



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
PADOVA**

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

**Corso di laurea in Scienze Psicologiche
Sociali e del Lavoro**

Elaborato finale

**L'impiego dell'analisi cinematica del movimento per
comprendere l'associazione spazio-numerica**

The use of kinematics to understand the spatial-numerical association

Relatrice

Prof.ssa/Prof. Rugani Rosa

Laureanda: Serraiotto Emma

Matricola: 2022681

Anno Accademico 2022-2023

SOMMARIO

- **Introduzione**
- **Capitolo 1**
 - **1.1 Associazione spazio-numerica**
 - **1.2 Analisi cinematica**
- **Capitolo 2 – La Ricerca**
 - **2.1 Partecipanti**
 - **2.2 Stimoli**
 - **2.3 Procedura**
 - **2.4 Strumenti**
 - **2.5 Analisi dei dati**
 - **2.6 Risultati**
- **Capitolo 3**
 - **3.1 Discussione**
 - **3.2 Limiti e prospettive future**
- **Conclusione**
- **Riferimenti bibliografici**

INTRODUZIONE

Sebbene possa sembrare che l'elaborazione dei numeri sia un'attività puramente astratta, evidenze recenti mostrano che la rappresentazione numerica e quella spaziale sono strettamente interconnesse.

Il presente elaborato si propone di approfondire tale connessione attraverso tre capitoli. Il primo capitolo fornisce un breve quadro generale sui principali studi condotti sull'associazione spazio-numerica e sull'impiego dell'analisi cinematica. Il secondo capitolo si concentra sulla ricerca, descrivendo i materiali e i metodi utilizzati per la raccolta e l'analisi dei dati. Infine, il terzo capitolo discute i risultati ottenuti.

CAPITOLO 1

1.1 Associazione spazio-numerica

L'intuizione che esistesse un'associazione spazio-numerica negli esseri umani risale al XIX secolo, ovvero quando Galton (1880) fu il primo a proporre che gli esseri umani descrivono i numeri come orientati in modo crescente da sinistra a destra, lungo una linea numerica mentale (LNM).

La prima dimostrazione scientifica si ottiene quando Dehaene, Dupoux, e Mehler (1990), attraverso la cronometria mentale, studiarono la rappresentazione spaziale dei numeri, chiedendo ai partecipanti di confrontare numeri presentati visivamente con un numero di riferimento fisso. Così scoprirono che i partecipanti erano più veloci a rispondere a numeri più piccoli con il tasto sinistro e a numeri più grandi con il tasto destro, suggerendo che la grandezza numerica è rappresentata su una linea numerica mentale orientata, con numeri più piccoli sul

lato sinistro e numeri più grandi sul lato destro. In uno studio successivo, Dehaene e collaboratori (1993), hanno chiesto ai partecipanti di indicare se un numero era pari o dispari con due tasti controbilanciati, uno posto a destra (nel caso di parità) e uno a sinistra (nel caso di disparità), confermando l'esistenza di un'associazione tra numeri piccoli con il tasto sinistro e numeri grandi con il tasto destro, in questi casi infatti i partecipanti presentavano tempi di risposta inferiori. Questa associazione di numeri con le coordinate di risposta spaziale sinistra-destra è stata da loro nominata *SNARC effect (Spatial-Numerical Association of Response Codes)*. Questo effetto dimostra che le informazioni sulla grandezza numerica sono codificate spazialmente nella maggior parte delle persone e ha portato così a diversi studi sulla natura della linea numerica mentale.

L'ipotesi della Linea Numerica Mentale afferma l'esistenza di una profonda relazione tra numeri e spazio, che si riflette anche in vari oggetti creati dall'uomo, come ad esempio gli strumenti di misurazione dello spazio, le coordinate cartesiane, le tastiere dei computer, etc.. Nelle culture occidentali, i numeri più piccoli sono generalmente posizionati a sinistra mentre quelli più grandi a destra.

Lo SNARC effect è stato riscontrato in diversi contesti e situazioni. Si è infatti osservato come la rappresentazione spaziale mentale dei numeri abbia un impatto non solo sui tempi di risposta, ma anche sulla pianificazione e l'esecuzione dell'azione.

Una prova di ciò si può riscontrare nello studio condotto da Andres e collaboratori (2008), i quali hanno analizzato l'interferenza delle cifre, stampate sugli oggetti da afferrare, sui movimenti di *grasping*. Osservarono come nelle prime fasi di raggiungimento, l'apertura della mano era maggiore a seguito della presentazione di cifre con un valore alto rispetto a uno basso. Dimostrarono,

quindi, che la grandezza numerica potrebbe interagire con l'apertura della mano durante la pianificazione dei movimenti di *grasping*.

L'elaborazione della grandezza è strettamente legata anche ai meccanismi di orientamento spaziale che supportano l'esecuzione dell'azione.

Gianelli e collaboratori (2012) hanno indagato l'influenza del processamento della grandezza numerica nella libera scelta della posizione di un oggetto. I partecipanti furono sottoposti a un compito in cui dovevano giudicare la grandezza numerica di un numero ed eseguire un movimento di presa su un cubo per modificarne la posizione. I risultati mostrarono che nella fase iniziale del movimento, l'apertura di mano era influenzata dalla grandezza numerica. Inoltre, i partecipanti mostrarono una tendenza a posizionare il cubo più a sinistra e più vicino a sé con i numeri più piccoli, più a destra e più distante con i numeri più grandi.

Fischer e collaboratori (2003) hanno evidenziato ulteriori legami tra spazio e numeri, dimostrando che l'elaborazione numerica può influenzare anche l'attenzione spaziale. In un compito di rilevamento di target laterali, i numeri più piccoli presentati al centro dello schermo facilitavano l'individuazione dei target posizionati a sinistra, mentre i numeri più grandi facilitavano l'individuazione dei target posizionati a destra, in accordo con lo *SNARC effect*.

Queste evidenze sono state estese anche all'elaborazione delle numerosità non simboliche. In particolare, Orsi, Bortolotto e Bulf (2014), attraverso l'utilizzo di un sistema di eye-tracking in un compito di orientamento dell'attenzione visuo-spaziale, hanno indagato se una quantità numerica piccola (2) o grande (9), rappresentata sia in notazione simbolica (numeri arabi) che non simbolica

(insieme di punti), fosse in grado di influenzare la velocità di risposta a un target che appariva sulla sinistra o sulla destra del campo visivo. I risultati hanno mostrato come, indipendentemente dalla notazione simbolica o non simbolica, le informazioni numeriche modulano l'orientamento dell'attenzione visiva in modo coerente con l'esistenza di una linea numerica mentale.

L'informazione numerica, infatti, può essere presentata in diverse notazioni, alcuni esempi possono essere: simboli arabi o romani, modelli di punti, sotto forma di posture delle dita, parole numeriche; inoltre possono essere trasmessi utilizzando modalità visiva, uditiva o tattile. Se lo *SNARC effect* indica l'attivazione di una rappresentazione spaziale astratta della magnitudine numerica, allora dovrebbe essere indipendente dalla modalità di presentazione dei numeri.

L'obiettivo del seguente studio è proprio quello di esaminare lo *SNARC effect* in relazione a stimoli numerici non simbolici, quindi se l'elaborazione di numeri non simbolici, in particolare modelli di punti, produce ugualmente un'interferenza su un'azione motoria.

Nello studio vengono replicate, infatti, le stesse modalità di uno studio precedente (Rugani, Betti, Sartori 2018), nel quale è stata indagata l'influenza derivante dal processamento di numeri simbolici su una risposta motoria. È stato valutato come stimoli numerici (2, 5, 8) presentati in formato arabo e uno stimolo non numerico (\$) modulassero un'azione di calcio. Dai risultati si è riscontrato che l'osservazione del numero più grande produce traiettorie di calcio più corte e basse in superficie oltre che un anticipo del picco di velocità. Il numero più piccolo, al contrario, conduce a deviazioni verso sinistra più prolungate.

Nel nostro studio, mantenendo il medesimo metodo, abbiamo utilizzato stimoli non simbolici, ossia tre insiemi di pallini di diversa numerosità (2, 5, 8) e uno stimolo neutro (*), per indagare eventuali differenze e similitudini nell'interferenza provocata sulla risposta motoria. A questo fine è stata impiegata l'analisi cinematica.

1.2 Analisi cinematica

La registrazione e l'analisi del movimento, sia umano che animale, hanno interessato l'uomo per secoli. Nel 1877, il fotografo britannico Edward Muybridge diede il primo contributo all'analisi quantitativa del movimento attraverso l'utilizzo di un sistema di fotocamere che si attivavano in sequenza lungo il percorso di una corsa ippica. Questo sistema può essere considerato il primo esempio di analisi del movimento attraverso l'utilizzo di immagini, un antenato dei moderni sistemi di cattura del movimento tramite telecamere.

Attualmente esistono diversi sistemi di analisi strumentale per lo studio del movimento, che possono essere classificati in base alle misure che forniscono, tra queste abbiamo la posizione, lo spostamento, la velocità, l'accelerazione o gli angoli articolari.

Tra i sistemi utilizzati per lo studio della cinematica si trovano quelli optoelettronici, inerziali, elettromeccanici, tracker elettromagnetici e rivelatori a tempo di volo.

Per il nostro studio abbiamo utilizzato i sistemi optoelettronici.

I sistemi optoelettronici sono composti da due o più telecamere utilizzate per la ricostruzione del movimento dei segmenti corporei in uno spazio tridimensionale.

Questi sistemi sono considerati lo standard di riferimento nella misura della cinematica del movimento, poiché offrono la migliore accuratezza.

Il sistema è composto da telecamere fisse, marker e un sistema di elaborazione delle immagini.

La posizione e il numero di telecamere definiscono il volume di cattura, ovvero lo spazio all'interno del quale viene analizzato il movimento. Il numero minimo di telecamere per valutare un movimento in un volume ridotto è sei, mentre per aumentare il volume di cattura si utilizzano un maggior numero di telecamere.

Il sistema di elaborazione utilizza le immagini bidimensionali di ogni telecamera per ricostruire la posizione tridimensionale dei marker, attraverso il principio della stereofotogrammetria, ovvero la capacità di ricavare la profondità di un oggetto osservandolo da due punti di vista diversi.

I marker sono piccole sfere posizionate sul corpo del soggetto in una posizione nota, e rappresentano i punti che il sistema di elaborazione riesce a riconoscere e tracciare nel tempo. I marker possono essere passivi o attivi.

I marker passivi (come quelli utilizzati nella nostra ricerca) sono semisfere di plastica rivestite di materiale riflettente, sono più piccoli e leggeri, mentre i marker attivi emettono luce, spesso nella banda dell'infrarosso, e facilitano il riconoscimento grazie alla diversa lunghezza d'onda emessa. Tuttavia, il vantaggio dei marker passivi, rispetto a quelli attivi, deriva dalla loro praticità. Non avendo fili ed essendo facili da montare, infatti, permettono al soggetto di muoversi liberamente durante la sua prestazione.

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 procedere alla fase di registrazione del movimento, è necessario eseguire una fase preliminare di calibrazione delle telecamere. Durante questa fase vengono definiti i parametri fondamentali per stabilire la corrispondenza tra l'immagine bidimensionale registrata dalle telecamere e un punto specifico nello spazio tridimensionale del volume di cattura.

Per iniziare a registrare un'immagine è necessario poi posizionare i marker ed effettuare una calibrazione del soggetto. I marker devono essere posizionati in modo da minimizzare la loro occlusione, cioè la possibilità di essere nascosti alla vista delle telecamere. Ciò potrebbe, infatti, portare ad avere traiettorie incomplete poiché non tutti i marker vengono registrati in tutte le sequenze dei fotogrammi.

Una volta completata la calibrazione delle telecamere e la calibrazione del soggetto è possibile acquisire le immagini.

La corrispondenza spaziale dei marker consente di accoppiare le immagini di un singolo marker catturate da almeno due telecamere, in modo da calcolare la sua posizione 3D e osservare quindi il suo movimento.

CAPITOLO 2

2.1 Partecipanti

Allo studio hanno partecipato 40 partecipanti, di cui 26 adulti (20 femmine e 6 maschi, età media = 23,15, sd=3,36). 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 usati consistevano in un simbolo simmetrico e neutro: un asterisco (arial font, colore nero) e 3 gruppi di pallini: una piccola numerosità (2), una numerosità intermedia (5) e una grande numerosità (8). I pallini erano di colore nero con un diametro di 2cm ed erano disposti in un quadrato bianco 964x964pixel. La disposizione dei pallini era tale da evitare sia un effetto di raggruppamento, nel caso fossero stati eccessivamente ravvicinati, che un effetto di dispersione nel caso contrario. Il programma utilizzato per creare gli stimoli è stato Genesys di Matlab, un software per l'ingegneria dei sistemi basata su modelli.

Lo stimolo rappresentato da 5 pallini è stato scelto come segnale no-go, in modo da garantire che i partecipanti prestassero attenzione allo stimolo e non iniziassero il movimento del lancio prima di averlo processato. Prima della presentazione dello stimolo, in ogni trial, appariva una croce di fissazione (7.5cmx7.5cm, arial font, colore nero).

2.3 Procedura

I partecipanti venivano fatti sedere su una sedia di fronte ad un tavolo (90cmx90cm), coperto da un telo verde (93.5cmx74cm), con la mano sinistra appoggiata al loro ginocchio sinistro e la mano destra nella posizione di partenza. I partecipanti ponevano il loro indice destro all'interno di un calzino di plastica (4.5cm di altezza, 2.5cm di diametro) di una piccola scarpa da calcio di plastica (3cm di lunghezza, 1.5cm di ampiezza). All'inizio di ogni trial i partecipanti dovevano posizionare l'indice con la scarpa su un'impronta (3cm in lunghezza, 1.5cm in ampiezza) disegnata con lo scotch sul telo verde nel tavolo. La palla da calcio di plastica (diametro=2.3cm) veniva posta, per ogni trial, su un anello di plastica (diametro=1.5cm) situato a 1 cm di distanza dall'impronta. Nella posizione di partenza, i partecipanti appoggiavano la mano e il polso su una spugna (lunghezza=16cm, ampiezza=11cm, altezza=6.5cm) rivestita con lo stesso tessuto verde del tavolo, la cui forma garantiva una posizione comoda che permettesse di calciare la pallina senza sforzo, verso una piccola porta da calcio (lunghezza= 18cm, altezza=16cm) posizionata a 50 cm di distanza dall'impronta. Un monitor da 24 pollici (risoluzione 1920x1080 pixels, frequenza di aggiornamento di 120Hz), posto ad altezza dello sguardo (distanza occhi-schermo 80cm), veniva usato per presentare gli stimoli durante l'esperimento. I partecipanti erano sottoposti a tre sessioni (training, baseline, testing) ed erano istruiti a calciare la pallina verso la porta da calcio dopo la presentazione di ciascuno stimolo, senza che venisse fornita alcuna istruzione circa la velocità del movimento. Una croce di fissazione nera appariva per 100 ms e veniva sostituita da uno stimolo dopo 1000 ms. Durante la fase di training veniva presentato lo stimolo dell'asterisco per 10 volte, mentre durante la fase di baseline lo stimolo

dell'asterisco veniva presentato per 15 volte. Lo scopo della prima fase era quello di abituare il partecipante al movimento, mentre l'obiettivo della baseline era di rilevare il movimento del lancio privo dell'influenza degli stimoli, infatti a differenza del training questa fase veniva registrata e analizzata.

Durante la fase di testing, invece, i partecipanti calciavano la palla dopo la presentazione random di uno dei 3 stimoli: gruppi da 2, 5 o 8 pallini. Ogni volta che appariva lo stimolo rappresentato dal gruppo di 5 pallini neri, i partecipanti erano istruiti a non calciare la palla. Questi 3 stimoli venivano mostrati 10 volte l'uno per un totale di 30 trials.

La presentazione degli stimoli era pseudo-randomizzata, ossia era programmata in modo che venissero presentati tutti gli stimoli ma senza ripetizioni (non poteva apparire lo stesso stimolo consecutivamente, quindi se fosse stato presentato lo stimolo di piccola numerosità poi non avrebbe potuto essere mostrato di nuovo). Il programma utilizzato per eseguire la randomizzazione è stato e-prime, il suo scopo era quello di evitare un possibile effetto di apprendimento, per cui il soggetto avrebbe potuto apprendere l'ordine di presentazione degli stimoli, alterando così i risultati.

Lo scopo della fase di testing era di determinare se l'elaborazione del numero influisce sulle prestazioni del lancio. In particolare, ai soggetti veniva chiesto di calciare la pallina dopo l'apparizione di uno stimolo di bassa numerosità (2) e di alta numerosità (8), l'ipotesi era che a seconda della numerosità presentata la traiettoria, l'intensità e la velocità del lancio sarebbero state diverse.

Terminato l'esperimento ai partecipanti adulti veniva chiesto di compilare un breve questionario standardizzato in cui si valutava la dominanza manuale, la scolarizzazione e le abitudini di lettura e scrittura.

La prima parte del questionario, relativa al predominio della mano destra o sinistra, era una revisione del Edinburgh Handedness Inventory: uno strumento che permette di determinare la lateralità, basandosi su una scala quantitativa. La modalità tramite cui questo test è stato costruito si basa sulla valutazione di una serie di azioni della vita quotidiana, nelle quali, il ruolo della destra e della sinistra si suppone che siano fortemente distinte.

In specifico, i soggetti dovevano indicare con quale mano (sempre destra, di solito destra, nessuna preferenza, di solito sinistra, sempre sinistra) compiono una serie di azioni (scrivere, lanciare un oggetto, usare le forbici, usare lo spazzolino da denti, usare il coltello senza forchetta, usare il cucchiaio, accendere un accendino, usare il mouse del computer).

Per quanto riguarda la scolarizzazione, invece, veniva chiesto il corso di laurea frequentato e la conoscenza di altre lingue. Infine, veniva chiesto di riportare i "gruppi di pallini" visti durante l'esperimento.

2.4 Strumenti

Per questo studio è stato utilizzato un sistema optoelettronico di alta precisione per l'analisi del movimento, ovvero il SMART DX (tecnologia e sistemi di bioingegneria, BTS).

Il sistema comprende sei telecamere a infrarossi (frequenza di campionamento di 140Hz), che rilevano marker riflettenti (6 mm di diametro), posizionate in

semicerchio ad una distanza di 1-1,2 metri dal tavolo posto al centro della stanza (vedi **Figura 1**).



[Figura 1 | disposizione videocamere]

I marker vengono posizionati e fissati con nastro biadesivo su segmenti morfologici di interesse (ad esempio, indice, pollice e polso). Per la nostra ricerca abbiamo utilizzato tre marker: il primo posizionato sulla falange prossimale dell'indice destro, per studiare il movimento del calcio; un secondo marker era posto nella palla, così da calcolare la linea che collega virtualmente il dito indice e palla (bersaglio). Questo marker era posto nella palla in una posizione strategica, in basso a sinistra (vedi **Figura 2**), in modo da evitare l'interferenza con il movimento della palla e allo stesso tempo il rischio di distrazione per il partecipante. Infine, un terzo marker fisso era posto sulla traversa della porta da calcio.



[Figura 2 | posizione del marker sulla palla]

Prima di ogni sessione sperimentale venivano calibrate e sistemate la posizione, l'angolo, lo zoom, il focus, la soglia e la luminosità di ciascuna videocamera, in modo da ottimizzare la raccolta dei dati.

Le videocamere venivano calibrate per ogni sessione, attraverso una procedura composta da due fasi diverse. Inizialmente, uno strumento specifico (ovvero una terna) che rappresenta i tre assi del sistema cartesiano, veniva posizionato al centro dello spazio di lavoro (il tavolo) per eseguire una calibrazione statica. Dopodiché, veniva eseguita una calibrazione dinamica per delineare lo spazio sperimentale muovendo la bacchetta lungo tre dimensioni. La risoluzione spaziale del sistema di registrazione era di 0.3 mm oltre il campo visivo. La deviazione standard dell'errore di ricostruzione era di 0.2 mm per tutti 3 gli assi.

2.5 Analisi dei dati

A seguito della raccolta dei dati, ogni trial è stato tracciato mediante il software SMART tracker. In questa fase, i marker acquisiti all'interno del volume calibrato sono stati nominati (nel nostro caso indice, palla, porta) attraverso un modello specifico creato in precedenza. Questo ha permesso di creare le connessioni esatte automaticamente, così da fornire una ricostruzione 3-D delle posizioni dei marker in funzione del tempo.

A ciò è seguita una fase di elaborazione con il software SMART analyzer, nella quale è stato adottato un protocollo dettagliato, adatto al nostro esperimento, per elaborare e analizzare il file tracciato.

2.6 Risultati

Nella fase di analisi dei dati, attraverso un protocollo personalizzato eseguito su Matlab, sono stati estratti i seguenti indici cinematici per ogni singolo movimento:

- Tempo di raggiungimento della Velocità Massima: il momento in cui la velocità dell'indice raggiunge il massimo rispetto all'inizio del movimento (ms).
- Massimo scostamento della direzione della traiettoria dell'indice verso destra: il tempo in cui la traiettoria dell'indice era alla massima distanza verso destra rispetto alla linea mediana (ms).
- Massimo scostamento della direzione della traiettoria dell'indice verso sinistra: il tempo in cui la traiettoria dell'indice era alla massima distanza verso sinistra rispetto alla linea mediana (ms).

Successivamente, i picchi temporali sono stati normalizzati rispetto al tempo del movimento per tener conto delle differenze individuali di velocità:

- Tempo di raggiungimento della Velocità Massima (%): la percentuale di tempo del movimento in cui la traiettoria dell'indice raggiunge la massima velocità.

- Tempo di Massima Deviazione a destra (%): la percentuale di tempo in cui la traiettoria dell'indice è stata alla massima distanza verso destra rispetto alla linea mediana.
- Tempo di Massima Deviazione a sinistra (%): la percentuale di tempo in cui la traiettoria dell'indice è stata alla massima distanza verso sinistra rispetto alla linea mediana.

Per ciascun partecipante e indice cinematico, abbiamo calcolato le medie per lo stimolo di grande numerosità (8) e per quello di piccola numerosità (2), in modo da confrontarli. Abbiamo eseguito il t-test delle medie di ciascun indice e abbiamo controllato quali risultati superavano la soglia di significatività, posta a 0,05. Per i valori significati abbiamo poi eseguito il t-test per campioni accoppiati per medie. Tutto il processo di analisi dei dati è stato eseguito utilizzando il software Excel.

Massimo scostamento della direzione della traiettoria dell'indice verso sinistra (mm): il t-test eseguito sulla massima deviazione della traiettoria dell'indice verso sinistra ha rivelato un effetto non significativo degli stimoli ($t(25)=0,35511$; $p>0.05$)

Massimo scostamento della direzione della traiettoria dell'indice verso destra (mm): il t-test eseguito sulla massima deviazione della traiettoria dell'indice verso destra ha rilevato un effetto non significativo degli stimoli ($t(25)=0,64701$; $p>0.05$)

Massima velocità dell'indice: il t-test eseguito sulla massima velocità dell'indice ha rivelato un effetto non significativo degli stimoli ($t(25)=0,64966$; $p>0.05$)

Massimo scostamento della direzione della traiettoria dell'indice verso sinistra (%): il t-test eseguito sul tempo del massimo scostamento della direzione della

traiettoria dell'indice verso sinistra ha rilevato un effetto non significativo degli stimoli ($t(25)=0,97665$; $p>0.05$)

Massimo scostamento della direzione della traiettoria dell'indice verso destra (%): il t-test eseguito sul tempo del massimo scostamento della direzione della traiettoria dell'indice verso destra ha rilevato un effetto significativo degli stimoli ($t(25)=0,0316$; $p=0.032$). Tale effetto è dovuto al fatto che la media dell'indice è maggiore nella condizione di grande magnitudine numerica (media=0,561) rispetto alla condizione di piccola magnitudine numerica (media=0,482).

Massima velocità dell'indice (%): il t-test eseguito sul tempo della massima velocità dell'indice ha rilevato un effetto non significativo degli stimoli ($t(25)=0,3964$; $p>0.05$).

CAPITOLO 3

3.1 Discussione

L'obiettivo di questa ricerca era di determinare se l'elaborazione di numerosità influisce sulla prestazione di un'azione motoria. Ai partecipanti è stato chiesto di eseguire un'azione di calcio con la mano destra dopo aver osservato una numerosità piccola o grande (insieme di due o otto pallini).

Dai risultati è emerso una differenza tra gli stimoli, in specifico nell'indice scalare che rappresenta il tempo di massimo scostamento della traiettoria dell'indice verso destra. Dalle analisi si può notare che la media dell'indice è maggiore nella condizione di grande magnitudine numerica rispetto alla condizione di piccola magnitudine numerica. Pertanto, si può dire che l'osservazione di una grande numerosità ha comportato un ritardo nella deviazione verso destra rispetto all'osservazione di una piccola numerosità. Una maggiore inclinazione verso destra nella condizione di grande numerosità durante la fase successiva al contatto sembra indicare che i partecipanti stavano puntando verso destra dopo la presentazione di una grande numerosità rispetto alla presentazione di una piccola numerosità.

Risultati simili sono stati osservati anche in studi precedenti, un esempio è l'indagine condotta da Fisher e collaboratori (2003), i quali trovarono che in un compito di puntamento dell'indice, i partecipanti sono stati più veloci nel puntare verso destra dopo la presentazione di un numero grande e verso sinistra dopo la presentazione di un numero più piccolo. Ricerche successive condotte sia su adulti (Ishihara e collaboratori, 2006) che su bambini (Mohring e collaboratori, 2017) hanno evidenziato che questo fenomeno potrebbe essere spiegato da un'interferenza della preparazione motoria causata da un'attivazione diretta della

magnitudine numerica con la corrispondente posizione spaziale congruente. In altre parole, l'attivazione diretta della grandezza numerica sembra influenzare la preparazione motoria, modulando la scelta della direzione del movimento in modo congruente con la numerosità.

Dal momento che si è riscontrata una differenza nella cinematica del movimento, possiamo dire che l'esecuzione dell'azione, per quanto identica, risulta modificata dalla magnitudine numerica.

I nostri dati mostrano che i meccanismi di controllo sottostanti alla formazione del movimento di lancio sono influenzati anche dall'elaborazione dei numeri non simbolici, oltre che dal processamento di quelli simbolici come precedentemente dimostrato (Rugani, Betti, Sartori 2018).

3.2 Limiti e Prospettive future

È importante sottolineare che il nostro studio presenta alcune limitazioni. Ad esempio, per ottenere dei risultati più completi si potrebbero confrontare le condizioni sperimentali con la baseline, in modo da avere una comparazione con l'azione motoria non influenzata da uno stimolo numerico.

Questi risultati, in ogni caso, sottolineano l'importanza di considerare sia gli aspetti simbolici che non simbolici nell'indagine dell'associazione spazio-numerica e offrono prospettive interessanti per ulteriori ricerche sulla natura di tale associazione e il suo impatto su diversi contesti cognitivi e motori. Alcuni esempi potrebbero essere: l'utilizzo di stimoli numerici non simbolici alternativi (forme geometriche, posture delle mani ect.), l'analisi della specificità dei contesti. Gli effetti dell'associazione spazio-numerica, infatti, possono variare in base al contesto specifico in cui si verifica. Studi futuri potrebbero esaminare se questo

fenomeno è influenzato da diversi contesti come l'ambiente sociale, le caratteristiche culturali o il compito svolto. Ulteriori prospettive potrebbero essere: l'esplorazione del fenomeno in diverse popolazioni, in cui si potrebbero analizzare i fattori culturali coinvolti nell'associazione spazio-numerica; l'uso delle tecniche di neuroimaging per approfondire le basi neurali sottostanti.

CONCLUSIONE

Questo studio mirava ad approfondire la nostra conoscenza sul legame tra l'associazione numerica spaziale e l'esecuzione delle azioni, utilizzando gli indici cinematici. In particolare, indagando l'effetto dei numeri non simbolici su un'azione di lancio.

Dai risultati è emersa la presenza di un effetto significativo degli stimoli sull'azione, dimostrando che la rappresentazione spazio-numerica è influenzata dalla codifica implicita della grandezza dei numeri.

L'impatto della grandezza numerica sulla cinematica del movimento confermerebbe la teoria secondo cui le rappresentazioni dei numeri e delle azioni condividono codici comuni.

Il presente lavoro è stato svolto come parte di un progetto di ricerca guidato da Rosa Rugani, Luisa Sartori e Elisa Straulino.

Emma Serraiotto ha contribuito a parte del progetto per soddisfare i criteri per il completamento del tirocinio obbligatorio per i Corsi di Laurea Triennale.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

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

Orsi, E, Bortolotto, C., & Bulf, H. (2014) L'informazione numerica orienta l'attenzione visiva nello spazio: uno studio sui movimenti oculari nell'adulto, in "Giornale italiano di psicologia" 2/2014, pp. 413-420, doi: 10.1421/77912

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

Gianelli, C., Ranzini, M., Marzocchi, M. et al. (2012). *Influence of numerical magnitudes on the free choice of an object position*. *Cogn Process* 13 (Suppl 1), 185–188.

Ishihara, M., Jacquin-Courtois, S., Flory, V., Salemme, R., Imanaka, K., and Rossetti, Y. (2006). Interaction between space and number representations during motor preparation in manual aiming. *Neuropsychologia* 44, 1009–1016. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.11.008

Michael Andres, David J. Ostry, Florence Nicol, Tomas Paus. (2008). *Time course of number magnitude interference during grasping*, *Cortex*, Volume 4, Issue 4, pages 414-419.

Möhring, W., Ishihara, M., Curiger, J., and Frick, A. (2017). Spatial-numerical associations in first-graders: evidence from a manual-pointing task. *Psychol. Res.* doi: 10.1007/s00426-017-0904-4 [Epub ahead of print].

Rugani, R., Betti, S., Ceccarini, F., and Sartori, L. (2017). Act on numbers: numerical magnitude influences selection and kinematics of finger movement. *Front. Psychol.* 8:1481. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01481

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

Dehaene, S. (2003). *The neural basis of the Weber–Fechner law: a logarithmic mental number line*. Trends in Cognitive Sciences, Volume 7, Issue 4, pages 145-147.

Stoianov, I., and Kramer, P. (2008). Associazione Spazio-Numerica tra la Percezione e la Semantica. In R. Nicoletti e E. Ladavas (Eds), *Attenzione e cognizione*. Festschrift per Carlo Umiltà. Bologna: Il Mulino. (pp. 315-324).

Véronique, I., Dehaene, S. (2008). *Calibrating the mental number line*. *Cognition*, volume 6, Issue 3, pages 1221-1247.

Fias, W., and Fischer M. H. (2005). Spatial Representation of Numbers. In Jamie I. D. Campbell (a cura di), *Handbook of Mathematical Cognition*, capitolo 3 (pp. 43 – 54).