a ogni tentativo (codici HEX: 80D4FF, AA80FF, FFB580, 809FFF) in modo randomizzato. Le diverse disposizioni dei pallini all’interno del riquadro sono le stesse dell’esperimento precedente (compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche): esse sono rappresentate in Figura 3 e vengono presentate al partecipante in modo casuale. Tali stimoli vengono riproposti con le medesime caratteristiche per ognuna delle fasi successive.

Nella fase di *practice 3* al bambino viene presentato lo stimolo 4 volte con la richiesta di bisecare la linea bianca: “sono venute a farci compagnia le coccinelle: le vedi? Sono quei pallini rossi. Per aiutarle tocca sempre il centro della linea bianca”.

Si passa poi alla fase di *practice 4*, in cui a ogni tentativo in cui viene richiesto di dividere in due la linea bianca (come prima) segue un compito di *recall* (Figura 16). Qui viene chiesto al bambino di indicare quale numerosità affiancasse la linea bianca nel *trial* appena concluso, scegliendo tra due alternative proposte, rispettivamente con numerosità 2 oppure 8.

Gli stimoli nel *recall* sono le stesse “cornici” che contengono le numerosità descritte per le altre fasi del compito. La cornice di sinistra è posta in posizione

(-40, 10) mm e quella di destra in posizione (40, 10) mm. La posizione delle numerosità in fase di *recall* è bilanciata tra tutte le prove in modo tale che ciascuna numerosità compaia lo stesso numero di volte a destra e a sinistra. Il partecipante viene preparato alla nuova procedura prima dell'inizio del *practice 4*: "ora guarda bene i gruppi di coccinelle che sono ai lati della linea bianca, perché poi il gioco ti chiederà di ricordare com'erano questi gruppi!". La fase di *recall* è stata inserita per spingere i partecipanti a dirigere l'attenzione sugli stimoli numerici, in modo da osservare se questi abbiano una influenza sull'accuratezza nella bisezione di linea.

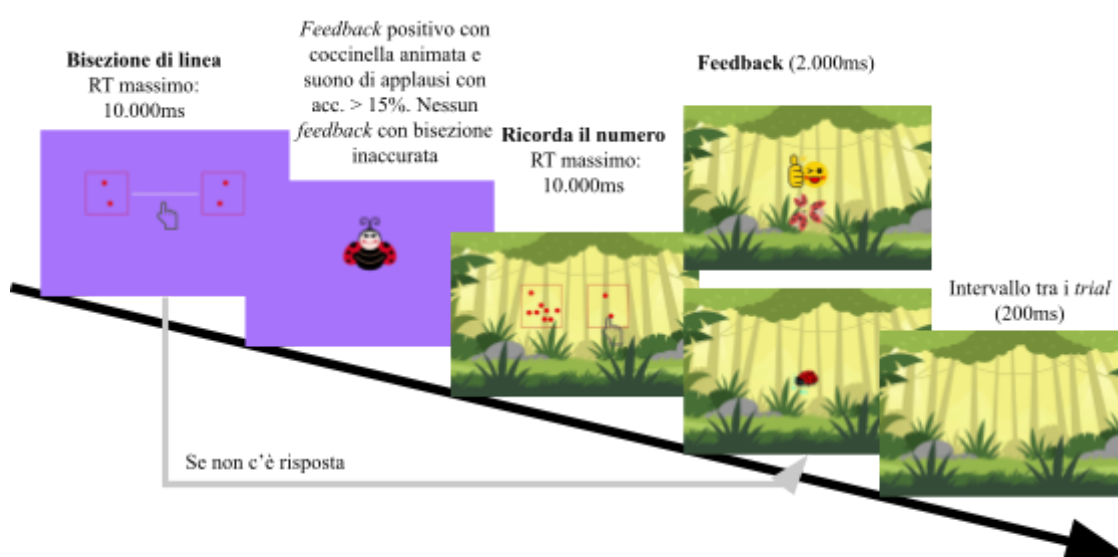


**Fig. 16** - Fase di *recall*.

Queste due fasi (bisezione e *recall*) si ripetono per 4 volte. A ogni passaggio lo sperimentatore ripete al bambino cosa dovrà fare: "guarda bene i gruppi di coccinelle", "tocca il centro della linea bianca", "ti ricordi com'erano i gruppi che hai appena visto?".

Successivamente si giunge al test vero e proprio, con una procedura identica a quella descritta nella fase denominata *practice 4*. Il bambino ha

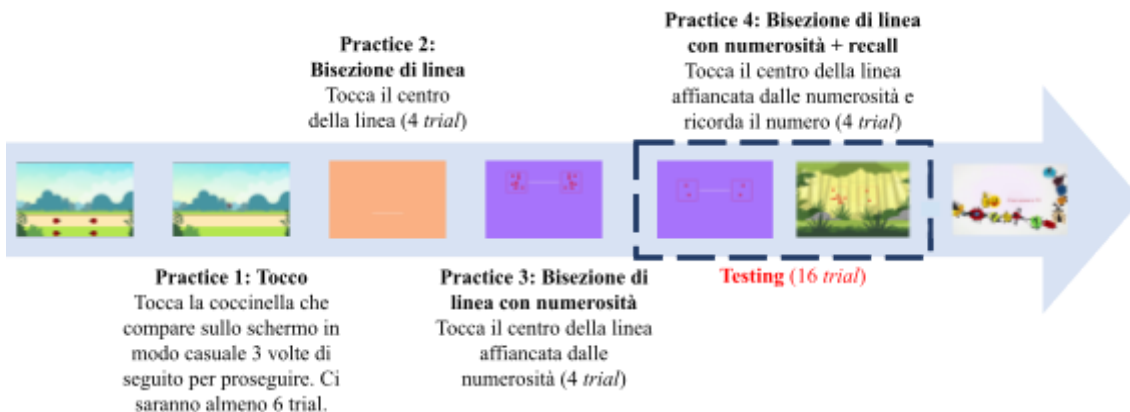
quindi avuto modo di familiarizzare in modo graduale con le varie parti di cui è composto il compito: “fino ad ora abbiamo fatto delle prove. Ora inizia il gioco vero e proprio, che è esattamente come abbiamo visto adesso. Quindi dovrai guardare bene i gruppi di coccinelle, toccare il centro della linea bianca e poi ricordare i gruppi che hai appena visto”. La fase di test è composta da 16 prove con limiti di tempo come descritto in Figura 17:



**Fig. 17** - Descrizione della tempistica dei vari passaggi e applicazione dei *feedback*.

Al termine del compito appare una schermata di insetti in fila con suoni gioiosi e lo sperimentatore rassicura il bambino di aver fatto un buon lavoro: “complimenti! Hai fatto incontrare tantissime coccinelle!”.

Per uno sguardo globale ai *trial* del compito si veda la Figura 18:



**Fig. 18 - Fasi del compito con relativi numeri di prove.**

L'obiettivo di questo compito è osservare se nella fase di test sono presenti differenze nei valori di bisezione tra le diverse condizioni di *flanker*. Ci si aspetta quindi che in presenza di numerosità relativamente piccole (due) sia presente uno sbilanciamento della bisezione verso sinistra e con numerosità relativamente grandi (otto) uno sbilanciamento verso destra.

Durante lo svolgimento di questo compito vengono effettuate misurazioni e osservazioni che riguardano (1) la deviazione tra il reale centro dello stimolo (linea) e quello indicato dal partecipante. Al valore assoluto di questa misurazione viene apposto segno negativo (-) quando la scelta del soggetto cade a sinistra del centro reale, viceversa segno positivo (+) quando la scelta cade a destra dello stesso; (2) la numerosità dei *flanker* per ogni *trial*; (3) osservazioni comportamentali per rilevare stanchezza, distrazione, agitazione motoria e altro che possa influire sulla capacità di attenzione del soggetto e quindi sull'accuratezza delle sue risposte.

### 3.4 Domande Sperimentali

Attraverso questo studio si è cercato di trovare risposta a diverse domande sperimentali.

Il compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche, nella fase di *intuition*, è stato introdotto per studiare l'associazione spazio-numerica con un paradigma già testato su pulcini (Rugani et al., 2015; Rugani, Vallortigara, Priftis, Regolin, 2020), neonati (Di Giorgio et al., 2019) e api (Giurfa et al., 2022), riadattato per infanti tra i 3 e i 5 anni di età.

La domanda di ricerca a cui vuole rispondere la fase iniziale (*intuition*) di questo compito vuole quindi esplorare se:

1. È possibile misurare l'associazione spazio-numerica in bambini in età prescolare adattando un paradigma di scelta già utilizzato nella ricerca comparata con altre tipologie di soggetti.

Lo stesso compito, nelle fasi di *training* e di test, utilizza una differente metodologia per lo studio dell'associazione spazio-numerica. In particolare, durante il *training*, al bambino viene insegnata una regola attraverso rinforzi positivi ("fuochi d'artificio") "congruenti" o "incongruenti" con la rappresentazione spaziale dei numeri orientata da sinistra a destra. Ci si aspetta di osservare in generale una maggiore difficoltà nell'apprendere la regola nel caso di *training* e *test* "incongruenti" poiché questa condizione fornisce rinforzi non coerenti con la direzione attesa della LNM, che è quella sinistra-destra. L'obiettivo del test è osservare se i bambini arrivano a comprendere la regola, scegliendo più

frequentemente la carta che fornisce loro un *feedback* positivo. Ci si aspetta che l'apprendimento della regola avvenga con maggior facilità per i partecipanti con condizione di rinforzo (e regola) "congruente". La domanda di ricerca per queste fasi del compito vuole indagare se:

2. È possibile osservare una direzionalità della LNM in bambini in età prescolare utilizzando un paradigma di scelta con numerosità non simboliche con questa nuova metodologia.

Per il compito di bisezione di linea, si è voluto proporre un test computerizzato in cui poter mantenere un elevato grado di accuratezza nella presentazione degli stimoli e grazie al quale è stato possibile ridurre al minimo l'errore umano nella fase di misurazione. L'esperimento si ispira ad un precedente studio in cui il compito di bisezione di linee veniva esplorato in presenza di *flankers* laterali, disposti in prossimità delle estremità laterali, e rappresentanti numerosità diverse, 2-9 e 9-2 (De Hevia e Spelke, 2009). La bisezione risultava essere influenzata maggiormente dalla numerosità più grande, portando i partecipanti ad identificare erroneamente il centro come più vicino al lato su cui era rappresentata la numerosità maggiore. Nel presente lavoro, per escludere la possibile influenza dell'effetto grandezza e per focalizzarsi sull'associazione spazio-numerica, i *flankers* erano stimoli con numerosità 2-2 oppure 8-8.

Per questo compito la domanda sperimentale è la seguente:



3. L'effetto per cui con numerosità piccole si tende a dirigere l'attenzione verso lo spazio di sinistra e con numerosità grandi verso destra, sostiene l'ipotesi di una linea numerica mentale orientata da sinistra verso destra. Si vuole indagare se questo effetto sia osservabile con il paradigma della bisezione di linea con stimoli "affiancati" in bambini in età prescolare.

## 4. Analisi statistiche

### 4.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche

Le analisi di questo studio sono state differenziate per ogni fase del compito, poiché, come visto nel capitolo precedente, si riferiscono a ipotesi sperimentali diverse.

Nella fase iniziale di *intuition*, che avviene subito dopo una familiarizzazione con numerosità 5, dai risultati degli studi di Rugani e colleghi (2015) e Di Giorgio e colleghi (2019) ci si aspetta che la scelta dei bambini ricada maggiormente sulla carta di sinistra quando la numerosità rappresentata è 2 e sulla carta di destra quando la numerosità rappresentata è 8.

La variabile dipendente è costituita dalla direzione di scelta (destra vs sinistra), mentre la variabile indipendente è la numerosità rappresentata (2 oppure 8). Il disegno sperimentale di questa fase è entro i partecipanti, poiché entrambe le condizioni di numerosità sono state proposte a tutti i partecipanti. Per osservare se ci sono differenze statisticamente significative nella direzione di scelta tra le condizioni di numerosità rappresentata, è stata applicata un'analisi binomiale a due code.

Nella fase di *training* si vuole osservare se c'è un miglioramento tra le prestazioni in termini di scelte corrette tra il primo blocco e il secondo blocco. Ci si aspetta che il miglioramento per i bambini con condizione di rinforzo "congruente" sia più marcato rispetto ai bambini con condizione "incongruente",

poiché quest'ultima condizione fornisce rinforzi non coerenti con la direzione attesa della LNM. In questa fase, la variabile dipendente è costituita dall'accuratezza, misurata come proporzione di risposte corrette entro ciascuna condizione. Le variabili indipendenti considerate sono la sessione di *training* (primo o secondo blocco); la numerosità rappresentata (2 oppure 8); la condizione di *training* ("congruente" oppure "incongruente"). Il disegno sperimentale di questa fase è misto: entro i partecipanti per le variabili sessione di *training* e numerosità rappresentata; tra i partecipanti per la variabile condizione di *training*. Per osservare gli effetti delle variabili indipendenti sulla variabile dipendente, sono stati utilizzati i GLMM (*Generalized Linear Mixed Model*) con le tre variabili indipendenti (sessione di *training*, numerosità rappresentata, condizione di *training*) come parametri per gli effetti fissi e i partecipanti come effetti casuali. In particolare sono stati testati 9 modelli: uno con l'interazione a 3 vie tra i predittori, uno con tutte le interazioni a 2 vie, tre modelli con due interazioni a 2 vie, tre modelli con un'interazione a 2 vie e un modello con solo gli effetti principali. Si è poi deciso di effettuare confronti attraverso l'ANOVA tra i modelli per verificare quale si adattasse meglio ai dati.

Nella fase di test si vuole osservare se i bambini con condizione di rinforzo "congruente" hanno prestazioni migliori dei bambini con condizione di rinforzo "incongruente". La variabile dipendente in questa fase è costituita dall'accuratezza, misurata come proporzione di risposte corrette. Le variabili indipendenti considerate sono la numerosità rappresentata (2 oppure 8) e la condizione di *training* ("congruente" oppure "incongruente"). Il disegno sperimentale di questa fase è misto: entro i partecipanti per la variabile

numerosità rappresentata e tra i partecipanti per la variabile condizione di *training*. Per osservare gli effetti delle variabili indipendenti sulla variabile dipendente, sono stati utilizzati i GLMM (*Generalized Linear Mixed Model*) con le due variabili indipendenti (numerosità rappresentata, condizione di *training*) come parametri per gli effetti fissi e i partecipanti come effetti casuali. In particolare sono stati testati 2 modelli: uno con l'interazione a 2 vie tra i predittori e uno con solo gli effetti principali. Si è poi deciso di effettuare una ANOVA tra i modelli per verificare quale si adattasse meglio ai dati.

#### **4.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate**

Per questo compito, in cui volutamente non si può osservare un effetto dovuto alla differenza della *magnitudo* raffigurata nei due stimoli, come invece accade in De Hevia e Spelke (2009), si vuole osservare se la bisezione di linea in condizione di *flanker* 8 sia differente dalla bisezione con *flanker* 2. Ci si chiede quindi se tale paradigma possa misurare un'associazione spazio-numerica in bambini in età prescolare. In tal caso si osserverebbe una tendenza bisecare la linea alla sinistra del centro geometrico quando i *flanker* raffigurano 2 elementi e a destra quando questi raffigurano 8 elementi. La variabile indipendente in questo studio è la condizione di *flanker*, mentre la variabile dipendente indagata è costituita dal punto di bisezione.

Per rispondere alla domanda di ricerca iniziale, il confronto si è focalizzato tra la condizione di bisezione con *flanker* 2 e quella con *flanker* 8. Il disegno

sperimentale di questo studio è entro i partecipanti, poiché entrambe le condizioni di *flanker* sono state proposte a tutti i partecipanti.

Dopo aver effettuato un'analisi esplorativa iniziale, sono stati identificati gli *outlier* selezionando i partecipanti i cui valori si discostavano di più di 2 deviazioni standard dalla media. Sono quindi stati rimossi 6 partecipanti.

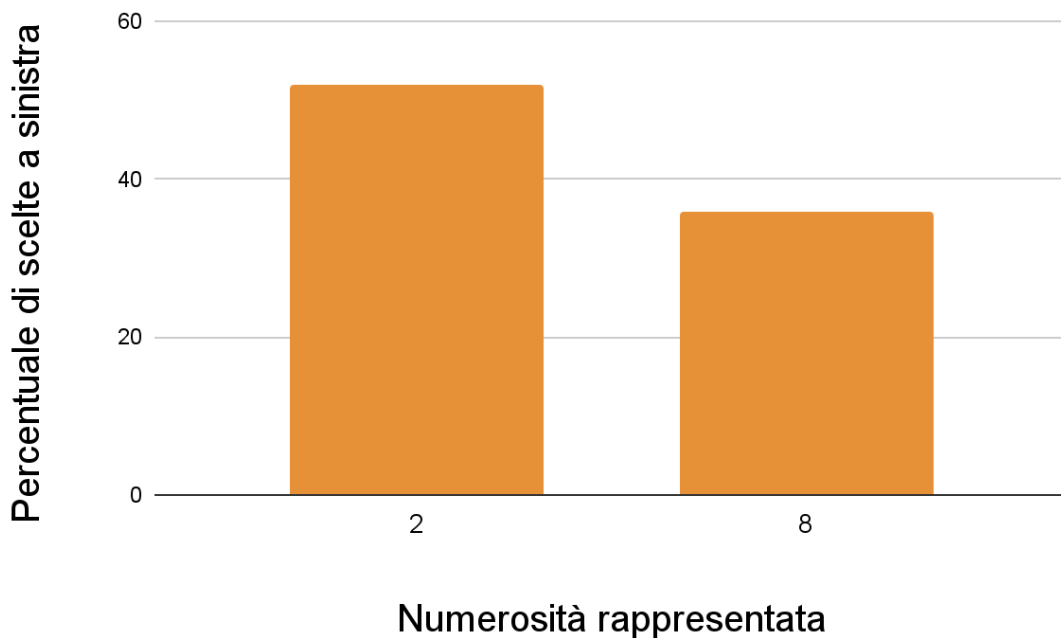
Le due differenti distribuzioni risultano essere non normali poiché presentano una curtosi elevata, ma la *skew* e la mediana mostrano una mantenuta simmetria (Tabella 2). Questi valori, congiuntamente all'osservazione dei grafici, indicano che non è presente uno sbilanciamento sistematico della bisezione verso uno dei due lati e il campione finale è inoltre sufficientemente numeroso (54 bambini). Per questi motivi si è ritenuto di utilizzare per i confronti un test parametrico (t-test per campioni appaiati).

Tutte le analisi sono state effettuate utilizzando il software RStudio per sistema operativo Linux, nella versione 1.2.1335-amd64. Sono stati utilizzati i pacchetti “ggplot2”, “dplyr”, “lme4”.

## RISULTATI

### 5.1 Compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche

Per la fase *intuition* ho misurato la percentuale di scelte a sinistra nelle due condizioni di numerosità presentata, ovvero 2 oppure 8 (Figura 19).

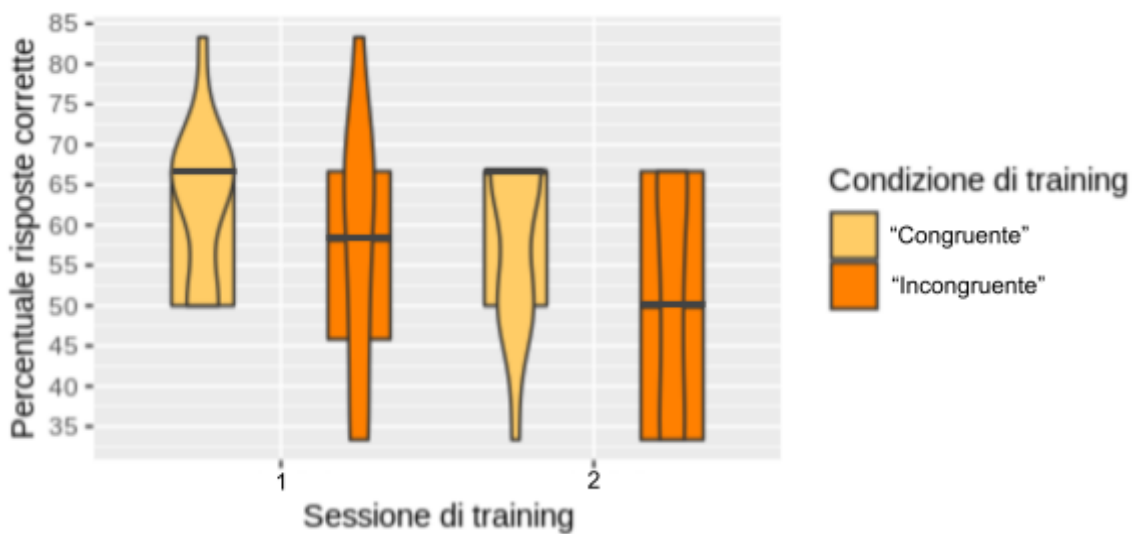


**Fig. 19** - Percentuale di scelte a sinistra per numerosità rappresentata.

In media, la percentuale scelte a sinistra nella condizione di numerosità 2 (52%) era maggiore di quelle nella condizione di numerosità 8 (36%). Tuttavia, un'analisi binomiale a due code ha mostrato che la differenza tra percentuali di scelta a sinistra non era statisticamente significativa,  $p = 0.36$ . Anche le

differenze tra le due percentuali e il caso sono risultate non essere statisticamente significative ( $p=0.84$  per numerosità 2;  $p=0.16$  per numerosità 8).

Per la fase *training* si osservi il grafico della distribuzione della percentuale di risposte corrette per ciascun partecipante nelle diverse sessioni di *training*, suddiviso per condizione “congruente” e “incongruente” (Figura 20):



**Fig. 20** - Boxplot e violinplot della percentuale di risposte corrette suddivisa per condizione di *training* e sessione.

I diversi modelli GLMM testati sono riportati in Tabella 2:

Modello n.	Tipologia	Variabili coinvolte
1	con una interazione 3-way	S*N*C
2	con tutte le interazioni 2-way	S*N+N*C+C*S
3	con due interazioni 2-way	C*S+C*N
4	con due interazioni 2-way	C*S+N*S
5	con due interazioni 2-way	N*S+C*N
6	con una interazione 2-way	C*S
7	con una interazione 2-way	C*N
8	con una interazione 2-way	N*S
9	solo effetti principali	S+N+C

**Tab. 2** - Tipologia di modelli utilizzati. Le variabili indipendenti “sessione di *training*” (prima oppure seconda), “numerosità rappresentata” (2 oppure 8) e “condizione di *training*” (“congruente” vs “incongruente”) sono indicate rispettivamente dalle lettere “S”, “N” e “C”. Il simbolo “+” indica una mancata interazione tra i fattori, mentre il simbolo “\*” indica un’interazione tra i fattori.



Gli indici di adattamento di ciascun modello sono riportati in Tabella 3:

Modello n.	npar	AIC	BIC	Chisq
1	9	423.36	456.70	405.36
2	8	421.47	451.10	405.47
3	7	421.77	447.69	407.77
4	7	419.48	445.40	405.48
5	7	419.47	445.40	405.47
6	6	419.78	442.00	407.78
7	6	419.78	442.00	407.78
8	6	419.48	439.71	405.48
9	5	419.79	436.31	407.79

**Tab. 3** - Indici di adattamento dei modelli GLMM.

“Npar” si riferisce al numero dei parametri del singolo modello.

“AIC” indica l’*Akaike Information Criterion*, “BIC” il *Bayesian Information Criterion* e sono indici di *fitness*, ovvero indicano la bontà di adattamento ai dati del modello. Più basso è il loro valore, migliore sarà l’adattamento del modello. “Chisq” indica il valore della distribuzione chi-quadrato.

I confronti tra l'adattamento (Chi Quadrato) dei vari modelli sono riportati nella tabella 4:

Confronto tra modelli	Delta Chisq	Df	Pr(>Chisq)
1 vs 2	0.11	1	0.74
3 vs 2	2.30	1	0.13
4 vs 2	0.01	1	0.92
5 vs 2	0.00	1	1.00
6 vs 2	2.31	2	0.32
7 vs 2	2.31	2	0.32
8 vs 2	0.01	2	0.99
9 vs 2	2.32	3	0.51
9 vs 3	0.02	2	0.99
9 vs 4	2.31	2	0.32
9 vs 5	2.32	2	0.31
9 vs 6	0.01	1	0.92
9 vs 7	0.01	1	0.92
9 vs 8	2.31	1	0.13

**Tab. 4** - Risultati del confronto tra modelli.

“Delta Chisq” indica la differenza tra i valori di chi-quadrato dei modelli confrontati. “Df” indica i gradi di libertà ed è ottenuto sottraendo tra loro gli “npar” dei modelli confrontati. “Pr(>Chisq)” indica il test di verifica di ipotesi sulla distribuzione del “Delta Chisq” corrispondente.

La non significatività di tutti i confronti indica che è da preferire il modello più semplice che considera tutte le variabili indipendenti, ovvero il numero 9 che considera solo gli effetti principali dei fattori.

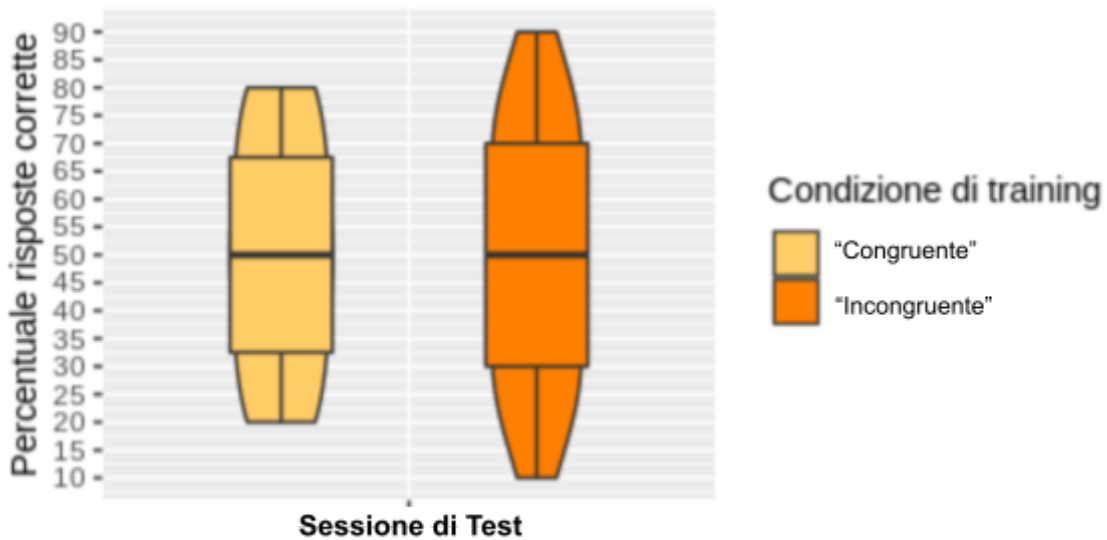
Il modello numero 9 non predice in modo statisticamente significativo la variabile “Percentuale di risposte corrette”, infatti nessun effetto risulta significativo (v. Tabella 5).

<b>Effetti fissi</b>	<b>Parametro B</b>	<b>Errore Standard</b>	<b>valore z</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
Intercetta	0.47	0.23	2.02	0.04
condizione “incongruente”	-0.28	0.23	-1.19	0.24
sessione <i>training</i> n. 2	-0.19	0.23	-0.82	0.41
numerosità osservata 8-8	0.08	0.23	0.35	0.73

**Tab. 5** - Stima dei parametri degli effetti fissi del modello numero 9.

L'errore standard si riferisce al parametro B. “Pr(>|z|)” indica il test di verifica di ipotesi sulla distribuzione del “valore z” corrispondente.

Per la fase test si osservi il grafico della distribuzione della percentuale di risposte corrette per ciascun partecipante suddiviso per condizione “congruente” e “incongruente” (Figura 21):



**Fig. 21** - *Boxplot e violinplot* della percentuale di risposte corrette nella sessione di test suddivisa per condizione di *training*.

I diversi modelli GLMM testati sono riportati in Tabella 6:

Modello n.	Tipologia	Variabili coinvolte
1	con una interazione 2-way	N*C
2	solo effetti principali	N+C

**Tab. 6** - Tipologia di modelli utilizzati. Le variabili indipendenti “numerosità rappresentata” e “condizione di *training*” sono indicate rispettivamente dalle lettere “N” e “C”. Il simbolo “+” indica una mancata interazione, mentre il simbolo “\*” indica un’interazione tra i fattori.

Gli indici di *fit* dei due modelli sono riportati in Tabella 7:

Modello n.	npar	AIC	BIC	Chisq
1	5	344.49	362.09	334.49
2	4	342.65	356.74	334.65

**Tab. 7** - Indici di adattamento dei modelli GLMM.

“Npar” si riferisce al numero dei parametri del singolo modello.

“AIC” indica l’*Akaike Information Criterion*, “BIC” il *Bayesian Information Criterion* e sono indici di *fitness*, ovvero indicano la bontà di adattamento ai dati del modello. Più basso è il loro valore, migliore sarà l’adattamento del modello. “Chisq” indica il valore della distribuzione chi-quadrato.

Il confronto tra i due modelli non risulta significativo (DeltaChiQuadrato=0.16, df=1, p=0.69) e pertanto si preferisce utilizzare il modello che considera solo gli effetti principali, ovvero il modello n. 2 (Tabella 8).

Effetti fissi	parametro B	Errore Standard	valore z	Pr(> z )
Intercetta	-0.38	0.26	-1.43	0.15
condizione “incongruente”	-0.04	0.33	-0.11	0.91
numerosità osservata 8-8	-0.04	0.26	-0.13	0.89

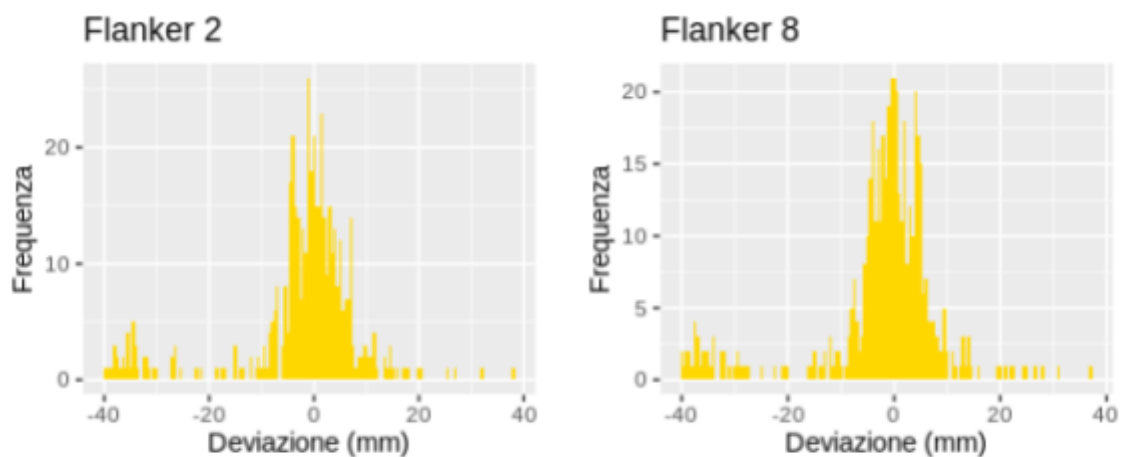
**Tab. 8** - Stima dei parametri degli effetti fissi del modello numero 2.

L’errore standard si riferisce al parametro B. “Pr(>|z|)” indica il test di verifica di ipotesi sulla distribuzione del “valore z” corrispondente.

Il modello numero 2 non predice in modo statisticamente significativo la variabile “Percentuale di risposte corrette”, infatti nessun effetto risulta rilevante (v. Tabella 8).

## 5.2 Compito di bisezione di linea con numerosità affiancate

Il valore di bisezione è stato misurato come deviazione rispetto al centro. Si osservi quindi la distribuzione di questa variabile, suddivisa per condizione di *flanker* (Figura 22).



**Fig. 22** - Distribuzione della Deviazione dal centro per ogni *flanker*.

Entrambi gli istogrammi mostrano la presenza di valori estremi soprattutto a sinistra e le medie sono sbilanciate verso sinistra, con una deviazione standard alta (Tabella 9).

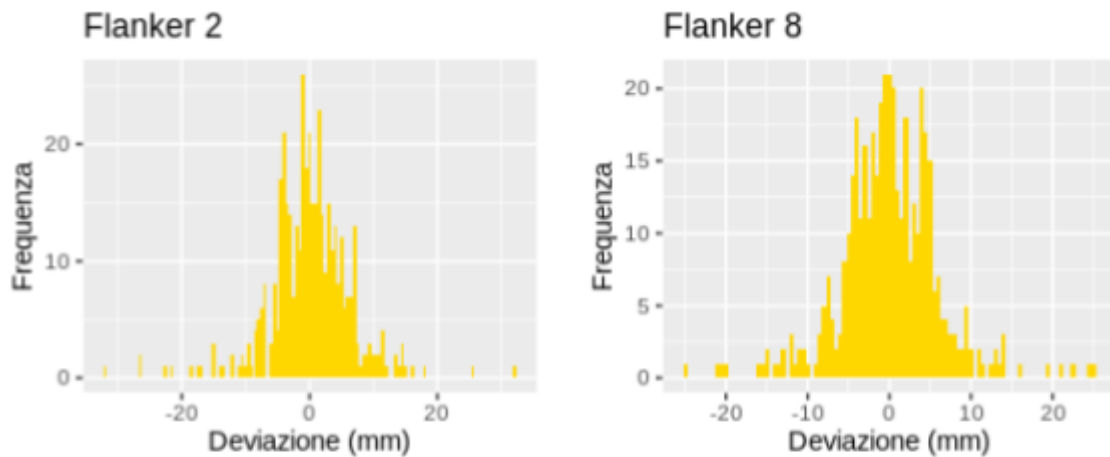
<b>Flanker</b>	<b>Media (mm)</b>	<b>Mediana (mm)</b>	<b>SD</b>	<b>Skew</b>	<b>Curtosi</b>
due	-2.45	-0.16	10.41	-2.02	4.49
otto	-2.35	-0.18	10.22	-2.10	4.95

**Tab. 9** - Statistiche descrittive della variabile dipendente suddivise per *flanker*.

Sono stati quindi individuati i partecipanti i cui valori medi di deviazione si discostano di più di due deviazioni standard dalla media: si tratta di 6 bambini su 60. Mettendo in relazione questa osservazione con quelle raccolte durante la somministrazione del test, è emerso che i partecipanti che presentavano valori estremi non conoscevano il concetto di centro (partecipanti n. 1, n. 3, n. 11, n. 24), non avevano compreso il *task* (partecipante n. 44) o erano particolarmente annoiati e distratti (partecipante n. 16). Si è quindi deciso di escludere i dati di questi soggetti dalle analisi, poiché nel loro caso il *bias* era dovuto a motivazioni non inerenti il compito. Le statistiche descrittive del nuovo campione, riportate in Tabella 10, mostrano una significativa riduzione della variabilità della deviazione dal centro e gli istogrammi mostrano un'aumentata simmetria (Figura 23).

<b>Flanker</b>	<b>Media (mm)</b>	<b>Mediana (mm)</b>	<b>SD</b>	<b>Skew</b>	<b>Curtosi</b>
due	-0.03	0.00	3.52	-0.32	4.41
otto	0.04	0.00	3.38	0.08	2.85

**Tab. 10** - Statistiche descrittive della distribuzione senza gli *outlier*.



**Fig. 23** - Distribuzione della Deviazione senza *outlier*.

Si possono osservare ancora alcune osservazioni *outlier* che però sono ripartite tra diversi soggetti e non sbilanciano la media verso un lato in particolare, quindi si è deciso di mantenerle.

In media, il valore di bisezione per il flanker 8 era leggermente maggiore di quello del flanker 2 (Tabella 10), tuttavia un t-test a due code ha mostrato che la differenza tra medie non era statisticamente significativa,  $t(53) = 0.15$ ,  $p = 0.88$ ,  $r = 0.02$ .



## DISCUSSIONE

Questo studio fa parte di uno studio più ampio in cui si sta cercando, per bambini in età prescolare, di mettere a punto un nuovo paradigma sperimentale per misurare l'associazione spazio-numerica. I due compiti illustrati utilizzano paradigmi diversi per cercare di ottenere misure diverse del fenomeno.

Il compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche contiene tre fasi sperimentali che possono dare misure informative. La prima, di *intuition*, era un tentativo di replicare con bambini in età prescolare i dati raccolti su neonati umani (De Hevia et al., 2014b; Di Giorgio et al., 2019), animali vertebrati (Rugani et al., 2015) e invertebrati (Giurfa et al., 2022). In questo primo test si voleva indagare se dopo una fase di abituazione con una numerosità (cinque) si potesse osservare una tendenza a toccare maggiormente il numero più piccolo (due) nella sua opzione di sinistra e il numero più grande (otto) nella sua opzione di destra. Dai dati raccolti si osserva una tendenza alla scelta orientata come da ipotesi di ricerca, ma le analisi non mostrano confronti statisticamente significativi. I soggetti potrebbero infatti necessitare di più prove per abituarsi allo stimolo di numerosità cinque (fase di familiarizzazione) e/o di istruzioni che indirizzino l'attenzione in modo ancora più esplicito sulla numerosità rappresentata in fase di *intuition*.

Per la fase di *training* si è pensato di inserire un addestramento, inizialmente di 6 prove, in cui ai partecipanti venivano forniti rinforzi per apprendere una regola sottostante, che i bambini dovevano così estrapolare. La regola poteva essere "congruente", ovvero forniva rinforzi positivi quando veniva scelta la carta di

sinistra con numerosità 2 e la carta di destra con numerosità 8, oppure “incongruente”, ovvero forniva rinforzi positivi se il soggetto sceglieva a sinistra con numerosità 8 e a destra con numerosità 2. Si pensava che la regola “congruente” potesse facilitare l’apprendimento rispetto a quella “incongruente” e che quindi i soggetti assegnati alla prima condizione mostrassero di estrapolare la regola più velocemente degli altri. Dopo aver testato i bambini nelle prime scuole, si è osservato che le 6 prove non erano sufficienti e si è deciso di proporre il blocco di *training* per due volte a ogni partecipante, aumentando quindi il numero di prove a 12. I dati analizzati sembrano muoversi nella direzione attesa dall’ipotesi di ricerca, ovvero i bambini assegnati alla condizione “congruente” mostrano prestazioni migliori di quelli con regola “incongruente”, ma non risultano differenze significative tra le condizioni. Questo è probabilmente da attribuire alla bassa numerosità del campione finale, che risulta essere di 25 bambini, determinata dal cambiamento del test avvenuto *in itinere*. Il campione sarà quindi incrementato in futuro. Un’altra possibile spiegazione tiene in considerazione la lunghezza del *training*, che potrebbe non essere sufficiente a sostenere l’apprendimento della regola: si potrebbe quindi provare a incrementare di un blocco questa fase.

Nell’ultima parte del compito è stato inserito un test per misurare l’apprendimento dei soggetti. Si è in realtà osservato che un ordine randomizzato delle numerosità ha probabilmente confuso i bambini, che non sono stati in grado di imparare la regola e hanno quindi avuto prestazioni non diverse dal caso in entrambe le condizioni (“congruente” e “incongruente”). Questo può essere spiegato da una difficoltà nella comprensione del compito,

che può essere ovviata ottimizzando le istruzioni, oppure dall'incapacità di apprendere una regola con un allenamento di 12 *trial*.

Nel compito di bisezione di linea con numerosità affiancate è stato utilizzato un paradigma noto in letteratura (Heilman, Watson, Valenstein, 1985), ottimizzato per lo studio dell'associazione spazio-numerica e ci si è ispirati allo studio di De Hevia e Spelke (2009). Il paradigma così declinato sembra però misurare la relazione spazio-numerica dal punto di vista dell'effetto della disparità numerica tra le due *magnitudo*. Resta quindi l'ipotesi di un *bias* maggiormente percettivo piuttosto che strettamente numerico (Cleland, Bull, 2015). Il paradigma è stato quindi adattato allo scopo del presente studio, ovvero misurare se l'informazione numerica ai lati della linea, per quanto uguale a sinistra e destra, portasse a uno sbilanciamento nella bisezione dei soggetti. La fase di *recall* è stata inserita per spingere i soggetti a dirigere l'attenzione sulle numerosità che affiancano la linea, prima di effettuare la bisezione. La non significatività dei risultati trovati potrebbe essere dovuta a una mancata attenzione verso lo stimolo numerico oppure a una scarsa adeguatezza del paradigma per misurare l'associazione spazio-numerica nell'accezione della direzionalità.

Si osservi inoltre che, a differenza di De Hevia e Spelke (2009), il compito è stato proposto con uno schermo *touch*. Uno studio che ha utilizzato il *mouse tracker* per un compito di bisezione di linea (Ranzini, Borghi, Nicoletti, 2011) ha mostrato che la modalità di esecuzione può influenzare la prestazione. Sarebbe

quindi interessante replicare questo compito in modalità carta-matita e confrontare i dati raccolti.

### **6.1 Limiti e direzioni future**

Il presente studio potrebbe essere ottimizzato in alcuni aspetti. Per il compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche, si potrebbero aumentare le prove di abituazione per osservare se questo aiuti i bambini a mostrare un'associazione spazio-numerica "direzionale" nella successiva fase di *intuition*. Negli esperimenti che hanno utilizzato questo paradigma con pulcini e api, infatti, le prove di associazione della numerosità di abituazione con il rinforzo positivo erano rispettivamente 20 (Rugani et al., 2015) e 30 (Giurfa et al., 2022), mentre il presente studio prevedeva solo 6 prove in quella fase.

Per la fase di *intuition*, in futuro si potrebbe enfatizzare la salienza delle numerosità rappresentate con istruzioni più mirate oppure con effetti sonori o visivi aggiuntivi. Un'altra possibilità interessante riguarda l'impiego dell'*eye tracker*, per monitorare i movimenti oculari. Il *software* che elabora i dati raccolti permette di osservare le fissazioni oculari e quindi di documentare quali stimoli attraggono maggiormente l'attenzione (Macchi Cassia, Valenza, Simion, 2012). Questo strumento è stato già utilizzato su infanti di 5 mesi (Bremner et al., 2017) per lo studio delle abilità proto-aritmetiche ed è quindi facilmente adattabile anche a bambini in età prescolare. Nel compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche, questo strumento potrebbe fornire informazioni

importanti sulla direzione dello sguardo (sinistra, destra) e sul mantenimento dell'attenzione attraverso la valutazione del tempo di fissazione in relazione alla numerosità presentata.

Per il compito di bisezione di linea con numerosità affiancate invece, col suo utilizzo si potrebbe ovviare alla parte di *recall* perché permetterebbe di osservare se l'attenzione è riposta preferibilmente a destra o a sinistra. Si potrebbe poi correlare tale informazione con la numerosità presentata.

Per il compito di scelta, in futuro si potrebbero allungare le prove della fase di *training* per sostenere l'apprendimento della regola: questo potrebbe aiutare a osservare una differenza tra le due condizioni ("congruente" e "incongruente") nelle fasi di *training* e di test.

Come illustrato nel paragrafo precedente, il compito di bisezione potrebbe fornire risultati differenti in relazione alla sua modalità di presentazione. Future ricerche potrebbero quindi replicare questo compito anche carta-matita e confrontare i dati, per escludere che possano essere stati inficiati dalla modalità di esecuzione del compito. Il campione sperimentale è risultato limitato e non ha raggiunto il *sample size* pre-determinato a causa della situazione epidemiologica e della modifica *in itinere* del compito di scelta tra stimoli con informazioni numeriche.

Un'altra possibilità per il futuro consiste nel suddividere il campione in sottogruppi che differiscono per l'ordine di somministrazione dei test per osservare se questo influisca sulle prestazioni. In questa ricerca infatti i partecipanti sono stati testati con un unico ordine di presentazione dei compiti.

Infine, questo studio fa parte di una ricerca più ampia che prevede l'utilizzo anche di prove cartacee per valutare lessico, memoria di lavoro e abilità numeriche: questi dati sono stati raccolti ma esulano dagli scopi di questo lavoro di tesi. In futuro si potrebbe quindi mettere in relazione questi risultati con quelli dei test computerizzati, per osservare se correlano.

## CONCLUSIONI

L'obiettivo sottostante l'ideazione di questo studio è stato quello di approfondire l'associazione spazio-numerica dei bambini in età prescolare con diversi paradigmi. La ricerca in questa fascia d'età potrebbe infatti fornire ulteriori informazioni sulla presenza e sul grado di una direzionalità del fenomeno prima di un'esposizione all'educazione formale. Lo studio è stato guidato da una serie di domande sperimentali, alla quale si è cercato di dare risposta attraverso due compiti: quello di bisezione di linea con numerosità affiancate e quello di scelta tra stimoli con informazioni numeriche. L'assenza di evidenze riscontrate potrebbe non essere legata al paradigma ma alla modalità di somministrazione del compito, almeno per il compito di scelta. Per quest'ultimo infatti i dati sembrano muoversi nella direzione attesa e alcune modifiche potrebbero essere determinanti. Per il compito di bisezione, invece, la modalità di presentazione su schermo *touch* potrebbe non essere la più indicata; oppure il paradigma potrebbe misurare l'associazione spazio-numerica nell'accezione di effetto *magnitudo* invece che di direzionalità di scelta. In futuro sarebbe quindi interessante apportare le migliorie di cui si è discusso per osservare se i paradigmi utilizzati misurano l'associazione spazio-numerica nell'accezione di interesse. Questo studio costituisce quindi un'importante base di partenza per future ricerche.

Il presente lavoro è stato svolto come parte di un progetto di ricerca guidato da Rosa Rugani e Silvia Benavides Varela. Giada Zampieri ha contribuito ad una parte di tale progetto atta a soddisfare i criteri per il completamento del tirocinio formativo ai fini del conseguimento della laurea Magistrale.

Contributo degli autori: Rosa Rugani e Silvia Benavides Varela.



## BIBLIOGRAFIA:

Adachi, I. (2014). Spontaneous Spatial Mapping of Learned Sequence in Chimpanzees: Evidence for a SNARC-Like Effect. *PLoS ONE*, 9(3), e90373.

Agrillo, C., Piffer, L, Adriano, A. (2013). Individual differences in non-symbolic numerical abilities predict mathematical achievements but contradict ATOM. *Behavioral and Brain Functions*, 9:26.

Andres, M., Ostry, D., Nicol, F., Paus, T. (2008). Time course of number magnitude interference during grasping. *Cortex*, 44(4), 414–419.

Antell, S.E., Keating, D.P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development*, 54(3), 695–701.

Atkinson, J., Campbell, F.W., Francis, M.R. (1976). The Magic Number  $4 \pm 0$ : A New Look at Visual Numerosity Judgements. *Perception*, 5(3), 327–334.

Aulet, L.S., Lourenco, S.F. (2018). The developing mental number line: Does its directionality relate to 5- to 7-year-old children's mathematical abilities? *Frontiers in Psychology*, 9. 1142.

Barth, H., Kanwisher, N., Spelke, E.S. (2003). The construction of large number representations in adults. *Cognition, Vol. 86, Issue 3, 201-221.*

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Spelke, E.S. (2005). Abstract number and arithmetic in young children. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 39, 14117–14121.*

Beran, M.J., Decker, S., Schwartz, A., Schultz, N. (2011). Monkeys (*Macaca mulatta* and *Cebus apella*) and human adults and children (*Homo sapiens*) compare subsets of moving stimuli based on numerosity. *Frontiers of Psychology, 2: 61.*

Booth, J.L., Siegler, R.S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development, 79 (4), 1016-1031.*

Bremner, J.G., Slater, A.M., Hayes, R.A., Mason, U.C., Murphy, C., Spring, J., Draper, L., Gaskell, D., Johnson, S.P. (2017). Young infants' visual fixation patterns in addition and subtraction tasks support an object tracking account. *Journal of Experimental Child Psychology, 162, 199-208.*

Bull, R., Cleland, A.A, Mitchell, T. (2013). Sex differences in the spatial representation of number. *Journal of Experimental Psychology: General, 142 (1), 181-192.*

Cantlon, J.F., Merritt, D.J., Brannon, E.M. (2016). Monkeys display classic signatures of human symbolic arithmetic. *Animal Cognition*, Vol. 19, 405–415.

Casarotti, M., Michielin, M., Zorzi, M., Umiltà, C. (2007). Temporal order judgment reveals how number magnitude affects visuospatial attention. *Cognition*, 102(1), 101–117.

Case, R., Okamoto, Y. (1996). The role of central conceptual structures in the development of children's thought. *Society for Research in Child Development*. University of Chicago Press.

Cipora, K., Hohol, M., Nuerk, H.C., Willmes, K., Brożek, B., Kucharzyk, B., Nęcka, E. (2016). Professional mathematicians differ from controls in their spatial-numerical associations. *Psychological Research*, 80 (4), 710-726.

Cipora, K., Nuerk, H.C. (2013). Is the SNARC effect related to the level of mathematics? No systematic relationship observed despite more power, more repetitions, and more direct assessment of arithmetic skill. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66 (10), 1974-1991.

Cleland, A.A., Bull, R. (2015). The role of numerical and non-numerical cues in nonsymbolic number processing: Evidence from the line bisection task. *Quarterly journal of experimental psychology*, 68(9), 1844-59.

Cutini, S., Scarpa, F., Scatturin, P., Dell'Acqua, R., Zorzi, M. (2014). Number–Space Interactions in the Human Parietal Cortex: Enlightening the SNARC Effect with Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Cerebral Cortex*, Vol. 24, Issue 2, 444–451

De Hevia, M.D. (2021). How the human mind grounds numerical quantities on space. *Child Development Perspectives*, 15 (1), 44-50.

De Hevia, M.D., Girelli L., Vallar G. (2006). Numbers and space: a cognitive illusion? *Experimental Brain Research*. Vol. 168, 254–264.

De Hevia, M.D., Spelke, E.S. (2009). Spontaneous mapping of number and space in adults and young children. *Cognition* 110, 198-207.

De Hevia, M.D., Girelli, L., Addabbo, M., Macchi Cassia, V. (2014a). Human Infants' Preference for Left-to-Right Oriented Increasing Numerical Sequences. *PLOS ONE* 9, e96412.

De Hevia, M.D., Izard, V., Coubart, A., Spelke, E.S., Streri, A. (2014b). Representations of space, time, and number in neonates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(13).

De Hevia, M.D., Spelke, E.S. (2010) Number-Space Mapping in Human Infants. *Psychological Science*, 21(5):653-60.

Dehaene, S. (1997). The number sense. How the mind creates Mathematics. *Oxford University Press, Oxford*; trad. it. Il pallino della matematica. Scoprire il genio dei numeri che è in noi. *Raffaello Cortina, Milano (2010)*.

Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber-Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Science*, Vol. 7, No. 4, 145-147.

Dehaene, S. (2011). The number sense: How the mind creates mathematics (Rev. and updated ed). *Oxford University Press*.

Dehaene, S., Bossini, S., Giraux, P. (1993). The Mental Representation of Parity and Number Magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General* 1993. Vol. 122, No. 3, 371-396.

Dehaene, S., Izard, V., Spelke, E.S., Pica, P. (2008). Log or linear? Distinct intuitions of the number scale in Western and Amazonian indigene cultures. *Science* 320(5880):1217-20.

Dehaene S., Piazza M., Pinel P., Cohen L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20:3-6, 487-506.

Dehaene, S., Spelke, E.S., Pinel, P., Stanescu, R., Tsivkin, S. (1999). Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence. *Science*, Vol. 284, Issue 5416, 970-974.

Di Giorgio, E., Lunghi, M., Rugani, R., Regolin, L., Dalla Barba, B., Vallortigara, G., Simion, F. (2019). A mental number line in human newborns. *Developmental Science*, 22(6), 1–10.

Drucker, C.B., Brannon, E.M. (2014). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) map number onto space. *Cognition*, 132(1), 57–67.

Ebersbach, M., Luwel, K., Verschaffel, L. (2014). Further evidence for a spatial-numerical association in children before formal schooling. *Experimental Psychology*, 61(4), 323–329.

Feigenson, L., Carey, S. (2003). Tracking individuals via object-files: evidence from infants' manual search. *Developmental Science*, 6(5), 568–584.

Feigenson, L., Carey, S., Hauser, M. (2002). The representations underlying infants' choice of more: object-files versus analog magnitudes. *Psychological Science* 13, 150–156.

Feigenson, L., Dehaene, S., Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, Issue 7, 307-314.

Fischer, M.H. (2001). Number processing induces spatial performance biases. *Neurology*, 57, 822-826.

Fischer, M., Castel, A., Dodd, M., Pratt, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 6, 555–556.

Fischer, M.H., Shaki, S. (2014). Spatial associations in numerical cognition—from single digits to arithmetic. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67 (8), 1461-1483.

Friso-van den Bos, I., Kroesbergen, E.H., Van Luit, J.E.H., Xenidou-Dervou, I., Jonkman, L.M., Van der Schoot, M., Van Lieshout, E.C.D.M. (2015). Longitudinal development of number line estimation and mathematics performance in primary school children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 134,. 12-29.

Galton, F. (1880). Visualised Numerals. *Nature*, 21(533), 252–256.

Gazes, R.P., Diamond, R.F.L., Hope, J.M., Caillaud, D., Stoinski, T.S., Hampton, R.R. (2017). Spatial representation of magnitude in gorillas and orangutans. *Cognition*, 168, 312–319.

Gervers, W., Lammertyn, J. (2005). The hunt for SNARC. *Psychology Science*, Vol. 47, 2005 (1), 10 - 21.

Gianelli, C., Ranzini, M., Marzocchi, M., Rettore Micheli, L., Borghi, A.M. (2012). Influence of numerical magnitudes on the free choice of an object position. *Cognitive Processing*, 13(S1), 185–188.

Giurfa, M., Marcourt, C., Hilpert, P., Thevenot, C., Rugani, R. (2022). An insect brain organizes numbers on a left-to-right mental number line. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(44), e2203584119.

Göbel S.M., Shaki S., Fischer M.H. (2011). The Cultural Number Line: A Review of Cultural and Linguistic Influences on the Development of Number Processing. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 42(4):543-565.

Halberda, J., Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "number sense": The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, 44(5), 1457–1465.

Hauser, M.D. (2000). *Wild Minds: What Animals Really Think*. New York: Henry Holt, Inc.

Hauser, M.D., Spelke, E.S. (to appear in 2004). Evolutionary and developmental foundations of human knowledge. Chapter for "The Cognitive Neurosciences,



III" (Ed. M. Gazzaniga; sub-section editor: N. Logothetis), *Cambridge, MIT Press*.

Heilman, K.M., Watson, R.T., Valenstein, E. (1985). Neglect and related disorders. In: Heilman KM, Valenstein E, eds. *Clinical neuropsychology*. Oxford: University Press, 243–293.

Hoffmann, D., Hornung, C., Martin, R., Schiltz, C. (2013). Developing number–space associations: SNARC effects using a color discrimination task in 5-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(4), 775-791.

Hoffmann, D., Mussolin, C., Martin, R., Schiltz, C. (2014). The impact of mathematical proficiency on the number-space association. *PLoS ONE*, 9 (1), e85048.

Hubbard, E.M., Piazza, M., Pinel, P., Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 435-448.

Imbo, I., De Brauwer, J., Fias, W., Gevers, W. (2012). The development of the SNARC effect: Evidence for early verbal coding. *Journal of Experimental Child Psychology*, Vol. 111, 4, 671-680.

Kanjlia S., Feigenson L., Bedny M. (2008). Numerical cognition is resilient to dramatic changes in early sensory experience. *Cognition*, 179:111-120.

Leibovich, T., Katzin, N., Harel, M., Henik, A. (2017). From “sense of number” to “sense of magnitude”: The role of continuous magnitudes in numerical cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 40.

Lindemann, O., Abolafia, J.M., Girardi, G., Bekkering, H. (2007). Getting a grip on numbers: Numerical magnitude priming in object grasping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(6), 1400–1409.

Lipton, J., Spelke, E.S. (2004). Discrimination of large and small numerosities by human infants. *Infancy*, 5, 271–290.

Lipton, J.S., Spelke, E.S. (2003). Origins of Number Sense: Large-Number Discrimination in Human Infants. *Psychological Science*, Vol. 14, issue: 5, 396-401.

Lopiccolo, D., Chang, C.B. (2021). Cultural factors weaken but do not reverse left-to-right spatial biases in numerosity processing: Data from Arabic and English monoliterates and Arabic-English biliterates. *PLoS One*, 16(12):e0261146.

Lucangeli, D., Mammarella, I.C. (Eds.). (2010). *Psicologia della cognizione numerica: approcci teorici, valutazione e intervento. Angeli.*

Macchi Cassia, V., Valenza, E., Simion, F. (2012). *Lo sviluppo della mente umana. Dalle teorie classiche ai nuovi orientamenti. Il mulino.*

Mandler, G., Shebo, B.J. (1982). Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111(1), 1–22.

Mapelli, D., Rusconi, E., Umiltà, C. (2003). The SNARC effect: An instance of the Simon effect? *Cognition*, 88(3), B1–B10.

McClelland, J.L. (1985). Distributed Models of Cognitive Processes: Applications to Learning and Memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 444, issue 1 *Memory Dysfun*, 1-9

McCrink, K., Opfer, J.E. (2014). Development of Spatial-Numerical Associations. *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 23(6) 439–445.

McCrink, K., Wynn, K. (2004). Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychological Science*, 15, 776–781.

Mills, K.J., Rousseau, B.R., Gonzalez, C.L.R. (2014). A cross-sectional developmental examination of the SNARC effect in a visually-guided grasping task. *Neuropsychologia*, Vol. 58, 99-106.

Mou, Y., vanMarle, K. (2014). Two core systems of numerical representation in infants. *Developmental Review*, Vol. 34, 1, 1-25.

Muldoon, K., Towse, J. , Simms, V., Perra, O., Menzies, V. (2013). A longitudinal analysis of estimation, counting skills, and mathematical ability across the first school year. *Developmental Psychology*, 49 (2), 250-257.

Nieder, A., Miller, E.K. (2003). Coding of cognitive magnitude: Compressed scaling of numerical information in the primate prefrontal cortex. *Neuron*, 37(1), 149-157.

Opfer, J.E., Thompson, C.A., Furlong, E.E. (2010). Early development of spatial-numeric associations: Evidence from spatial and quantitative performance of preschoolers. *Developmental Science*, 13(5), 761–771.

Patro, K., Haman, M. (2012). The spatial–numerical congruity effect in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(3), 534–542.

Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (12), 542–551.

Piazza, M. (2011). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Space, Time and Number in the Brain. Academic Press, 14(12), 267–285.*

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science, 306, 499–503.*

Ranzini, M., Borghi, A.M., Nicoletti, R. (2011). With hands I do not centre! Action- and object-related effects of hand-cueing in the line bisection. *Neuropsychologia, Vol. 49, Issue 10, 2918-2928.*

Rugani, R., Betti, S., Sartori, L. (2018). Numerical Affordance Influences Action Execution: A Kinematic Study of Finger Movement. *Frontiers in Psychology, 9, 637.*

Rugani, R., de Hevia, M.D. (2017). Number-space associations without language: Evidence from preverbal human infants and non-human animal species. *Psychonomic Bulletin & Review 24, 352–369.*

Rugani, R., Kelly, D.M., Szelest, I., Regolin, L., Vallortigara, G. (2010). Is it only humans that count from left to right? *Biology Letters, 6(3), 290–292.*

Rugani, R., Vallortigara, G., Priftis, K., Regolin, L. (2015). Number-space mapping in the newborn chick resembles humans' mental number line. *Science*, 347 (6221), 534-536.

Rugani, R., Vallortigara, G., Priftis, K., Regolin, L. (2020) Numerical magnitude, rather than individual bias, explains spatial numerical association in newborn chicks. *eLife* 9:e54662.

Rugani, R., Zhang, Y., Ahmed, N., Brannon, E. (2022). Children perform better on left than right targets in an ordinal task. *Acta Psychologica*, Vol. 226, 103560.

Santos, L.R., Hughes, K.D. (2009). Economic cognition in humans and animals: the search for core mechanisms. *Current Opinion in Neurobiology*, Vol. 19, Issue 1, 63-66.

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.

Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., De Smedt, B., Torbeyns, J., Verschaffel, L., Luwel, K. (2018). Associations of Number Line Estimation With Mathematical Competence: A Meta-analysis. *Child Development*, Vol. 89, No. 5, 1467–1484.

Shaki, S., Fischer, M.H., Göbel, S.M. (2012). Direction counts: A comparative study of spatially directional counting biases in cultures with different reading directions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112(2), 27.

Shaki, S., Fischer, M.H., Petrusic, W.M. (2009). Reading habits for both words and numbers contribute to the SNARC effect. *Psychonomic Bulletin & Review* 16, 328–331.

Siegler, R.S., Opfer, J.E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14 (3), 237-250.

Simms, V., Muldoon, K., Towse, J. (2013). Plane thinking: Mental representations in number line estimation as a function of orientation, scale, and counting proficiency. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115 (3), 468-480.

Simon, T.J., Hespos, S.J., Rochat, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253–269.

Spelke, E.S. (2000). Core knowledge. *American Psychologist*, 55(11), 1233–1243.

Spelke, E.S., Kinzler, K.D. (2007). Core knowledge. *Developmental Science* 10:1, 89–96.

Starkey, P., Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210(4473), 1033–1035.

Starkey, P., Spelke, E.S., Gelman, R. (1990). Numerical abstraction by human infants. *Cognition*, 36: 97-127.

Trick, L.M., Pylyshyn, Z.W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review*, 101(1), 80–102.

Van Oeffelen, M., Vos, P. (1982). A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception and Psychophysics*, 32, 163–170.

VanMarle, K. (2013). Infants use different mechanisms to make small and large number ordinal judgments. *Journal of Experimental Child Psychology*, Vol. 114, 1, 102-110.

Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Science*, 7, 483–488.



Wang, J., Halberada, J., Feigenson, L. (2021). Emergence of the Link Between the Approximate Number System and Symbolic Math Ability. *Child Development, Vol. 92, No. 2, e186–e200.*

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature, 358, 749-750.*

Wynn, K. (1996). Infants' individuation and enumeration of actions. *Psychological Science, 7, 164-169.*

Xu, F., Spelke, E.S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74, B1–B11.*

Xu, F., Spelke, E.S., Goddard, S. (2005). Number sense in human infants. *Developmental Science, 8, 88–101.*

Yang, T., Chen, C., Zhou, X., Xu, J., Dong, Q., Chen, C. (2014). Development of spatial representation of numbers: A study of the SNARC effect in Chinese children. *Journal of Experimental Child Psychology, Vol. 117, 1-11.*

Zanon, M., Potrich, D., Bortot, M., Vallortigara, G. (2022). Towards a standardization of non-symbolic numerical experiments: GeNEsIS, a flexible and user-friendly tool to generate controlled stimuli. *Behavior Research Methods, Vol. 54, 146–157.*

Zebian, S. (2005). Linkages between Number Concepts, Spatial Thinking, and Directionality of Writing: The SNARC Effect and the REVERSE SNARC Effect in English and Arabic Monoliterates, Biliterates, and Illiterate Arabic Speakers. *Journal of Cognition and Culture*, 5(1-2), 165-190.

Zorzi, M., Priftis, K., Umiltà, C. (2002). Brain damage: Neglect disrupts the mental number line. *Nature*, 417(6885), 138–139.