



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale (DPG)

Corso di laurea in Scienze psicologiche cognitive e psicobiologiche

Elaborato finale

Ricerca sperimentale sull'effetto delle azioni di pointing e grasping in un compito di ordine numerico

Experimental research on the effect of pointing and grasping actions in a numerical order task

Relatrice

Prof.ssa Mariagrazia Ranzini

Correlatrice

Prof.ssa Sonia Betti

Laureanda: Gaia Caporali

Matricola: 2047925

Anno Accademico 2023/2024

Sommario

ABSTRACT.....	2
1. INTRODUZIONE.....	3
1.1 Embodied cognition	3
1.2 “Embodiment” dei numeri	4
1.3 Due proprietà dei numeri: cardinalità e ordinalità	6
1.4 Un ruolo delle azioni di grasping e pointing sull’elaborazione numerica	10
1.5 Obiettivi e ipotesi	12
2. METODO.....	13
2.1 Campione.....	13
2.2 Materiali	13
2.3 Procedura sperimentale.....	15
2.4 Analisi dei dati.....	19
3. RISULTATI	21
4. DISCUSSIONE.....	25
5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	27
6. RINGRAZIAMENTI	29

ABSTRACT

Sulla base delle teorie di *Embodied Cognition*, che sottolineano l'importanza dei sistemi sensoriali e motori per la rappresentazione della conoscenza, si ipotizza un legame tra l'azione ripetuta della mano e l'elaborazione dei numeri. In particolare, l'obiettivo di questo lavoro di tesi, inserito all'interno di un progetto di ricerca condotto dal Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova, è quello di trovare un effetto delle azioni di indicare (*pointing*) e afferrare (*grasping*) in un compito di ordine numerico (giudicare l'ordine di triplette di numeri). La domanda sperimentale ha origine da un precedente studio, in cui i risultati ottenuti hanno suggerito l'esistenza di meccanismi condivisi tra *grasping* e cardinalità e tra *pointing* e ordinalità. Per indagare quest'associazione è stato sfruttato un paradigma di adattamento motorio, che ha permesso di verificare l'influenza dell'azione manuale sulle performance al compito numerico. L'analisi dei dati raccolti ha confermato due effetti osservati da studi precedenti. Nello specifico, si osserva un effetto distanza inverso, ovvero tempi più brevi per numeri vicini, nel caso di triplette ordinate e un effetto distanza standard, al contrario tempi più brevi per numeri lontani, nella condizione di triplette non in ordine. Inoltre, diversamente da quanto ipotizzato, l'analisi dei dati non ha rilevato una differenza significativa tra i tempi di risposta al compito numerico eseguito dopo l'una o l'altra azione manuale. Questo significa che il *pointing* non ha effetti specifici sul compito di giudizio d'ordine utilizzato. Tuttavia, non è da escludere un suo ruolo nell'elaborazione numerica. Studi futuri potrebbero approfondire ulteriormente la comprensione del legame tra azioni manuali e rappresentazione cognitiva dei numeri, chiarendo il ruolo di *pointing* e *grasping* nell'ambito della cognizione numerica.

1. INTRODUZIONE

1.1 *Embodied cognition*

L'idea per cui la cognizione umana sia una forma di elaborazione simbolica, indipendente dal corpo che la implementa, ha dominato lo sviluppo iniziale delle scienze cognitive. Tuttavia, le teorie riunite sotto l'etichetta di "*Embodied Cognition*" ritengono questa prospettiva insufficiente o scorretta, sottolineando l'importanza degli schemi sensomotori nella rappresentazione della nostra conoscenza, conferendo alle caratteristiche morfologiche e dinamiche del corpo un ruolo peculiare nella genesi e nello sviluppo dei processi cognitivi.

A lungo la cognizione è stata paragonata a rappresentazioni mentali astratte, in cui i sistemi sensoriali e motori hanno lo scopo di fornire input e output da e verso il sistema cognitivo. Ad ogni modo, questa interpretazione della conoscenza come astratta e amodale presenta dei limiti. In contrasto con il paradigma cognitivista classico, per l'*Embodied Cognition* il corpo fa più che trasmettere input e output ai sistemi centrali. I sistemi sensomotori, infatti, sono considerati profondamente integrati con l'elaborazione cognitiva e di conseguenza necessari per la nostra conoscenza. Per cui, secondo questa prospettiva, la cognizione non è un'elaborazione computazionale di simboli disincarnati, ma è piuttosto vincolata e modellata intrinsecamente dal corpo.

Una prova di questo "*embodiment*", o "incarnazione", è data dall'attivazione, a livello neurale, di specifiche strutture motorie (corteccia motoria di piede e dita) durante la lettura di verbi che si riferiscono a movimenti di tali strutture (movimenti delle gambe e delle braccia), dimostrando una tendenza a reclutare il sistema sensomotorio per avere accesso alla semantica di parole che si riferiscono ad azioni (Hauk, Johnsrude, e Pulvermüller, 2004). Di conseguenza, questi risultati ammettono l'esistenza di un legame diretto e sistematico tra azione corporea e rappresentazione della conoscenza. Sulla base di questa nuova prospettiva diversi studiosi hanno

ipotizzato un ruolo del sistema motorio nelle funzioni cognitive di alto livello, come il linguaggio (Glenberg e Kaschak, 2002) e la matematica (Andres, Olivier, e Badets, 2008), mettendo in discussione l'idea per cui il sistema motorio sia coinvolto esclusivamente nel controllo delle azioni.

1.2 “*Embodiment*” dei numeri

L' *Embodied numerical cognition* suggerisce che, al di là dei simboli apparentemente astratti usati per riferirsi ai numeri, il loro significato sottostante è fortemente radicato nelle esperienze sensomotorie e che la nostra comprensione delle informazioni numeriche è modellata da azioni legate alle dita, come il conteggio, e dalle esperienze con le dimensioni nella vita di tutti i giorni.

Ad esempio, lo studio di Rinaldi, Di Luca, Henik e Girelli (2016) mette in luce l'esistenza di uno stretto legame tra i sistemi sensoriali e motori e la cognizione numerica. Gli autori, cercando un'influenza da parte delle abitudini di conteggio con le dita e di lettura sulla rappresentazione delle informazioni ordinali nello spazio, hanno evidenziato un'effettiva capacità del sistema cognitivo umano di rappresentare informazioni astratte ordinate basandosi sulla direzionalità di abitudini visuomotorie.

Diversi bias motori e sensoriali sono la prova del fatto che i numeri possono essere considerati come concetti “incarnati”. Le associazioni spazio-numeriche rilevate in un compito in cui veniva richiesto di classificare delle cifre “dispari” o “pari” premendo tasti lateralizzati (Dehaene, Bossini, Giroux, 1993) ne sono state la prima conferma. Nelle culture occidentali, in cui si scrive e si legge da sinistra a destra, si sono osservate risposte più rapide per numeri piccoli con la mano sinistra e per numeri grandi con la mano destra, suggerendo una tendenza ad associare numeri piccoli all'emispazio sinistro e numeri grandi a quello destro. Questi risultati supportano

l'ipotesi della "linea mentale dei numeri" (Dehaene, 1992), per cui la rappresentazione mentale dei numeri ha un orientamento fisso nello spazio, da sinistra a destra. L'associazione spazio-numerica rilevata è stata denominata effetto SNARC (*Spatial-Numerical Association of Response Codes*) da Dehaene, Bossini e Giraux, gli autori dello studio del 1993.

Una serie di ricerche più recenti si sono cimentate sullo studio dell'*embodiment* dei numeri, avvalorando i risultati ottenuti da Dehaene et al. (1993). Ad esempio, è stato osservato un bias motorio misurando i tempi impiegati ad eseguire un movimento (Fischer, 2003). Nello specifico, si chiedeva di determinare la parità di un numero presentato indicando una regione dello spazio di destra o sinistra e sono emersi tempi di movimento del dito coerenti con l'effetto SNARC.

Oltre a quelli già discussi, molti altri studi hanno dimostrato, attraverso un'ampia serie di compiti, materiali e popolazioni differenti, l'esistenza di questa stretta connessione tra numeri e spazio. Tuttavia, l'origine di tale associazione non è ancora chiara e ancora ampiamente discussa.

Inizialmente si credeva che la direzionalità dell'effetto SNARC fosse una conseguenza delle abitudini di lettura, ma recenti studi hanno messo in discussione questa idea, rilevando l'effetto SNARC in bambini in età prescolare e dimostrando l'esistenza di un altro meccanismo responsabile, probabilmente la direzionalità di conteggio con le dita (Fischer, 2008). Il conteggio con le dita è il mezzo con cui tutti i bambini acquisiscono i concetti relativi ai numeri, ma è anche comunemente usato dagli adulti, sia come comportamento manifesto che come rappresentazione cognitiva. Pertanto, ogni volta che abbiamo a che fare con quantità, esperienze senso-motorie accompagnano l'uso dei concetti di numero ad esse correlate.

1.3 Due proprietà dei numeri: cardinalità e ordinalità

Nella vita di tutti i giorni affrontiamo costantemente situazioni che richiedono un'elaborazione dei numeri. I simboli numerici, essendo rappresentazioni di grandezze e parte di una sequenza, trasmettono informazioni sia sulla quantità che sull'ordine. Particolare attenzione è stata rivolta alle associazioni simbolo-grandezza, come nella cardinalità; tuttavia, spesso trascurate sono le relazioni simbolo-simbolo, o ordinalità, un attributo altrettanto importante dei numeri. Pertanto, i numeri possiedono due proprietà: la cardinalità, che risponde alla domanda "quanti?", e l'ordinalità, che invece risponde a "quale posizione?".

La cardinalità può essere definita come il numero di elementi di un insieme, mentre l'ordinalità si riferisce alla posizione di un elemento in una sequenza, ovvero a come un numero si relaziona a quelli vicino ad esso; ad esempio, cinque è il quinto numero, viene dopo il quattro e prima del sei.

Il presente lavoro di tesi si focalizzerà principalmente su questa seconda proprietà ancora inesplorata, rispetto alla cardinalità, nel campo della cognizione numerica. Infatti, la ricerca sull'elaborazione dei numeri si è concentrata a lungo sul modo in cui le informazioni sulla quantità vengono rappresentate, elaborate e implementate a livello neurale, ma rimangono ancora molti dubbi per quel che riguarda l'ordine numerico.

In uno studio di Turconi, Campbell e Seron (2006) in cui si cercava una relazione tra i meccanismi di elaborazione delle quantità numeriche (cardinalità) e delle informazioni sull'ordine numerico (ordinalità), è stata dimostrata l'esistenza di meccanismi cognitivi differenti per i due tipi di compiti. Per studiare la cardinalità si chiedeva ai partecipanti di determinare quale tra due numeri presentati fosse numericamente più grande, mentre per il compito di ordinalità il partecipante doveva giudicare se i due numeri erano in ordine ascendente o discendente. I risultati hanno rilevato diversi modelli di risposta comportamentale nelle due condizioni. Nello specifico, il compito di confronto numerico ha prodotto il cosiddetto effetto distanza,

per cui i giudizi erano più rapidi per le coppie di numeri lontani tra loro rispetto a quelli vicini (ad esempio, tempi di risposta minori per la coppia 2-9 rispetto a 2-3). Mentre, il compito di ordine ha prodotto l'effetto di distanza inverso, per cui i giudizi erano più rapidi per coppie di numeri consecutivi in ordine ascendente (ad esempio, tempi di risposta minori per la coppia 2-3 rispetto a 2-5), ma non per coppie di numeri consecutivi discendenti (ad esempio, 3-2).

L'effetto distanza è la prova che i numeri siano rappresentati lungo una linea numerica mentale che va dal più piccolo al più grande, per cui i numeri distanti in tale rappresentazione sono più facili da discriminare, mentre al contrario numeri vicini tra loro rendono il confronto più difficile. Invece, l'effetto distanza inverso sembra essere la prova dell'esistenza di un processo cognitivo specifico per il compito di ordine, suggerendo una dissociazione tra i meccanismi che sottendono all'elaborazione cardinale e ordinale dei simboli numerici (Goffin e Ansari, 2016; Turconi et al., 2006). L'effetto distanza inverso può essere considerato una conseguenza di come l'ordine numerico è rappresentato in memoria (Franklin, Jonides, e Smith, 2009; Lyons e Beilock, 2009). In particolare, secondo alcuni studi la rappresentazione dell'ordine numerico non rifletterebbe il valore cardinale di ciascun numero, ma piuttosto la forza dell'associazione simbolo-simbolo archiviata in memoria. Sebbene ancora i meccanismi alla base di tali associazioni siano sconosciuti, è stata proposta l'idea per cui ciascun elemento numerico faccia da trigger per quello successivo (ad esempio, il 4 attiva il 5), facilitando le risposte per target composti da numeri concomitanti in compiti di giudizio sull'ordine. Tuttavia, la capacità di riconoscere l'ordine di una stringa di numeri non è associata solo alla capacità di recuperare associazioni simbolo-simbolo dalla memoria, ma è stata suggerita anche l'influenza di un meccanismo di ricerca seriale (Franklin et al., 2009). Questo significa che, per rispondere a un compito di giudizio sull'ordine, operiamo una scansione item per item della linea mentale dei numeri, per ritrovare in essa ciascun target numerico presentato. Di conseguenza, aumentare la distanza tra i numeri comporterebbe un'espansione dello spazio mentale da scansionare,

allungando tempi di risposta. Inoltre, questo meccanismo di ricerca seriale sottintende una relazione tra il tempo impiegato a stabilire l'ordine degli elementi e il numero di elementi che compongono la sequenza. Riassumendo, dalla letteratura emergono due diversi modelli teorici che descrivono il modo in cui vengono elaborate le informazioni relative all'ordine: quello di concatenamento associativo, che sostiene la formazione di associazioni tra elementi adiacenti, per cui ciascun elemento funge da trigger per l'elemento successivo o precedente nella sequenza; e il modello della codifica posizionale, che invece sottolinea l'associazione tra ciascun elemento e una posizione specifica. Alcuni autori propongono, invece, una possibile combinazione dei due modelli.

Tuttavia, non è ancora chiaro se per giudicare la posizione di un dato numero all'interno di una sequenza numerica sia necessario un accesso esplicito al significato della quantità, ovvero se le relazioni simbolo-simbolo siano sufficienti per giudizi sull'ordine.

Recentemente è stato condotto uno studio per verificare se alla base dell'elaborazione dell'ordine numerico vi siano meccanismi associativi o di ricerca seriale (Vos, Sasanguie, Gevers, e Reynvoet, 2017). Per evitare che i partecipanti, nel giudicare l'ordine, si basassero sull'elaborazione cardinale (ad esempio, 5 è più grande di 4), venne proposta una procedura sperimentale diversa da quella usata nello studio di Turconi et al. (2006), in cui si chiedeva di classificare una coppia di cifre come ascendenti o discendenti. La procedura utilizzata, simile a quella sfruttata nello studio che verrà discusso nel presente elaborato, consisteva nella presentazione di tre cifre, di cui si chiedeva se fossero in ordine o meno. La sequenza numerica poteva essere ordinata in direzione ascendente, discendente o non ordinata e le cifre distanti tra loro o vicine. I risultati di questo studio non solo hanno rilevato l'effetto distanza inverso per le sequenze ordinate, ma anche un effetto accentuato per le sequenze ascendenti rispetto a quelle discendenti, il che dimostra l'esistenza di possibili meccanismi associativi alla base dell'elaborazione dell'ordine numerico. Altri studi hanno rilevato un effetto distanza inverso nelle prove

in cui i numeri presentati erano in ordine (es. 1 2 3), ma non quando non lo erano (es. 3 5 2), in cui si è osservato un effetto distanza canonico (Lyons e Beilock, 2013). Questi risultati rappresentano un'ulteriore prova dell'attivazione di meccanismi di recupero diretto, come conseguenza di un riconoscimento automatico delle triplette ordinate. Inoltre, l'effetto distanza rilevato nelle condizioni in cui la tripletta non era in ordine potrebbe indicare che per giudicare l'ordine di sequenze non ordinate siano necessari confronti di grandezza.

Oltre agli esempi già menzionati, numerosi altri studi hanno indagato i meccanismi cognitivi sottostanti all'elaborazione dell'ordine numerico e della grandezza numerica. Ad esempio, utilizzando i potenziali evento relati (ERP), Turconi, Jemel, Rossion e Seron (2004) hanno individuato una netta dissociazione tra questi meccanismi cognitivi, evidenziata da differenze significative nei tempi e nell'ampiezza di alcune componenti degli ERP associati a compiti di ordinalità e cardinalità. Tuttavia, a livello comportamentale, contrariamente a quanto riscontrato dagli studi discussi finora, non è stato rilevato alcun effetto distanza inverso per il compito di elaborazione dell'ordine, ma è stato rilevato un effetto distanza in entrambi i compiti. Questi risultati suggeriscono l'esistenza di processi neurocognitivi distinti per i due compiti, nonostante si siano osservate risposte comportamentali simili. Inoltre, sebbene l'effetto distanza sia comunemente associato alla rappresentazione della grandezza numerica, lo studio suggerisce che potrebbe riflettere anche l'elaborazione ordinale. Anche altri studi, oltre a quello di Turconi et al. (2004), hanno trovato l'effetto distanza in compiti di giudizio d'ordine (Sasanguie, Lyons, Smedt, e Reynvoet, 2017).

In sintesi, dalla letteratura emergono risultati coerenti su alcuni aspetti, mentre altri presentano delle discrepanze, per cui ulteriori ricerche sono necessarie per chiarire la comprensione dei meccanismi sottostanti all'elaborazione ordinale e cardinale.

1.4 Un ruolo delle azioni di *grasping* e *pointing* sull'elaborazione numerica

Da un recente studio di Ranzini, Semenza, Zorzi, e Cutini (2022), che esaminava gli effetti dell'azione ripetitiva della mano sulle performance ad un successivo compito numerico, sono emersi risultati inaspettati che hanno condotto i ricercatori ad avanzare nuove ipotesi e spunti per studi successivi. Lo studio descritto di seguito ha origine da tali suggerimenti ed ha lo scopo di trovare conferma delle ipotesi avanzate.

Nell'esperimento di Ranzini et al. (2022) i partecipanti eseguivano tre azioni ripetute della mano: *grasping*, *pointing*, *tapping* di un oggetto o la visione passiva di un oggetto, seguite da un compito di confronto numerico (*magnitude*), in cui si chiedeva di rispondere se un numero target presentato fosse maggiore o minore di 5. Lo studio prevedeva un effetto del trasporto del braccio, presente sia in azioni di *grasping* che di *pointing*, o della presa, presente solo nel *grasping*, sulle performance al compito di *magnitude*. Tuttavia, non è stata osservata alcun'influenza significativa del trasporto del braccio e del *preshape* della mano sull'elaborazione numerica, ma è stato rilevato un inatteso rallentamento delle risposte al compito di confronto numerico nel caso in cui l'azione precedente al compito era il *pointing*. Inoltre, l'analisi ha evidenziato che, per numeri di piccole dimensioni, l'effetto distanza, discusso precedentemente, non si è osservato dopo il *pointing*, ma è stato accentuato dal *grasping*.

Dati questi risultati, gli autori hanno fatto notare, in primo luogo, che sia nell'azione di *grasping* che in compiti di cardinalità è richiesta un'elaborazione delle dimensioni, dell'oggetto e del numero rispettivamente. Pertanto, suggeriscono che nello svolgimento di questi due compiti vengano reclutati processi cognitivi in comune. In linea con questa osservazione, dalla letteratura emerge sia un'influenza del *grasping* sull'elaborazione della grandezza numerica che, al contrario, un effetto dell'elaborazione cardinale sull'azione manuale. L'influenza dell'azione manuale

sull'elaborazione numerica è stata provata da Badets e Pesenti (2010), da cui risulta che l'osservazione di un movimento di chiusura delle dita aumentava i tempi di risposta a un successivo compito numerico per numeri grandi; mentre l'effetto opposto è stato dimostrato dalla rilevazione di risposte più rapide nell'azione manuale di apertura delle dita per numeri grandi e di chiusura delle dita per numeri piccoli (Andres, Davare, Pesenti, Olivier, e Seron, 2004).

In secondo luogo, gli autori hanno ipotizzato che il *pointing* possa giocare un ruolo particolare nell'ambito della cognizione numerica e che quest'azione potrebbe condividere meccanismi di elaborazione utilizzati in compiti di ordinalità e di conteggio. Tuttavia, sebbene il legame tra movimenti di *grasping* e l'elaborazione della grandezza numerica sia stato ampiamente discusso e provato, ancora nessuno studio ha dimostrato un'influenza dell'azione di *pointing* su compiti numerici.

Le osservazioni avanzate da Ranzini, et al. sono in accordo con lo studio di Wiemers, Bekkering, e Lindemann (2017), il quale ha dimostrato un'indipendenza tra associazioni numero-dimensione e numero-posizione. Ciò suggerisce che questi effetti potrebbero derivare da processi diversi, probabilmente l'elaborazione della cardinalità e dell'ordinalità, rispettivamente. Di conseguenza, ipotizzando l'esistenza di meccanismi condivisi tra *grasping* e cardinalità e tra *pointing* e ordinalità, si potrebbe spiegare la maggior sensibilità alla distanza numerica dopo il *grasping*, poiché il compito richiedeva di elaborare la grandezza, cioè la cardinalità. Pertanto, il *pointing* potrebbe ridurre la sensibilità alla distanza numerica.

Alla luce di queste osservazioni e seguendo le teorie di *embodied cognition*, Ranzini et al. hanno spiegato i risultati ipotizzando un ruolo del *pointing* nell'elaborazione di informazioni sull'ordine. Di conseguenza, si aspettavano che quest'azione avesse un effetto di facilitazione nei compiti numerici di giudizio di ordine. Come verrà descritto nel prossimo paragrafo, l'esperimento illustrato nel presente elaborato ha lo scopo di testare queste ipotesi.

1.5 Obiettivi e ipotesi

Nel presente studio, si è cercato di individuare una relazione tra l'elaborazione numerica e l'azione della mano. Partendo dai suggerimenti proposti da Ranzini et al., appena descritti, ci si è chiesto se esistessero dei meccanismi coinvolti nel compito manuale di *pointing* in grado di influenzare la successiva elaborazione di informazioni sull'ordine dei numeri.

La domanda sperimentale posta è la seguente: l'esecuzione ripetitiva di azioni di *pointing* e *grasping* influenza la performance, in termini di velocità, di un successivo compito numerico di giudizio sull'ordine? In altre parole, esiste un effetto di facilitazione o peggioramento nell'esecuzione del compito numerico se prima viene chiesto di indicare o afferrare un oggetto ripetutamente?

Questa domanda sperimentale è stata parte di uno studio più ampio in cui si cercava non solo di valutare l'effetto dell'azione manuale sul compito numerico di giudizio sull'ordine (*order*), ma anche l'effetto dell'azione manuale su un compito numerico di confronto di grandezza (*magnitude*).

Inoltre, prendendo in considerazione la letteratura sull'elaborazione numerica discussa precedentemente, si prova a comprendere meglio i meccanismi cognitivi che sottendono all'elaborazione ordinale, cercando eventuali risposte comportamentali, come l'effetto distanza e l'effetto distanza inverso.

2. METODO

2.1 Campione

Il campione era composto da 37 partecipanti adulti sani (età compresa tra i 18 e i 29 anni; 24 femmine) con vista normale o corretta, tutti destrimani. Per verificare la dominanza manuale destra i partecipanti sono stati prima sottoposti all'*Edinburgh Handedness Inventoy* (Oldfield, 1971) e sono stati inclusi nell'esperimento tutti coloro che hanno ottenuto un *Laterality Quotient* superiore a 60. Tutti i partecipanti hanno ricevuto e firmato il consenso informato prima della loro partecipazione.

2.2 Materiali

Il setting sperimentale, come mostrato in Figura 1, era costituito da 6 telecamere posizionate intorno ad un tavolo, posto centralmente nella stanza, e puntate su di esso. In fase preliminare è stato verificato che almeno tre di esse registrassero il movimento richiesto, in ogni sua fase. All'estremità del tavolo in cui sedeva il partecipante, in posizione centrale, era fissata una pulsantiera, con la quale venivano registrati i tempi di reazione e il tempo impiegato ad eseguire il movimento. Tra le ripetizioni del movimento il partecipante teneva premuta la pulsantiera nella posizione di partenza. A 30 cm dalla pulsantiera era fissato al tavolo un cubo di legno di dimensioni 2 cm³ che rappresentava l'oggetto su cui il partecipante andava ad eseguire le azioni di *pointing* e *grasping*. Una cassa acustica, posta alle spalle del partecipante, emetteva il segnale sonoro per indicare l'inizio di ciascun movimento. All'estremità opposta del tavolo era posizionato lo schermo di un computer con il quale venivano presentate al partecipante le indicazioni per l'esecuzione dell'esperimento e i target numerici per svolgere il compito numerico. Veniva usato un microfono per rilevare i tempi di risposta al compito numerico. Prima di iniziare l'esperimento veniva regolato in modo tale da arrivare a qualche centimetro dalla

bocca del partecipante. Questo registrava il primo suono emesso a partire dalla presentazione del target numerico, per cui era necessario assicurarsi massimo silenzio nella stanza e chiedere al partecipante di non emettere altri suoni che non fossero la sua risposta. Venivano applicati tre markers in posizione di indice, pollice e polso della mano destra del partecipante e un quarto marker veniva posizionato sulla superficie superiore del cubetto. Mediante un sistema per l'analisi cinematica del movimento, è stato possibile misurare la posizione dei marker riflettenti nel tempo e nello spazio, permettendo così di individuare la posizione della mano rispetto al cubetto. Alle spalle del partecipante uno dei due sperimentatori gestiva la presentazione delle istruzioni iniziali, avviava il compito numerico e ne registrava le risposte. L'altro sperimentatore si occupava dell'acquisizione dei dati di cinematica, avviando e interrompendo la registrazione da parte delle telecamere con un secondo computer.

Per la gestione della parte della cinematica è stato usato il sistema di analisi del movimento SMART, in particolare i programmi *SMART Capture* e *SMART Tracker*. Con il primo si controllava lo spazio di ripresa delle telecamere e se ne avviava e interrompeva la registrazione, mentre il secondo è stato usato per effettuare il tracking in fase successiva alla somministrazione dell'esperimento. Il tracking ha consentito la ricostruzione della posizione tridimensionale dei quattro markers a partire dalle immagini bidimensionali delle telecamere.

Il compito numerico è stato realizzato e poi monitorato, in fase sperimentale, utilizzando il programma *Eprime* (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA). Tutte le analisi dei dati sono state effettuate utilizzando *R Statistical Software* (v4.3.1; R Core Team 2023).



Figura 1. Setting sperimentale

2.3 Procedura sperimentale

Come nel lavoro di Ranzini et al. (2022), il presente studio ha adottato un paradigma sperimentale basato sull'adattamento motorio, utile per indagare il legame tra elaborazione numerica e azione della mano, analizzandoli in due compiti distinti. La procedura prevedeva l'alternarsi di due compiti: un'azione manuale (*pointing* o *grasping*) e un compito numerico di giudizio dell'ordine di triplete.

I paradigmi comunemente utilizzati si compongono di un unico compito che richiede al partecipante di eseguire l'azione della mano contemporaneamente all'elaborazione numerica, ma questo approccio potrebbe favorire l'uso di strategie associative. Ad esempio, si potrebbe creare un'associazione tra la chiusura delle dita e numeri piccoli e l'apertura delle dita e numeri grandi, senza che necessariamente i medesimi meccanismi cognitivi sottostanti siano condivisi. Per

evitare questo problema, in questo studio è stato richiesto di eseguire l'azione manuale prima del compito numerico, in modo che i due compiti fossero dissociati dal punto di vista funzionale e temporale. Inoltre, per rendere lo studio più ecologico, è stato preferito far eseguire il movimento piuttosto che far osservare passivamente il movimento di una mano. Infine, l'utilizzo di un paradigma di adattamento motorio, che induce una riduzione dell'attività neurale nelle aree cerebrali coinvolte, ha garantito cambiamenti relativamente duraturi nei meccanismi neurali coinvolti, consentendo di attribuire con maggiore certezza eventuali bias nell'elaborazione numerica alla manipolazione sperimentale.

Questa procedura era parte di un esperimento più ampio che includeva una seconda fase, strutturata in modo simile a quella descritta, ma con un diverso compito numerico (*magnitude*). Complessivamente l'esperimento aveva una durata di circa un'ora e mezzo.

Prima dell'arrivo del partecipante, si eseguiva la calibrazione utilizzando il programma *SMART Capture*, che consentiva la trasformazione del sistema di coordinate globale (3D) al sistema delle telecamere (2D). Prima di iniziare l'esperimento, ci si assicurava che il partecipante non indossasse indumenti o altri accessori che potessero riflettere la luce, e, se necessario, gli veniva chiesto di toglierli, per evitare complicazioni durante il tracking. Successivamente, il partecipante veniva fatto sedere e gli venivano applicati tre markers sulla mano (in posizione di indice, pollice e polso), accertandosi che questi fossero ben visibili dal programma *SMART Capture*. Si iniziava la sessione presentando le indicazioni per lo svolgimento dell'esperimento tramite il computer posizionato di fronte al partecipante, fornendo alcune spiegazioni a voce. Per ridurre i possibili errori e garantire che il partecipante comprendesse il funzionamento dell'esperimento, ciascuna fase era preceduta da una fase di training, costituita da quattro ripetizioni di ciascun compito.

L'esperimento si articolava in due blocchi. Nel primo blocco, il compito manuale (*pointing* o *grasping*, in base alla condizione sperimentale) consisteva in 16

ripetizioni consecutive del movimento, ripetute per tre volte. Questo compito manuale era alternato ad un compito numerico di ordine, composto da 16 target numerici, ripetuto due volte. Il secondo blocco si sviluppava in modo simile al primo, ma cambiando il compito manuale (ad esempio, primo blocco *grasping* e secondo *pointing*). All'inizio di ogni blocco, al partecipante veniva richiesto di eseguire 20 secondi di *washout*, durante il quale doveva muovere delicatamente mani e dita al fine di resettare il sistema motorio della mano. Per una comprensione più accurata della suddivisione dei due blocchi e dell'alternanza dei compiti nel tempo si rimanda alla Figura 2.

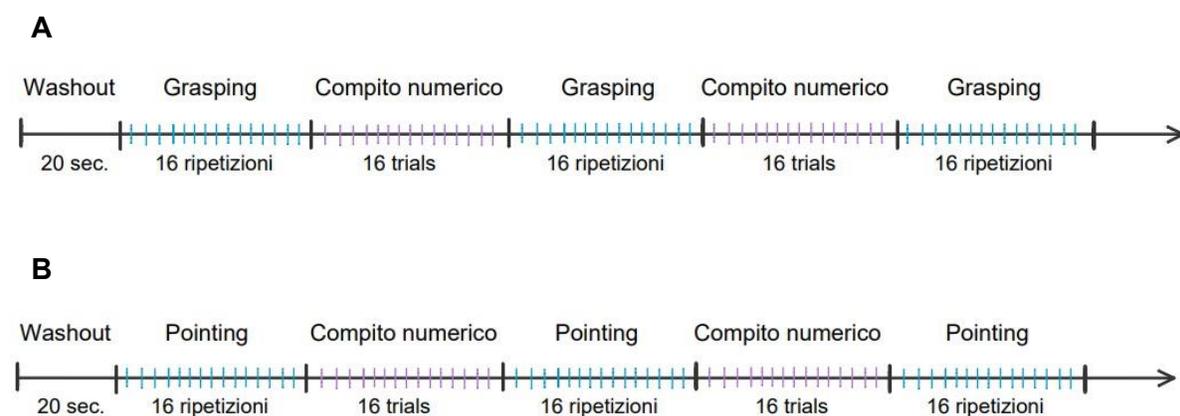


Figura 2. Linea temporale della procedura sperimentale. **(A)** Primo blocco **(B)** Secondo blocco.

Per il compito manuale, al partecipante veniva richiesto di adottare una posizione specifica: la mano sinistra doveva essere appoggiata sulla gamba, con il palmo rivolto verso il basso, mentre la mano destra doveva essere posizionata in modo da tenere premuti indice e pollice sulla pulsantiera (posizione di partenza), come mostrato in Figura 3A. Un segnale acustico indicava al partecipante di iniziare il movimento. Una volta completato il movimento (*grasping* o *pointing*), la mano ritornava alla posizione di partenza, fino a quando non sentiva un altro segnale acustico di avvio. Nel compito di *pointing*, il partecipante doveva indicare approssimativamente il centro della superficie anteriore del cubo posto davanti a lui

(Figura 3B). Mentre, nella condizione di *grasping*, al partecipante veniva chiesto di afferrare il cubo con indice e pollice dalla superficie anteriore e posteriore, senza sollevarlo (Figura 3C).

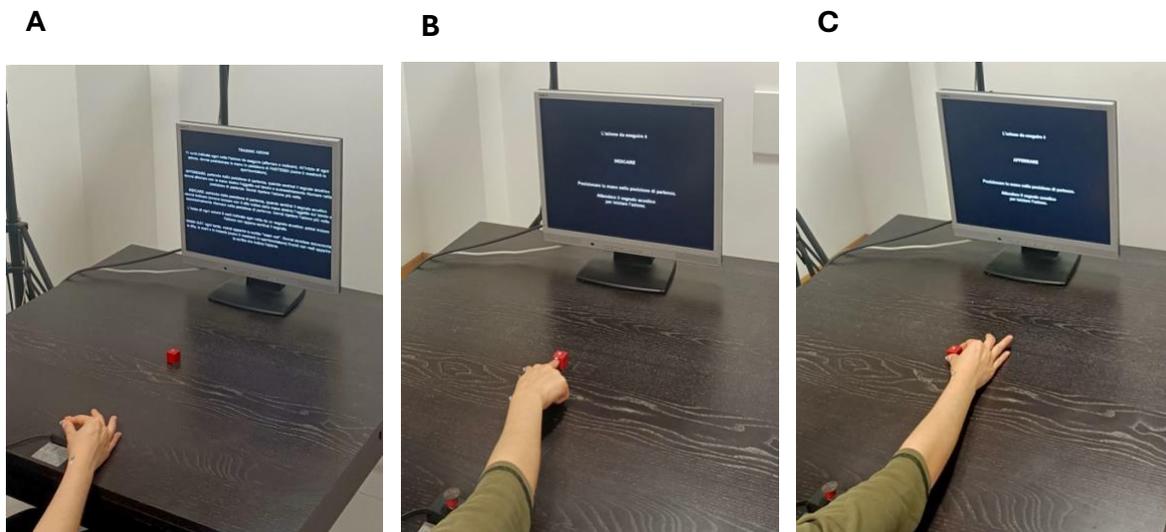


Figura 3. (A) Posizione di partenza. (B) Pointing. (C) Grasping.

Di seguito, il microfono veniva posizionato di fronte al partecipante e veniva avviato il compito numerico. Durante questa fase, il partecipante teneva entrambe le mani rilassate appoggiate sulle gambe, con i palmi rivolti verso il basso. Il compito numerico di ordine consisteva nella presentazione di una tripletta di numeri, che andavano da 1 a 9, e si chiedeva di rispondere al microfono “ba” o “be” a seconda che la tripletta fosse in ordine (es. 1 2 3) o non in ordine (es. 2 8 6). In ciascuna prova, veniva presentata al centro di uno schermo nero una croce di fissazione per 500ms, seguita da una tripletta di numeri, come mostrato in Figura 4. La tripletta rimaneva visibile fino all’acquisizione della risposta verbale del partecipante (con un tempo limite di 5000ms). Si chiedeva di rispondere il più velocemente e accuratamente possibile, scandendo la sillaba in modo chiaro ed evitando di emettere altri suoni.

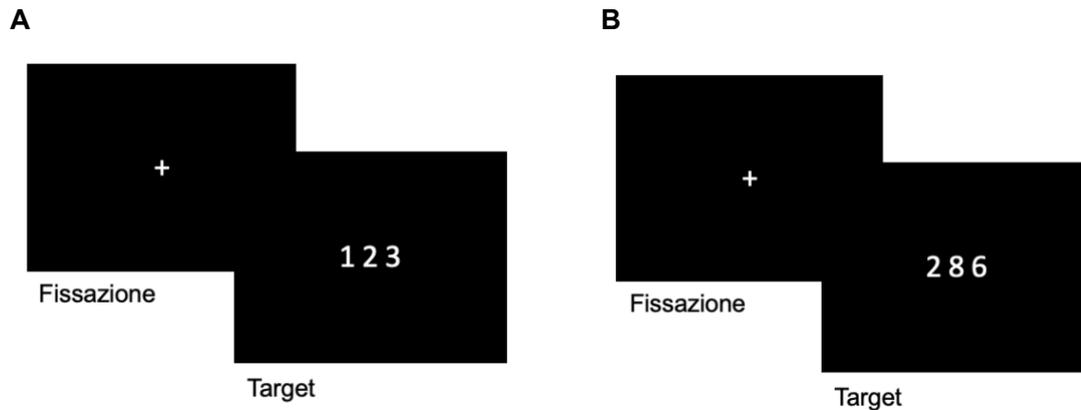


Figura 4. Compito numerico di giudizio sull'ordine di triplette. **(A)** Condizione tripletta in ordine. **(B)** Condizione tripletta non in ordine.

2.4 Analisi dei dati

I tempi di risposta delle risposte corrette al compito numerico rappresentavano la variabile dipendente. Dai dati ottenuti dal compito di giudizio sull'ordine sono state escluse le prove soggette ad errori di registrazione, ossia quelle che mostravano tempi di risposta minori di 120ms (1.2% dei dati totali registrati) e gli errori commessi dai partecipanti durante il compito (13.1%). Inoltre, sono stati rimossi gli *outlier* che si discostavano più di tre deviazioni standard dalla media.

A questo punto, sono stati analizzati i tempi di risposta medi con un'analisi della varianza (ANOVA) a misure ripetute a tre fattori: il tipo di azione (*pointing* o *grasping*), la distanza numerica (numeri vicini o distanti) e l'ordine numerico (tripletta in ordine o non in ordine).

Come riportato nei risultati, dall'analisi descritta è emersa un'interazione significativa tra ordine e distanza. Per analizzare più accuratamente l'effetto interazione tra ordine e distanza sono stati studiati separatamente i tempi di risposta medi ottenuti

nelle prove del compito numerico in base all'ordine o meno della sequenza. Ovvero, sono state condotte due ANOVA a misure ripetute a due fattori (tipo di azione e distanza numerica), una per la condizione in cui la tripletta presentata era in ordine e un'altra se, al contrario, la tripletta presentata non era in ordine.

3. RISULTATI

Dall'analisi della varianza (ANOVA) a tre fattori sono emersi due risultati significativi: un *Main Effect* della distanza ($F_{2,33}=10.76$, $p=0.0025$; Figura 6) e un effetto interazione tra la distanza e l'ordine ($F_{2,32}=59.24$, $p<0.0001$; Figura 7). Tuttavia, non sono state rilevate differenze significative nei tempi di risposta (RT) al compito numerico tra la condizione di *grasping* e quella di *pointing*. La Figura 6, che riassume l'effetto distanza, mostra RT medi al compito numerico minori nella condizione in cui i numeri che componevano la tripletta erano distanti tra loro rispetto a quando questi erano vicini, indipendentemente dal fatto che il compito numerico fosse preceduto da *grasping* o *pointing*. L'effetto interazione tra la distanza e l'ordine, come mostrato dalla Figura 7, consiste in RT minori nella condizione in cui la tripletta era in ordine e i numeri vicini e nella condizione in cui, al contrario la tripletta non era in ordine e i numeri distanti.

Inoltre, considerando le due ANOVA a due fattori è emerso un effetto distanza inverso nella condizione in cui la tripletta presentata era in ordine ($F_{2,32}=4.91$, $p=0.034$), indicando tempi di risposta più brevi nel compito di giudizio sull'ordine quando i numeri che componevano la sequenza erano vicini tra loro rispetto a quando erano distanti (Figura 8A e 9). Al contrario, dall'ANOVA effettuata sui dati in cui la tripletta non era in ordine sono stati rilevati dei tempi di risposta al compito numerico minori quando i numeri presentati erano distanti tra loro ($F_{2,35}=59.32$, $p<0.0001$; Figura 8B e 10).

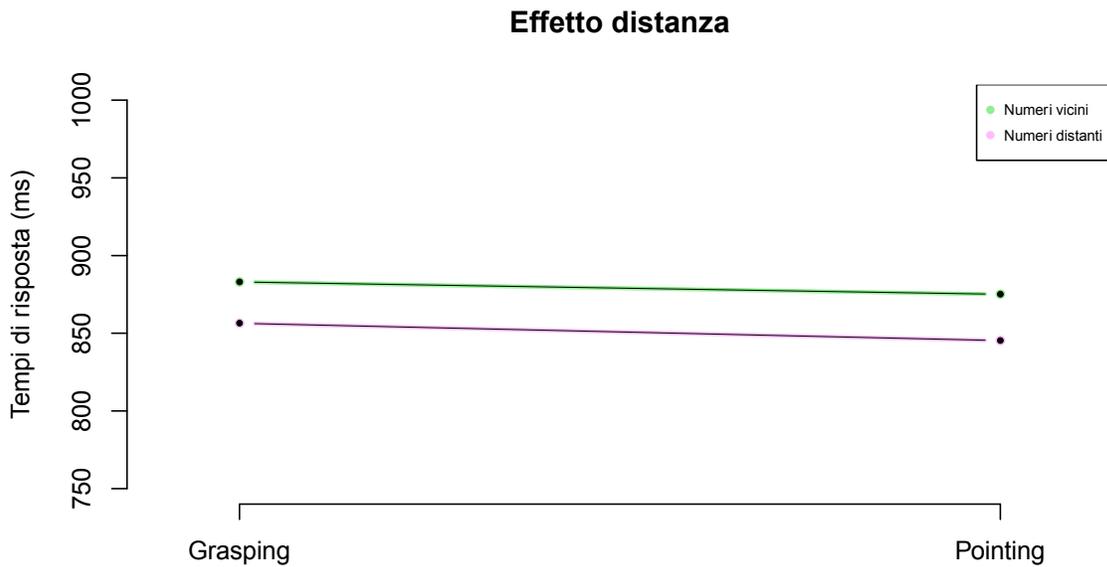


Figura 6 Effetto distanza: tempi di risposta medi minori a compiti di giudizio sull'ordine nelle condizioni in cui i numeri che componevano la tripletta erano distanti

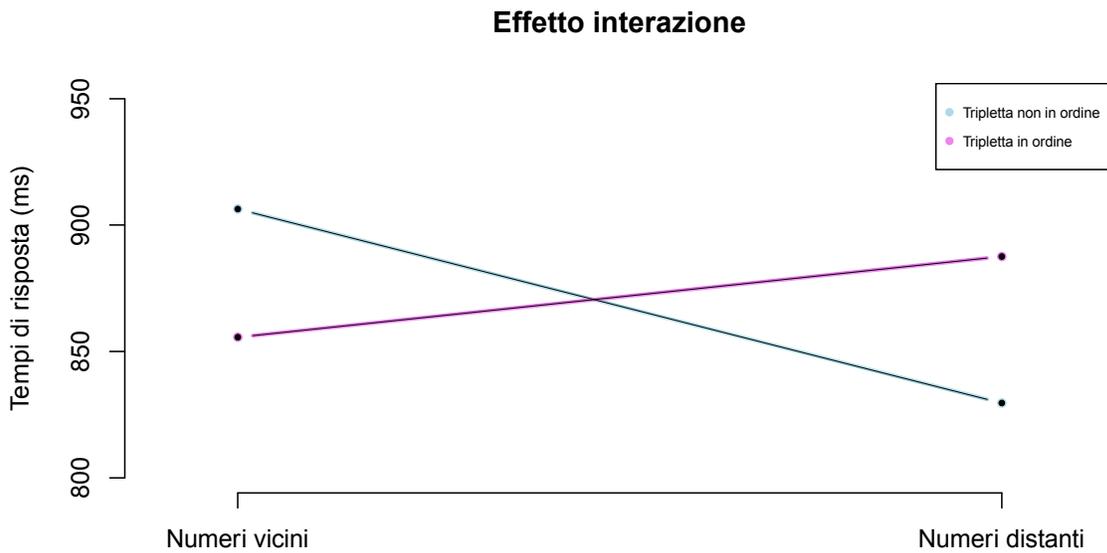


Figura 7 Effetto interazione tra distanza e ordine

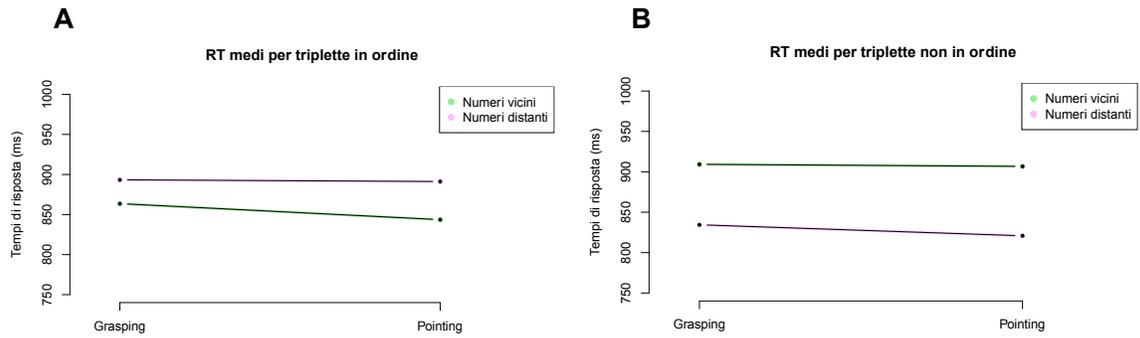


Figura 8 Tempi di risposta medi al compito numerico, considerando le variabili tipo di azione (grasping o pointing) e distanza tra i numeri della tripletta in condizioni di tripletta in ordine **(A)** e di tripletta non in ordine **(B)**

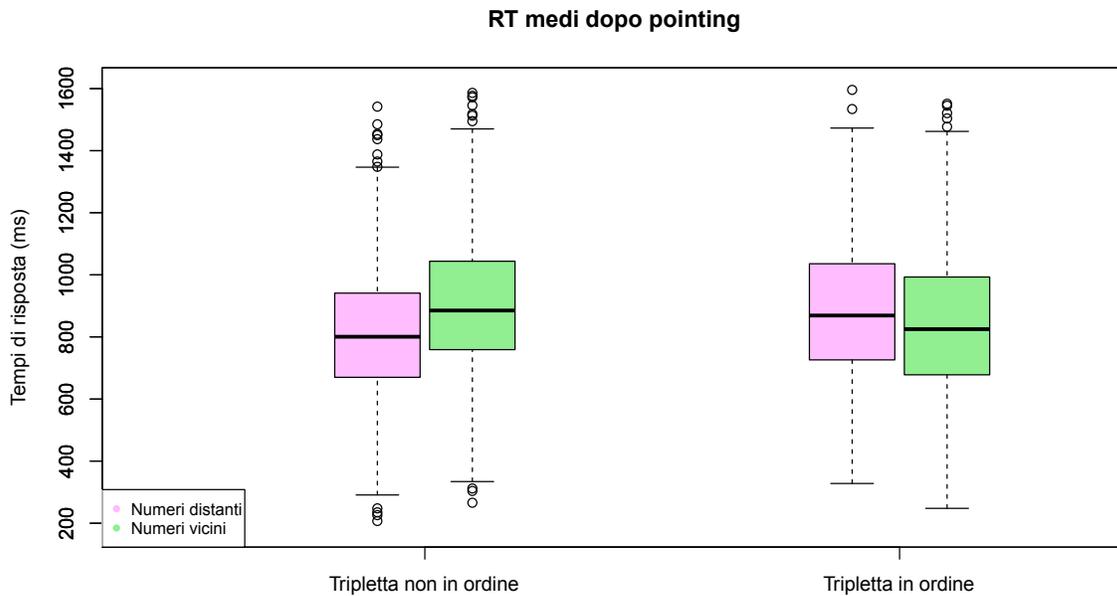


Figura 9: Per quanto riguarda il pointing: i primi due boxplot mostrano l'effetto distanza in triplette non in ordine (RT medi minori quando i numeri erano distanti), mentre i secondi due mostrano l'effetto distanza inverso in triplette in ordine (RT medi minori quando i numeri erano vicini)

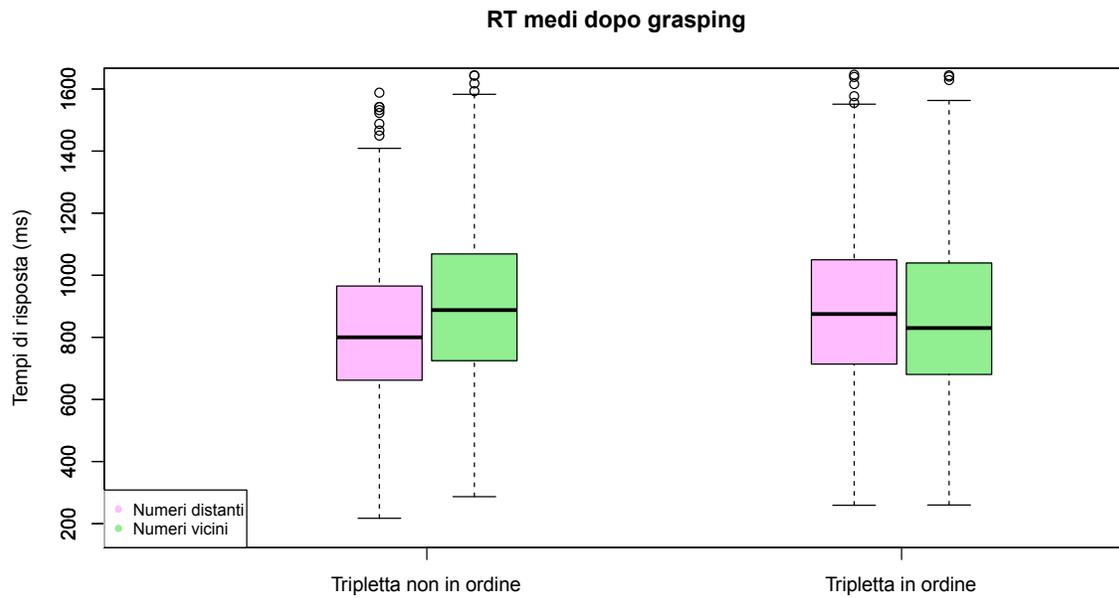


Figura 10: Per quanto riguarda il grasping: i primi due boxplot mostrano l'effetto distanza in triplette non in ordine (RT medi minori quando i numeri erano distanti), mentre i secondi due mostrano l'effetto distanza inverso in triplette in ordine (RT medi minori quando i numeri erano vicini)

4. DISCUSSIONE

Per quanto riguarda il compito numerico, dalla letteratura passata emergono due effetti: l'effetto distanza, osservato in compiti di confronto numerico, e l'effetto distanza inverso, riscontrato in compiti di giudizio sull'ordine (Goffin e Ansari, 2016; Turconi et al., 2006). Per quanto riguarda l'elaborazione dell'ordinalità, oltre all'effetto distanza inverso, è stato rilevato anche un effetto distanza canonico nelle prove in cui i numeri presentati non erano in una sequenza ordinata (Lyons e Beilock, 2013). Queste differenze comportamentali rilevate nell'esecuzione dei compiti numerici di ordinalità e cardinalità suggeriscono una dissociazione tra i meccanismi cognitivi che ne sono alla base, la quale è stata dimostrata anche da differenze a livello di ERP associati ai due compiti (Turconi et al., 2004).

Il presente studio, che studiava gli effetti associati a un compito di giudizio sull'ordine di triplete, ha rilevato un effetto distanza canonico quando venivano considerate tutte le risposte registrate. Tuttavia, esaminando separatamente i tempi di risposta nelle prove in cui le triplete erano ordinate e quelle in cui non lo erano, è stato confermato un effetto distanza inverso nel primo caso e un effetto distanza canonico nel secondo. In altre parole, i partecipanti hanno risposto più velocemente per numeri adiacenti quando la sequenza era ordinata, confermando l'effetto distanza inverso e sostenendo l'idea per cui dei meccanismi associativi potrebbero essere alla base dell'elaborazione dell'ordine numerico (Vos et al., 2017). Al contrario, quando la sequenza non era ordinata le risposte erano più rapide nelle condizioni in cui i numeri erano distanti, dimostrando l'effetto distanza. Siccome l'effetto distanza è comunemente associato a compiti che richiedono elaborazione cardinale (confronto di grandezze), quest'ultimo risultato potrebbe supportare l'ipotesi discussa in precedenza, che suggerisce l'impiego di meccanismi di confronto di grandezze in compiti di giudizio di ordine di sequenze di numeri non ordinate.

Il quesito centrale dello studio riguardava però l'influenza delle azioni manuali sulle prestazioni al compito numerico. Partendo dalle ipotesi precedentemente avanzate

da Ranzini et al. (2022), l'obiettivo era di indagare se l'esecuzione ripetuta di azioni di *pointing* e *grasping* avrebbe influenzato le prestazioni di un successivo compito di giudizio sull'ordine, ovvero se il compito manuale avrebbe comportato un effetto di facilitazione o peggioramento nell'esecuzione del compito numerico. Dati i risultati ottenuti da Ranzini et al. (2022) e basandosi sulle teorie di *embodied cognition*, si è ipotizzata una possibile condivisione dei meccanismi sottostanti all'azione di *grasping* e all'elaborazione cardinale e all'azione di *pointing* e all'elaborazione ordinale. Per cui, nello studio in analisi, in cui si eseguiva un compito volto a indagare l'elaborazione ordinale, è stata prestata particolare attenzione al ruolo del *pointing* sul compito numerico. Tuttavia, a questo proposito le analisi dei dati non hanno rilevato risultati significativi riguardo l'effetto di quest'azione della mano. Infatti, dall'ANOVA a misure ripetute a tre fattori (tipo di azione, distanza e ordine) sono emersi risultati molto simili tra le condizioni di *grasping* e *pointing*, non confermando l'ipotesi di una possibile facilitazione nel compito di giudizio sull'ordine se preceduto dall'azione ripetuta di *pointing*.

Questo significa che il *pointing* non ha effetti specifici sul compito di giudizio d'ordine utilizzato. Tuttavia, non è da escludere un suo ruolo nell'elaborazione numerica. Studi futuri potrebbero approfondire ulteriormente la comprensione del legame tra azioni manuali e rappresentazione cognitiva dei numeri, chiarendo il ruolo di *pointing* e *grasping* nell'ambito della cognizione numerica.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Andres, M., Olivier, E., & Badets, A. (2008). Actions, words, and numbers: a motor contribution to semantic processing? *Current directions in psychological science*, 17(5), 313-317.

Badets, A., & Pesenti, M. (2010). Creating number semantics through finger movement perception. *Cognition*, 115(1), 46-53.

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of experimental psychology: General*, 122(3), 371.

Fischer, M. (2003). Spatial representations in number processing--evidence from a pointing task. *Visual cognition*, 10(4), 493-508.

Fischer, M. H. (2008). Finger counting habits modulate spatial-numerical associations. *cortex*, 44(4), 386-392.

Franklin, M. S., Jonides, J., & Smith, E. E. (2009). Processing of order information for numbers and months. *Memory & Cognition*, 37, 644-654.

Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic bulletin & review*, 9(3), 558-565.

Goffin, C., & Ansari, D. (2016). Beyond magnitude: Judging ordinality of symbolic number is unrelated to magnitude comparison and independently relates to individual differences in arithmetic. *Cognition*, 150, 68-76.

Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307.

Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2009). Beyond quantity: Individual differences in working memory and the ordinal understanding of numerical symbols. *Cognition*, 113(2), 189-204.

Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2013). Ordinality and the nature of symbolic numbers. *Journal of Neuroscience*, 33(43), 17052-17061.

Posit team (2023). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA.

Ranzini, M., Semenza, C., Zorzi, M., & Cutini, S. (2022). Influences of hand action on the processing of symbolic numbers: A special role of pointing? *Plos one*, *17*(6), e0269557.

Rinaldi, L., Di Luca, S., Henik, A., & Girelli, L. (2016). A helping hand putting in order: Visuomotor routines organize numerical and non-numerical sequences in space. *Cognition*, *152*, 40-52.

Sasanguie, D., Lyons, I. M., De Smedt, B., & Reynvoet, B. (2017). Unpacking symbolic number comparison and its relation with arithmetic in adults. *Cognition*, *165*, 26-38.

Turconi, E., Campbell, J. I., & Seron, X. (2006). Numerical order and quantity processing in number comparison. *Cognition*, *98*(3), 273-285.

Turconi, E., Jemel, B., Rossion, B., & Seron, X. (2004). Electrophysiological evidence for differential processing of numerical quantity and order in humans. *Cognitive Brain Research*, *21*(1), 22-38.

Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971 Mar 1; *9*(1):97–113.

Vos, H., Sasanguie, D., Gevers, W., & Reynvoet, B. (2017). The role of general and number-specific order processing in adults' arithmetic performance. *Journal of Cognitive Psychology*, *29*(4), 469-482.

Wiemers, M., Bekkering, H., & Lindemann, O. (2017). Two attributes of number meaning. *Experimental Psychology*.

6. RINGRAZIAMENTI

È con immensa gioia e soddisfazione che giungo alla conclusione di questo percorso, reso possibile grazie al supporto di molte persone meravigliose.

In primo luogo, vorrei ringraziare la mia relatrice, Prof.ssa Mariagrazia Ranzini, per avermi guidato con molta dedizione e interesse durante tutto il periodo della ricerca, permettendomi di raggiungere questo importante traguardo.

Un sentito ringraziamento va anche alla mia correlatrice, Prof.ssa Sonia Betti, per i preziosi insegnamenti e per avermi trasmesso la passione per la ricerca.

Un grazie di cuore ai miei amici per avermi accompagnato in questo bellissimo percorso universitario. Un ringraziamento speciale a Sara, la cui complicità e incoraggiamento mi hanno sostenuta anche nei momenti di difficoltà, e a Bianca, che negli ultimi due anni è sempre stata al mio fianco, motivandomi a dare il meglio di me.

Infine, desidero esprimere la mia più profonda gratitudine a mamma e papà, che nonostante la lontananza fisica, mi hanno fatto sempre sentire il loro amore e il loro appoggio, dandomi la forza di andare avanti e superare ogni ostacolo.

A tutti voi, il mio più sincero grazie.