

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
PADOVA**

**Dipartimento di Filosofia, Sociologia,
Pedagogia e Psicologia Applicata (FISPPA)**

Corso di laurea in Scienze Psicologiche Sociali e del Lavoro

Elaborato finale

La linea numerica mentale: Uno studio cinematografico del movimento del dito indice

Mental Number Line: A Kinematic Study of Finger Movement

Relatrice: Prof.ssa Luisa Sartori

Correlatrice: Dott.ssa Elisa Straulino

Laureando: Giovanni Delaini

Matricola: 1230189

Anno Accademico 2022-2023

Sommario

1. Introduzione	pp. 4
§1.1. La Linea Numerica Mentale	pp. 4
§1.2. La Cinematica	pp. 10
2. Osservazione	pp. 15
§ 2.1. Partecipanti	pp. 15
§ 2.2. Stimoli	pp. 15
§ 2.3. Strumenti e procedura	pp. 17
§ 2.4. Analisi dati	pp. 20
§ 2.5. Risultati	pp. 21
3. Discussione	pp. 23
4. Opportunità e prospettive future	pp. 24
5. Conclusioni	pp. 26
Bibliografia	pp. 28

1. INTRODUZIONE

1.1 La Linea Numerica Mentale

La rappresentazione numerica si crea nella mente dell'essere umano in termini visuo-spaziali, ovvero tramite raffigurazione di una linea mentale spazialmente orientata da sinistra verso destra. Come primo a proporre questa associazione numerico-spaziale, Galton(1880a,1880b) ha compiuto due esperimenti nei quali, tramite intervista, ha chiesto ai partecipanti di esprimere in quale modo visualizzassero mentalmente i numeri. Come risultato le modalità di visualizzazione erano molteplici, alcuni, per esempio, vedevano i numeri associati ad un colore, altri alle carte da gioco. Quando, invece, dovevano pensare ad una serie numerica, l'andamento della serie era ordinato da sinistra a destra, da Galton la "forma del numero".

Questo fenomeno di raffigurazione numerica su una linea ordinata è stato dimostrato da diverse scoperte scientifiche. In particolare, due effetti descrivono bene questo fenomeno: l'effetto distanza, noto anche come "distance effect", inizialmente descritto da Moyer e Landauer nel 1967, indica che i tempi di reazione in un confronto di grandezza numerica aumentano

quando la distanza tra i due numeri si riduce. L'effetto grandezza, o "size effect", si riferisce invece all'incremento del tempo di reazione nel discriminare quale numero sia il maggiore o il minore all'aumentare della grandezza numerica dei numeri (Moyer & Landauer, 1967).

Nel primo caso, risulta più agevole e rapido identificare quale numero sia il più grande, ad esempio, tra 2 e 5 (con una distanza di 3) rispetto a 2 e 3 (con una distanza di 1). Nel secondo caso, è più semplice e veloce, ad esempio, individuare il numero più grande tra 1 e 3 (con una distanza di 2) rispetto alla coppia 6 e 8 (anch'essa con distanza di 2).

È importante notare che l'effetto distanza si manifesta in diversi tipi di compiti derivanti da stimoli sia numerici che spaziali, ad esempio, nei confronti di compiti che coinvolgono numeri composti da più cifre (Dehaene, Dupoux e Mehler, 1990; Reynvoet e Brysbaert, 1999), nei giudizi di numerosità relativi a insiemi di punti (Buckley e Gillman, 1974) e nella comparazione delle dimensioni di oggetti (Moyer, 1973). La relazione tra i tempi di reazione e la distanza tra stimoli tende a diminuire con l'aumentare dell'età; pertanto, l'effetto distanza diminuisce con l'incremento dell'età dei soggetti (Duncan e McFarland, 1980; Girelli, Lucangeli e Butterworth, 2000).

Questi fenomeni sono stati esaminati da Nieder e Miller (2003) in uno studio condotto su due scimmie coinvolte in un compito sulla discriminazione della numerosità tra due oggetti diversi. "Le scimmie hanno mostrato prestazioni di discriminazione simili indipendentemente dall'esatto aspetto fisico degli stimoli,

confermando che le prestazioni erano basate su informazioni numeriche"(Nieder e Miller, 2004). Lo studio conferma la legge di Weber-Fechner, che stabilisce che il tempo di risposta e la frequenza degli errori aumentano in relazione al rapporto tra i due numeri (Fias et. al.2003); Hinrichs et. al.1981; Lavidor et. al. 2004; Moyer e Landauer, 1967; Pinel et al., 2004; Van Oeffelen e Vos, 1982). Entrambi gli animali mostrarono un incremento lineare nelle soglie di discriminazione all'aumentare della numerosità degli insiemi di oggetti.

La linea numerica mentale nell'elaborazione numerica può essere influenzata da fattori culturali, linguistici e ambientali (Bächtold et. al. 1998; Dehaene et al., 1993; Fischer e Fias, 2005; Ristic, Wright e Kingstone, 2006; Zebian, 2005).

Per esempio, Bächtold et. al. (1998) hanno condotto uno studio nel quale rivelavano che la configurazione della linea numerica mentale poteva variare in base alle istruzioni sperimentali fornite ai partecipanti. Quando ai partecipanti veniva richiesto di concepire i numeri come se fossero posizionati su un orologio, la direzione della linea numerica mentale si invertiva.

Zebian (2005) è stato il primo a evidenziare una direzionalità da destra a sinistra nella rappresentazione numerica tra i lettori monolingui arabi, influenzata dal loro sistema linguistico da destra a sinistra. Questo fenomeno di linea numerica mentale invertita è stato confermato anche in studi condotti su popolazioni palestinesi, che condividono le stesse abitudini di lettura e scrittura da destra a sinistra (Shaki, Fischer e Petrusic, 2009).

In un altro studio, Hung et al. (2008) hanno coinvolto partecipanti cinesi in un compito di giudizio di parità tra numeri espressi con cifre arabe e parole numeriche cinesi. Mentre le cifre arabe sono solitamente lette e scritte da sinistra a destra, le parole numeriche cinesi seguono una convenzione dall'alto verso il basso in virtù della tradizione culturale cinese. I risultati hanno dimostrato che la linea numerica mentale seguiva il modello convenzionale per i numeri arabi, ma adottava una direzione dall'alto verso il basso per le parole numeriche cinesi.

La direzione della linea numerica mentale può anche essere influenzata dall'esperienza a breve termine, come riscontrato in studi precedenti (Fischer et. al. 2010; Shaki & Fischer, 2008).

Nello studio del 1993, Dehaene e colleghi hanno richiesto ai partecipanti di effettuare giudizi sulla parità dei numeri. In questo compito, i partecipanti avevano a disposizione due tasti di risposta, uno da premere con la mano destra e l'altro con la sinistra. I numeri da 0 a 9 venivano presentati in modo casuale al centro dello schermo, e diverse istruzioni venivano fornite in modo equilibrato: premere il tasto sinistro se il numero era dispari e il tasto destro se il numero era pari, o viceversa. Lo scopo di tale esperimento era quello di valutare la velocità di risposta soggettiva in relazione alla grandezza numerica.

Inoltre, hanno infine osservato che i partecipanti rispondevano più velocemente ai numeri più piccoli con la mano sinistra e ai numeri più grandi con la mano destra, suggerendo l'attivazione di una linea numerica mentale che va da sinistra a destra. Questo fenomeno è stato definito come effetto dell'associazione spaziale-

numerica dei codici di risposta o effetto SNARC (Spatial-Numerical Association of Response Codes) [1].

Numerosi studi di imaging cerebrale sono stati utili per identificare quali aree del cervello si attivassero secondo specifici compiti. Si è dimostrata l'attivazione della parte del giro precentrale sinistro, che è coinvolta nei movimenti delle mani, in vari compiti numerici, inclusi l'addizione (Pesenti et al., 2000; Stanescu-Cosson et al., 2000), la moltiplicazione (Dehaene et al., 1996; Zago et al., 2001), la sottrazione (Rueckert et al., 1996) e il confronto numerico (Dehaene et al., 1996; Pesenti et al., 2000).

Sulla base di questi risultati, alcuni autori hanno avanzato l'ipotesi che l'attivazione del giro precentrale sinistro, insieme alle osservazioni nella parte inferiore del cervello, potrebbe essere correlata all'implicazione di una rete neurale associata ai movimenti delle dita e, in un senso più ampio, potrebbe riflettere un possibile coinvolgimento di una strategia di conteggio basata sulle dita (Pesenti et al., 2000; Zago et al., 2001; Kaufmann et al., 2008).

Un'ulteriore evidenza a sostegno dell'ipotesi della linea numerica proviene da studi condotti su pazienti affetti da negligenza emispaziale sinistra, una condizione in cui, a seguito di lesioni dell'emisfero destro, questi individui non sono in grado di riferire, orientare o descrivere verbalmente stimoli nell'emispazio controlaterale sinistro (Halligan et al., 2003).

I pazienti con negligenza sembrano manifestare un pregiudizio nel dividere mentalmente un intervallo numerico. In effetti, i pazienti con negligenza spaziale sinistra tendono a posizionare erroneamente il punto medio di un intervallo numerico presentato verbalmente, come ad esempio dichiarando che 5 si trova a metà strada tra 2 e 6. Questi errori assomigliano notevolmente al modello tipico riscontrato nella bisezione di linee visive [2]. Inoltre, i pazienti con negligenza mostrano un prolungamento del tempo di elaborazione per i numeri più piccoli immediatamente a sinistra del numero di riferimento nelle attività di confronto, indicando una preferenza per posizionarsi verso sinistra sulla linea numerica (Vuilleumier et al., 2004). Quando a questi pazienti viene richiesto di elaborare concetti come le ore di un orologio, incontrano maggiori difficoltà con numeri superiori a 6, poiché hanno difficoltà a rappresentare il lato sinistro dell'orologio.

Nell'esperimento descritto in questa tesi, si cerca di replicare lo studio di Rugani et. al. (2018) utilizzando triplette di numeri di diversa grandezza numerica, come nello studio appena citato, ma esaminando numerosità dispari (1,5,9), al fine di poter osservare se nella linea numerica mentale ci fossero differenze tra numeri pari e dispari. Questo studio, inoltre, vuole anche accertare, tramite un compito con una tripletta di lettere (A, M, Z), che l'associazione spazio-numerica legata al movimento sia un fenomeno riscontrabile solo sui numeri e non su valori culturalmente ordinati come, per esempio, quelli semantici dell'alfabeto.

Questa tesi ha come oggetto di studio l'associazione spazio-numerica, presa in considerazione sia nella dimensione fisica, sia in quella psicologica e, tramite un monitoraggio scientifico con telecamere a infrarossi e la disamina statistica dei risultati osservati, cerca di indagare le frontiere raggiungibili da questo metodo sia nel contesto educativo-pedagogico, sia in quello psicologico.

1.2 La Cinematica

L'analisi cinematica è stata definita come lo strumento con cui descrivere il movimento indipendentemente dalle forze interne ed esterne che lo causano [3].

Inizialmente, Marey (1885) e Muybridge (1899) furono pionieri nello studio della cinematica attraverso la cronofotografia. Questa tecnica di misurazione del movimento impiega fotografie registrate su pellicola ("film") per rappresentare sequenze di immagini raffiguranti corpi in movimento [3]. Il fisiologo francese Marey nel 1885, registrò istante per istante la corsa di un'atleta, al fine di studiare il movimento umano nei particolari, mentre Muybridge(1899) usò la cronofotografia in una corsa a cavallo,

dimostrando che per un certo istante tutti e quattro gli zoccoli del cavallo si sollevano da terra [3] (figura 1).

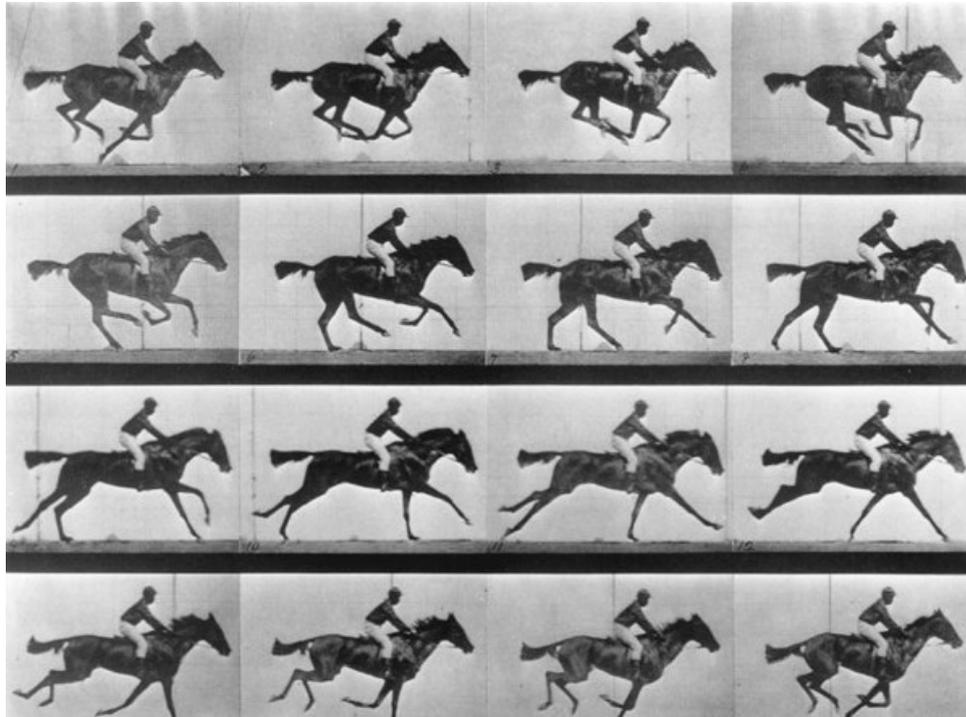


Figura 1. Il più classico esempio di cronofotografia da Muybridge, cavallo a galoppo, Wellcome Library di Londra.

Nel corso di questo secolo, le strumentazioni per l'osservazione del movimento si sono estremamente evolute. Al giorno d'oggi è possibile ottenere informazioni dettagliate su ogni tipo di movimento, ampliando i confini dell'utilizzo delle tecniche cinematiche anche per scopi clinici [3].

Le tecniche di misurazione cinematica sono molteplici, nel caso dello studio descritto in questa tesi, abbiamo utilizzato la tecnica optoelettronica.

La stereofotogrammetria optoelettronica è una delle varie tecniche di misurazione diretta per l'analisi delle immagini. Ha acquisito una notevole popolarità come sistema per analizzare la cinematica umana in ambienti di laboratorio, data la praticità e la libertà dei movimenti che permette. Questa tecnologia consente di effettuare una ricostruzione tridimensionale (3D) estremamente precisa e accurata della posizione istantanea di marcatori, sia passivi che attivi, con errori strumentali, sistematici e casuali, inferiori a 2 mm [4].

I sistemi optoelettronici stereofotogrammetrici costituiscono strumentazioni che fanno uso di telecamere in grado di proiettare raggi infrarossi all'interno del loro campo visivo e di rilevare dati provenienti da punti di riferimento catarifrangenti (o marker) applicati su soggetti o su oggetti.

La disposizione dei marker sul soggetto è generalmente definita come "modello". All'interno di un modello ogni marker dovrebbe essere visibile da almeno due videocamere in ogni istante così da permettere la creazione di segmenti continui. Nel nostro studio la creazione dei segmenti è stata realizzata dalla connessione ordinata dei marker del dito con la palla (primo segmento) e della palla con la porta (secondo segmento). I marker dovrebbero essere distribuiti in modo adeguato al fine di minimizzare errori nella loro posizione e orientamento rispetto all'osso, dovrebbero essere evitati movimenti tra i marker e l'osso sottostante.

Il sistema di elaborazione si basa sull'utilizzo delle immagini bidimensionali catturate da ciascuna telecamera per determinare la posizione tridimensionale dei marker. Questo avviene mediante l'applicazione del principio della stereofotogrammetria, che consiste nella capacità di ottenere la profondità di un oggetto osservandolo da due angolazioni differenti.

La posizione e il numero di telecamere, minime sei, definiscono il volume di cattura, ovvero lo spazio all'interno del quale viene analizzato il movimento.

I punti di riferimento applicati al soggetto sono definiti "passivi" quando non generano luce da sé e si limitano a riflettere la luce infrarossa emessa dalle telecamere. Invece, vengono chiamati "attivi" quando si utilizzano diodi luminosi che emettono luce infrarossa, collegati ad una centralina tramite un complesso sistema di fili.

La letteratura suggerisce che l'accuratezza e la frequenza di campionamento nell'uso dei marker passivi potrebbero non raggiungere lo stesso livello dei marker attivi (come indicato da Durlach et al. nel 1995). Tuttavia, va sottolineato che l'assenza di cavi, batterie e circuiti di accensione nei marker passivi rappresenta un notevole vantaggio nella fase di analisi (Chiari et al. nel 2005).

Sia nei modelli validati che in quelli personalizzati, la principale fonte di errore in questi strumenti risiede spesso nel posizionamento impreciso dei marker (Gorton III et al. nel 2009). Questo tipo di errore può essere associato a problemi nei risultati dell'analisi del movimento.

Il processo di cattura del movimento segue diverse fasi, che comprendono la calibrazione delle telecamere, la cattura del movimento e l'acquisizione delle immagini, il riconoscimento e il tracking dei marker, e infine il post-processing.

Prima di avviare la registrazione del movimento, è essenziale eseguire una fase preliminare di calibrazione delle telecamere. Durante questa procedura, si definiscono i parametri chiave necessari per stabilire la relazione tra l'immagine bidimensionale registrata dalle telecamere e un punto specifico nello spazio tridimensionale del volume di cattura.

Successivamente, per iniziare la registrazione di un'immagine, è cruciale posizionare accuratamente i marker ed eseguire la calibrazione del soggetto. Deve essere ridotta al minimo la possibilità che le telecamere rilevino oggetti luminescenti, come braccialetti, anelli o orologi, aggiungendo feedback errati al software di rilevamento. Il posizionamento dei marker deve essere ottimizzato per ridurre al minimo l'occlusione, evitando che possano essere nascosti alla vista delle telecamere. Ciò è fondamentale per garantire la completezza delle traiettorie, evitando che alcuni marker non siano registrati in determinate sequenze di fotogrammi.

Una volta completate con successo la calibrazione delle telecamere e la preparazione del soggetto, si è pronti per l'acquisizione delle immagini.

2 OSSERVAZIONE

2.1 Partecipanti

Allo studio hanno partecipato 11 partecipanti con età compresa tra 22 e 26 anni (età media = 23,55, sd=1,44). Tutti i partecipanti sono stati reclutati su base volontaria e prima di iniziare l'esperimento hanno firmato il consenso informato, approvato dal Comitato Etico dell'Università di Padova.

Lo studio è stato condotto presso i laboratori del Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università degli Studi di Padova.

2.2 Stimoli

Gli stimoli erano per ogni blocco differenti e strutturati secondo un preciso ordine di apparizione (figura 2).

Da qui in avanti gli stimoli numerici verranno chiamati con il simbolo "S" davanti (ad esempio: S1, S5).

Nel primo blocco (chiamato "bloccoA") erano presenti tre numeri con differenza di grandezza maggiore al fine di studiare l'effetto SNARC nei partecipanti (S1, S5, S9) e un carattere simbolico (\$), scelto per la sua simmetria [5] in modo da evitarne qualsiasi influenza della direzione e aggiunto nella stessa posizione per ogni blocco. Nel secondo blocco (chiamato bloccoD) vi erano lettere dell'alfabeto italiano (A, M, Z) come condizioni di controllo. All'inizio di ogni blocco si definiva la consegna del compito da affrontare, si identificava uno dei tre valori come no-go, presentato in egual ordine per entrambi i blocchi alle posizioni 1,6,11,17,20,21,24,31,35,40.

	A	D		
1	Numero5	M		
2	Dollaro	Dollaro		
3	Numero9	Z		
4	Numero1	A		
5	Numero1	A		
6	Numero5	M		
7	Numero9	Z		
8	Dollaro	Dollaro		
9	Numero1	A		
10	Numero9	Z		
11	Numero5	M		
12	Numero1	A		
13	Dollaro	Dollaro		
14	Numero1	A		
15	Numero9	Z	28	Numero1 A
16	Numero9	Z	29	Numero9 Z
17	Numero5	M	30	Numero1 A
18	Numero1	A	31	Numero5 M
19	Dollaro	Dollaro	32	Dollaro Dollaro
20	Numero9	Z	33	Numero9 Z
21	Numero5	M	34	Dollaro Dollaro
22	Numero5	M	35	Numero5 M
23	Numero1	A	36	Numero1 A
24	Numero5	M	37	Numero9 Z
25	Dollaro	Dollaro	38	Dollaro Dollaro
26	Numero9	Z	39	Dollaro Dollaro
27	Dollaro	Dollaro	40	Numero5 M

Figura 2. Elenco degli stimoli suddivisi nei due blocchi.

2.3 Strumenti e Procedura

I partecipanti si sedevano su una sedia davanti a un tavolo (90 cm × 90 cm) con la mano sinistra appoggiata sulla gamba sinistra e la mano destra posizionata nella posizione iniziale designata. L'apparato strumentale doveva simulare un rigore di calcio in miniatura; quindi, il tavolo è stato ricoperto da una superficie di velluto verde (93,5 cm × 74 cm), l'indice destro dei partecipanti è stato introdotto in una scarpetta da calcio in plastica (3 cm lungo, largo 1,5 cm) ed è stata utilizzata una pallina (2,3 cm di diametro) e una piccola porta (18 cm di lunghezza 16 cm di altezza) (Figura 3).



Figura 3. Disposizione telecamere e spazio sperimentale.

All'inizio di ogni prova, i partecipanti erano incaricati di posizionare la scarpa su un'impronta (lunga 3 cm, 1,5 cm di larghezza) dipinta sul panno di velluto. La palla veniva posizionata su un anello di plastica (diametro 1,5 cm) situato a 1 cm di distanza dall'impronta. Nella posizione iniziale, i partecipanti appoggiavano il polso destro su un cuscino (lungo 16 cm, 11 cm di larghezza e 6,5 cm di altezza), che è stato sagomato per garantire la postura comoda e ripetibile della mano, consentendo loro di calciare la palla senza sforzo. La porta si trovava a 50 cm di distanza dall'impronta e dietro di essa si trovava un monitor da 24 pollici (risoluzione 1920 × 1080 pixel, frequenza di aggiornamento 120 Hz) impostato all'altezza degli occhi (la distanza occhio-schermo era di 80 cm) per la visualizzazione degli stimoli sperimentali. I partecipanti sono stati sottoposti a un allenamento iniziale di 15 trial che stabiliva la costanza e la comodità del partecipante per poi continuare con due diversi blocchi di trial. Appena prima dell'apparizione degli stimoli, una croce di fissazione nera appariva per 100 ms sullo schermo. Ogni blocco era costituito da 40 prove all'interno delle quali vi erano stimoli numerici e simbolici che, secondo la consegna del blocco, permettevano al partecipante di tirare la palla oppure per segnali no-go rimanere fermi. In ogni blocco era presente uno stimolo no-go al fine di evitare che il soggetto tirasse la pallina senza prestare attenzione allo stimolo sullo schermo. Lo

sperimentatore, nel caso del lancio della pallina, aveva il compito di riportare la palla nella posizione iniziale, in modo tale da non scomodare il partecipante affinché potesse rimanere nella medesima posizione senza spostarsi.

L'obiettivo della fase di test consisteva nell'esaminare l'effetto dell'elaborazione numerica sulle abilità di lancio. I partecipanti erano incaricati di eseguire calci alla pallina in risposta a stimoli di bassa numerosità (S1) e alta numerosità (S9). Si ipotizzava che la traiettoria, l'intensità e la velocità del lancio potessero variare in base alla numerosità presentata.

Tramite un software interno ad un secondo computer, lo sperimentatore controllava l'avvio e l'interruzione delle registrazioni delle telecamere a infrarossi, rendendo possibile il monitoraggio dei movimenti.

Per questo esperimento è stato utilizzato lo SMART DX, un sistema optoelettronico ad alta precisione dotato di telecamere a infrarossi (frequenza di campionamento di 140Hz), che rilevavano marker passivi riflettenti (diametro 6mm) situati in tre punti diversi: sulla falange prossimale dell'indice destro del partecipante, sulla pallina e sulla porta, creando un sistema a tre punti di connessione lungo una stessa linea.

Prima di ogni sessione sperimentale venivano calibrate le telecamere (distanti 1-1,2m dal centro del tavolo) utilizzando la terna, uno strumento formato da tre stecche unite all'estremità che caratterizzavano le direzioni degli assi cartesiani a tre

dimensioni (X, Y, Z). Ogni stecca aveva all'estremità opposta un marker visibile dalle telecamere, il quale permetteva la calibrazione attraverso due metodi diversi: la calibrazione statica e quella dinamica.

Si iniziava con la calibrazione statica appoggiando la terna sul tavolo dell'esperimento in modo tale che i marker di ogni asse potessero essere visibili da tutte le telecamere, in pratica per ogni telecamera dovevano essere distinguibili tre puntini diversi.

Per la calibrazione dinamica invece si faceva volteggiare la terna nello spazio sperimentale sopra il tavolo in modo da creare tridimensionalità e attivare le telecamere.

Una volta calibrate le telecamere si era pronti per procedere alla registrazione dei movimenti.

2.3 Analisi Dati

A seguito della raccolta delle registrazioni compiute dalle videocamere a infrarossi, l'analisi dei dati consisteva in più fasi: il tracking, l'analisi cinematica e infine l'analisi statistica. Le registrazioni venivano elaborate tramite un software apposito chiamato SMART DX (tecnologia e sistemi di bioingegneria, BTS), che permetteva la visualizzazione di tre puntini bianchi rappresentanti i tre marker usati nell'esperimento. La prima fase,

il tracking, consisteva nell'utilizzo del programma "SMART tracker", il quale, tramite un protocollo creato appositamente per questo studio, permetteva di nominare ognuno dei marker con nomi diversi e riconoscibili (indice, palla e porta), in modo tale che il software potesse collegarli e creare segmenti. La seconda fase, l'analisi cinematica, era composta da due compiti attraverso il programma "SMART analyzer". Il primo compito consisteva nella compilazione manuale di grafici raffiguranti l'andamento di diverse variabili che, una volta completata, si traducevano in valori numerici con l'unità di misura specifica.

Il secondo compito era quello di salvataggio delle informazioni in cartelle ordinate e nominate. Si trattava di salvare le variabili di Sequenza di tempi, Sequenza di velocità, Sequenza di punti 1D, Punti 1D, Sequenza di settori e Sequenza di accelerazione.

Una volta completata l'analisi cinematica, si è utilizzato Excel per ordinare i dati e con il tool E-prime abbiamo compiuto l'analisi statistica.

2.4 Risultati

Una volta ordinati e catalogati su Excel, i dati sono stati analizzati con E-prime, un programma per l'analisi statistica.

I risultati del t-test rinvenuti esprimono che nella tripletta S1, S5, S9 il Tempo di Massima Velocità (%), ovvero il tempo in cui l'indice è stato più veloce, ha rilevato un picco anticipato della velocità in presenza della numerosità alta (S9) rispetto a quella di numerosità bassa (S1) (figura 4).

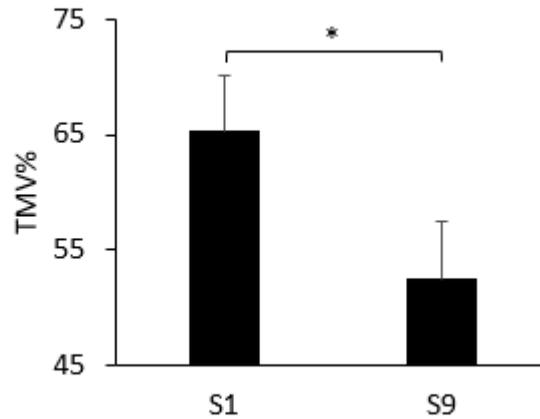


Figura 4. Rappresentazione grafica del Momento di Massima Velocità (TMV%) dell'indice ($p < 0.05$).

Per quanto riguarda, invece, i risultati del t-test per la tripletta con le lettere alfabetiche A, M e Z, il confronto di A e Z rispetto al Tempo di Massima Velocità dell'indice, non ha rilevato nessun effetto significativo dello stimolo ($t = 1.964$, $p = 0.078$).

3. DISCUSSIONE

I risultati sono coerenti con l'ipotesi iniziale dell'esperimento, le numerosità dispari hanno dato risultati simili rispetto a quelle pari dello studio di Rugani et al. (2018), vale a dire che i risultati di entrambi gli studi sono significativi per quanto riguarda l'associazione numerico-spaziale e l'effetto SNARC sia nel caso in cui i numeri siano dispari sia nel caso in cui essi siano pari. In altre parole, possiamo affermare dai dati emersi che non ci siano differenze significative rispetto al fatto che un numero sia pari o dispari nell'associazione numerico-spaziale legata all'esecuzione di azioni. In secondo luogo, è stata anche confermata l'ipotesi per la quale la linea numerica mentale espressa nel movimento, sia identificabile solo con i valori numerici e non con simboli culturalmente ordinati come ad esempio le lettere dell'alfabeto; infatti, i risultati dello studio sulle triplette di lettere (A, M, Z) non sono stati significativi per il Tempo di Velocità Massima dell'indice.

4. OPPORTUNITÀ E PROSPETTIVE FUTURE

Diversi studi hanno confermato che la linea numerica mentale offre un'opportunità di miglioramento delle prestazioni aritmetiche nei bambini. Si è dimostrato che l'associazione spazio-numerica già in età prescolare e nella prima fase dello sviluppo è flessibile e può essere migliorata tramite compiti numerici (McCrink & Opfer, 2014; Opfer, Thompson & Furlong, 2010; Patro et. al., 2016).

Come dimostrato da Chien-Heng Lin (2022), in uno studio condotto su 140 bambini, è stato maggiormente efficace l'apprendimento di abilità aritmetiche di base (addizione e sottrazione) tramite l'utilizzo di giochi basati sulla teoria della linea numerica mentale, piuttosto che giochi in assenza della linea numerica o tradizionali compiti di conteggio. Nello stesso studio, si attesta che il compito più efficace per migliorare l'apprendimento dell'addizione e della sottrazione è il meccanismo di aumento e diminuzione dell'ordine dei numeri in un gioco con la linea numerica mentale piuttosto che la disposizione dei numeri in posizioni lineari.

Un ulteriore utilizzo dello studio cinematico della linea numerica mentale trova spazio nell'indagine della comprensione e diagnosi dei disturbi matematici nei bambini in età scolare e prescolare. Un disturbo in particolare per il quale il deficit dell'associazione spazio-numerica e dell'apprendimento delle abilità matematiche è maggiormente significativo è il disturbo della discalculia evolutiva (DD).

I deficit rilevati nella rappresentazione mentale dei numeri nei bambini affetti da disturbo della discalculia (DD) risultano congruenti con le evidenze provenienti dagli studi di neuroimaging. Questi ultimi indicano compromissioni funzionali, nonché alterazioni strutturali e microstrutturali nelle regioni parietali del cervello, ritenute essere la sede della linea numerica mentale (Kaufmann et al., 2009, Kucian et al., 2006, Mussolin et al., 2009, Price et al., 2007, Rotzer et al., 2008, Rykhlevskaia et al., 2009, Soltesz et al., 2007). Di conseguenza, si ipotizza che un programma di allenamento mirato a potenziare la rappresentazione numerica in bambini con discalculia possa sortire effetti benefici sulla loro competenza matematica. Questi miglioramenti si manifesterebbero attraverso modifiche nell'attivazione neuronale nelle regioni cerebrali rilevanti per le abilità matematiche.

5. CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo studio era approfondire le conoscenze in merito alla relazione tra l'associazione numerico-spaziale e l'esecuzione di azioni.

Potrebbe consentire di chiarire il modo in cui simboli e numeri non simbolici (come definito in Rugani et al., 2017) incidano sulle trasformazioni sensomotorie correlate al controllo motorio della mano. Questo aspetto riveste particolare importanza considerando il ruolo del conteggio delle dita nel processo di elaborazione numerica (Di Luca et al., 2006; Fisher, 2008; Sixtus et al., 2017), il quale persiste nell'età adulta e sembra favorire le connessioni tra numeri e azioni della mano (Hatano et al., 1977; Hubbard et al., 2005).

L'ipotesi della cognizione manumerica, formulata da Hubbard et al. nel 2005, suggerisce che questa relazione potrebbe fornire una spiegazione alla coesistenza frequente della discalculia, della confusione sinistra-destra e dell'agnosia delle dita nella sindrome di Gerstmann.

La serie di sintomi caratterizzante la sindrome di Gerstmann condivide un deficit sottostante di natura visuo-spaziale, come riportato nelle recensioni di Critchley nel 1966 e di Vallar nel

2007. Gli studi su pazienti singoli affetti dalla sindrome di Gerstmann con danni all'emisfero cerebrale sinistro, suggeriscono che il deficit principale potrebbe riguardare la difficoltà nel determinare la posizione relativa di un oggetto lungo l'asse orizzontale (Gold et al., 1995) o nella trasformazione mentale di immagini visive, come la rotazione e la traslazione (Mayer et al., 1999; vedere anche Carota et al., 2004).

Inoltre, è stato notato che le prestazioni dei bambini di 5 e 7 anni nei test che valutano la rappresentazione delle dita, l'orientamento sinistra-destra, le abilità costruttive e la scrittura a mano, costituiscono un eccellente predittore delle abilità aritmetiche, ma non delle prestazioni verbali (Noël, 2005).

Le modalità di ricerca utilizzate nell'esperimento descritto in questa tesi sono ideate per indagare la relazione tra cognizione numerica e spaziale in assenza dell'ansia che solitamente svantaggia i bambini con problemi di comprensione matematica. Le persone fortemente ansiose nei confronti della matematica condividono una caratteristica comune: una marcata propensione ad evitare l'approccio a questa disciplina, riducendo così le opportunità di migliorare le proprie competenze matematiche (Ashcraft, 2002).

BIBLIOGRAFIA

[1] Rugani R, Betti S, Ceccarini F, Sartori L. Act on Numbers: Numerical Magnitude Influences Selection and Kinematics of Finger Movement. *Front Psychol.* 2017 Aug 30;8:1481. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01481. PMID: 28912743; PMCID: PMC5582418.

[2] Zorzi Marco, Bonato Mario, Treccani Barbara, Scalambrin Giovanni, Marenzi Roberto, Priftis Konstantinos (2012). Neglect Impairs Explicit Processing of the Mental Number Line. doi=10.3389/fnhum.2012.00125. issn=1662-5161

[3] Castiello, U. (1995). Analisi cinematica. Tecniche sperimentali di ricerca in psicologia. Capitolo 3 (pp 63-93). Piccin-Nuova Libreria

[4] Spörri J, Schiefermüller C, Müller E. Collecting Kinematic Data on a Ski Track with Optoelectronic Stereophotogrammetry: A Methodological Study Assessing the Feasibility of Bringing the Biomechanics Lab to the Field. *PLoS One.* 2016 Aug 25;11(8):e0161757. doi: 10.1371/journal.pone.0161757. PMID: 27560498; PMCID: PMC4999283.

[5] Rugani R, Betti S, Sartori L. Numerical Affordance Influences Action Execution: A Kinematic Study of Finger Movement. *Front Psychol.* 2018 May 1;9:637. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00637. PMID: 29765348; PMCID: PMC5938414.

-Rugani R, Sartori L. Numbers in Action. *Front Hum Neurosci.* 2016 Jul 29;10:388. doi: 10.3389/fnhum.2016.00388. PMID: 27524965; PMCID: PMC4965453.

- Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(3), 626–641.

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

-Martin H. Fischer,

Finger counting habits modulate spatial-numerical associations, *Cortex*, Volume 44, Issue 4, 2008, Pages 386-392, ISSN 0010-9452,

-Sato M, Lalain M. On the relationship between handedness and hand-digit mapping in finger counting. *Cortex*. 2008 Apr;44(4):393-9. doi: 10.1016/j.cortex.2007.08.005. Epub 2007 Dec 23. PMID: 18387570.

-Francesco Sella, Daniela Lucangeli, Marco Zorzi, Spatial order relates to the exact numerical magnitude of digits in young children, *Journal of Experimental Child Psychology*, Volume 178,2019, Pages 385-404, ISSN 0022-0965

-Chien-Heng Lin, Developing mental number line games to improve young children's number knowledge and basic arithmetic skills, *Journal of Experimental Child Psychology*, Volume 222, 2022, 105479, ISSN 0022-0965,

-K. Kucian, U. Grond, S. Rotzer, B. Henzi, C. Schönmann, F. Plangger, M. Gälli, E. Martin, M. von Aster, Mental number line training in children with developmental dyscalculia, *NeuroImage*, Volume 57, Issue 3, 2011, Pages 782-795, ISSN 1053-8119

- Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). Analog numerical representations in rhesus monkeys: evidence for parallel processing. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(5), 889-901.