



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale**

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

**Tesi di Laurea Magistrale**

**Studio sperimentale della associazione spazio-numerica tramite il compito di bisezione di linee: effetto delle caratteristiche percettive del flanker sulla prestazione**

**Experimental study of the spatial-numerical association through the line bisection task: effect of perceptual characteristics of the flanker on performance**

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

***Laureanda: Paola Cazzol***  
***Matricola: 2048562***

**Anno Accademico 2022/2023**



# INDICE

<b>1. Introduzione</b>	<b>4</b>
1.1. <i>Associazione spazio-numerica</i>	4
1.1.1. La scoperta dell'effetto SNARC	5
1.1.2. Associazione spazio-numerica: rappresentazione innata o appresa?	7
1.1.3. Evidenze provenienti da studi su neonati	9
1.1.4. Evidenze da studi su animali non umani	11
1.2. <i>Compito di bisezione di linee numeriche mentali, stringhe di cifre e linee affiancate da numeri per lo studio della associazione spazio-numerica</i>	18
1.2.1. Effetti dei cue numerici, dell'attenzione e delle illusioni cognitive e percettive sulla prestazione al compito di bisezione di linee	23
1.2.2. Attenzione	24
1.2.3. Illusioni cognitive e percettive	29
1.2.4. Il ruolo della percezione visiva	32
1.2.5. Evidenze da studi su popolazioni cliniche	33
1.2.6. Basi neurali dei compiti di bisezione di linee	35
1.3. <i>Il presente studio: breve descrizione del paradigma sperimentale e rispettive ipotesi</i>	36
1.3.1. Esperimento 1: descrizione e ipotesi	37
1.3.2. Esperimento 2: descrizione e ipotesi	37
1.3.3. Esperimento 3: descrizione e ipotesi	39
1.3.4. Esperimento 4: descrizione e ipotesi	40
<b>2. Metodo e Risultati</b>	<b>42</b>

2.1.	<i>Esperimento 1: replica dello studio di de Hevia e Spelke (2009)</i>	43
2.1.1.	Partecipanti	44
2.1.2.	Materiali, metodi e procedure	45
2.1.3.	Analisi statistiche	47
2.1.4.	Risultati Esperimento 1	48
2.1.5.	Discussione Esperimento 1	49
2.2.	<i>Esperimento 2: stimoli di uguale numerosità</i>	55
2.2.1.	Partecipanti	56
2.2.2.	Materiali, metodi e procedure	56
2.2.3.	Risultati Esperimento 2	57
2.2.4.	Discussione Esperimento 2	58
2.3.	<i>Esperimento 3: stimoli chimerici di numerosità 8</i>	62
2.3.1.	Partecipanti	63
2.3.2.	Materiali, metodi e procedure	64
2.3.3.	Risultati Esperimento 3	66
2.3.4.	Discussione Esperimento 3	67
2.4.	<i>Esperimento 4: stimoli chimerici di numerosità 2</i>	72
2.4.1.	Partecipanti	73
2.4.2.	Materiali, metodi e procedure	74
2.4.3.	Risultati Esperimento 4	75
2.4.4.	Discussione Esperimento 4	77
<b>3.</b>	<b>Discussione generale e conclusioni</b>	<b>80</b>
<b>4.</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>92</b>

# 1. Introduzione

## 1.1. Associazione spazio-numerica

L'idea che la rappresentazione dei numeri possa essere organizzata in uno spazio è stata formulata per la prima volta da Galton durante le sue indagini sulle immagini mentali nel 1880. In quel periodo, Galton descrisse diverse testimonianze verbali riguardanti la visualizzazione consapevole dei numeri e tra queste fu menzionata una linea numerica che si estendeva dall'estremità sinistra a quella destra (Galton, 1880).

Successivamente, il concetto dell'organizzazione spaziale della rappresentazione dei numeri è stato formalmente incorporato in un modello di cognizione numerica chiamato "*Triple Code Model*" (Dehaene, 1992). Secondo questo modello, i numeri possono essere rappresentati mentalmente attraverso tre diversi codici: un codice visivo, in cui i numeri sono rappresentati come sequenze di cifre arabe; un codice verbale, in cui i numeri sono rappresentati come sequenze di parole organizzate sintatticamente; e, infine, un codice analogico-quantitativo, in cui i numeri sono rappresentati come distribuzioni variabili di attivazione su una linea numerica mentale (Dehaene, 1992).

L'evidenza empirica di un'associazione tra spazio e numero è tuttavia controversa; è infatti complesso studiare questo costrutto senza coinvolgere altri aspetti che potrebbero spiegare con altrettanta validità le prestazioni e i risultati ottenuti ai compiti impiegati nei paradigmi sperimentali.

Uno dei paradigmi più utilizzati per lo studio dell'associazione spazio-numerica è il compito di bisezione di linee, in cui al partecipante è richiesto di indicare il punto medio di una linea, la quale è affiancata da *cue* veicolanti informazioni numeriche. La misura ottenuta dai compiti di bisezione è espressa sotto forma di deviazione del punto medio percepito, a destra o a sinistra, rispetto al punto medio reale. Si tratta di un compito complesso che coinvolge componenti percettive, rappresentazionali e motorie (Ranzini & Girelli, 2012). Oltre all'influenza esercitata dal numero sulla prestazione ai compiti di bisezione di linee (si veda, per esempio, Fischer, 2001), alcuni studi hanno messo in evidenza la capacità delle illusioni cognitive e percettive (de Hevia, Girelli & Vallar, 2006; Stöttinger, Anderson, Danckert, Frühholtz & Wood, 2012) e, in generale, della percezione visiva (Ranzini & Girelli, 2012) nell'influenzare la prestazione a tali compiti.

Nei prossimi paragrafi verranno esposte le evidenze, le metodologie e le controversie che caratterizzano lo studio della associazione spazio-numerica, con particolare riferimento al paradigma di bisezione di linee.

### **1.1.1. La scoperta dell'effetto SNARC**

La prima prova empirica della linea numerica mentale deriva da uno studio fondamentale degli autori Dehaene, Bossini, e Giraux (1993), che hanno condotto un esperimento in cui partecipanti francesi dovevano eseguire un compito di giudizio di parità. Il compito consisteva nello stabilire se la cifra araba presentata al centro dello schermo fosse pari o dispari; nello specifico, è stato richiesto ai partecipanti di premere un tasto se il numero presentato era pari, e un altro tasto se il numero era dispari.

Variando la regola della risposta, è stato scoperto casualmente che le risposte ai numeri relativamente piccoli erano più veloci quando venivano eseguite con la mano sinistra; viceversa, le risposte ai numeri relativamente grandi erano più veloci quando venivano eseguite con la mano destra (Dehaene et al., 1993). Questo vantaggio temporale, dato dalla congruenza spaziale tra il lato di risposta (spazio egocentrico destro o sinistro) e la posizione relativa della grandezza numerica rappresentata sulla linea numerica mentale orientata da sinistra a destra, è stato definito dagli autori “effetto SNARC” (*Spatial-Numerical Association of Response Codes*) (Dehaene et al., 1993).

È interessante notare che l'accesso alla grandezza del numero avviene automaticamente; infatti, il compito di giudizio di parità non richiede di accedere alle informazioni sulla grandezza numerica per una sua corretta esecuzione (Dehaene, 1993).

L'effetto SNARC è osservabile e non risulta invertito anche in partecipanti mancini o quando il compito viene eseguito da partecipanti destrimani a mani incrociate, a sostegno di una spiegazione di questo effetto basata sulla congruenza spaziale tra la posizione in cui viene eseguita la risposta e la posizione del numero sulla linea numerica mentale (Dehaene et al., 1993).

Nel loro lavoro fondamentale, l'effetto SNARC si dimostrò essere specifico per i numeri e non emerse nel momento in cui vennero impiegate al loro posto delle lettere (Dehaene et al., 1993). Tuttavia, un effetto di congruenza spaziale è stato riportato in un compito di classificazione utilizzando stimoli ordinati non numerici, come i mesi dell'anno e le lettere dell'alfabeto (Gevers, Reynvoet & Fias, 2003) e per i giorni della settimana (Gevers, Reynvoet & Fias, 2004). Queste ultime evidenze minano l'ipotesi

che l'effetto SNARC rifletta inequivocabilmente l'attivazione della rappresentazione della magnitudo dei numeri (de Hevia et al., 2006).

Infine, l'effetto SNARC sembra dipendere dalla direzione di lettura (Dehaene et al., 1993). In questo studio fondamentale (Dehaene et al., 1993), è stato incluso un campione di partecipanti iraniani, che hanno sviluppato abitudini di lettura e scrittura da destra a sinistra, e che sono emigrati solo successivamente in Francia. L'effetto SNARC non è emerso dalla loro prestazione, né è risultato invertito (Dehaene et al., 1993). Tuttavia, quanto più tempo i partecipanti iraniani avevano trascorso in Francia, quanto più la loro prestazione assomigliava a quella dei partecipanti francesi (Dehaene et al., 1993). Questa evidenza sostiene l'ipotesi che l'orientamento della linea numerica mentale sia determinato da fattori culturali (Dehaene et al., 1993).

### ***1.1.2. Associazione spazio-numerica: rappresentazione innata o appresa?***

In riferimento a questo ultimo paragrafo, vale la pena citare lo studio degli autori Shaki, Fischer, e Petrusic (2009) che ha confrontato la prestazione a un compito di giudizio di parità di tre diversi gruppi, costituiti da partecipanti canadesi, palestinesi e israeliani. I partecipanti canadesi hanno mostrato una mappatura dei numeri orientata da sinistra a destra (Shaki et al., 2009), analogamente ai partecipanti francesi dello studio di Dehaene e colleghi (1993). I partecipanti palestinesi, che leggono e scrivono in arabo, hanno mostrato una mappatura numerica invertita, da destra a sinistra (Shaki et al., 2009). Infine, i partecipanti israeliani, che leggono e scrivono le parole ebraiche da destra a sinistra, ma i numeri arabi da sinistra a destra, mostrano un'associazione

spazio-numerica da sinistra a destra debole e non consistente, probabilmente a causa della conflittualità delle direzionalità opposte di parole e numeri (Shaki et al., 2009). Considerando i risultati di questo studio (Shaki et al., 2009), è evidente che le abitudini di direzione di lettura e scrittura trasmesse culturalmente definiscano l'orientamento della linea numerica mentale.

Gli studi sopracitati (Dehaene et al., 1993; Shaki et al., 2009) sostengono l'importante ruolo della cultura nella definizione dell'orientamento della linea numerica mentale.

Tuttavia, uno studio (Bächtold, Baumüller & Brugger, 1998) ha dimostrato che anche il contesto in cui un numero deve essere valutato può influenzare la sua associazione con lo spazio. In questo studio (Bächtold et al., 1998), è stato presentato ai partecipanti un numero da 1 a 11, escluso il numero 6. In una delle condizioni sperimentali, i partecipanti erano istruiti a immaginare il quadrante di un orologio e concepire i numeri come ore del giorno. Il compito consisteva nel valutare se il numero presentato rappresentava un orario precedente o successivo alle "ore" 6. L'assegnazione della risposta era controbilanciata: nella metà dei *trial*, i partecipanti dovevano premere un tasto a sinistra per indicare un'ora del giorno successiva alle 6 e un tasto a destra per indicare un orario precedente alle 6 (condizione congruente); nell'altra metà dei *trial*, i partecipanti dovevano premere un tasto a destra per indicare un'ora del giorno successiva alle 6 e un tasto a sinistra per indicare un orario precedente alle 6 (condizione incongruente). I risultati hanno mostrato che quando i partecipanti erano istruiti a immaginare i numeri come su un quadrante di orologio, essi rispondevano più velocemente ai numeri piccoli con la mano destra e ai numeri grandi con la mano sinistra (Bächtold et al., 1998).

In conclusione, anche il contesto in cui un numero deve essere valutato può influenzare la sua associazione con lo spazio sinistro o destro (Bächtold et al., 1998). È possibile, tuttavia, che in assenza di istruzioni, l'orientamento spontaneo linea numerica mentale sia determinato dalla convenzione culturale della direzione di lettura e scrittura (Rugani & de Hevia, 2017). Rimane perciò da stabilire se la direzione della linea numerica mentale sia interamente determinata dalla cultura e dalle abitudini di letto-scrittura o sia solo modulata da esse (Rugani & de Hevia, 2017).

Studi su neonati e animali non umani hanno permesso di ridurre ed eliminare l'influenza della cultura e del linguaggio dallo studio dell'associazione spazio-numerica e hanno portato prove a favore dell'universalità di questa strategia cognitiva (Rugani & de Hevia, 2017).

### **1.1.3. Evidenze provenienti da studi su neonati**

Le autrici de Hevia e Spelke (2010) hanno testato la capacità di neonati di mettere in relazione le dimensioni dello spazio e del numero tramite il paradigma dell'abituazione visiva. Durante la fase di familiarizzazione, i neonati sono stati esposti a una serie di numeri, rappresentati sotto forma di matrici di punti, crescenti o decrescenti. Una volta raggiunta l'abituazione, cioè quando i tempi di fissazione dei neonati erano significativamente ridotti, la fase test prevedeva la presentazione di una serie linee orizzontali, la cui lunghezza andava raddoppiandosi o dimezzandosi. L'assunto di base di questo studio (de Hevia & Spelke, 2010) è che se i bambini effettuassero una mappatura spontanea delle rappresentazioni del numero nello spazio, allora dovrebbero rilevare il cambiamento di grandezza in entrambe le

dimensioni numeriche e spaziali. In altre parole, se i neonati presentassero una predisposizione ad associare spazio e numero, dovrebbero generalizzare l'abituazione da sequenze con numeri crescenti a sequenze con lunghezze crescenti, o da sequenze con numeri decrescenti a sequenze con lunghezze decrescenti (de Hevia & Spelke, 2010). Effettivamente, i risultati hanno supportato questa ipotesi: i neonati hanno mostrato di generalizzare il *pattern* appreso dai numeri alle linee, presentando tempi di fissazione bassi per la serie di linee che seguiva l'ordine familiare e tempi di fissazione maggiori per la serie di linee che seguiva l'ordine nuovo (de Hevia & Spelke, 2010). I risultati ottenuti da questo studio (de Hevia & Spelke, 2010) supportano l'idea che la predisposizione a mettere in relazione le rappresentazioni della grandezza numerica con la lunghezza spaziale si sviluppi nelle prime fasi della vita, prima dell'acquisizione del linguaggio.

Evidenze di un'associazione simile all'effetto SNARC nei bambini preverbali proviene da uno studio che ha impiegato un adattamento del paradigma Posner per osservare la tendenza di neonati di 8 mesi di orientarsi spontaneamente verso lo spazio destro o sinistro quando vengono presentate informazioni numeriche accidentali (Bulf, de Hevia & Macchi Cassia, 2016). Attraverso il sistema di *eye tracking*, è stato osservato che i bambini si orientavano più velocemente verso il *target* sinistro quando esso era preceduto da un numero piccolo, espresso in formato non simbolico sotto forma di matrici di punti, e verso il *target* destro quando era preceduto da un numero grande (Bulf et al., 2016).

Pertanto, l'evidenza che i neonati umani preverbali nel primo anno di vita creano mappature che stabiliscono una corrispondenza tra numeri e spazio (de Hevia & Spelke, 2010), e tra numeri e posizioni spaziali lungo un asse orientato da sinistra a destra (Bulf et al., 2016) sostiene l'idea che la linea numerica mentale sia funzionale

fin dalle prime fasi dello sviluppo e che non emerga come conseguenza dell'acquisizione delle abilità di lettura e scrittura (Rugani & de Hevia, 2017).

Sebbene i neonati, durante i primi mesi di vita, siano plausibilmente influenzati nella loro esplorazione dello spazio dai bias attenzionali dei genitori, è ancora molto plausibile che questa mappatura sia biologicamente determinata negli esseri umani, come suggeriscono le prove che dimostrano che la mappatura del numero su un asse orientato da sinistra a destra esiste in specie non umane (Rugani & de Hevia, 2017).

#### **1.1.4. Evidenze da studi su animali non umani**

L'ordinalità è una proprietà degli insiemi numerici definita come la capacità di identificare un *target* in una serie di elementi identici esclusivamente sulla base della sua posizione seriale nello spazio (o, eventualmente, nel tempo) (Rugani & de Hevia, 2017). In questo paragrafo verranno esposti due importanti studi che riportano la capacità di ordinalità in due specie animali diverse tra loro.

Un recente studio (Rugani, Platt, Chen & Brannon, 2022) ha indagato se le scimmie rhesus (*Macaca mulatta*) si affidano a informazioni spaziali o numeriche per identificare l'elemento centrale di una sequenza. Sono state quindi presentate sequenze asimmetriche in cui l'elemento numerico centrale si trovava a sinistra o a destra rispetto al centro spaziale (Rugani et al., 2022). Le scimmie hanno scelto di preferenza il centro numerico e ignorato quello spaziale, dimostrando di aver codificato spontaneamente il concetto di centro numerico (Rugani et al., 2022). Inoltre, gli autori dello studio (Rugani et al., 2022) hanno interpretato la variabilità degli errori di identificazione del punto medio come una maggiore flessibilità del sistema di

mappatura del numero e dello spazio delle scimmie rispetto quello degli esseri umani. In ogni caso, i risultati di questo studio (Rugani et al., 2022) indicano che la mappatura del numero e dello spazio è una strategia cognitiva diffusa tra diverse specie.

A sostegno dell'ipotesi che l'associazione spazio-numerica sia una rappresentazione diffusa e presente in diverse specie animali, è opportuno citare il primo studio che si è occupato di investigare l'associazione tra spazio e numero in animali non umani e, in particolare, in pulcini (*Gallus gallus*) di soli pochi giorni di vita (Rugani, Regolin & Vallortigara, 2007). L'obiettivo dello studio (Rugani et al., 2007) era di verificare se i pulcini fossero in grado di identificare un elemento *target* in una serie di elementi identici sulla base della sua posizione ordinale. Nel primo esperimento, sono stati formati tre gruppi di pulcini e sono stati istruiti a beccare rispettivamente il terzo, il quarto o il sesto elemento *target* di una serie di elementi identici equidistanti e allineati sagittalmente. Effettivamente, i risultati degli esperimenti condotti dagli autori (Rugani et al., 2007) hanno dimostrato che tutti e tre i gruppi di pulcini di soli cinque giorni di vita hanno imparato a identificare un *target* sulla base della sua posizione seriale in una serie di dieci elementi identici a esso. È importante sottolineare che, in questo studio (Rugani et al., 2007), è stato implementato un esperimento di controllo che ha permesso di escludere una spiegazione dei risultati basata sulla posizione spaziale del *target*, dimostrando che i pulcini si sono affidati preferibilmente alle informazioni numeriche, piuttosto che a quelle spaziali. Inoltre, quando i pulcini dovevano identificare il *target* su una serie orientata da sinistra a destra, la loro prestazione risultava più accurata quando partivano dall'estremità sinistra della serie (Rugani et al., 2007). Si tratta della prima evidenza a favore di una predisposizione a contare da sinistra a destra osservata nel mondo animale (Rugani & de Hevia, 2017). In riferimento a questo ultimo risultato, l'interpretazione degli autori

(Rugani et al., 2007) si rifà alla possibilità di una dominanza dell'emisfero destro per questo tipo di compiti, osservata anche in altre specie di uccelli impegnati in compiti visuospatiali (Diekamp, Regolin, Güntürkün & Vallortigara, 2005).

Una spiegazione alternativa del bias visuospatial sinistro mostrato dagli uccelli (Diekamp et al., 2005; Rugani et al., 2007) fa riferimento al fenomeno dello pseudoneglect. Questo termine è stato coniato in seguito all'osservazione della prestazione di partecipanti umani neurologicamente sani ai compiti di bisezione di linee, i quali tendono sistematicamente a commettere un bias di bisezione a sinistra rispetto al centro reale della linea (Jewell & McCourt, 2000). Il fenomeno dello pseudoneglect rappresenta un'asimmetria dell'attenzione spaziale ed è stato riscontrato anche negli uccelli, che sembrano sovrastimare le dimensioni del lato sinistro dello spazio in compiti di bisezione di linee (Regolin, 2006).

Evidenze a favore di una predisposizione a ordinare i numeri da sinistra a destra sono state riscontrate anche in scimpanzé. In uno studio (Adachi, 2014), sono stati addestrati scimpanzé a toccare in ordine crescente numeri arabi da 1 a 9, che comparivano in posizioni casuali sullo schermo *touchscreen*. Nella fase test, venivano presentati i numeri "1" e "9"; gli scimpanzé hanno risposto più velocemente quando "1" si trovava sul lato sinistro e "9" sul lato destro, indice della presenza di una mappatura di una sequenza appresa nello spazio (Adachi, 2014).

Infine, le autrici Drucker e Brannon (2014) hanno integrato i risultati dello studio di Rugani et al. (2007), replicando il loro paradigma con un campione di scimmie (*Macaca mulatta*). Innanzitutto, le scimmie sono state addestrate a individuare il quarto elemento, cioè una posizione ordinale specifica, in una sequenza verticale di cinque elementi identici presentati su un *touch-screen*. È stata testata, inoltre, la capacità delle scimmie di identificare la quarta posizione al variare dell'aspetto, della

posizione e della spaziatura degli stimoli. Successivamente, l'orientamento della sequenza è stato ruotato di novanta gradi, in modo che essa fosse disposta orizzontalmente. L'obiettivo era quello di valutare se le scimmie mappassero il numero nello spazio in una direzione preferita. Infatti, se le scimmie non disponessero di una linea numerica mentale orientata (da sinistra a destra o da destra a sinistra), dovrebbero rispondere alla quarta posizione da sinistra e alla quarta posizione da destra con uguale probabilità. Viceversa, se avessero una linea numerica mentale orientata spazialmente, dovrebbero selezionare preferenzialmente la quarta posizione da sinistra, suggerendo così un orientamento da sinistra a destra, o la quarta posizione da destra, suggerendo, al contrario, un orientamento da destra a sinistra (Brannon & Drucker, 2014). Le scimmie hanno selezionato la quarta posizione da sinistra, suggerendo che la mappatura spazio-numero abbia una base biologica (Brannon & Drucker, 2014).

Sebbene gli studi su neonati umani siano stati riportati nel precedente paragrafo, in questa sezione risulta interessante citare il lavoro delle autrici McCrink, Perez, e Baruch (2017), che hanno applicato lo stesso paradigma ideato dagli autori Rugani e colleghi (2007), e impiegato successivamente anche dalle autrici Brannon e Drucker (2014), a infanti di due e tre anni. In particolare, nella fase di apprendimento, i bambini hanno imparato a trovare la posizione di un oggetto nascosto in una matrice verticale. Nella successiva fase test, la matrice verticale è stata trasposta orizzontalmente. Durante la fase di apprendimento, i bambini sono stati esposti a diversi livelli di ordinalità esplicita. Infatti, a seconda della condizione sperimentale, potevano ricevere etichette identiche (*This box; This box; This box...*); informazioni ordinali non numeriche (lettere: *Box A; Box B; Box C...*); o informazioni numeriche (*Box 1; Box 2; Box 3...*). Le autrici avevano ipotizzato che se l'etichettatura avesse

consentito una maggiore forza rappresentativa, si si sarebbe dovuto osservare un migliore apprendimento della posizione durante l'addestramento, e una mappatura spaziale più accurata dopo la trasposizione in orizzontale, per le condizioni con etichette ordinali di lettere e numeri rispetto a quelle con etichette identiche. I risultati hanno mostrato che i bambini che non avevano ricevuto etichette ordinali durante l'addestramento non hanno mostrato alcun bias di direzionalità spaziale dopo la trasposizione, e iniziavano la ricerca dell'oggetto da una posizione centrale neutra (McCrink et al., 2017). Invece, i bambini che avevano a disposizione le etichette numeriche durante l'apprendimento verticale hanno mostrato un bias asimmetrico, per cui gli stimoli iniziali erano posizionati a sinistra e quelli finali a destra (McCrink et al., 2017). Anche le informazioni ordinali veicolate dalle etichette delle lettere hanno spinto i bambini verso una mappatura asimmetrica, sebbene il bias si manifestasse solo quando avevano una forte rappresentazione verticale prima della trasposizione (McCrink et al., 2017). Questi risultati indicano che i bambini potrebbero avere una mappatura spaziale più flessibile rispetto agli animali e che tale mappatura è modulata a seconda del tipo di informazione ordinale ricevute dal bambino (McCrink et al., 2017).

In conclusione, questi ultimi tre studi su animali non umani (Adachi et al., 2014; Drucker & Brannon, 2014; Rugani et al., 2007) hanno mostrato che gli animali manifestano un bias nell'elaborazione di informazioni ordinali da sinistra a destra (Rugani & de Hevia, 2017), in modo analogo all'effetto SNARC osservato negli esseri umani (Deahene et al., 1993).

Gli studi esposti in questo paragrafo (Adachi et al., 2014; Drucker & Brannon, 2014; Rugani et al., 2007; Rugani et al., 2022) unitamente a quelli del paragrafo

precedente che hanno analizzato la prestazione di neonati preverbalmente (Bulf et al., 2016; de Hevia & Spelke, 2010) e infanti (McCrink et al., 2017), supportano l'idea che l'associazione numero-spazio avvenga anche in assenza di linguaggio; pertanto, la predisposizione a mappare spazialmente i numeri non è un'invenzione culturale, bensì è una tendenza che ha profonde radici evolutive.

Una recente rassegna (McCrink & Opfer, 2014) ha esaminato lo sviluppo dell'associazione spazio-numerica, individuando tre fondamentali influenze che intervengono in questo processo: i meccanismi precocemente disponibili, che collegano lo spazio e il numero non simbolico; l'attività motoria, che associa la posizione spaziale al numero simbolico, come il comportamento di conteggio delle dita osservato nei bambini (Fischer, Moeller, Bientzle, Cress, & Nuerk, 2011); e le attività culturali, che modellano la direzione tra direzione spaziale e numero simbolico.

Il ruolo di questi meccanismi precocemente disponibili diventa evidente considerando i risultati provenienti da studi su neonati, come quello esposto in questo stesso capitolo delle autrici de Hevia e Spelke (2009). Nel complesso, ciò che emerge dagli studi su neonati è che bambini molto piccoli associano spontaneamente informazioni spaziali e numeriche (McCrink & Opfer, 2014). In modo analogo, studi su animali (Adachi et al., 2014; Drucker & Brannon, 2014; Rugani et al., 2007; Rugani et al., 2022) suggeriscono la presenza di un legame spontaneo e non appreso tra estensione spaziale e numero e tra posizione spaziale e ordine numerico (McCrink & Opfer, 2014).

Nel presente studio, il ruolo della cultura è stato evidenziato inizialmente dal lavoro fondamentale di Dehaene e colleghi (1993) e successivamente da quello di Shaki e colleghi (2009). La cultura pare essere in grado di modulare la relazione tra direzione spaziale e numero simbolico (McCrink & Opfer, 2014).

La rassegna degli autori McCrink e Opfer (2014) conclude che, negli esseri umani, è presente una tendenza precoce e potenzialmente innata a codificare il numero e lo spazio in modo indifferenziato, che rende probabile l'acquisizione di una linea numerica mentale, in cui il numero aumenta in modo congruente con lo spazio, senza un particolare bias direzionale e senza che lo spazio e il numero siano associati in modo lineare. Come già osservato in diversi ambiti, pare che, anche nel caso dell'associazione spazio-numerica, l'evoluzione abbia legato le rappresentazioni dello spazio e del numero fin dalla nascita e l'inculturazione moduli queste rappresentazioni attraverso l'adattamento del bambino all'ambiente culturale (McCrink & Opfer, 2014).

In conclusione, l'associazione spazio-numerica è una caratteristica comune del sistema "core non verbale del numero", è condivisa da molte specie animali diverse tra loro e facilita l'esplorazione di grandezze crescenti da sinistra a destra; infine, l'influenza della cultura e dell'esperienza modula l'orientamento di questa associazione (Rugani & de Hevia, 2017).

### **1.1.5. Teoria ATOM (A Theory of Magnitude)**

L'origine dell'universalità dell'associazione spazio-numerica e dell'orientamento della linea numerica mentale è stata spiegata riferendosi ad asimmetrie emisferiche e alla possibilità che le mappe cerebrali della numerosità siano sovrapposte a quelle che rispondono alla dimensione e alla lunghezza degli oggetti (Rugani & de Hevia, 2017).

Un'altra possibile spiegazione è stata proposta dalla teoria ATOM (Walsh, 2003), che considera lo spazio, il numero e il tempo come parte di un sistema di

grandezza più generale. È stato suggerito che questo sistema di grandezza sia localizzato nei neuroni della corteccia parietale inferiore (Walsh, 2003), la quale si attiva nell'elaborazione di informazioni spaziali, numeriche e temporali (Rugani & de Hevia, 2017). Oltre a spiegare l'effetto SNARC, la teoria ATOM può fornire supporto anche all'effetto SQUARC (*Spatial-Quantity Association of Response Codes*), che prevede l'associazione di grandezze non numeriche con lo spazio (Walsh, 2003).

## **1.2. Compito di bisezione di linee numeriche mentali, stringhe di cifre e linee affiancate da numeri per lo studio della associazione spazio-numerica**

Successivamente alla scoperta dell'effetto SNARC (Dehaene, 1993), Fischer (2001) intuì che l'attivazione automatica dei codici spaziali potesse influenzare anche le prestazioni spaziali. Assumendo infatti una rappresentazione mentale di una linea numerica orientata da sinistra a destra, i numeri piccoli dovrebbero attivare i codici di risposta a sinistra e indurre bias di risposta a sinistra (Fischer, 2001). Viceversa, i numeri grandi dovrebbero indurre un bias di risposta verso destra (Fischer, 2001). Quindi, l'osservazione dei bias spaziali in funzione della grandezza dei numeri potrebbe fornire ulteriore supporto all'interpretazione dell'effetto SNARC e chiarire come l'elaborazione della numerosità sia legata alla cognizione spaziale (Fischer, 2001).

Fischer (2001) impiegò il compito di bisezione di linee, solitamente utilizzato in ambito clinico-neuropsicologico, per verificare se l'accuratezza spaziale di partecipanti

sani fosse sistematicamente distorta dall'attivazione automatica dei codici spaziali derivanti dall'elaborazione visiva dei numeri. A tal fine, implementò due diversi esperimenti: il primo prevedeva la bisezione di stringhe di cifre (cfr. **Figura 1**), mentre il secondo consisteva nel bisecare linee affiancate da numeri di uguale o diversa numerosità.

Nella bisezione di stringhe di cifre, Fischer (2001) ha riscontrato un bias verso sinistra per le stringhe composte da cifre piccole e un bias verso destra per le stringhe composte da cifre grandi. Questi risultati sono stati interpretati come la manifestazione di un codice di risposta spaziale che si attiva automaticamente in relazione alle cifre percepite, in analogia con l'effetto SNARC. I bias spaziali legati all'ampiezza del numero sono stati replicati nella bisezione di linee affiancate da numeri diversi, nella direzione del numero più grande (Fischer, 2001). Non sono stati osservati bias quando le linee erano affiancate da numeri uguali (Fischer, 2001).

Come accennato nei paragrafi precedenti, lo studio della associazione spazio-numerica è complesso. Gli autori de Hevia e colleghi (2006), in riferimento allo studio di Fischer (2001), hanno correttamente puntualizzato che i bias spaziali riportati nella bisezione di stringhe di cifre possono essere stati indotti dalle istruzioni del compito. I partecipanti erano infatti stati istruiti a non passare attraverso un simbolo quando facevano il segno di bisezione e la metà degli stimoli era composta da un numero

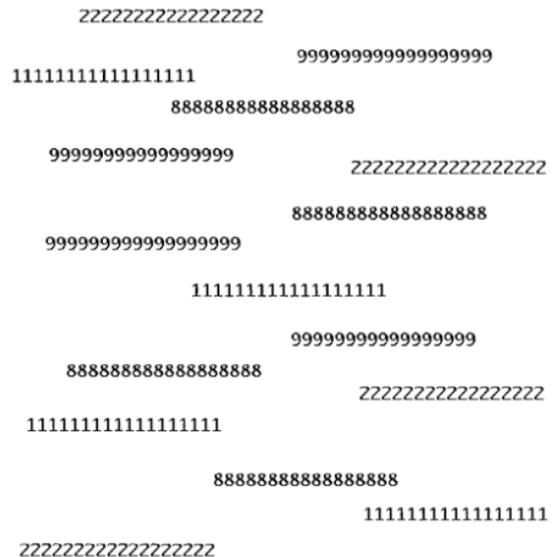


Figura 1 - Stringhe di cifre utilizzate nel primo esperimento dello studio di Fischer (2001)

Fonte: Fischer, M. H. (2001). Number processing induces spatial performance biases. *Neurology*, 57(5), 822-826

dispari di elementi, costringendo i partecipanti a bisecare gli stimoli in modo impreciso. Effettivamente, gli autori de Hevia e colleghi (2006) non hanno replicato i risultati ottenuti da Fischer (2001) nel primo esperimento di bisezione di stringhe di cifre, concludendo che la grandezza assoluta dei numeri non è sufficiente a modulare le prestazioni di bisezione.

Inoltre, lo studio sopracitato (de Hevia et al., 2006) ha riproposto il compito di bisezione di linee affiancate da *flanker* numerici simbolici e ha incluso un nuovo compito di bisezione di spazi vuoti affiancati da numeri. I risultati hanno messo in evidenza due aspetti significativi e intrinsecamente legati tra loro: il concetto di grandezza relativa e l'assenza di un effetto distanza.

In riferimento al concetto di grandezza relativa, è stato osservato che quando un intervallo numerico definisce lo spazio da bisecare, la prestazione è sbilanciata verso la cifra più grande: è dunque, appunto, la grandezza relativa a essere responsabile dei bias spaziali osservabili nella bisezione di linee e spazi non riempiti (de Hevia et al., 2006). Il fatto che solo le grandezze relative – e non le grandezze assolute – sembrano indurre bias spaziali è coerente con l'ipotesi di Dehaene e colleghi (1993), secondo cui la mappatura di un numero nel lato sinistro o destro dello spazio rappresentativo dipenda dall'intervallo numerico considerato, piuttosto che da caratteristiche intrinseche dei numeri.

Per questo riguarda il secondo aspetto, nello studio di de Hevia e colleghi (2006), la distanza numerica tra i *flanker* di uno stimolo poteva ammontare a “uno” (per esempio, 1-2 o 8-9), “due” (come 1-3 o 7-9), “quattro” o “sei”. L'assenza di un effetto distanza si riferisce al fatto che l'effetto principale della distanza numerica non era significativo e non influiva perciò sulla prestazione al compito di bisezione di linee. Coerentemente con quanto esposto finora, questo dato suggerisce che i *flanker*

numerici esercitano un'influenza sulla prestazione di bisezione in termini di grandezza relativa, cioè lungo una distinzione dicotomica piccolo/grande (de Hevia et al., 2006).

L'osservazione forse più importante in merito all'assenza di un effetto distanza è che la non significatività dell'effetto della distanza numerica dei *flanker* mette in dubbio l'adeguatezza di un'interpretazione dei risultati nei termini di linea numerica mentale (de Hevia et al., 2006). Infatti, la linea numerica mentale è concettualizzata come un *continuum* lungo cui le grandezze numeriche sono rappresentate in modo ordinato (Dehaene, 1992) ed è plausibile supporre che si espanda via via verso l'estremità destra per la rappresentazione dei numeri positivi sempre più grandi (de Hevia et al., 2006). L'estensione unilaterale verso destra potrebbe essere responsabile dei bias spaziali osservati nei compiti di bisezione di linee e, dato che è ipotizzabile che tali compiti vengano eseguiti facendo riferimento a una porzione specifica della rappresentazione mentale della linea dei numeri, l'estensione di tale rappresentazione potrebbe variare in funzione della distanza numerica dei *flanker* (de Hevia et al., 2006). L'assenza di un correlato comportamentale che rifletta questa diversa estensione della porzione di rappresentazione mentale evocata dalla distanza numerica dei *flanker* rende difficile una interpretazione delle prestazioni basata sull'ipotesi della linea numerica mentale (de Hevia et al., 2006).

Inoltre, in questo studio (de Hevia et al., 2006) è stato evidenziato che i *flanker* numerici svolgono due importanti funzioni nei compiti di bisezione: delimitano lo spazio da bisecare e trasmettono informazioni quantitative che esercitano un'influenza sullo stimolo. I partecipanti hanno mostrato una tendenza a posizionare il loro segno di bisezione, indice del punto medio percepito della linea, nei pressi del *flanker* di numerosità maggiore (de Hevia et al., 2006; Fischer, 2001). Questo dato comportamentale può essere interpretato come una tendenza a controbilanciare la

disparità numerica attraverso uno spostamento del punto medio percepito (de Hevia et al., 2006). L'assenza di un effetto distanza può indicare che questo tentativo di controbilanciare la disparità numerica possa avvenire in modo non proporzionale (de Hevia et al., 2006). Perciò, l'effetto della posizione della cifra più grande potrebbe derivare da un'illusione cognitiva di lunghezza, per la quale i *cue* numerici proiettano i loro valori comparativi sulla linea in modo categorico (cioè, "più piccoli" o "più grandi"), generando un'illusoria disparità dell'estensione spaziale (de Hevia et al., 2006).

Gli autori di questo studio fondamentale (de Hevia et al., 2006) sostengono quindi che i bias riscontrati nelle prestazioni ai compiti di bisezione possano rappresentare un'illusione cognitiva, in quanto i simboli numerici sembrano essere in grado di influenzare la rappresentazione percettiva dell'estensione orizzontale.

Pochi anni dopo, le autrici de Hevia e Spelke (2009), hanno affrontato lo studio dell'associazione tra spazio e numero tramite un compito di bisezione di linee, i cui *flanker* veicolavano l'informazione numerica in modo non simbolico, ossia tramite matrici di punti (cfr. **Figura 2**). Questo accorgimento ha permesso loro di includere nel loro campione di partecipanti bambini in età prescolare. I risultati del loro studio sostengono che la mappatura non direzionale tra spazio e numero emerge spontaneamente e indipendentemente dall'istruzione, dato che i bambini di 5 anni

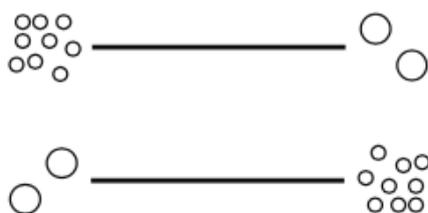


Figura 2 - Esempio di stimoli in formato non simbolico utilizzati nello studio delle autrici de Hevia e Spelke (2009)

Fonte: de Hevia, M. D., e Spelke, E. S. (2009). *Spontaneous mapping of number and space in adults and young children*. *Cognition*, 110(2), 198-207

hanno mostrato una prestazione simile a quella degli adulti (de Hevia & Spelke, 2009). Questo risultato è in linea con i risultati degli studi esposti nei paragrafi precedenti (cfr. par. **“Associazione spazio-numerica: rappresentazione innata o appresa?”**). Inoltre, le prestazioni degli adulti hanno dimostrato che le informazioni numeriche

vengono estratte automaticamente da matrici visive di punti, anche in un contesto di attività in cui il numero è irrilevante (de Hevia & Spelke, 2009). Questo risultato è in analogia con quanto osservato nel compito di giudizio di parità dello studio di Dehaene e colleghi (1993), in cui l'informazione numerica irrilevante ai fini del compito era in grado di influenzare la prestazione dei partecipanti.

### **1.2.1. Effetti dei cue numerici, dell'attenzione e delle illusioni cognitive e percettive sulla prestazione al compito di bisezione di linee**

Quanto esposto nei paragrafi precedenti mette in risalto la complessità dello studio dell'associazione spazio-numerica. Per quanto riguarda l'effetto SNARC rimane infatti il quesito se il vantaggio temporale osservato nei compiti di giudizio di parità rifletta specificatamente una congruenza tra spazio e numero (Dehaene et al., 1993) o valga in generale per le sequenze di stimoli ordinati (Gevers et al., 2003; Gevers et al., 2004). Per quanto riguarda i compiti di bisezione di linee, de Hevia e colleghi (2006) pongono la questione che il bias spaziale verso il *flanker* di numerosità maggiore osservabile nei compiti di bisezione di linee non derivi necessariamente da un'associazione automatica tra le informazioni sulla magnitudine numerica e i codici di risposta spaziale (Fischer, 2001), quanto piuttosto possa riflettere un'illusione di lunghezza esercitata dai *flanker* numerici sulla linea.

In riferimento ai compiti di bisezione di linee, appare chiaro che sono numerosi i fattori in grado di influenzare la prestazione. Al fine di valutare gli effetti dei *cue* numerici nello studio dell'associazione spazio-numerica, è necessario analizzare

preventivamente alcuni elementi che potrebbero anch'essi influenzare la prestazione a tali compiti. Nei seguenti paragrafi verrà affrontato il ruolo dell'attenzione, delle illusioni cognitive e della percezione visiva (illusioni percettive) ai compiti di bisezione di linee.

### **1.2.2. Attenzione**

L'attenzione è una funzione cognitiva multicomponentiale che guida il sistema cognitivo nell'elaborazione delle informazioni che ci circondano e modula altri processi comportamentali (Mazzucchi, 2020). È dunque plausibile ritenere che l'attenzione svolga un ruolo significativo nell'influenzare la prestazione anche ai compiti di bisezione di linee.

Le autrici de Hevia e Spelke, nel loro studio del 2009, hanno affrontato la possibilità che il bias di bisezione verso la cifra più grande (de Hevia et al., 2006; de Hevia & Spelke, 2009; Fischer, 2001), o la matrice di punti più numerosa (de Hevia & Spelke, 2009), osservato consistentemente tra gli studi, fosse dovuto a una maggiore salienza dei numeri più grandi rispetto a quelli più piccoli. L'ipotesi che i numeri più grandi, in quanto più salienti, attirino l'attenzione sulla loro posizione e causino quindi il bias del punto di bisezione è stata scartata: attraverso una versione del paradigma "dot probe" (Posner, Snyder & Davidson, 1980), le autrici hanno osservato che la posizione del numero più grande non ha avuto un effetto significativo sull'individuazione del *target* (de Hevia & Spelke, 2009). In particolare, ai partecipanti è stato richiesto di identificare un *target* che appariva con la stessa frequenza nella posizione sullo schermo occupata dal numero più grande e in quella occupata dal

numero più piccolo. I numeri erano espressi sia in codice arabo, sia in formato non simbolico e potevano occupare sia la posizione destra, sia la posizione sinistra, indipendentemente dalla loro grandezza relativa. L'assunto del paradigma è che se i numeri più grandi fossero più salienti, i partecipanti dovrebbero individuare più rapidamente il *target* quando appare nella posizione del numero più grande. Il metodo di risposta prevedeva di premere un tasto a sinistra quando il *target* compariva a sinistra e, viceversa, premere un tasto a destra quando il *target* compariva a destra. I partecipanti, inoltre, erano informati della non prevedibilità della posizione di comparsa del *target*. Questa procedura ha permesso di misurare precisamente i tempi di reazione dei partecipanti e di concludere che i numeri più grandi non paiono attirare l'attenzione in modo preferenziale rispetto ai numeri più piccoli. Pertanto, i bias spaziali osservati in un compito di bisezione di linee non possono essere semplicemente spiegati da un bias attenzionale di salienza del numero (de Hevia & Spelke, 2009).

Quindi, è sicuramente vero che l'attenzione è una funzione cognitiva necessaria e indispensabile per lo svolgimento dei compiti di bisezione di linee, data la sua funzione generale di allocamento di risorse cognitive e modulazione di altri processi cognitivi, quali la percezione (Mazzucchi, 2020); tuttavia, essa non è in grado di spiegare i bias osservati a tali compiti, a sostegno dell'influenza delle informazioni numeriche sulla rappresentazione mentale dell'estensione spaziale (de Hevia & Spelke, 2009).

Appurato che i bias spaziali osservati in compiti di bisezione di linee non siano attribuibili a una maggiore salienza dei numeri più grandi (de Hevia & Spelke, 2009), rimane il quesito sulla natura del rapporto tra attenzione spaziale ed elaborazione numerica. In uno studio (Casarotti, Michielin, Zorzi & Umiltà, 2007) è stato impiegato il paradigma del *temporal order judgment* (TOJ), in cui i partecipanti dovevano riferire

quale di due stimoli visivi si fosse verificato per primo. Gli “stimoli TOJ”, ossia quelli di cui giudicare l’ordine di comparsa, erano rappresentati da due lampi di luce e, nella condizione “sincrona”, essi apparivano contemporaneamente. Prima della comparsa degli stimoli TOJ, una cifra appariva sullo schermo e i partecipanti erano istruiti a riportarla solo dopo aver deciso quale lampo di luce (destra o sinistra) fosse comparso per primo. Questo accorgimento ha permesso di indurre i partecipanti a elaborare il numero. Il presupposto è che se l’attenzione è assegnata all’emisfero destro o sinistro, a seconda della grandezza del numero, dovrebbe osservarsi un effetto sulla percezione dell’ordine temporale di comparsa degli stimoli TOJ. In altre parole, se l’assunto fosse corretto, i partecipanti dovrebbero fornire una maggiore percentuale di risposte a sinistra nella condizione di numero piccolo e una percentuale maggiore di risposte a destra nella condizione di numero grande. Viceversa, se l’allocazione dell’attenzione non dovesse essere influenzata dalla grandezza del numero, le risposte a destra e a sinistra dovrebbero essere ugualmente probabili. Il paradigma TOJ rappresenta un indice sensibile dell’allocazione attenzionale che non richiede risposte manuali veloci (Casarotti et al., 2007). Gli esperimenti presentati in questo studio (Casarotti et al., 2007) hanno dimostrato che quando si elabora un numero piccolo si verifica uno spostamento dell’attenzione spaziale che provoca un’elaborazione più rapida dei segnali sensoriali provenienti dal lato sinistro, mentre l’elaborazione di numeri grandi produce uno spostamento dell’attenzione che accelera l’elaborazione dei segnali sensoriali provenienti dal lato destro. Inoltre, è interessante sottolineare, ai fini della nostra ricerca, che gli autori dello studio (Casarotti et al., 2007) hanno dimostrato che gli effetti attenzionali non emergono dall’elaborazione di sequenze ordinali che non trasmettono informazioni sulla quantità come, per esempio, le lettere.

I risultati di Casarotti e colleghi (2007) sono parzialmente in linea con quanto osservato precedentemente dagli autori Fischer, Castel, Dodd e Pratt (2003), i quali hanno riportato che la presentazione di numeri piccoli centrati su uno schermo accelerava la successiva individuazione di stimoli periferici nel campo visivo sinistro, mentre la presentazione centrale di numeri più grandi accelerava l'individuazione degli stimoli nel campo visivo destro. Gli autori dello studio sopradescritto (Casarotti et al., 2007) hanno tuttavia osservato effetti attenzionali che dipendevano dalla grandezza dei numeri solo quando il compito richiedeva di elaborare la cifra. Un'alternativa interpretazione della differenza di risultati tra i due studi potrebbe in realtà risiedere nella possibilità che i partecipanti dello studio di Casarotti e colleghi (2007) non abbiano mostrato effetti attenzionali quando non era loro richiesta un'elaborazione più profonda del numero poiché avevano allocato completamente l'attenzione sui marcatori laterali per l'elaborazione degli stimoli TOJ (Casarotti et al., 2007).

Congiuntamente, questi studi (Casarotti et al., 2007; Fischer et al., 2003) suggeriscono che l'elaborazione dei numeri possa provocare spostamenti dell'attenzione spaziale. Inoltre, attraverso l'impiego delle tecniche di *neuroimaging* e di stimolazione magnetica transcranica (*transcranial magnetic stimulation*, TMS) è stato possibile osservare che i compiti numerici coinvolgono le aree parietali posteriori, note per essere coinvolte nella percezione dello spazio e nell'attenzione spaziale (Hubbard, Piazza, Pinel & Dehaene, 2005). In conclusione, la direzione dell'attenzione lungo la linea numerica mentale potrebbe utilizzare gli stessi meccanismi coinvolti nell'orientamento dell'attenzione spaziale.

Infine, è rilevante citare lo studio degli autori Longo e Lourenco (2007) che aveva l'obiettivo di esaminare specificatamente la relazione tra la direzione dell'attenzione nello spazio fisico e nello spazio numerico. A tale scopo, sono state

impiegate due tipologie di compito di bisezione. La prima era rappresentata dal classico compito di bisezione di linee fisiche, mentre la seconda prevedeva la “bisezione” di una coppia di numeri; in particolare, ai partecipanti era richiesto di riportare, il più velocemente possibile, quale numero si trovasse a metà rispetto alla coppia presentata. In questa seconda condizione, è stata inoltre manipolata la posizione del numero più grande, che poteva trovarsi a destra o a sinistra rispetto alla linea su cui i partecipanti dovevano riportare la loro risposta.

La prestazione dei partecipanti ha rivelato la presenza di un bias verso sinistra sia nella condizione di bisezione di linee fisiche, sia nella condizione di bisezione delle linee numeriche (Longo & Lourenco, 2007). Dato che il fenomeno dello pseudoneglect è emerso in entrambe le condizioni, si può ipotizzare che l'attenzione spaziale è orientata lungo la linea dei numeri mentali in modo paragonabile a quello dei compiti puramente spaziali e che opera in modo simile nei due compiti secondo le sue caratteristiche asimmetriche (Longo & Lourenco, 2007). A sostegno di questa interpretazione, è stato osservato che il bias sinistro osservato nel compito di bisezione di linee era maggiore in quei partecipanti che mostravano, al contempo, un bias sinistro maggiore nel compito di bisezione numerica mentale (Longo & Lourenco, 2007). Questo risultato suggerisce che le asimmetrie emisferiche nella direzione dell'attenzione spaziale possano operare in modo simile nello spazio fisico e numerico (Longo & Lourenco, 2007).

Un secondo rilevante risultato emerso dallo studio (Longo & Lourenco, 2007) è che il bias verso sinistra sopradescritto era significativamente maggiore quando il numero più grande era a sinistra e quello più piccolo a destra. Un *debriefing* che ha coinvolto i partecipanti dello studio ha portato gli autori a concludere che questo bias sinistro “aggiuntivo” osservato nella condizione in cui il numero più grande era posto

a sinistra fosse dovuto alla necessità riscontrata dai partecipanti di spostare mentalmente il numero più piccolo a sinistra di quello più grande prima di stimare il punto medio. Questa ulteriore operazione mentale era dovuta alla maggiore difficoltà del compito in questa condizione, rispetto a una condizione congruente secondo la linea numerica mentale, in cui il numero più piccolo è già posizionato a sinistra. Quindi, questo movimento mentale verso sinistra potrebbe aver indotto l'attenzione a dirigersi più a sinistra, spiegando l'aumento del bias verso sinistra osservato (Longo & Lourenco, 2007).

Infine, l'entità dello pseudoneglect è risultata maggiore con l'aumentare della grandezza dei numeri (Longo & Lourenco, 2007). Questo risultato suggerisce che la linea numerica mentale può essere compressa in modo non lineare, a supporto di un'interpretazione basata sul modello compressivo della linea numerica mentale, che prevede che lo spazio tra le coppie di numeri diventi più piccolo all'aumentare della grandezza numerica (Dehaene & Mehler, 1992; Longo & Lourenco, 2007). Poiché la distanza tra i numeri diventa soggettivamente più piccola all'aumentare della loro grandezza, la capacità di discriminabilità diminuisce (Dehaene & Mehler, 1992), e il bias verso sinistra aumenta (Longo & Lourenco, 2007).

### **1.2.3. Illusioni cognitive e percettive**

Come riportato nei paragrafi precedenti, il bias verso il *flanker* di numerosità maggiore è stato interpretato dagli autori di uno studio sopracitato (de Hevia et al., 2006) come derivante da un'illusione di lunghezza esercitata dai *flanker* numerici sulla linea. In particolare, la disparità numerica influenzerebbe la rappresentazione

percettiva dell'estensione orizzontale, determinando un allungamento o un accorciamento della linea affiancata da numeri di diversa grandezza (de Hevia et al., 2006).

Un rilevante studio (Stöttinger et al., 2012) ha affrontato direttamente l'ipotesi che il bias spaziale osservabile nei compiti di bisezione di linee derivi dall'illusione di lunghezza di cui accennato precedentemente (de Hevia et al., 2006). La cornice teorica entro cui è stato sviluppato questo studio (Stöttinger et al., 2012) è basata sull'ipotesi percezione-azione di Goodale e Milner (1992), secondo cui la visione umana è guidata da due vie visive funzionalmente e neuroanatomicamente indipendenti: una via dorsale "visione per l'azione" e una via ventrale "visione per la percezione". La prima supporta il controllo visivo *on-line* dei movimenti, mentre la via ventrale si occupa di costruire le rappresentazioni percettive del mondo (Goodale & Milner, 1992). La via ventrale risulta essere più sensibile alle illusioni visive rispetto alla via dorsale (Ganel, Tanzer & Goodale, 2008). Quindi, gli autori di questo studio (Stöttinger et al., 2012) hanno ipotizzato che se la prestazione ai compiti di bisezione di linee numeriche è dovuta a un'illusione cognitiva di lunghezza, il bias spaziale indotto dai numeri dovrebbe essere maggiore quando la bisezione di linee viene eseguita effettuando un segno con una penna (che implica il coinvolgimento della via ventrale) rispetto a quando viene eseguita con un movimento di *pointing*, che coinvolge invece la via dorsale. I partecipanti di questo studio (Stöttinger et al., 2012) hanno eseguito un compito di bisezione di linee affiancate da *flanker* numerici e da teste di frecce direzionate. In riferimento a questa ultima condizione, si veda la **Figura 3**, dove si può osservare l'illusione di Müller-Lyer, per cui lo stesso segmento appare più stretto quando è affiancato da frecce che puntano verso l'esterno (<>), e più lungo quando è circondato da frecce che puntano verso l'interno (><). La terza

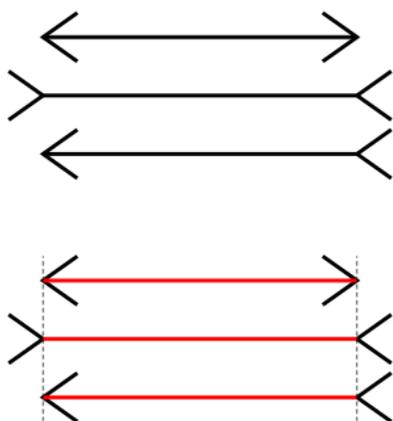


Figura 3 - "Illusione di Müller-Lyer: benché le linee siano in realtà della medesima lunghezza, l'effetto percettivo fa apparire alcune di queste come aventi una lunghezza maggiore o minore rispetto alle altre"

Fonte:  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Illusione\\_di\\_Müller-Lyer](https://it.wikipedia.org/wiki/Illusione_di_Müller-Lyer) (24/07/2023)

configurazione osservabile in **Figura 3** rappresenta l'illusione di Judd; è proprio questa terza versione a essere stata utilizzata in questo studio (Stöttinger et al., 2012). Secondo gli autori, se il bias spaziale suscitato dai numeri riflette un'illusione cognitiva di lunghezza, allora il bias spaziale direzionale dovrebbe assomigliare a quello osservato nella bisezione delle frecce di Judd (Stöttinger et al., 2012).

I risultati rilevanti ai fini della nostra ricerca riportati da questo studio (Stöttinger et al., 2012)

confermano le ipotesi degli autori: le risposte alle linee affiancate da teste di frecce direzionate erano sistematicamente distorte verso la coda della freccia e nella direzione del numero più grande; inoltre, la modalità di risposta guidata dalla percezione (segno con la penna) era più influenzata dai contesti illusori (infatti, sono stati osservati bias verso la coda della freccia e verso la posizione del numero più grande) rispetto alla modalità di risposta basata sull'azione (*pointing*).

In conclusione, questo studio (Stöttinger et al., 2012) mostra come segnare il centro con una penna è molto più sensibile a un bias spaziale indotto da numeri di diversa grandezza rispetto al puntare verso il centro di una linea: questi risultati rispecchiano perfettamente quelli osservati qui nel contesto dell'illusione di Judd. Pertanto, gli autori (Stöttinger et al., 2012) hanno concluso che il bias spaziale prodotto dai numeri arabi in compiti di bisezione di linee è molto probabilmente dovuto a un'illusione cognitiva di lunghezza (de Hevia et al., 2006).

#### **1.2.4. Il ruolo della percezione visiva**

In riferimento al paragrafo precedente, appare chiaro che esistono dei potenti effetti illusori in grado di ingannare la nostra percezione della lunghezza di una linea. Le autrici Ranzini e Girelli (2012) hanno affrontato un ulteriore elemento percettivo in grado di creare bias ai compiti di bisezione: la luminanza. In particolare, allo scopo di studiare come numero e luminanza interagiscano tra loro, sono stati implementati degli esperimenti che impiegavano compiti di bisezione di linee computerizzati con *flanker* non numerici e numerici con diversi livelli di luminanza (Ranzini & Girelli, 2012).

Innanzitutto, le autrici Ranzini e Girelli (2012) hanno replicato l'effetto "cifra più grande", per cui il punto centrale della linea era sistematicamente percepito in modo errato verso la cifra più grande, a supporto dell'ipotesi cognitivo-illusiva (de Hevia, 2006). Le autrici (Ranzini & Girelli, 2012) hanno inoltre osservato un effetto "*darker flanker*", per cui i partecipanti hanno percepito in modo errato il punto medio della linea verso il *flanker* più scuro. Quest'ultimo effetto può essere spiegato facendo riferimento a quello che avviene per altre illusioni visive, come quella di Baldwin (Baldwin, 1895). Nell'illusione di Baldwin, il punto medio soggettivo di una linea posizionata tra due quadrati di dimensioni diverse è spostato verso la figura più piccola; questo fenomeno avviene in quanto la figura più grande pare esercitare una compressione illusoria della metà della linea a essa affiancata (Baldwin, 1895). In questo studio (Ranzini & Girelli, 2012), dato che un rettangolo più scuro è percepito come più piccolo (Westheimer, 2008), il bias è stato effettivamente osservato verso il quadrato più scuro. Tuttavia, le autrici (Ranzini & Girelli, 2012) sottolineano come questa interpretazione resti ancora da confermare.

Gli ulteriori esperimenti da loro implementati (Ranzini & Girelli, 2012) hanno rivelato che le illusioni cognitive e visive interagiscono: quando gli effetti illusori indotti dalle grandezze simboliche e fisiche erano combinati in modo congruente, cioè quando le cifre più grandi erano più scure di quelle più piccole, l'elaborazione della grandezza numerica si rifletteva nell'effetto "cifra più grande"; quando questi effetti illusori erano combinati in modo incongruente, cioè quando le cifre più grandi erano più chiare di quelle più piccole, l'effetto della grandezza numerica era complessivamente ridotto. In altre parole, la luminanza riduceva l'effetto illusorio indotto dai numeri quando le dimensioni erano combinate in modo incongruente (Ranzini & Girelli, 2012).

In conclusione, questo rilevante studio (Ranzini & Girelli, 2012) ha dimostrato che l'illusione visiva prodotta dalla luminanza modulava l'illusione cognitiva indotta dalla magnitudine simbolica e fornisce supporto all'idea di un'interazione tra dimensioni fisiche e simboliche. Le autrici (Ranzini & Girelli, 2012) sostengono l'esistenza di rappresentazioni distinte ma sovrapposte per le grandezze fisiche e numeriche e di una rappresentazione condivisa della grandezza.

### **1.2.5. Evidenze da studi su popolazioni cliniche**

Il neglect è una sindrome neuropsicologica acquisita che comporta difficoltà a riferire, rispondere o orientarsi verso stimoli situati nello spazio controlaterale, definito in termini di sistemi di coordinate retinotopiche, egocentriche (riferite al corpo) o allocentriche (riferite all'oggetto) (Jewell & McCourt, 2000). Solitamente, i pazienti con neglect sinistro bisecano le linee orizzontali significativamente a destra rispetto al

reale punto mediano, come se ignorassero la maggior parte del lato sinistro dello stimolo o fossero, in alternativa, iper-attenti al lato destro (Jewell & McCourt, 2000).

In uno studio (Zorzi, Priftis & Umiltà, 2002), è stato chiesto a pazienti con neglect sinistro di bisecare mentalmente intervalli numerici. I partecipanti hanno riportato un numero più grande di quello corretto, spostando la risposta verso l'estremità destra della linea numerica mentale (Zorzi et al., 2002). In questo studio (Zorzi et al., 2002) le prestazioni verbali dei pazienti con neglect rispecchiano fedelmente la loro difficoltà nel bisecare le linee fisiche. Questo risultato è in linea con la natura spaziale della linea numerica mentale e il suo isomorfismo funzionale con le linee fisiche (Zorzi et al., 2002). Tali risultati sono stati successivamente generalizzati dagli autori Longo e Lourenco (2007) a partecipanti sani (cfr. par. "**Attenzione**", pag. **24**), a sostegno della presenza di una relazione funzionale tra i compiti di bisezione di linee fisiche e i compiti di bisezione di linee numeriche.

Successivamente, in uno studio di Bonato, Priftis, Marensi, e Zorzi (2008), un campione di pazienti con neglect ha effettuato un compito di bisezione di linee, i cui *cue* potevano rappresentare numeri uguali (1-1 o 9-9) o diversi (1-9 o 9-1). I risultati hanno mostrato che le cifre hanno avuto un effetto significativo e affidabile sulla prestazione dei pazienti solo nella prima condizione di numeri uguali (1-1 o 9-9): è probabile, infatti, che le prestazioni dei pazienti con neglect siano state influenzate soprattutto dalla grandezza della cifra posta all'estremità destra della linea, perché la cifra all'estremità sinistra potrebbe non essere elaborata consapevolmente dai pazienti con neglect (Bonato et al., 2008). L'effetto dei *cue* numerici ha mostrato come il fenomeno patologico del bias verso destra osservato in pazienti con neglect possa essere efficacemente modulato verso direzioni sia contro- che ipsilesionali (Bonato et al., 2008). Tale modulazione significativa conferma che l'accesso implicito alla linea

numerica mentale è risparmiato nei pazienti con neglect (Bonato et al., 2008). L'alterazione della linea numerica mentale generata dal neglect ed esposta nello studio del paragrafo precedente (Zorzi et al., 2002) è limitata ai compiti che richiedono l'accesso esplicito e la manipolazione della grandezza numerica, come, ad esempio, la bisezione di intervalli numerici (Zorzi et al., 2002).

Inoltre, il fatto che l'effetto dei *cue* numerici possa essere risparmiato in pazienti con neglect, ma non risulti significativo nei controlli con danno cerebrale destro, può suggerire una maggiore suscettibilità ai segnali irrilevanti mostrata dai pazienti del gruppo sperimentale. Questa maggiore suscettibilità può essere interpretata come il risultato di una percezione incoerente della lunghezza della linea, data anche la maggiore variabilità delle prestazioni di bisezione (Bonato et al., 2008).

### **1.2.6. Basi neurali dei compiti di bisezione di linee**

Al fine di valutare il meccanismo neurale comune alla base dei compiti di bisezione di linee e, in particolare, di individuare le aree cerebrali coinvolte nella bisezione di linee numeriche, un recente studio fMRI (Liu et al., 2019) ha utilizzato quattro compiti di bisezione di linee. Nel primo compito di bisezione di linee numeriche, ai partecipanti era stato richiesto di riportare il valore medio di un intervallo di 5 o 7 unità definito da due numeri. Il secondo era un classico compito di bisezione di linee fisiche, in assenza di informazioni o *cue* numerici. Il terzo compito di identificazione della grandezza numeri ha funto da *baseline* per il compito di bisezione di linee numeriche sopradescritto; ai partecipanti era richiesto di stabilire se il numero presentato era uguale o diverso a quello visto subito prima. Infine, il compito di

identificazione della posizione dei punti è servito da *baseline* per il compito di bisezione di linee fisiche; ai partecipanti era stato richiesto concentrarsi visivamente su un punto e di identificare se la posizione di un punto proposto successivamente fosse spazialmente coerente con il primo, cioè se le posizioni di due punti presentati in successione fossero uguali.

I risultati hanno rivelato che una rete neurale che comprende le aree parieto-frontali bilaterali, l'area motoria supplementare (*supplementary motor area*, SMA) sinistra e il cervelletto destro è coinvolta nella bisezione della linea del numero (Liu et al., 2019). In particolare, gli autori (Liu et al., 2019) hanno ipotizzato che le aree parieto-frontali bilaterali si occupassero specificatamente dell'immaginazione mentale di una linea numerica e della sua rappresentazione ed elaborazione visuo-spaziale; che la SMA sinistra fosse coinvolta nell'elaborazione della sequenza dei due numeri; e, infine, che il cervelletto destro contribuisse alla localizzazione spaziale del punto medio di una linea numerica immaginata.

Per quanto riguarda la bisezione di linee fisiche, sono coinvolti principalmente la corteccia visiva (bilaterale) e il lobulo parietale inferiore e superiore destro (Fink et al., 2000).

### **1.3. Il presente studio: breve descrizione del paradigma sperimentale e rispettive ipotesi**

Il presente studio ha come obiettivo quello di indagare l'associazione spazio-numerica tramite il paradigma della bisezione di linee, al preciso scopo di disambiguare l'effetto della numerosità sulla prestazione spaziale da quello delle

caratteristiche percettive del *flanker*. A tal fine, sono stati implementati quattro esperimenti, ognuno dei quali è caratterizzato da un compito di bisezione di linee con *cue* laterali numerici simbolici (cifre arabe) e non simbolici (matrici di punti).

### **1.3.1.     *Esperimento 1: descrizione e ipotesi***

Nel primo esperimento, il compito di bisezione di linee è caratterizzato da *flanker* laterali che rappresentano numerosità diverse (8-2 o 2-8).

Questo esperimento mira a replicare i risultati ottenuti dalle autrici de Hevia e Spelke (2009), ossia rilevare un bias di bisezione verso il *flanker* di numerosità maggiore, sia esso in formato simbolico o in formato non simbolico, e indipendentemente dalla sua posizione a destra o a sinistra della linea centrale (cfr. par. **“Esperimento 1: replica dello studio di de Hevia e Spelke (2009)”**, pag. 43).

### **1.3.2.     *Esperimento 2: descrizione e ipotesi***

Il secondo esperimento è caratterizzato da stimoli con *flanker* laterali che rappresentano la stessa numerosità (2-2 o 8-8). I *flanker* in questione, quando espressi in formato non simbolico come matrici di punti, sono simmetrici e speculari; in questo modo, oltre a veicolare la stessa informazione di numerosità, l'influenza delle loro caratteristiche percettive sulla linea è identica, sia a destra, che a sinistra di essa (cfr. par. **“Esperimento 2: stimoli di uguale numerosità”**, pag. 55).

Riguardo a questo secondo esperimento, sono state contemplate tre ipotesi.

La prima ipotesi riguarda la possibilità di non osservare alcun bias di bisezione. Infatti, sia nel caso degli stimoli simbolici, sia di quelli non simbolici, la numerosità veicolata dai due *flanker* laterali è identica. Inoltre, per quanto riguarda gli stimoli non simbolici, le matrici di punti sono simmetriche e, dunque, anche l'influenza delle caratteristiche percettive dei due *flanker* sulla linea risulta bilanciata.

La seconda e la terza ipotesi prendono in considerazione un possibile ruolo svolto da meccanismi attentivi. In particolare, potrebbe essere osservato un bias di bisezione verso il *flanker* di sinistra nel caso degli stimoli di numerosità 2, e un bias verso destra quando i *flanker* degli stimoli rappresentano la numerosità 8. L'osservazione di questo fenomeno potrebbe essere plausibile poiché la congruenza tra lo spazio e il numero secondo la linea numerica mentale (cioè, due a sinistra e otto a destra) potrebbe derivare uno spostamento dell'attenzione verso il *flanker* nella posizione "congruente", in quanto saliente, e spostare così nella sua direzione il centro percepito.

Alternativamente, sempre in virtù della presenza, in ogni stimolo, di una posizione di congruenza e di incongruenza dei *flanker*, potrebbe osservarsi il fenomeno opposto a quello sopracitato, ovvero i partecipanti potrebbero mostrare una tendenza a posizionare il segno di bisezione verso il *flanker* nella posizione "incongruente" (cioè, due a destra e otto a sinistra), poiché, in quanto tale, potrebbe catturare maggiormente l'attenzione rispetto al *flanker* correttamente posizionato secondo la linea numerica mentale. In altre parole, secondo questa terza ipotesi, si potrebbe osservare un bias di bisezione verso destra nel caso degli stimoli di numerosità 2 e un bias verso sinistra nel caso degli stimoli di numerosità 8.

### 1.3.3. **Esperimento 3: descrizione e ipotesi**

Il terzo esperimento è caratterizzato da stimoli che sono stati definiti “chimerici”. I *flanker* laterali rappresentano la stessa numerosità (8-8), ma l’influenza delle caratteristiche percettive di ciascun *flanker* sulla linea da bisecare dovrebbe essere diversa. Nel caso dei *flanker* simbolici, è stata manipolata la grandezza del *font*. Per quanto riguarda i *cue* non simbolici, le matrici di punti impiegate per un singolo *flanker* sono caratterizzate da una metà più popolosa rispetto all’altra (6 punti in una metà e i restanti 2 nell’altra), in modo da ricreare una sorta di illusione della freccia come quella impiegata nello studio di Stöttinger e colleghi (2012) (cfr. par. **“Illusioni cognitive e percettive”**, pag. 31, **Figura 3**). Inoltre, l’immagine utilizzata nel *flanker* di destra è stata riprodotta in modo identico per il *flanker* di sinistra. In questo modo, i *flanker* di uno stesso stimolo sono percettivamente identici e veicolano la stessa informazione di numerosità, ma l’influenza delle loro caratteristiche percettive sulla linea è diversa, in quanto uno dei due *flanker* presenterà una maggiore quantità di pallini nei pressi della linea centrale rispetto al suo omologo (cfr. par. **“Esperimento 3: stimoli chimerici di numerosità 8”**, pag. 62).

Le ipotesi riguardanti questo terzo esperimento variano in funzione della variabile, numerica o percettiva, che guida prevalentemente ogni partecipante nell’esecuzione del compito di bisezione di linee con *flanker* numerici. In particolare, se il bias di bisezione è determinato primariamente dall’informazione sulla numerosità veicolata dai *flanker*, allora si dovrebbe osservare una prestazione analoga a quella osservata nell’Esperimento 2 sopradescritto. Infatti, i due *cue* laterali di questo terzo esperimento veicolano effettivamente la stessa informazione numerica (2-2 o 8-8), come nel caso del secondo esperimento del presente studio.

Ciò che distingue l'Esperimento 3 dal precedente è la variabile delle caratteristiche percettive dello stimolo. Perciò, nel caso in cui si dovesse osservare una prestazione diversa rispetto a quella osservata nell'Esperimento 2, questa differenza potrebbe essere attribuita, appunto, alle diverse caratteristiche percettive che distinguono le due condizioni. Nello specifico, la seconda ipotesi che guida questo terzo esperimento è la possibilità di osservare un bias di bisezione nella direzione del *flanker* con la maggiore densità di punti nei pressi della linea centrale, indipendentemente dalla sua posizione a destra o a sinistra della linea, nel caso degli stimoli non simbolici; e di osservare un bias nella direzione del *flanker* numerico simbolico di maggiori dimensioni, sia esso posizionato a destra o a sinistra della linea. Questa seconda ipotesi è giustificabile alla luce di studi che hanno riportato un bias significativo di bisezione verso la coda della freccia in stimoli che riproducevano l'illusione di Judd (Stöttinger et al., 2012), e di cui, nel presente esperimento, si è tentato di riprodurre le caratteristiche percettive, attraverso l'impiego di *flanker* veicolanti anche informazioni di numerosità.

#### **1.3.4. Esperimento 4: descrizione e ipotesi**

Infine, il quarto esperimento è molto simile al terzo, ma varia la numerosità veicolata dai *flanker*; infatti, gli stimoli presentano numerosità uguale (2-2). Per quanto riguarda gli stimoli simbolici, come nell'Esperimento 3, è stata manipolata la dimensione del *font*, in modo che una cifra sia percettivamente più grande dell'altra. Gli stimoli non simbolici, invece, sono stati costruiti a partire dalle matrici di punti utilizzate nell'Esperimento 3; in particolare, sono stati rimossi i sei pallini presenti in

una delle metà del *flanker*, in modo che i due rimanenti si trovassero nei pressi della linea centrale o esternamente rispetto a essa, e che l'altra metà del *flanker* fosse vuota. Anche in questo caso, quindi, i *flanker* di uno stesso stimolo sono percettivamente identici, ma varia la densità di punti nei pressi della linea (cfr. par. **“Esperimento 4: stimoli chimerici di numerosità 2”**, pag. 72).

Le ipotesi di questo quarto esperimento sono in linea con quelle dell'Esperimento 3, date le similitudini numeriche e percettive che accomunano i due esperimenti. In particolare, se la prestazione al compito di bisezione è guidata dalla informazione sulla numerosità veicolata dai *flanker*, allora si dovrebbe osservare una prestazione analoga a quella che si otterrà all'Esperimento 2. Invece, se la prestazione dei partecipanti è guidata primariamente dalle caratteristiche percettive dei *flanker*, allora, per quanto riguarda gli stimoli non simbolici, la prestazione sarà probabilmente deviata nella direzione del *flanker* con i due pallini nei pressi della linea centrale, indipendentemente dalla sua posizione a destra o a sinistra rispetto alla linea; analogamente, ci si aspetta di osservare un bias di bisezione verso la cifra di dimensioni maggiori nel caso degli stimoli simbolici.

## 2. Metodo e Risultati

Il presente studio propone di indagare l'associazione spazio-numerica in partecipanti adulti. A tale scopo, sono stati implementati quattro principali esperimenti che prevedevano ciascuno diverse versioni di un compito di bisezione di linee. Gli stimoli impiegati si sono ispirati a quelli utilizzati nello studio di Fischer (2001) e nello studio di de Hevia e Spelke (2009). In questo studio, sono stati infatti utilizzati degli stimoli composti da una linea centrale affiancata da *flanker* veicolanti informazioni numeriche presentate in formato simbolico (codice arabico) o non simbolico (matrici di punti).

In totale, ogni condizione sperimentale prevedeva la somministrazione di:

- Quattro stimoli-*baseline* (linea in assenza dei *flanker* laterali);
- Quattro blocchi composti ciascuno da sedici stimoli con informazioni numeriche in formato simbolico;
- Quattro blocchi composti ciascuno da sedici stimoli con informazioni numeriche in formato non simbolico.

I quattro stimoli *baseline* erano sempre presentati per primi. L'ordine di somministrazione degli stimoli simbolici e non simbolici è stato controbilanciato all'interno di ogni esperimento.

## 2.1. Esperimento 1: replica dello studio di de Hevia e Spelke (2009)

Questo primo esperimento prevedeva la somministrazione di stimoli con *flanker* di numerosità diversa (2-8 o 8-2).

Le caratteristiche di ogni blocco sono illustrate nella **Tabella 1**. La dicitura 8-2 indica che il *flanker* di sinistra rappresentava la numerosità 8, mentre il *flanker* di destra la numerosità 2 (condizione *large*); viceversa 2-8 indica che il *flanker* di sinistra rappresentava la numerosità 2 e quello di destra la numerosità 8 (condizione *small*).

<i>Trial</i>	Lunghezza linea centrale (mm)	<i>Flanker</i> (simbolici e non simbolici)	Condizione
<i>Baseline</i>	60	-	-
<i>Baseline</i>	80	-	-
<i>Baseline</i>	60	-	-
<i>Baseline</i>	80	-	-
0	60	8-2	<i>Large</i>
1	80	2-8	<i>Small</i>
2	60	2-8	<i>Small</i>
3	80	2-8	<i>Small</i>
4	80	8-2	<i>Large</i>
5	60	8-2	<i>Large</i>
6	80	8-2	<i>Large</i>
7	60	2-8	<i>Small</i>
8	80	2-8	<i>Small</i>
9	60	8-2	<i>Large</i>
10	60	2-8	<i>Small</i>
11	80	8-2	<i>Large</i>
12	80	2-8	<i>Small</i>
13	60	8-2	<i>Large</i>

14	80	8-2	<i>Large</i>
15	60	2-8	<i>Small</i>

Tabella 1 – Esperimenti 1 e 3

### **2.1.1. Partecipanti**

Inizialmente, sono stati assegnati 40 partecipanti per esperimento. Per eliminare l'effetto di possibili variabili che potessero interferire con la percezione degli stimoli e la conseguente prestazione al compito di bisezione di linee, i partecipanti mancini e coloro che non hanno dichiarato la dominanza manuale sono stati esclusi dal campione. Inoltre, sono stati esclusi dal campione coloro la cui prestazione si discostava di  $\pm 2$  deviazioni standard dalla media. Questi criteri di esclusione sono stati applicati a tutti gli esperimenti del presente studio.

I partecipanti che avevano risposto inizialmente agli stimoli non simbolici e successivamente a quelli simbolici erano suddivisi 12 partecipanti femmine e 4 partecipanti maschi, per un totale di 16 partecipanti, di età media di 19,8 anni (DS=1.00).

I partecipanti che hanno iniziato il compito con la bisezione degli stimoli simbolici erano 12, suddivisi in 4 maschi e 8 femmine, di età media di 20,1 anni (DS=1.15).

### 2.1.2. *Materiali, metodi e procedure*

Gli stimoli *baseline* erano identici per tutte le condizioni sperimentali ed erano composti da una linea nera (di lunghezza 60 mm o 80 mm e di spessore 1 mm) centrata orizzontalmente e verticalmente su un foglio bianco orientato orizzontalmente di dimensioni 148 mm × 210 mm (foglio di formato A5).

Gli stimoli della fase test erano composti ognuno da una linea nera di 60 mm o 80 mm e spessore 1 mm centrata orizzontalmente e verticalmente su un foglio bianco di dimensioni 148 mm × 210 mm con affiancato a destra e a sinistra un *flanker* quadrato di dimensioni 50 mm × 50 mm e spessore 1 mm contenente le informazioni numeriche. Nel caso degli stimoli non simbolici, la distanza tra la linea e il *flanker* è di 5 mm e i suoi bordi sono di colore nero. Nel caso degli stimoli simbolici, il *flanker* quadrato era posizionato in modo contiguo alla linea centrale e i suoi bordi erano bianchi; il numero era centrato rispetto all'altezza del quadrato e posizionato il più vicino possibile alla linea centrale orizzontale.

Gli stimoli sono stati stampati in bianco e nero su carta di grammi 12 per contrastare eventuali effetti interferenti dati dalla trasparenza dei fogli.

I pallini degli stimoli numerici non simbolici avevano diametro 6,1 mm. Il *font* impiegato per gli stimoli numerici simbolici era Arial colore nero di dimensione 30 pt.

Tutti gli stimoli sono stati creati con il programma PowerPoint versione 16.72.

Si veda la **Figura 4** per un esempio.

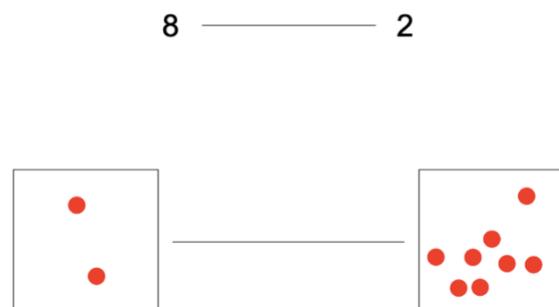


Figura 4 - Esempi di stimoli impiegati nell'Esperimento 1 (in alto: condizione *large symbolic*; in basso: condizione *small non symbolic*)

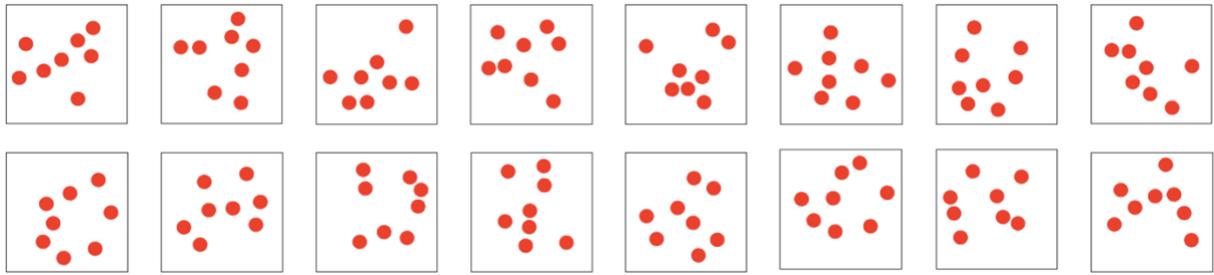


Figura 6 - Matrici di punti di numerosità 8 utilizzate nell'Esperimento 1

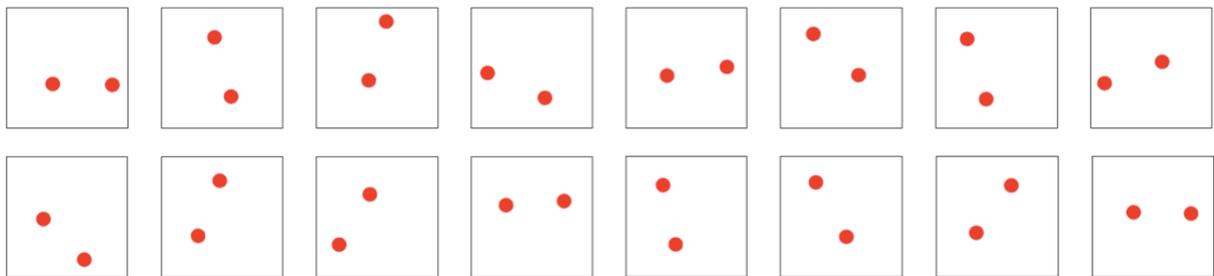


Figura 5 - Matrici di punti di numerosità 2 utilizzate nell'Esperimento 1

Nella **Figura 5** e **Figura 6** è possibile osservare le diverse matrici di punti utilizzate per la condizione non simbolica di questo esperimento.

I partecipanti erano istruiti a posizionare il plico di stimoli al centro rispetto al loro piano sagittale verticale. La distanza tra il plico di stimoli e il partecipante era di circa 30 cm. Una volta bisecato lo stimolo, i partecipanti erano istruiti a ruotare di 180° in avanti il foglio, in modo da bisecare i diversi stimoli nell'ordine prestabilito.

Il primo foglio che ogni partecipante si trovava davanti riguardava i dati anagrafici (genere, data di nascita, età e mano dominante), che doveva completare per primo e attendere il via libera dello sperimentatore per l'inizio del test.

Nell'iniziale fase di familiarizzazione (*baseline*), le linee di lunghezza 60 mm e 80 mm si presentavano alternativamente, iniziando da quella più corta.

La successiva fase test prevedeva la somministrazione dei centotrentadue stimoli *test* che componevano gli otto blocchi sperimentali.

### 2.1.3. *Analisi statistiche*

I punteggi ottenuti dai partecipanti al compito di bisezione di linee sono stati analizzati nell'ambiente statistico R (R Development Core Team, 2023.03.01+446).

Per l'analisi dei dati, è stato impiegato un modello misto lineare facente parte del pacchetto lme4 (versione 1.1-5, Bates, Maechler, Bolker & Walker, 2014). Successivamente, sono stati eseguiti i *contrast* tramite *tukey method* (libreria emmeans).

La deviazione del segno di bisezione dal punto medio reale (positiva se verso destra, negativa se verso sinistra, espressa in millimetri) è stata codificata come variabile dipendente continua. I fattori sono rappresentati dalla posizione del *flanker* a sinistra (condizione *small* se "2", condizione *large* se "8") e dal formato simbolico (condizione *symbolic*) o non simbolico (condizione *non symbolic*) degli stimoli.

Inizialmente nel modello era stato inserito un ulteriore fattore rappresentato dall'ordine di somministrazione. Dato che l'ordine non è risultato essere significativo, è stato successivamente rimosso dal modello.

Inoltre, per ogni condizione sperimentale sono stati effettuati dei test t di Student per verificare la significatività della deviazione del punto di bisezione dallo zero reale.

Il modello sopracitato e i relativi metodi sono stati impiegati per tutti gli esperimenti del presente studio.

### 2.1.4. Risultati Esperimento 1

In riferimento ai valori *contrast* tra le diverse condizioni (cfr. **Figura 7**), per quanto riguarda gli stimoli non simbolici, è stata trovata una differenza significativa [ $F(2, 3923)=-.5290, p<.001$ ] tra la condizione *large non symbolic* ( $M=-.764, SE=.169$ ) e la condizione *small non symbolic* ( $M=-.235, SE=.169$ ). Nello specifico, i partecipanti hanno mostrato un bias verso la numerosità maggiore, indipendentemente dalla sua posizione a destra o a sinistra rispetto alla linea centrale.

Confrontando gli stimoli simbolici e gli stimoli non simbolici, è stata osservata una differenza significativa [ $F(2, 3923)=-.3627, p<.001$ ] tra la condizione *large non symbolic* e *large symbolic* ( $M=-.401, SE=.169$ ). È stata osservata una differenza significativa [ $F(2, 3923)=-.3814, p<.001$ ] anche tra la condizione *large non symbolic* e *small symbolic* ( $M=-.383, SE=.169$ ). Infine, una differenza significativa è stata osservata tra la condizione *small non symbolic* e la condizione *large symbolic* [ $F(2, 3923)=.1663, p<.05$ ].

I restanti valori *contrast*, cioè la differenza tra la condizione *large symbolic* e la condizione *small symbolic*, e la differenza tra la condizione *small symbolic* e la condizione *small non symbolic*, non sono risultati significativi ( $p>.05$ ).

Infine, i test t di Student hanno rivelato una deviazione significativa dallo zero nelle condizioni *small symbolic* [ $t(27)=-3.819, p<.001$ ], *large symbolic* [ $t(27)=-3.593, p=.001$ ], *small non symbolic* [ $t(27)=-3.713, p<.001$ ], *large non symbolic* [ $t(27)=-2.783, p<.02$ ], e *baseline* [ $t(27)=-3.226, p<.02$ ].

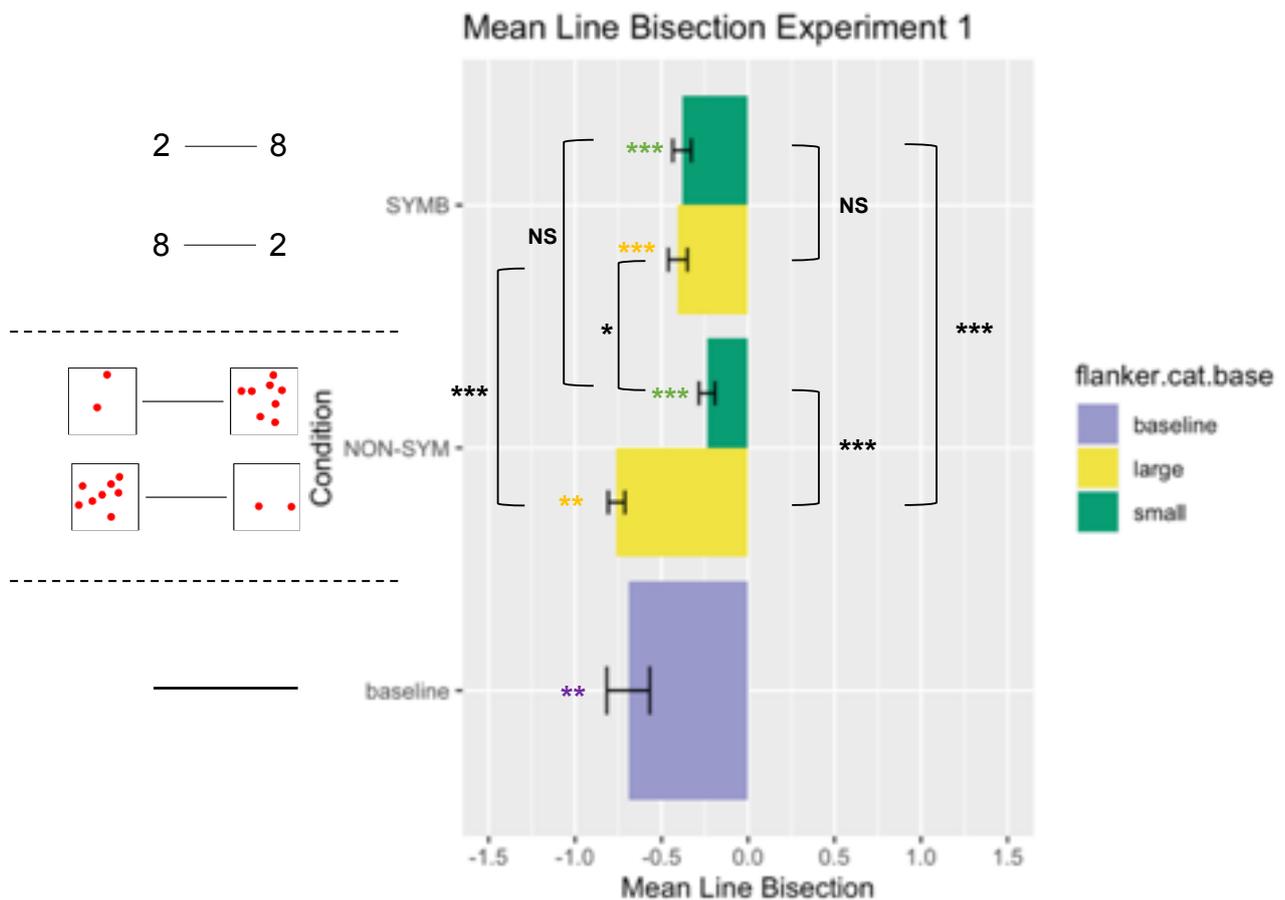


Figura 7 – Risultati “contrast” Esperimento 1: deviazione media della prestazione dal punto medio (a partire dall’alto: condizione small symbolic, large symbolic, small non symbolic, large non symbolic, baseline) Gli asterischi colorati indicano la significatività della deviazione media dal centro reale

### 2.1.5. Discussione Esperimento 1

L’obiettivo di questo esperimento consisteva nel replicare i risultati ottenuti da de Hevia e colleghi (2006) e da de Hevia e Spelke (2009), ovvero due studi che hanno impiegato due paradigmi di bisezione di linee affiancate da numerosità espresse rispettivamente in formato simbolico e non simbolico.

Nel presente esperimento, in riferimento agli stimoli non simbolici, è stata osservata una differenza significativa tra la condizione *small* e la condizione *large*; in particolare, è stato riportato un bias verso la numerosità maggiore, ossia verso la

matrice di punti di numerosità 8, indipendentemente dalla sua posizione a destra o a sinistra rispetto alla linea centrale. È importante sottolineare che il punto centrale percepito è stato mediamente posizionato a sinistra rispetto al centro reale. Sebbene sia stata osservata una differenza della prestazione sulla base della posizione del *flanker* di numerosità maggiore, il bias di bisezione è comunque posizionato a sinistra rispetto al centro reale della linea.

Tali risultati replicano parzialmente quelli ottenuti dalle autrici de Hevia e Spelke (2009), le quali hanno utilizzato un paradigma simile, in cui ai partecipanti era richiesto di bisecare linee affiancate da matrici di punti di numerosità diverse (cfr. **Figura 2**, pag. **22** per un esempio). Infatti, nel presente esperimento è stato riportato un bias di bisezione verso la matrice di punti di numerosità maggiore, analogamente a quanto avvenuto nello studio sopracitato (de Hevia & Spelke, 2009). Tuttavia, in questo esperimento, i partecipanti hanno generalmente bisecato la linea a sinistra rispetto al centro reale; invece, nello studio di de Hevia e Spelke (2009), i partecipanti hanno bisecato a destra rispetto al punto medio reale quando la matrice di punti di numerosità maggiore era posizionata a destra.

Il generale bias verso sinistra osservato può essere spiegato dal fenomeno dello pseudoneglect, per cui è stato riportato che partecipanti neurologicamente sani tendono sistematicamente a commettere un bias di bisezione a sinistra rispetto al centro reale della linea ai compiti di bisezione di linee (Jewell & McCourt, 2000; Longo & Lourenco, 2007). Il bias verso sinistra risulta inoltre essere significativo in tutte le condizioni sperimentali.

Un'ulteriore possibile spiegazione circa la discordanza dei risultati ottenuti nella condizione *non symbolic* del presente esperimento da quelli rilevati dalle autrici de Hevia e Spelke (2009) potrebbe riguardare le caratteristiche percettive delle matrici di

punti impiegate. È interessante notare che i punti utilizzati nel presente studio per la rappresentazione della numerosità erano di inchiostro nero e della stessa dimensione; invece, i punti impiegati nello studio di de Hevia e Spelke (2009) erano caratterizzati dal solo contorno nero e la loro dimensione variava a seconda della numerosità rappresentata. Inoltre, le matrici di punti impiegate in questo studio erano sempre racchiuse in un rettangolo nero; questo accorgimento consente di ridurre le asimmetrie percettive (Bonato et al., 2008). Invece, nello studio di de Hevia e Spelke (2009), i punti utilizzati erano confinati in uno spazio virtuale. In altre parole, le differenze percettive che caratterizzano le matrici di punti potrebbero rendere conto della diversa prestazione riportata dai due studi.

Tuttavia, questa interpretazione basata esclusivamente sulle caratteristiche percettive dei *flanker* della condizione *non symbolic* non è in grado di spiegare la discordanza dei risultati della condizione *symbolic* del presente esperimento rispetto a quanto riportato da altri autori (de Hevia et al., 2006; Fischer, 2001; Ranzini & Girelli, 2012). Ai fini del presente studio, è comunque utile considerare le differenze delle caratteristiche percettive che connotano i diversi paradigmi per costruire una visione di insieme dei possibili fattori in grado di influenzare la prestazione ai compiti di bisezione di linee affiancate da *flanker* numerici.

Per quanto concerne gli stimoli simbolici, non è stata osservata alcuna differenza significativa tra la condizione *large symbolic* e *small symbolic*. L'assenza di un effetto "cifra più grande", ossia di un bias verso il *flanker* di numerosità maggiore, è un risultato difforme da quanto riportato finora in letteratura. Infatti, Fischer (2001) osservò per primo un bias verso la cifra simbolica più grande in un analogo compito di bisezione di linee affiancate da cifre arabe; similmente, de Hevia e colleghi (2006), ma anche le autrici Ranzini e Girelli (2012), che hanno impiegato un compito

computerizzato di bisezione di linee affiancate da cifre arabe, hanno riportato un bias di bisezione verso il *flanker* rappresentato dalla cifra più grande.

Tuttavia, anche in questo caso, il fatto che partecipanti del presente esperimento abbiano riportato mediamente un punto medio percepito più a sinistra rispetto al centro reale potrebbe essere imputato al fenomeno dello pseudoneglect di cui accennato nei precedenti paragrafi.

Sia nel caso degli stimoli non simbolici, sia nel caso degli stimoli simbolici, il bias verso sinistra imputabile allo pseudoneglect potrebbe indicare che sia avvenuta una scarsa elaborazione del numero da parte dei partecipanti, evidente in particolare modo nel caso degli stimoli simbolici. Sebbene l'accesso alla linea numerica mentale e all'informazione della grandezza numerica sia perlopiù un processo di tipo automatico (Dehaene et al., 1993), potrebbe essere che la modalità di auto-somministrazione, unitamente alla grande quantità di stimoli da bisecare – per un totale di 132 stimoli, comprese le quattro *baseline* – e l'assenza di qualunque tipo di richiesta esplicita di elaborazione dei *flanker* numerici abbiano reso il compito ripetitivo. La continua richiesta di rilevazione del centro della linea, considerando inoltre che gli stimoli erano perfettamente sovrapposti l'uno all'altro, potrebbe aver indotto i partecipanti a elaborare in modo preferenziale la parte più centrale dello stimolo (cioè, la linea centrale) e solo scarsamente i *flanker* numerici laterali. Per queste ragioni, il fenomeno dello pseudoneglect potrebbe essere potuto emergere chiaramente, come nei classici di compiti di bisezione di linee in assenza di *flanker* numerici (Jewell & McCourt, 2000).

Questa interpretazione della prestazione dei partecipanti basata sulla scarsa elaborazione dei *flanker* numerici potrebbe essere in grado di spiegare anche la differenza di significatività rilevata entro le condizioni *symbolic* e *non symbolic*. Infatti,

si potrebbe ipotizzare che un'elaborazione del numero in formato simbolico sia meno automatizzata rispetto all'estrazione della numerosità da matrici di punti, in quanto la manipolazione dei simboli è una capacità acquisita più tardivamente dal sistema cognitivo. Considerando dunque la possibilità che i partecipanti abbiano di per sé elaborato scarsamente l'informazione numerica, la significatività delle differenze rilevate entro la sola condizione *non symbolic* è coerente con questa interpretazione, in quanto la rappresentazione della numerosità sotto forma di matrici di punti potrebbe essere un formato in grado di elicitare automaticamente le rappresentazioni numeriche e di grandezza e, quindi, il bias verso il *flanker* di numerosità maggiore potrebbe essere rilevabile anche in condizioni di scarsa elaborazione esplicita dei numeri.

Successivamente, le differenze significative nella prestazione riportate tra stimoli appartenenti alle due diverse categorie (*symbolic vs non symbolic*) potrebbero indicare che il tipo di elaborazione – cognitiva e/o percettiva – possa variare in funzione del formato tramite cui è espressa la numerosità. Per esempio, la differenza significativa tra la condizione *large symbolic* e la condizione *large non symbolic* indica che, sebbene siano rispettate le posizioni relative del valore maggiore (8) e di quello minore (2) rispetto alla linea centrale, la prestazione dei partecipanti risulta diversamente influenzata. Perciò, dato che l'origine di tale differenza non è riconducibile alla semplice posizione della numerosità più grande, è da ricercare in altri fattori che potrebbero renderne conto. In questo caso, la differenza tra le condizioni potrebbe risiedere nel tipo di elaborazione che gli stimoli sono in grado di elicitare. Nel caso degli stimoli in formato non simbolico, è già stato osservato, nel precedente paragrafo, che essi potrebbero essere in grado di elicitare un bias maggiore rispetto a quelli in formato simbolico. Nuovamente, a sostegno di questa

ultima interpretazione, è interessante osservare che il bias verso sinistra (e verso la numerosità maggiore) osservato nella condizione *large non symbolic* risulta essere qualitativamente maggiore rispetto a quello rilevato nella condizione *large symbolic*. È necessario, tuttavia, sottolineare che tale bias verso sinistra risulta essere più significativo nella condizione *large symbolic* rispetto alla condizione *large non symbolic*.

Infine, è opportuno considerare la prestazione dei partecipanti rispetto agli stimoli *baseline*, che sono costituiti da una linea in assenza di alcun tipo di *flanker*. Sebbene gli stimoli *baseline* non siano stati inseriti come fattori all'interno del modello, e non sia dunque possibile trarre conclusioni quantitative in riferimento al confronto con le altre condizioni sperimentali, è interessante osservare come la prestazione media dei partecipanti sia, anche nel caso di questi stimoli di familiarizzazione, deviata significativamente verso sinistra. A fronte dei *pattern* di differenze significative e non significative analizzate nei precedenti paragrafi, si potrebbe supporre che la prestazione dei partecipanti del presente esperimento agli stimoli della condizione *symbolic* sia equivalente a quella osservata per gli stimoli *baseline*; in altre parole, si potrebbe supporre che i partecipanti non siano stati influenzati dalle informazioni numeriche simboliche e, per questa ragione, abbiano mostrato una prestazione analoga a quella mostrata negli stimoli *baseline* e, soprattutto, discordante rispetto a quella riportata da altri studi (de Hevia et al., 2006; Fischer, 2001) che hanno impiegato paradigmi analoghi.

## 2.2. Esperimento 2: stimoli di uguale numerosità

Gli stimoli numerici di queste condizioni sperimentali rappresentavano numerosità uguali (8-8 e 2-2).

Le caratteristiche di ogni blocco sono illustrate nella **Tabella 2**. La dicitura “2” è indicativa della condizione *small*; viceversa, la dicitura “8” è indicativa della condizione *large*.

<i>Trial</i>	Lunghezza linea centrale (mm)	<i>Flanker</i> (simbolici e non simbolici)	Condizione
<i>Baseline</i>	60	-	-
<i>Baseline</i>	80	-	-
<i>Baseline</i>	60	-	-
<i>Baseline</i>	80	-	-
0	60	2	<i>Small</i>
1	80	2	<i>Small</i>
2	60	8	<i>Large</i>
3	80	2	<i>Small</i>
4	80	8	<i>Large</i>
5	60	8	<i>Large</i>
6	80	2	<i>Small</i>
7	60	8	<i>Large</i>
8	80	2	<i>Small</i>
9	60	8	<i>Large</i>
10	60	8	<i>Large</i>
11	80	2	<i>Small</i>
12	80	2	<i>Small</i>
13	60	8	<i>Large</i>
14	80	8	<i>Large</i>
15	60	2	<i>Small</i>

Tabella 2 – Esperimento 2

### 2.2.1. Partecipanti

Il campione di partecipanti che ha risposto inizialmente agli stimoli non simbolici si componeva di 13 partecipanti (8 femmine e 5 maschi) di età media di 20 anni (DS=2.20).

Il campione che ha risposto inizialmente agli stimoli simbolici comprendeva 13 partecipanti (8 femmine e 5 maschi) di età media di 19,5 anni (DS=.66).

### 2.2.2. Materiali, metodi e procedure

I materiali, i metodi e le procedure non differiscono da quelli esposti nel paragrafo precedente, eccetto per la numerosità rappresentata dai *flanker*.

Per quanto riguarda gli stimoli non simbolici, le matrici dei punti sono simmetriche e speculari; in altre parole, la disposizione dei punti del *flanker* di sinistra è simmetrica rispetto a quella del *flanker* di destra dello stesso stimolo. Si veda la **Figura 8** per un esempio.

Nella **Figura 9** e nella **Figura 10** è possibile osservare le matrici di punti utilizzate nell'Esperimento 2 per gli stimoli non simbolici.

2 ————— 2



Figura 8 - Esempi di stimoli impiegati nell'Esperimento 2 (in alto: condizione small symbolic; in basso: condizione large non symbolic)

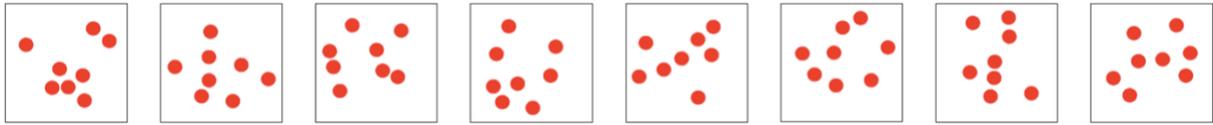


Figura 9 - Matrici di punti di numerosità 8 utilizzate nell'Esperimento 2 (*flanker di sinistra*)

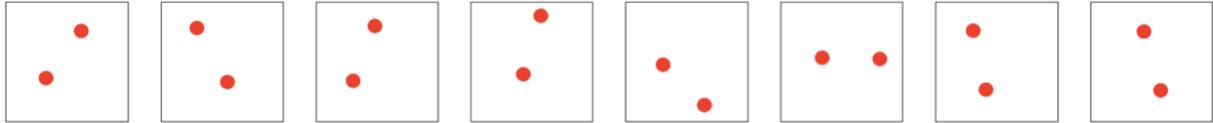


Figura 10 - Matrici di punti di numerosità 2 utilizzate nell'Esperimento 2 (*flanker di sinistra*)

### 2.2.3. Risultati Esperimento 2

Per quanto riguarda i *contrast* (cfr. **Figura 11**), in riferimento ai *flanker* di numerosità 2 (condizione *small*), è stata osservata una differenza significativa [ $F(2, 3916)=-.39416, p<.001$ ] tra la condizione *small symbolic* ( $M=.284, SE=.125$ ) e la condizione *small non symbolic* ( $M=-.110, SE=.125$ ). Lo stesso *pattern* è stato osservato per i *flanker* di numerosità 8 (condizione *large*): è stata osservata una differenza significativa [ $F(2, 3916)=-.53157, p<.001$ ] tra la condizione *large symbolic* ( $M=.424, SE=.125$ ) e la condizione *large non symbolic* ( $M=-.108, SE=.125$ ).

La differenza tra la condizione *large non symbolic* e *small symbolic* è risultata significativa [ $F(2, 3916)=-.39151, p<.001$ ]. Analogamente, anche la differenza tra la condizione *small non symbolic* e *large symbolic* è risultata significativa [ $F(2, 3916)=-.53423, p<.001$ ].

Non è emersa alcuna differenza significativa tra la condizione *large non symbolic* e *small non symbolic* ( $p>.05$ ). Allo stesso modo, la differenza di media tra la condizione *large symbolic* e la condizione *small symbolic* non è risultata significativa ( $p>.05$ ).

I test t di Student hanno rivelato una deviazione significativa dallo zero nelle condizioni *small symbolic* [ $F(24)=2.240, p<.05$ ] e *large symbolic* [ $F(24)=2.862, p<.02$ ]. Le deviazioni nelle restanti condizioni non sono risultate significative ( $p>.05$ ).

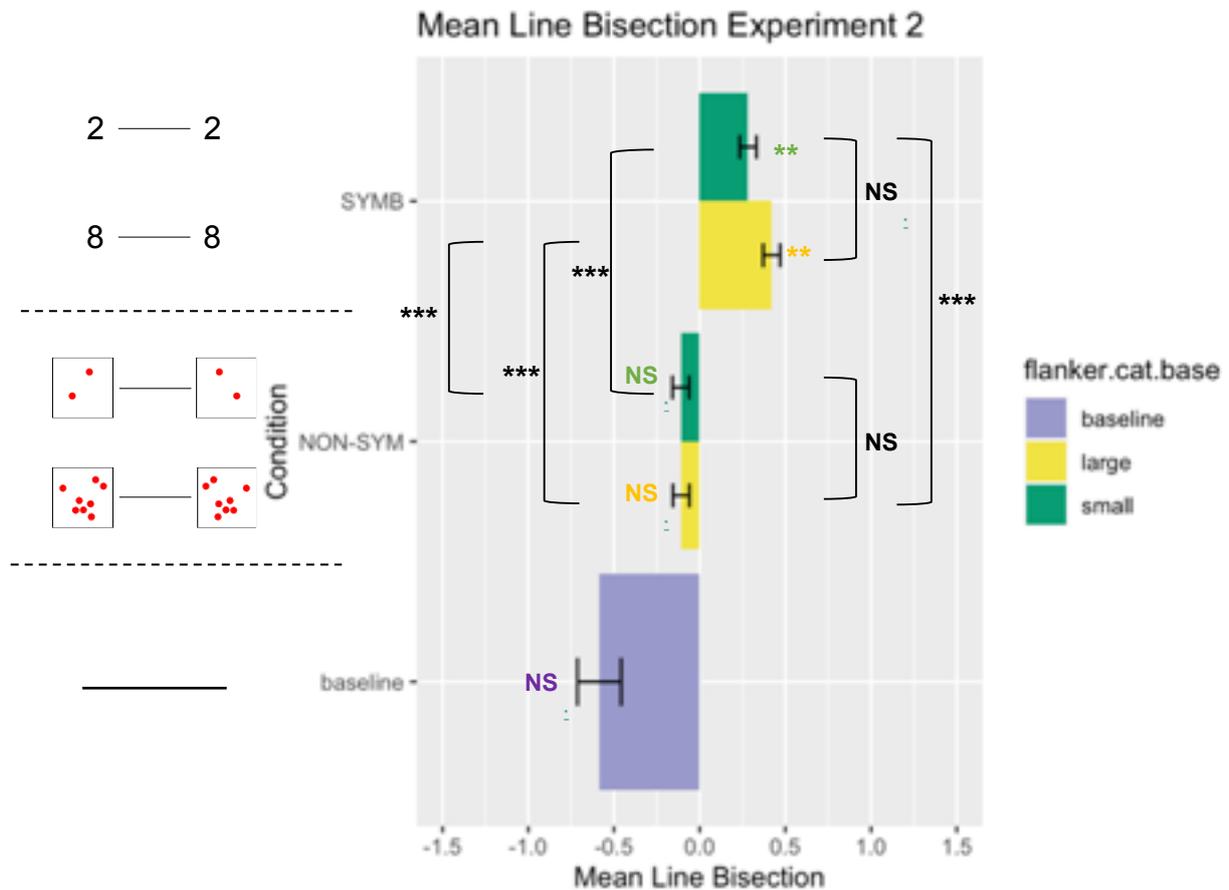


Figura 11 – Risultati “contrast” Esperimento 2: deviazione media della prestazione dal punto medio (a partire dall’alto: condizione *small symbolic*, *large symbolic*, *small non symbolic*, *large non symbolic*, *baseline*) Gli asterischi colorati indicano la significatività della deviazione media dal centro reale

#### 2.2.4. Discussione Esperimento 2

Innanzitutto, è stata rilevata una differenza significativa tra la condizione *small symbolic* e *small non symbolic*. Questa differenza indica che, sebbene la numerosità veicolata dai *flanker* sia la stessa (2), la rappresentazione di tale numerosità risulta

essere un aspetto rilevante in grado di influenzare in modo variabile la prestazione. In altre parole, la numerosità 2 espressa sotto forma di matrici di punti o sotto forma di cifra araba risulta in prestazioni di bisezione differenti.

È interessante osservare che la prestazione nei confronti degli stimoli simbolici risulta in un bias significativo di bisezione a destra rispetto al punto medio reale; viceversa, gli stimoli non simbolici risultano mediamente in un bias a sinistra rispetto al centro reale della linea. Un bias a destra nei compiti di bisezione di linee è stato rilevato anche dagli autori Stöttinger e colleghi (2012) in un compito di bisezione di linee affiancate da teste di frecce direzionate verso sinistra (cfr. **Figura 3**, pag. **31**). Si tratta di un *pattern* particolare, in quanto contraddice la nozione di pseudoneglect. È stato riportato che con l'aumentare dell'età, i partecipanti tendono a commettere errori di bisezione verso destra, rispetto a partecipanti più giovani (Jewell & McCourt, 2000), ma tale interpretazione non risulta adeguata a questi risultati, in quanto l'età media del presente campione è di 19,7 anni (DS=1.61). Un ulteriore fattore che potrebbe rendere conto del bias verso destra è rappresentato dalle differenze individuali (Jewell & McCourt, 2000). Tuttavia, anche in questo caso, l'interpretazione non risulta appropriata in quanto la prestazione degli stessi partecipanti agli stimoli *baseline* ha indotto un bias verso sinistra, coerentemente con il fenomeno dello pseudoneglect. Un'ipotesi che potrebbe spiegare il bias verso destra osservato in questa condizione riguarda la dominanza manuale. In una situazione di iniziale equilibrio percettivo e numerico, la risposta manuale tramite impugnatura di penna potrebbe avere coperto parzialmente lo stimolo sulla destra durante la traiettoria motoria di risposta (si ricorda che

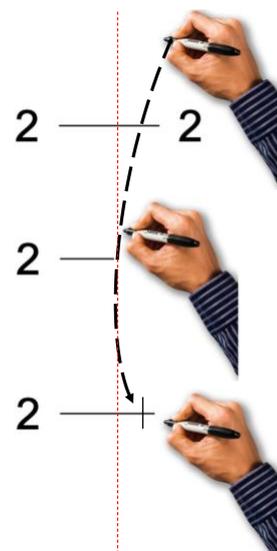


Figura 12 - Ipotesi di traiettoria avvenuta durante la bisezione degli stimoli simbolici dell'Esperimento 2

tutti i partecipanti erano destrimani); in un determinato momento dell'azione della risposta, la porzione visibile di stimolo risultava asimmetrica. Pertanto, per bilanciare l'asimmetria, i partecipanti potrebbero avere deviato la loro traiettoria motoria verso destra (cfr. **Figura 12**). In uno studio è stato riportato che una risposta manuale basata su un movimento di *pointing* risultava meno influenzata dalle illusioni percettive rispetto a una risposta erogata tramite l'impugnatura di una penna (Stöttinger et al., 2012). In altre parole, questo ultimo metodo di risposta, cioè quello impiegato nel presente studio, potrebbe essere più suscettibile a bias percettivi e spaziali (Stöttinger et al., 2012). Tale *pattern* potrebbe non essersi manifestato nella condizione *baseline* poiché, anche se la traiettoria di risposta coprisse una parte della linea, lo stimolo non risulterebbe comunque asimmetrico.

Un *pattern* analogo a quanto esposto nel paragrafo precedente si ripete per gli stimoli delle condizioni *large*; è stata infatti rilevata una differenza significativa tra la condizione *large symbolic* e la condizione *large non symbolic*. Anche in questo caso, la prestazione della condizione *symbolic* si caratterizza per un bias a destra rispetto al punto medio reale; invece, la condizione *non symbolic* è caratterizzata da un bias di bisezione a sinistra rispetto al centro reale della linea. Pertanto, anche per quanto riguarda le numerosità più grandi, il formato tramite cui esse sono espresse rappresenta un fattore rilevante in grado di influenzare in modo diverso la prestazione.

In riferimento agli stimoli non simbolici, non sono risultate significative le differenze tra la condizione *small* e la condizione *large*. Questo risultato è coerente con le ipotesi esposte nel paragrafo introduttivo "**Esperimento 2: descrizione e ipotesi**". Si tratta di un risultato rilevante, dato che è indicativo della prestazione dei partecipanti in una situazione di equilibrio numerico e percettivo. Infatti, tali stimoli sono caratterizzati da matrici di punti di uguale numerosità e la relativa disposizione

dei punti di un *flanker* è perfettamente simmetrica rispetto a quella del *flanker* omologo. In effetti, l'equilibrio che caratterizza gli stimoli di questo esperimento ha aiutato i partecipanti a bisecare in modo estremamente preciso le linee, al punto da annullare anche il fenomeno dello pseudoneglect. Infatti, è possibile osservare come la prestazione dei partecipanti in queste condizioni è deviata indicativamente di solo poco più di 0,1 mm rispetto al centro reale e, infatti, non risulta significativa. Inoltre, in **Figura 11** è possibile osservare qualitativamente che la prestazione nella condizione *non symbolic* risulta più precisa rispetto alla condizione *baseline*. Si tratta di una puntualizzazione rilevante in quanto è indicativa della possibilità che informazioni numeriche e percettive di contesto siano in grado di influenzare la prestazione al punto da renderla tanto precisa da superare effetti interferenti di fisiologiche asimmetrie attentive (cioè, pseudoneglect).

Le differenze della prestazione ai compiti di bisezione della condizione *symbolic* (2 vs 8) non sono risultate significative e anche questo dato è coerente con le ipotesi sopracitate. La condizione *symbolic* di questo esperimento prevedeva un equilibrio numerico, ma solo parzialmente percettivo: nel caso del simbolo "8", la variabile della simmetria percettiva risulta essere equilibrata, trattandosi di un simbolo caratterizzato da una simmetria intrinseca; nel caso del simbolo "2", tuttavia, la variabile percettiva di simmetria non può essere controllata, in quanto un'operazione di rotazione orizzontale del simbolo di 180 gradi per bilanciare tale variabile tra le due estremità della linea renderebbe il simbolo irriconoscibile e perderebbe dunque il suo significato, ovvero la informazione sulla numerosità. Pertanto, la differenza tra le condizioni *symbolic* e *non symbolic* riguarda fundamentalmente le caratteristiche percettive dei *flanker*. Nel paragrafo "**Il ruolo della percezione visiva**" (cfr. pag. 32) è stato esposto un interessante studio che aveva analizzato l'interazione tra le informazioni numeriche

e la luminanza e la rispettiva influenza sulla prestazione in un paradigma computerizzato di bisezione di linee (Ranzini & Girelli, 2012). Le autrici avevano osservato che i partecipanti tendevano a bisecare in prossimità dello stimolo più scuro oppure verso la cifra di numerosità maggiore; in una situazione di combinazione incongruente tra informazioni numeriche e di luminanza (cioè, cifre grandi più chiare; cifre piccole più scure), l'effetto della grandezza numerica era complessivamente ridotto (Ranzini & Girelli, 2012). Pertanto, si potrebbe inferire che le matrici di punti (condizione *non symbolic*) abbiano indotto una prestazione diversa rispetto a quella osservata nella condizione *symbolic* in quanto le loro caratteristiche percettive, in particolare la possibilità che le matrici appaiano più scure e dense rispetto a un semplice simbolo numerico, abbiano influenzato la prestazione riducendo l'effetto dell'influenza numerica e, addirittura, di altri meccanismi attentivi responsabili dello pseudoneglect. In altre parole, le matrici di punti speculari rispetto alla linea potrebbero avere funto, grazie alle loro particolari caratteristiche percettive, da binario di guida o cornice per la traiettoria di risposta del partecipante, al di là, dunque, dell'informazione numerica veicolata.

### **2.3. Esperimento 3: stimoli chimerici di numerosità 8**

Gli stimoli numerici di queste condizioni sperimentali rappresentavano numerosità uguali (8-8), ma l'influenza percettiva dei *flanker* sulla linea dovrebbe essere diversa, in quanto uno dei due *flanker* di uno stesso stimolo presenta una densità di punti maggiore nei pressi dell'estremità della linea rispetto al suo omologo

(cfr. **Figura 13**). Per questa loro particolare caratteristica, gli stimoli di queste condizioni sperimentali sono stati definiti “chimerici”.

L'ordine di somministrazione e le caratteristiche degli stimoli di questo esperimento sono illustrati nella **Tabella 1**. Per una corretta interpretazione della tabella, è necessario specificare le seguenti informazioni:

- Per quanto riguarda gli stimoli simbolici, la dicitura 8-2 indica che il *flanker* di dimensioni maggiori si trova alla sinistra della linea centrale (condizione *large*); viceversa, 2-8 indica che il carattere di maggiori dimensioni si trova alla destra della linea da bisecare (condizione *small*);
- Per quanto riguarda gli stimoli non simbolici, la dicitura 8-2 indica che il *flanker* di sinistra presenterà una maggiore densità di pallini vicino alla linea centrale (condizione *large*), rispetto a quello di destra (cfr. **Figura 13**, stimolo in alto, per un esempio); viceversa, 2-8 indica che sarà il *flanker* di destra ad avere la maggior parte dei pallini disposti vicino alla linea centrale (condizione *small*).

### **2.3.1. Partecipanti**

Il campione di partecipanti che ha risposto inizialmente agli stimoli non simbolici si componeva di 12 partecipanti (11 femmine e 1 maschio), di età media di 19,3 anni (DS=.62).

I partecipanti che hanno risposto prima agli stimoli simbolici erano 17, suddivisi in 13 femmine e 4 maschi, di età media di 19,6 anni (DS=.86).

### 2.3.2. Materiali, metodi e procedure

I materiali, i metodi e le procedure di queste condizioni sperimentali non differiscono da quanto esposto nei paragrafi precedenti, eccetto per quanto segue.

Per quanto riguarda gli stimoli chimerici simbolici, al fine di creare un diverso peso di influenza percettiva sulla linea, mantenendo al contempo la stessa informazione di numerosità, i *flanker* rappresentano numerosità uguale, ma hanno dimensioni diverse; in particolare, il *flanker* più grande è formato da un carattere Arial di dimensioni 60 pt, mentre quello più piccolo ha dimensioni 30 pt. In altre parole, la differenza di dimensione del carattere dei due *flanker* di uno stimolo ammonta al 100%. Si veda la **Figura 14** per un esempio.

I *flanker* non simbolici di questa condizione sono stati creati distribuendo i pallini in modo sproporzionato tra le due metà del *flanker*. In particolare, sei degli otto pallini



Figura 13 - Esempio di stimolo simbolico dell'Esperimento 3 (condizione large symbolic)

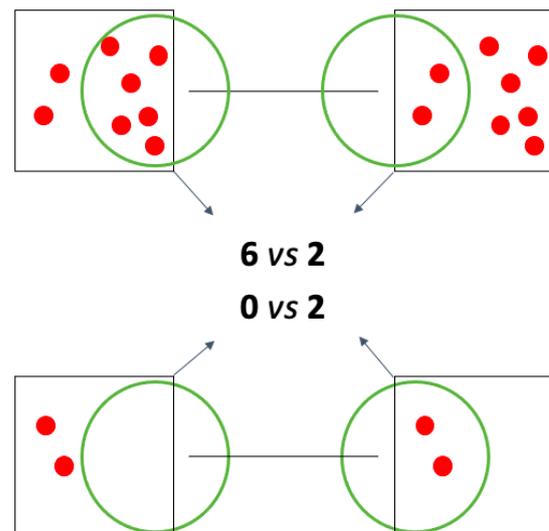


Figura 14 – I flanker degli stimoli chimerici veicolano la stessa informazione di numerosità e sono percettivamente identici; tuttavia, l'influenza percettiva di un flanker sulla linea è diversa rispetto a quella del suo omologo (in alto, Esperimento 3; in basso, Esperimento 4)

totali sono stati distribuiti in una metà del quadrato, e i restanti due nell'altra (cfr. **Figura 13**, stimolo in basso e **Figura 20**, stimolo in alto, e, per un esempio).

Il tentativo sottostante alla creazione degli stimoli di questo terzo esperimento è stato quello di ricreare un'illusione di Judd (o illusione della freccia), per cui è stato osservato che i partecipanti tendono a posizionare il segno di bisezione verso la coda della freccia (cfr. **Figura 3**; Stöttinger et al., 2012). Come si può osservare in **Figura 15**, le teste delle frecce dell'illusione di Judd e i *flanker* degli stimoli creati *ad hoc* per il presente studio condividono la caratteristica di avere una metà percettivamente più densa rispetto all'altra; quando la testa della freccia o la matrice di punti vengono replicate e posizionate alle estremità di una linea, uno dei due *cue* presenta la sua metà percettivamente più densa nei pressi della linea, mentre per il *cue* omologo vale l'esatto contrario.

Nella **Figura 16** sono illustrate le matrici di punti impiegate nell'Esperimento 3.

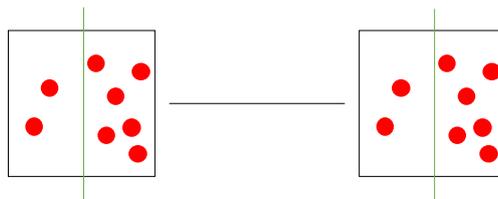


Figura 15 - Illusione della freccia e stimoli chimerici

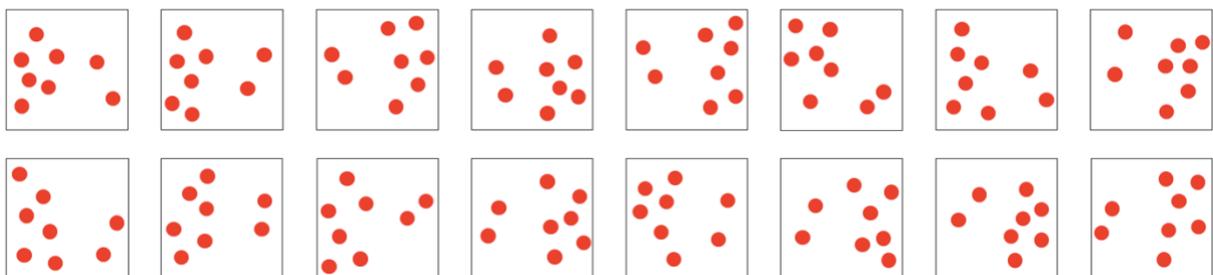


Figura 16 - Matrici di punti utilizzate nell'Esperimento 3

### 2.3.3. Risultati Esperimento 3

In riferimento alla **Figura 17**, confrontando la prestazione dei partecipanti tra la bisezione di linee con *flanker* non simbolici e la bisezione di linee con *flanker* simbolici, sono emerse differenze significative. In particolare, è emersa una differenza significativa [ $F(2, 3922)=-.633, p<.001$ ] tra la condizione *large non symbolic* ( $M=-.705, SE=.164$ ) e *large symbolic* ( $M=-.072, SE=.164$ ). Invece, la differenza tra la condizione *small non symbolic* ( $M=-.404, SE=.164$ ) e *small symbolic* ( $M=-.276, SE=.164$ ) non è risultata significativa.

Inoltre, è emersa una differenza significativa tra la condizione *large non symbolic* e la condizione *small symbolic* [ $F(2, 3922)=-.429, p<.001$ ]. Analogamente, è stata riportata una differenza significativa tra la condizione *small non symbolic* e la condizione *large symbolic* [ $F(2, 3922)=-.332, p<.001$ ].

Infine, è possibile apprezzare le differenze osservate nella prestazione dei partecipanti a stimoli dello stesso formato. Iniziando dalla prestazione agli stimoli simbolici, è emersa una differenza significativa tra la condizione *large symbolic* e *small symbolic* [ $F(2, 3922)=.204, p<.02$ ]. Similmente, per quanto riguarda gli stimoli non simbolici, è stata rilevata una differenza significativa tra la condizione *large non symbolic* e la condizione *small non symbolic* [ $F(2, 3922)=-.301, p<.001$ ].

Ulteriori valori *contrast* non sono risultati significativi ( $p>.05$ ).

I test t di Student hanno rivelato una deviazione significativa dal centro reale nelle condizioni *large non symbolic* [ $t(28)=-3.214, p<.02$ ] e *baseline* [ $t(28)=-2.318, p<.05$ ]. Nelle restanti condizioni, la deviazione non è risultata significativamente diversa da zero ( $p>.05$ ).

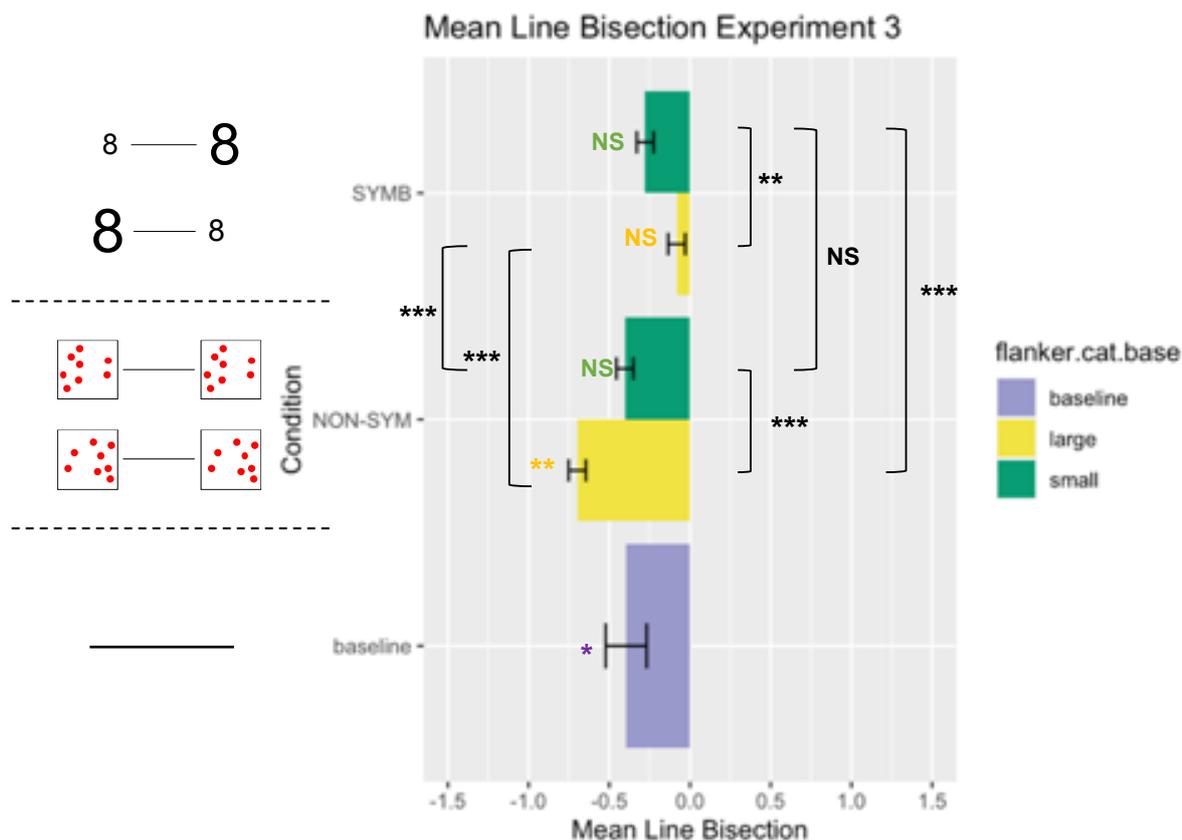


Figura 17 - Risultati "contrast" Esperimento 3: deviazione media della prestazione dal punto medio (a partire dall'alto: condizione small symbolic, large symbolic, small non symbolic, large non symbolic, baseline) Gli asterischi colorati indicano la significatività della deviazione media dal centro reale

### 2.3.4. Discussione Esperimento 3

In questo esperimento, è stata data particolare rilevanza alla variabile delle caratteristiche percettive dei *flanker* numerici, tramite la manipolazione della grandezza del *font* per quanto riguarda gli stimoli simbolici e della disposizione dei punti all'interno della matrice per quanto concerne stimoli non simbolici.

È stata osservata una differenza significativa tra stimoli appartenenti allo stesso formato di rappresentazione. In particolare, la differenza tra la condizione *small symbolic* e la condizione *large symbolic* potrebbe indicare che, sebbene l'informazione

di numerosità veicolata dai *flanker* laterali sia la stessa (8), le caratteristiche percettive che distinguono queste due condizioni risultano essere in grado di influenzare diversamente la prestazione dei partecipanti. In particolare, i partecipanti hanno mostrato una tendenza a bisecare verso il *flanker* di dimensione inferiore. Tuttavia, è necessario sottolineare che la deviazione dallo zero non è risultata significativa né nella condizione *large symbolic*, né nella condizione *small symbolic*. La tendenza dei partecipanti a bisecare verso il *flanker* di dimensioni inferiori è in realtà un risultato in contrapposizione con le ipotesi riportate nel paragrafo “**Esperimento 3: descrizione e ipotesi**”, pag. 39. Infatti, nello studio di Ranzini e Girelli (2012), i cui risultati sono stati utilizzati come riferimento per le ipotesi del presente studio, le autrici avevano osservato un bias verso il *flanker* più scuro; analogamente, l’ipotesi di osservare un bias verso la cifra di dimensioni maggiori si riferiva a questo particolare aspetto, per cui un *flanker* di dimensioni maggiori potesse apparire più scuro e, pertanto, si potesse osservare un bias verso di esso. In realtà, si potrebbe alternativamente spiegare il risultato ottenuto facendo riferimento all’illusione di Baldwin (Baldwin, 1895; cfr. **Figura 18**), in cui è stato osservato che il punto medio soggettivo di una linea posizionata tra due quadrati di dimensioni diverse è spostato verso la figura più piccola. Il *flanker* di dimensione più piccola potrebbe essere apparso come racchiuso all’interno di uno spazio virtuale di dimensioni inferiori rispetto al *flanker* di dimensioni più grandi e, analogamente a quanto avviene in presenza dell’illusione di Baldwin, il bias è risultato essere spostato verso il *flanker* di dimensioni inferiori.

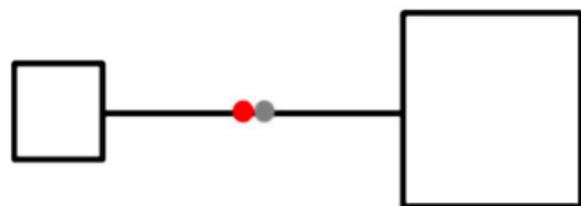


Figura 18 - Illusione di Baldwin. Il punto grigio rappresenta il centro reale della linea; il punto rosso rappresenta il punto medio percepito

Fonte: Ranzini, M., e Girelli, L. (2012). Exploiting illusory effects to disclose similarities in numerical and luminance processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74, 1001-1008.

In ogni caso, ciò che risulta rilevante sottolineare a fronte di questi risultati è la potente influenza che gli aspetti percettivi sono in grado di esercitare in un compito di bisezione di linee. Infatti, si potrebbe ipotizzare che la prestazione dei partecipanti sia stata innanzitutto influenzata dalle caratteristiche percettive dei *flanker*, piuttosto che dalla informazione sulla numerosità. Infatti, l'unico fattore che differenzia le condizioni *small symbolic* e *large symbolic* è la posizione del *flanker* di dimensioni maggiori. Tuttavia, nelle condizioni *symbolic* non è stata osservata alcuna deviazione significativa dal centro, coerentemente con l'equilibrio numerico trasmesso dalle cifre affiancate alla linea. È dunque probabile che gli aspetti percettivi e le informazioni numeriche abbiano interagito nell'influenzare la prestazione; è stato così possibile osservare sia una tendenza a bisecare verso il *flanker* di dimensioni inferiori, guidata dagli aspetti percettivi che caratterizzavano i due *flanker*, sia un'influenza dell'informazione numerica, la quale, rappresentando una situazione di equilibrio, potrebbe avere controbilanciato l'effetto delle variabili percettive, risultando in una prestazione di bisezione centrale.

Per quanto concerne gli stimoli della condizione *non symbolic*, è stata osservata una differenza significativa tra la condizione *small* e la condizione *large*; in particolare, i partecipanti hanno mostrato una tendenza a bisecare verso il *flanker* che presentava la maggiore densità di punti nella metà del quadrato adiacente alla linea. I risultati osservati sono coerenti con le ipotesi espresse nel primo capitolo. La disposizione dei punti in modo sproporzionato asimmetrico tra le due metà del *flanker* è stata in grado di modulare la prestazione dei partecipanti, in modo coerente con quanto avvenuto nello studio di Stöttinger e colleghi (2012), che hanno impiegato stimoli composti da linee affiancate da teste di frecce direzionate.

Una spiegazione del bias osservato nella condizione *non symbolic* riguarda la possibilità che lo sbilanciamento percettivo che caratterizza i *flanker* di questo esperimento abbia indotto nei partecipanti una fasulla percezione ingannevole di sbilanciamento numerico. In questo senso, i partecipanti potrebbero avere erroneamente percepito il *flanker*, la cui metà più densa era posizionata nei pressi della linea centrale, come “più numeroso” e, quindi, la prestazione osservata rifletterebbe un effetto “cifra più grande”.

Un'altra possibile interpretazione fa riferimento a meccanismi di tipo percettivo. Le matrici di punti, per loro natura intrinseca, potrebbero rappresentare una dimensione di grandezza o peso non del tutto legata al concetto di numerosità, bensì a un concetto più propriamente assimilabile alla densità. In altre parole, lo sbilanciamento di densità di punti potrebbe avere creato un'illusione visiva, similmente all'illusione della freccia o di Judd (Stöttinger et al., 2012), che opera sulla lunghezza percepita della linea centrale, per cui una metà della linea potrebbe risultare più compressa o più corta rispetto all'altra. Questa ipotesi trova supporto nella modalità tramite cui sono stati costruiti gli stimoli impiegati nel presente esperimento, poiché il fine sottostante è stato proprio quello di creare e indurre nel partecipante una percezione di sbilanciamento percettivo, analogo a quello proprio della illusione della freccia e impiegato nello studio di Stöttinger e colleghi (2012). In **Figura 15** è possibile osservare le caratteristiche percettive che accomunano l'illusione di Judd e gli stimoli impiegati nel presente studio. Inoltre, può essere interessante riportare che, secondo Baldwin (1895), una figura più grande potrebbe esercitare una compressione illusoria della metà della linea a essa affiancata; nel caso del presente studio, i *flanker* la cui metà più popolosa era posizionata nei pressi della linea centrale potrebbero essere stati percepiti come più piccoli o più scuri e, viceversa, i *flanker* omologhi potrebbero

essere apparsi come più vuoti o più grandi. Questa interazione tra numerosità, luminosità e grandezza potrebbe rendere conto del bias osservato, che potrebbe essere assimilato a quello osservato sia nell'illusione di Baldwin (Baldwin, 1895), sia nell'illusione di Judd (Stöttinger et al., 2012).

I risultati del presente studio, unitamente a quelli che hanno indagato il ruolo di particolari aspetti percettivi (Baldwin, 1895; Ranzini & Girelli, 2012; Stöttinger et al., 2012) mostrano come queste variabili di numerosità, grandezza e luminanza risultino interagire tra loro ed emergere indistintamente nei compiti di bisezione di linee.

Generalmente, sono emerse differenze significative nella comparazione della prestazione agli stimoli della condizione *symbolic* e quelli della condizione *non symbolic*. Questo risultato è coerente con il diverso formato tramite cui sono rappresentate le numerosità e potrebbe indicare che, a fronte della stessa informazione sulla numerosità, la rappresentazione di essa risulti essere una variabile in grado di rendere conto delle differenze osservate. Tuttavia, non è emersa alcuna differenza tra le condizioni *small symbolic* e *small non symbolic*. Un'interpretazione di questa non significatività potrebbe riguardare la possibilità che le prestazioni osservate in queste due condizioni risultino in realtà da meccanismi percettivi e cognitivi diversi, come esposto nel presente paragrafo in riferimento all'interpretazione dei risultati già trattati, e l'assenza di differenze rifletta esclusivamente una similitudine a livello di *outcome* comportamentale, piuttosto che di processi sottostanti.

## 2.4. Esperimento 4: stimoli chimerici di numerosità 2

Analogamente agli stimoli dell'**Esperimento 3: stimoli chimerici di numerosità 8**, gli stimoli di questo esperimento rappresentavano numerosità uguali (2-2), ma l'influenza percettiva dei *flanker* sulla linea dovrebbe essere diversa, dato che uno dei due *flanker* di uno stesso stimolo presenta una densità di punti maggiore nei pressi dell'estremità della linea centrale rispetto al suo omologo. Anche in questo caso, gli stimoli di queste condizioni sperimentali sono stati definiti "chimerici".

L'ordine di somministrazione e le caratteristiche degli stimoli di questo esperimento sono illustrati nella **Tabella 3**. Per una corretta interpretazione della tabella, è necessario specificare le seguenti informazioni:

- Per quanto riguarda gli stimoli simbolici, la dicitura 8-2 indica che il *flanker* di dimensioni maggiori si trova alla sinistra della linea centrale (condizione *large*); viceversa, 2-8 indica che il carattere di maggiori dimensioni si trova alla destra della linea da bisecare (condizione *small*);
- Per quanto riguarda gli stimoli non simbolici, la dicitura 8-2 indica che il *flanker* di sinistra presenterà una maggiore densità di pallini vicino alla linea centrale (condizione *large*), rispetto a quello di destra; viceversa, 2-8 indica che sarà il *flanker* di destra ad avere la maggior parte dei pallini disposti vicino alla linea centrale (condizione *small*).

<i>Trial</i>	Lunghezza linea centrale (mm)	<i>Flanker</i> (simbolici e non simbolici)	Condizione
<i>Baseline</i>	60	-	-
<i>Baseline</i>	80	-	-
<i>Baseline</i>	60	-	-
<i>Baseline</i>	80	-	-
0	60	2-8	<i>Small</i>
1	80	8-2	<i>Large</i>
2	60	8-2	<i>Large</i>
3	80	8-2	<i>Large</i>
4	80	2-8	<i>Small</i>
5	60	2-8	<i>Small</i>
6	80	2-8	<i>Small</i>
7	60	8-2	<i>Large</i>
8	80	8-2	<i>Large</i>
9	60	2-8	<i>Small</i>
10	60	8-2	<i>Large</i>
11	80	2-8	<i>Small</i>
12	80	8-2	<i>Large</i>
13	60	2-8	<i>Small</i>
14	80	2-8	<i>Small</i>
15	60	8-2	<i>Large</i>

Tabella 3 - Esperimento 4

### 2.4.1. Partecipanti

Il campione di partecipanti che ha risposto inizialmente agli stimoli non simbolici si componeva di 13 partecipanti (10 femmine e 3 maschi), di età media di 20,3 anni (DS=1.93).

Un totale di 18 partecipanti (15 femmine e 3 maschi) ha risposto inizialmente agli stimoli simbolici e aveva un'età media di 19,7 anni (DS=.57).

#### 2.4.2. *Materiali, metodi e procedure*

Per quanto riguarda i materiali, i metodi e le procedure di questo quarto esperimento, essi non differiscono da quelli esposti nel paragrafo precedente (cfr. par. “**Materiali, metodi e procedure**”, pag. 64), eccetto per quanto segue.

Gli stimoli simbolici rappresentavano la numerosità 2. Anche in questo caso, per creare una diversa influenza delle caratteristiche percettive del *flanker* sulla linea, uno dei due *cue* era caratterizzato da una dimensione del *font* maggiore rispetto al suo omologo (cfr. **Figura 19** per un esempio).

Figura 19 - Esempio di stimolo simbolico dell'Esperimento 4 (condizione large symbolic)

Gli stimoli non simbolici sono stati creati a partire da quelli impiegati nella condizione C8 (cfr. par. “**Materiali, metodi e procedure**”, pag. 64), in particolare eliminando i sei pallini presenti nella metà più popolosa del *flanker*, in modo che i due rimanenti si trovassero in una delle due metà del *flanker*, ossia esternamente rispetto alla linea centrale oppure internamente, in sua prossimità. Nella **Figura 20** è possibile osservare graficamente come, a partire dallo stimolo dell'Esperimento 3, sia stato creato il corrispettivo impiegato nell'Esperimento 4; nello stimolo in basso è possibile osservare come il *flanker* di destra

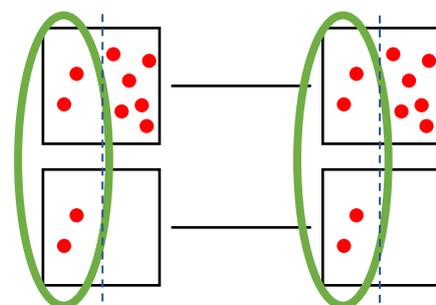


Figura 20 – Esempio e caratteristiche degli stimoli dell'Esperimento 3 (in alto) e dei rispettivi dell'Esperimento 4 (in basso)

presenti i pallini nei pressi della linea centrale, mentre per il suo omologo vale l'opposto, ossia presenta i punti esternamente rispetto alla linea da bisecare.

È importante sottolineare che, anche in questo caso, i *flanker* non simbolici sono percettivamente identici.

Nella **Figura 21** sono illustrate le matrici di punti impiegate nell'Esperimento 4.

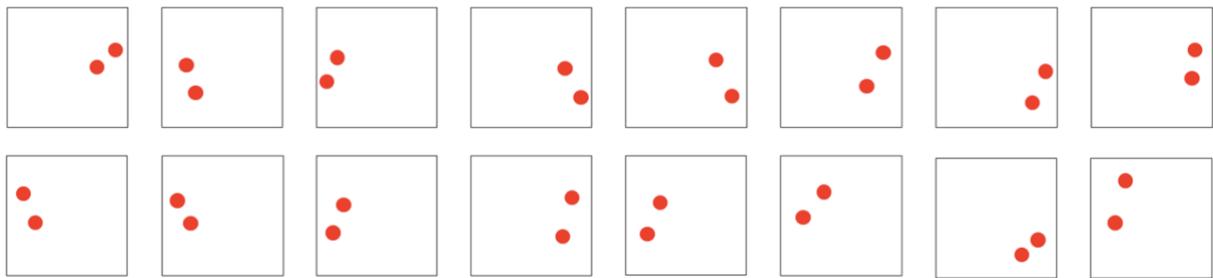


Figura 21 - Matrici di punti utilizzate nell'Esperimento 4

### 2.4.3. Risultati Esperimento 4

In riferimento all'analisi dei *contrast*, di cui è illustrato un grafico in **Figura 22**, confrontando gli stimoli della condizione simbolica, è stata rilevata una differenza significativa [ $F(2, 4178)=.2442, p<.02$ ] tra la condizione *small symbolic* ( $M=-.2154, SE=.164$ ) e la condizione *large symbolic* ( $M=.0288, SE=.164$ ). In riferimento agli stimoli della condizione *non symbolic*, è stata analogamente osservata una differenza significativa [ $F(2, 4178)=-.4495, p<.001$ ] tra la condizione *large non symbolic* ( $M=-.3904, SE=.164$ ) e la condizione *small non symbolic* ( $M=.0591, SE=.164$ ).

Confrontando invece la prestazione a stimoli di formato diverso, è stata rilevata una differenza significativa tra la condizione *large non symbolic* e *large symbolic* [ $F(2, 4178)=-.4192, p<.001$ ]. Analogamente, anche la differenza tra la condizione *small non symbolic* e *small symbolic* è risultata significativa [ $F(2, 4178)=.2745, p<.001$ ]. Inoltre,

è stata rilevata una differenza significativa tra la condizione *large non symbolic* e *small symbolic* [ $F(2, 4178)=-.1750, p<.05$ ]. Infine, la differenza tra la condizione *small non symbolic* e *large symbolic* non è risultata significativa.

Ulteriori valori *contrast* non sono risultati significativi ( $p>.05$ ).

I test t di Student hanno rivelato una deviazione significativa dallo zero nelle condizioni *large non symbolic* [ $t(30)=-3.170, p<.02$ ] e *baseline* [ $t(30)=-3.768, p<.001$ ].

Nelle restanti condizioni, la deviazione dal centro non è risultata significativa ( $p>.05$ ).

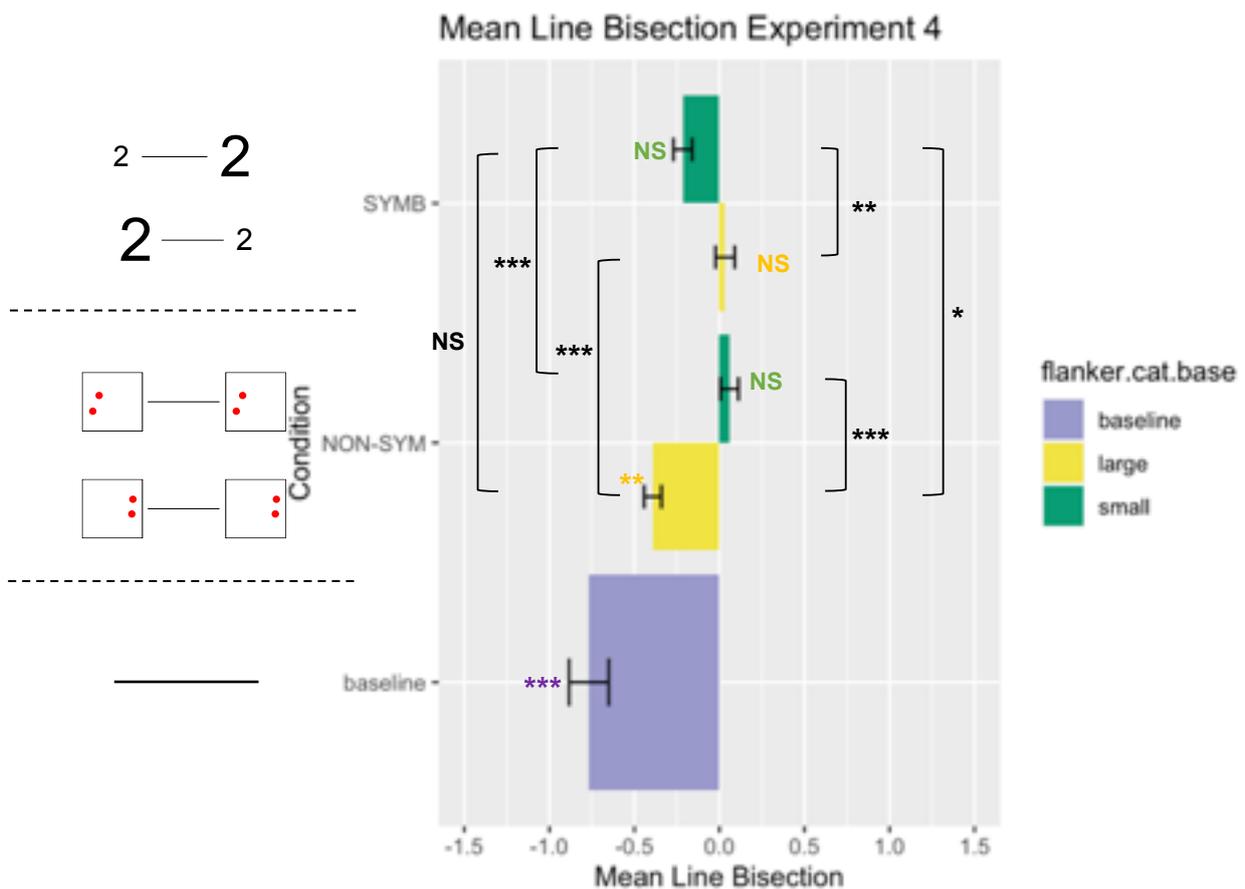


Figura 22 - Risultati "contrast" Esperimento 4: deviazione media della prestazione dal punto medio (a partire dall'alto: condizione *small symbolic*, *large symbolic*, *small non symbolic*, *large non symbolic*, *baseline*)  
Gli asterischi colorati indicano la significatività della deviazione media dal centro reale

#### 2.4.4. *Discussione Esperimento 4*

Questo esperimento è analogo all'Esperimento 3 illustrato e discusso precedentemente, ma se ne differenzia per la numerosità rappresentata nei *flanker*, che in questo caso è 2. In altre parole, le caratteristiche dei *flanker* simbolici e non simbolici seguono gli stessi principi esposti in riferimento all'Esperimento 3. Infatti, la variabile fondamentale che contraddistingue questi stimoli da quelli dell'Esperimento 1 e dell'Esperimento 2 è rappresentata dalla manipolazione delle caratteristiche percettive dei *flanker* numerici.

Per quanto concerne gli stimoli della condizione *symbolic*, è stata rilevata una differenza significativa tra le condizioni *small* e *large*. Sebbene la numerosità veicolata dai *flanker* sia la medesima, i partecipanti hanno mostrato una prestazione diversa a seconda della posizione del *flanker* di dimensione maggiore/minore. In particolare, la prestazione dei partecipanti è stata deviata verso lo stimolo di dimensioni inferiori. Anche in questo caso, una delle possibili spiegazioni del risultato ottenuto riguarda lo spazio virtuale occupato dai rispettivi *flanker*. Come osservato nell'illusione di Baldwin (Baldwin, 1895), i partecipanti del presente studio potrebbero avere bisecato verso la cifra di dimensioni inferiori in quanto lo spazio virtuale occupato da essa è più piccolo. Tuttavia, risulta importante sottolineare che la deviazione dal centro in entrambe le condizioni non è risultata significativa. Questo risultato è coerente con l'equilibrio numerico trasmesso dalle cifre identiche. È possibile, quindi, che informazioni percettive e numeriche abbiano interagito nel determinare la prestazione: il disequilibrio percettivo potrebbe avere indotto una sorta di illusione di Baldwin per cui i partecipanti hanno mostrato una tendenza a bisecare verso il *flanker* di dimensioni

inferiori, mentre l'equilibrio numerico ha concorso nel mantenere il centro percepito nei pressi dell'effettivo centro reale.

In riferimento agli stimoli della condizione *non symbolic*, è stata osservata una differenza significativa tra la condizione *small* e la condizione *large*. I partecipanti hanno mostrato una tendenza a bisecare verso il *flanker* che presentava i punti nella sua metà adiacente alla linea centrale. Questo risultato potrebbe essere interpretato facendo riferimento a due particolari aspetti. La prima possibilità è che il *flanker* con i punti nella sua metà adiacente alla linea abbia illusoriamente indotto i partecipanti a percepirlo come se caratterizzato da una numerosità maggiore, e la prestazione potrebbe riflettere dunque un effetto "cifra più grande". In alternativa, la prestazione osservata potrebbe risultare da un contesto illusivo analogo a quello dell'illusione della freccia (cfr. **Figura 23**), per cui è stato osservato che i partecipanti mostrano un bias di bisezione verso la coda della freccia (Stöttinger et al., 2012). Analogamente, i partecipanti del presente studio hanno mostrato una tendenza a bisecare "verso la coda della freccia" che, in questo paradigma, è rappresentata dalla presenza dei punti nella metà del *flanker* adiacente alla linea (ossia, del *flanker* di sinistra della **Figura 23**). Questa seconda interpretazione si appella dunque primariamente a meccanismi di tipo percettivo, per cui l'informazione della numerosità risulta rivestire un ruolo solo marginale.

Infine, sono risultate generalmente significative le differenze tra gli stimoli della condizione *symbolic* e quelli della condizione *non symbolic*. Come ipotizzato precedentemente, questo dato potrebbe indicare che il formato tramite cui sono rappresentate le numerosità risulta essere un parametro rilevante e capace di

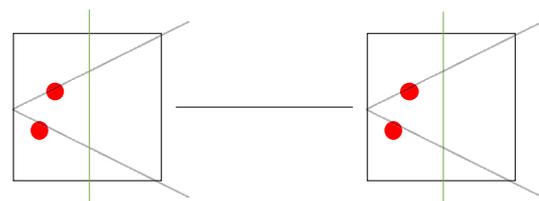


Figura 23 - Stimoli chimerici e illusione della freccia

influenzare differenzialmente la prestazione dei partecipanti. Questo risultato sostiene l'ipotesi della presenza di numerose variabili percettive e cognitive, oltre a quella relativa alla numerosità, in grado di influenzare la prestazione ai compiti di bisezione di linee.

Non è tuttavia risultata significativa la differenza tra la condizione *large non symbolic* e *small symbolic*. Alla luce di quanto esposto finora, è possibile presupporre che si tratti solo di *outcome* comportamentali sovrapponibili, che celano in realtà meccanismi cognitivi e percettivi diversi.

### 3. Discussione generale e conclusioni

A partire dalla scoperta serendipica dell'effetto SNARC (Dehaene et al., 1993), è andata sviluppandosi un'ampia letteratura che mirava a indagare l'associazione spazio-numerica. Il compito di bisezione di linee affiancate da *flanker* numerici è uno dei paradigmi impiegati per lo studio dell'associazione spazio-numerica, in quanto consente una misura oggettiva del bias spaziale di bisezione indotto dai *cue* numerici laterali. Fischer (2001) fu il primo autore a utilizzare questo paradigma per indagare la possibilità che fosse possibile osservare un bias spaziale indotto dai numeri e implementò, a tale scopo, un compito di bisezione di stringhe di cifre, che potevano rappresentare grandi o piccole numerosità. Fischer (2001) osservò che la prestazione dei partecipanti al compito di bisezione era influenzata dal numero rappresentato nella stringa, in quanto rilevò un bias di bisezione verso sinistra quando le stringhe di cifre erano composte da numerosità piccole, mentre le stringhe di cifre composte da numerosità maggiori inducevano un bias di bisezione verso destra. Tale risultato, tuttavia, non fu successivamente replicato da altri autori (de Hevia et al., 2006). Ciò che invece risultò consistente era il *pattern* osservato in un compito di bisezione di linee affiancate da *flanker* numerici simbolici di numerosità diverse, che fu implementato inizialmente da Fischer (2001) e successivamente replicato da de Hevia e colleghi (2006). Coerentemente con quanto l'effetto SNARC suggeriva, gli autori riportarono un bias spaziale di bisezione verso la cifra di numerosità maggiore (de Hevia et al., 2006; Fischer, 2001).

Gli autori (de Hevia et al., 2006) conclusero che i bias riscontrati nelle prestazioni ai compiti di bisezione potessero risultare da un'illusione cognitiva di

lunghezza, per cui i simboli numerici sembravano essere in grado di influenzare la rappresentazione percettiva dell'estensione orizzontale della linea.

Successivamente, de Hevia e Spelke (2009) ebbero l'intuizione di rappresentare le numerosità tramite matrici di punti, in formato non simbolico. Le autrici (de Hevia & Spelke, 2009) rilevarono un bias verso la matrice di punti più numerosa in un analogo paradigma di bisezione di linee, con *flanker* numerici non simbolici di diversa numerosità.

Tuttavia, sebbene il compito di bisezione di linee rappresenti un utile e pratico strumento per lo studio della associazione spazio-numerica, esso coinvolge, per la sua realizzazione, numerose componenti percettive, rappresentazionali e motorie (Ranzini & Girelli, 2012). Ciò implica che esistono numerose variabili in grado di influenzare la prestazione al compito di bisezione di linee e diversi autori si sono focalizzati sullo studio degli aspetti attenzionali (Longo & Lourenco, 2007), percettivi (Ranzini & Girelli, 2012), delle illusioni cognitive (de Hevia et al., 2006) e percettive (Stöttinger et al., 2012) che potrebbero rendere conto, al pari della variabile della numerosità, della prestazione e dei relativi bias osservati ai compiti di bisezione di linee.

Il presente studio si è quindi focalizzato sull'indagine della associazione spazio-numerica per valutare gli effetti delle caratteristiche percettive dei *cue* numerici sulla prestazione di bisezione. A tale scopo, sono stati implementati quattro diversi esperimenti, ognuno dei quali era caratterizzato da un compito di bisezione di linee, cui sono stati affiancati *flanker* numerici in formato simbolico e non simbolico.

Il primo esperimento (Esperimento 1) mirava a replicare i risultati ottenuti da de Hevia e colleghi (2006) e de Hevia e Spelke (2009) ed era pertanto costituito da stimoli i cui *flanker* rappresentavano numerosità diverse (2-8 o 8-2).

I risultati dell'Esperimento 1 non hanno replicato quelli ottenuti dagli autori sopracitati. Infatti, un effetto "cifra più grande", ossia il bias di bisezione verso il *flanker* di numerosità maggiore, è stato osservato solo per la condizione *non symbolic*, mentre non è emerso per gli stimoli simbolici, diversamente da quanto riportato da Fischer (2001) e da de Hevia e colleghi (2006), che hanno invece rilevato un effetto "cifra più grande" per le linee affiancate da cifre arabe di diversa numerosità.

Inoltre, un altro aspetto che è risultato essere difforme da quanto riportato da altri studi (de Hevia et al., 2006; de Hevia & Spelke, 2009; Fischer, 2001) è l'onnipresente bias verso sinistra rilevato nel presente studio, che si è manifestato in tutte le condizioni sperimentali. Diversamente, gli autori sopracitati avevano riportato un bias a destra rispetto al punto medio reale quando la cifra più grande era posta a destra. I risultati del presente studio sono stati interpretati in facendo riferimento a due caratteristiche principali e interagenti che potrebbero avere connotato il presente esperimento e, conseguentemente, aver portato a risultati diversi da quanto riportato finora in letteratura: l'elaborazione superficiale degli stimoli numerici e le caratteristiche percettive delle matrici di punti. È stato ipotizzato che un'elaborazione superficiale del numero, dovuta a una ripetitività intrinseca del compito, a un grande numero di stimoli e a una mancata richiesta di elaborazione esplicita dei *flanker* laterali numerici, sia stata responsabile della non significatività osservata nella condizione di stimoli simbolici. Analogamente, l'effetto significativo ma difforme da quanto riportato in un altro studio (de Hevia & Spelke, 2009), perché localizzato esclusivamente a sinistra rispetto al centro reale, osservato nella condizione di stimoli non simbolici, potrebbe essere relato alla scarsa elaborazione dei *flanker* laterali.

Sono state ipotizzate due spiegazioni che potrebbero rendere conto della differenza significativa tra la condizione *symbolic* e *non symbolic* e, quindi, dell'effetto significativo ma diverso osservato solo nella condizione con matrici di punti.

La prima riguarda la possibilità che l'effetto osservato nella condizione *non symbolic* sia frutto esclusivamente delle caratteristiche percettive delle matrici di punti. In altre parole, l'effetto significativo sarebbe tale in quanto i due *flanker* laterali sono effettivamente diversi tra loro e hanno dunque esercitato un effetto diverso sulla percezione della linea e sul relativo punto medio percepito. Tuttavia, la prestazione risulta difforme da quanto riportato finora (de Hevia & Spelke, 2009) in quanto non deriva da un'elaborazione della numerosità, bensì dalla presenza di un'asimmetria percettiva, che ha interferito sul percepito della linea e sul conseguente posizionamento del punto medio.

La seconda spiegazione fa invece riferimento alla possibilità che l'estrazione dell'informazione della numerosità da matrici di punti (in un formato non simbolico) sia un processo più immediato e automatico rispetto all'elaborazione di simboli. Questa differenza di facilità di elaborazione potrebbe essere in grado di rendere conto del motivo per cui, a fronte di una probabile scarsa elaborazione dei *flanker* numerici, sia comunque stato possibile osservare un effetto significativo solo nella condizione *non symbolic*.

In conclusione, le indicazioni per un eventuale studio futuro potrebbero riguardare un maggiore controllo durante la somministrazione degli stimoli, richiedendo ai partecipanti di elaborare esplicitamente la numerosità, per esempio chiedendo loro di dire ad alta voce le numerosità rappresentate prima di posizionare il segno di bisezione. È stato riportato che l'accesso alla grandezza numerica sia un processo automatizzato e non richieda, dunque, una richiesta esplicita di elaborazione

(Dehaene et al., 1993); tuttavia, questo accorgimento potrebbe essere necessario in un paradigma che richiede la bisezione di numerosi stimoli sovrapposti e simili tra loro, in quanto la monotonia e la ripetitività del compito potrebbero coprire degli effetti altrimenti visibili.

L'Esperimento 1 era l'unico esperimento di questo studio a essere caratterizzato da *flanker* di diversa numerosità. Gli esperimenti restanti sono tutti accomunati dalla presenza di *flanker* numerici laterali di uguale numerosità. Pertanto, ciò che distingue le condizioni degli esperimenti che verranno descritti sono le numerosità rappresentate (2 o 8), il formato (simbolico o non simbolico) e le caratteristiche percettive.

Si potrebbe ritenere che l'Esperimento 2 abbia funto da *baseline* per l'interpretazione dell'Esperimento 3 e dell'Esperimento 4. Infatti, sono stati massimizzati i tentativi di creare una situazione di preciso equilibrio numerico e percettivo. L'unica condizione esente da una precisa specularità tra il *flanker* di destra e il *flanker* di sinistra è la condizione *small symbolic*, poiché ruotare uno dei due *flanker* di 180 gradi al fine di renderlo speculare al suo omologo, e quindi percettivamente in equilibrio, gli avrebbe fatto perdere la sua proprietà informativa di simbolo. In ogni caso, i risultati di questo esperimento risultano essere particolarmente interessanti.

Innanzitutto, non sono state rilevate differenze significative all'interno della condizione *symbolic* e *non symbolic* sulla base della numerosità rappresentata. Si tratta di un risultato coerente con la situazione di equilibrio numerico e percettivo degli stimoli. In secondo luogo, è stato riportato un bias significativo verso destra nella condizione *symbolic*. Si tratta di un risultato controintuitivo, dato che contraddice la nozione di pseudoneglect. Tale bias verso destra risulta essere tanto più particolare, quanto più si considera che è emerso esclusivamente nell'Esperimento 2. Infatti, le

condizioni *symbolic* dell'Esperimento 3 e dell'Esperimento 4, anch'esse caratterizzate da *flanker* numerici di uguale numerosità, non mostrano questo *pattern*. L'interpretazione di questo bias a destra risulta complessa, ma è stato ipotizzato un possibile ruolo svolto dalla traiettoria di risposta manuale, che potrebbe coprire momentaneamente parte dello stimolo, rendendolo asimmetrico, e il bias destro potrebbe riflettere il tentativo di compensare l'asimmetria creatasi, per tornare alla situazione di simmetria inizialmente percepita (cfr. **Figura 12**). Si tratta di un'ipotesi plausibile considerando che i partecipanti dello studio erano tutti destrimani. Questa ipotesi potrebbe essere valutata manipolando il metodo di risposta. La prima possibilità è quella di implementare un programma che esegua il compito di bisezione di linee su uno schermo di tipo *touch screen*. In questo modo, i partecipanti potrebbero rispondere attraverso un movimento di *pointing*, senza rischiare di coprire gli stimoli avvicinandosi con la mano per rispondere. In realtà, considerando l'ipotesi percezione-azione di Goodale e Milner (1992) e i risultati dello studio di Stöttinger e colleghi (2012), che hanno osservato che i metodi di risposta basati sull'azione di *pointing* risultano essere meno suscettibili ai bias nei compiti di bisezione, questa strategia potrebbe non risultare essere la più appropriata, soprattutto se è da confrontare con le prestazioni ottenute tramite metodi di risposta che prevedevano l'impugnatura di una penna. Inoltre, precedentemente all'implementazione del presente studio con partecipanti adulti, sono stati somministrati dei compiti di bisezione di linee affiancate da *flanker* di diversa numerosità, espressa sotto forma di matrici di punti, in modalità carta e matita e tramite metodo computerizzato su schermo *touch screen* a un piccolo campione di bambini in età prescolare (3-5 anni). La modalità tramite risposta sul *touch screen* non aveva consentito di osservare alcun effetto "cifra più grande". Pertanto, una possibilità probabilmente più efficace per verificare l'ipotesi che il bias

verso destra osservato sia dovuto alla traiettoria di risposta motoria potrebbe essere quella di chiedere ai partecipanti di segnare il punto di bisezione dal basso (cfr. **Figura 24**). In questo modo, lo stimolo dovrebbe essere costantemente visibile e simmetrico e, se il motivo del bias a destra osservato fosse effettivamente la traiettoria motoria di risposta, esso non dovrebbe ripresentarsi.



Figura 24 - Metodo di risposta motoria dal basso

Per quanto concerne gli stimoli non simbolici, è rilevante sottolineare come la prestazione dei partecipanti sia risultata essere estremamente precisa, deviando mediamente di soli 0,1 mm verso sinistra dal punto medio reale e non risultando significativamente diversa dallo zero. La rilevanza di questo risultato acquista ulteriore significato se si considera la prestazione agli stimoli non simbolici dell'Esperimento 3 e dell'Esperimento 4. Si ricorda che gli stimoli non simbolici dell'Esperimento 2 erano caratterizzati da un equilibrio percettivo, oltre che numerico. In altre parole, le matrici di punti che caratterizzavano questi stimoli erano perfettamente speculari. Invece, le matrici di punti dell'Esperimento 3 (numerosità 8) e dell'Esperimento 4 (numerosità 2) erano caratterizzate, al contrario, da uno sbilanciamento percettivo sia all'interno dello stesso *flanker* (2 punti in una metà e 6 nell'altra, per quanto riguarda i *flanker* di numerosità 8; mentre 2 punti in una metà e 0 nell'altra, per quanto riguarda i *flanker* di numerosità 2), sia tra i due *flanker* di uno stesso stimolo, in quanto uno dei due *flanker* presentava la sua metà più densa nei pressi dell'estremità della linea. A partire dalla estrema precisione che ha caratterizzato la prestazione dei partecipanti all'Esperimento 2, è possibile interpretare con maggiore consapevolezza quanto avvenuto nell'Esperimento 3 e nell'Esperimento 4. In entrambi questi due ultimi esperimenti, la prestazione dei partecipanti rispetto agli stimoli non simbolici è risultata essere sbilanciata verso il *flanker* la cui metà più densa era posizionata nei pressi

della linea centrale. Pertanto, dato che l'informazione sulla numerosità è costante tra i tre esperimenti, un fattore preponderante che può rendere conto delle differenze osservate riguarda le caratteristiche percettive dei *flanker*. La principale implicazione di questo risultato è la possibilità che, almeno per quanto riguarda la bisezione di linee affiancate da matrici di punti, la prestazione e i relativi bias osservati non siano indicativi di un esclusivo effetto del numero sulla percezione dello spazio, come ipotizzato dalle autrici de Hevia e Spelke (2009), quanto piuttosto riflettano anche l'effetto di meccanismi percettivi. In altre parole, i bias osservati nell'Esperimento 3 e nell'Esperimento 4 potrebbero essere il risultato di un'illusione percettiva, che si rende effettiva grazie allo sbilanciamento di densità che caratterizza sia il singolo *flanker*, sia l'intero stimolo. Queste conclusioni relative all'Esperimento 3 e all'Esperimento 4 trovano il loro supporto nella prestazione osservata all'Esperimento 2, in cui i partecipanti hanno biseccato il centro della linea in modo estremamente preciso, molto più preciso, a livello qualitativo, rispetto alla condizione *baseline*. L'influenza percettiva non è, tuttavia, l'unica che può rendere conto della prestazione osservata, in quanto il punto di bisezione mediamente segnato dai partecipanti non si discostava significativamente dallo zero. Pertanto, l'informazione numerica potrebbe avere esercitato il suo effetto contrastando il disequilibrio percettivo.

Inoltre, un'ulteriore osservazione sull'Esperimento 3 e sull'Esperimento 4 è suggerita dai test t di Student, che hanno rivelato che l'unica condizione di questi due esperimenti in cui la deviazione dallo zero era significativa, e superava dunque l'influenza data dall'equilibrio numerico dei *flanker*, era proprio la condizione *large non symbolic*, in cui il *flanker* che presentava la sua metà più densa nei pressi della linea era posizionato a sinistra. Oltre alla consistenza del risultato tra i due esperimenti, è interessante osservare che la deviazione dallo zero significativa osservata in queste

condizioni potrebbe essere il risultato sia dello sbilanciamento percettivo, sia dello pseudoneglect, che potrebbero, insieme, avere esercitato un'influenza sinergica e controbilanciato l'effetto dell'equilibrio numerico.

Nuovamente, un ragionamento analogo a quello appena sviluppato sulla prestazione agli stimoli non simbolici dell'Esperimento 2, dell'Esperimento 3 e dell'Esperimento 4 è possibile riportarlo e adeguarlo agli stimoli simbolici dei rispettivi esperimenti. Infatti, il razionale che guida il ragionamento di interpretazione resta il medesimo: l'Esperimento 2 ha funto da *baseline* per l'interpretazione dell'Esperimento 3 e dell'Esperimento 4, in quanto nell'Esperimento 2 è stato massimizzato il tentativo di rendere gli stimoli speculari e simmetrici. Nell'Esperimento 3 e nell'Esperimento 4, è stata invece manipolata la grandezza del *font* per creare uno sbilanciamento percettivo tra le due estremità della linea centrale. Anche per quanto riguarda gli stimoli simbolici dell'Esperimento 3 e dell'Esperimento 4, è stata rilevata una coerenza dei *pattern* di prestazione. Infatti, in entrambi i casi, i partecipanti hanno mostrato una tendenza a bisecare gli stimoli verso la cifra di dimensioni inferiori. In questo caso, il bias di bisezione è stato interpretato facendo riferimento all'illusione di Baldwin (Baldwin, 1895), per cui è stato osservato che i partecipanti tendono a bisecare una linea affiancata da due quadrati di dimensioni diverse verso il quadrato di dimensioni inferiori. Analogamente, i partecipanti del presente studio potrebbero avere bisecato mediamente verso il *flanker* di dimensioni più piccole in quanto lo spazio virtuale occupato da esso risulta essere inferiore. Pertanto, anche per quanto riguarda gli stimoli simbolici, pare che le caratteristiche percettive possano influenzare la prestazione di bisezione. Infatti, il *pattern* osservato nell'Esperimento 3 e nell'Esperimento 4 si distingue da quanto riportato nell'Esperimento 2, in cui il bias di bisezione era mediamente posizionato a destra rispetto al centro reale della linea.

Risulta rilevante sottolineare che tutte le osservazioni riportate tra gli esperimenti sono esclusivamente di carattere qualitativo. Sarebbe dunque auspicabile inserire nelle analisi dei dati i confronti tra le condizioni appartenenti a esperimenti diversi, in modo da fornire un supporto di tipo quantitativo alla discussione del confronto di tali risultati. Analogamente, potrebbe risultare interessante inserire nelle analisi quantitative anche la prestazione agli stimoli *baseline*, che potrebbero rivelare preziosi indizi per comprendere più adeguatamente la prestazione dei partecipanti a stimoli con *flanker*. Nel presente esperimento, il numero di stimoli *baseline* era esiguo e non è dunque stato possibile inserirli all'interno del modello.

L'osservazione che meccanismi di tipo percettivo risultino in grado di influenzare la prestazione spaziale a un compito di bisezione di linee può risultare coerente anche rispetto a una prospettiva di tipo evoluzionistico. Infatti, è verosimile che meccanismi di tipo percettivo si avvalgano di processi maggiormente antichi e automatizzati rispetto a quelli deputati all'elaborazione del numero. Sebbene sia stato ampiamente dimostrato il valore evoluzionistico dell'elaborazione numerica anche in animali non umani (cfr. par. **“Evidenze da studi su animali non umani”**, pag. 4), potrebbe non risultare inappropriato considerare la possibilità che meccanismi più propriamente di percezione visiva possano emergere chiaramente in una situazione di compito facile, automatizzato e non richiedente particolari elaborazioni numeriche, quale quello di bisezione di linee impiegato per il presente studio.

È importante sottolineare che la dicotomia numerosità *versus* percezione impiegata per commentare e spiegare i risultati ottenuti nel presente studio rappresenta una semplificazione necessaria al tentativo di chiarire quali fattori e meccanismi intervengano in un compito che richiede l'integrazione di aspetti percettivi, motori e cognitivi, quale il compito di bisezione di linee affiancate da *flanker*. Come è

stato suggerito dalle autrici Ranzini e Girelli (2012), esistono probabilmente rappresentazioni distinte ma sovrapposte per le grandezze fisiche e numeriche, le quali possono combinarsi e interagire nel determinare l'*outcome*.

In conclusione, i quattro esperimenti di questo studio forniscono evidenze a favore di una rilevante e non trascurabile influenza delle caratteristiche propriamente percettive dei *flanker* laterali nella prestazione a compiti di bisezione di linee affiancate da informazioni numeriche. Questo studio potrebbe fornire da spunto per ulteriori ricerche, che possano risolvere le questioni riportate ancora irrisolte, come la sola parziale replicazione dei risultati degli autori Fischer (2001), de Hevia e colleghi (2006) e de Hevia e Spelke (2009) (Esperimento 1), oppure l'insolito bias verso destra osservato per gli stimoli simbolici dell'Esperimento 2. Oltre alla risoluzione delle questioni irrisolte, la comprensione di quali fattori influenzino la prestazione al compito di bisezione di linee, e in che misura i suddetti fattori svolgano tale ruolo, risulta essere un'indicazione preziosa, considerando l'utilità di tale compito, ampiamente impiegato in ambito neuropsicologico (per esempio, si veda Bonato et al., 2008) per il suo potere informativo e per la sua facilità di somministrazione, nonché per il suo costo irrisorio. Inoltre, per quanto concerne, in particolare, il compito di bisezione di linee affiancate da informazioni numeriche, la comprensione dei meccanismi sottostanti alla sua risoluzione potrebbe eventualmente rendere conto delle prestazioni di popolazioni cliniche affette da disturbo specifico dell'apprendimento con compromissione del calcolo (discalculia evolutiva) o da acalculia acquisita, e rappresentare dunque un ulteriore strumento di facile somministrazione per l'individuazione abbastanza precoce di tali disfunzionalità.

The work reported in this thesis is part of a larger research project led by Rosa Rugani, Silvia Benavides, and Annamaria Porru.

The contribution of Paola Cazzol is restricted to a part of such project adapted to meet the requirement criteria for the master mandatory internship/thesis project.

Authors' contributions: *Include here Credit Author statement for everyone involved in the internship project (see <https://www.elsevier.com/authors/policies-and-guidelines/credit-author-statement>)*

Quanto riportato in questa tesi fa parte di un progetto di ricerca guidato da Rosa Rugani, Silvia Benavides e Annamaria Porru. Lo studente Paola Cazzol ha contribuito ad una parte di tale progetto atta a soddisfare i criteri per il completamento del progetto formativo ai fini della laurea Magistrale.

Contributo degli autori: *inserire Credit Author statement per tutti coloro inclusi nel Progetto di tirocinio (vedi <https://www.elsevier.com/authors/policies-and-guidelines/credit-author-statement>)*

## 4. Bibliografia

Adachi, I. (2014). Spontaneous spatial mapping of learned sequence in chimpanzees: evidence for a SNARC-like effect. *PLoS One*, 9(3), e90373.

Baldwin, J. M. (1895). The effect of size-contrast upon judgments of position in the retinal field. *Psychological Review*, 2(3), 244–259.

Bächtold, D., Baumüller, M., e Brugger, P. (1998). Stimulus-response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 36(8), 731-735.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., e Walker, S. (2014). Lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4 (Version 1.1-7) [Computer software].

Bonato, M., Priftis, K., Marenzi, R., e Zorzi, M. (2008). Modulation of hemispatial neglect by directional and numerical cues in the line bisection task. *Neuropsychologia*, 46(2), 426-433.

Bulf, H., de Hevia, M. D., e Macchi Cassia, V. (2016). Small on the left, large on the right: Numbers orient visual attention onto space in preverbal infants. *Developmental Science*, 19(3), 394-401.

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

de Hevia, M. D., e Spelke, E. S. (2009). Spontaneous mapping of number and space in adults and young children. *Cognition*, 110(2), 198-207.

de Hevia, M. D., e Spelke, E. S. (2010). Number-space mapping in human infants. *Psychological Science*, 21(5), 653-660.

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

\*Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42.

Dehaene, S., e Mehler, J. (1992). Cross-linguistic regularities in the frequency of number words. *Cognition*, 43(1), 1-29.

Dehaene, S., Bossini, S., e Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371-396.

Diekamp, B., Regolin, L., Güntürkün, O., e Vallortigara, G. (2005). A left-sided visuospatial bias in birds. *Current Biology*, 15(10), R372-R373.

Fink, G. R., Marshall, J. C., Shah, N. J., Weiss, P. H., Halligan, P. W., Grosse-Ruyken, M., Ziemons, K., Zilles, K., e Freund, H. J. (2000). Line bisection judgments implicate right parietal cortex and cerebellum as assessed by fMRI. *Neurology*, 54(6), 1324-1331.

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

Fischer, M. H. (2001). Number processing induces spatial performance biases. *Neurology*, 57(5), 822-826.

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

Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U., e Nuerk, H. C. (2011). Sensorimotor spatial training of number magnitude representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 177-183.

Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*, 21, 252-256.

Ganel, T., Tanzer, M., e Goodale, M. A. (2008). A double dissociation between action and perception in the context of visual illusions: opposite effects of real and illusory size. *Psychological Science*, 19(3), 221-225.

Gevers, W., Reynvoet, B., e Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition*, 87(3), B87-B95.

Gevers, W., Reynvoet, B., e Fias, W. (2004). The mental representation of ordinal sequences is spatially organised: evidence from days of the week. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 40(1), 171–172.

Goodale, M. A., e Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20-25.

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

Jewell, G., e McCourt, M. E. (2000). Pseudoneglect: a review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 93-110.

Liu, D., Zhou, D., Li, M., Li, M., Dong, W., Verguts, T., e Chen, Q. (2019). The neural mechanism of number line bisection: a fMRI study. *Neuropsychologia*, 129, 37-46.

Longo, M. R., e Lourenco, S. F. (2007). Spatial attention and the mental number line: Evidence for characteristic biases and compression. *Neuropsychologia*, 45(7), 1400-1407.

Mazzucchi, A. (2020). *La riabilitazione neuropsicologica: Premesse teoriche e applicazioni cliniche*. Milano: Edra S.p.A.

McCrink, K., e Opfer, J. E. (2014). Development of spatial-numerical associations. *Current Directions in Psychological Science*, 23(6), 439-445.

McCrink, K., Perez, J., e Baruch, E. (2017). Number prompts left-to-right spatial mapping in toddlerhood. *Developmental Psychology*, 53(7), 1256.

\*Posner, M. I., Snyder, C. R., e Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160.

Ranzini, M., e Girelli, L. (2012). Exploiting illusory effects to disclose similarities in numerical and luminance processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74, 1001-1008.

Regolin, L. (2006). The case of the line-bisection: When both humans and chickens wander left. *Cortex*, 42, 101–103.

Rugani, R., e 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., Platt, M. L., Chen, Z., e Brannon, E. M. (2022). Relative numerical middle in rhesus monkeys. *Biology Letters*, 18(2), 20210426.

Rugani, R., Regolin, L., e Vallortigara, G. (2007). Rudimental numerical competence in 5-day-old domestic chicks (*Gallus gallus*): identification of ordinal position. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 33(1), 21.

Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., De Smedt, B., Torbeyns, J., Verschaffel, L., e Luwel, K. (2018). Associations of number line estimation with mathematical competence: A meta-analysis. *Child Development*, 89(5), 1467-1484.

Shaki, S., Fischer, M. H., e Petrusic, W. M. (2009). Reading habits for both words and numbers contribute to the SNARC effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(2), 328-331.

Stöttinger, E., Anderson, B., Danckert, J., Frühholz, B., e Wood, G. (2012). Spatial biases in number line bisection tasks are due to a cognitive illusion of length. *Experimental Brain Research*, 220, 147-152.

Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: Common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Science*, 7(11), 483–488.

Westheimer, G. (2008). Illusions in the spatial sense of the eye: Geometrical–optical illusions and the neural representation of space. *Vision Research*, 48, 2128–2142.

Zorzi, M., Priftis, K., e Umiltà, C. (2002). Neglect disrupts the mental number line. *Nature*, 417(6885), 138-139.

\*=opere non direttamente consultate