



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA GENERALE**

**CORSO DI LAUREA IN NEUROSCIENZE E RIABILITAZIONE**

**NEUROPSICOLOGICA**

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

***COME ELABORIAMO LE QUANTITÀ?***

**DIFFERENZE E ANALOGIE TRA GIOVANI, ANZIANI E**

**PAZIENTI CON MALATTIA DI PARKINSON**

*HOW DO WE PROCESS QUANTITIES?*

DIFFERENCES AND SIMILARITIES BETWEEN YOUNG ADULTS, ELDERLY AND PARKINSON'S DISEASE PATIENTS.

***RELATRICE:***

PROF.SSA FRANCA STABLUM

***CORRELATRICE:***

PROF.SSA GIOVANNA MIONI

***LAUREANDA:***

GRAZIA CERULLO

***MATRICOLA:*** 2014942

ANNO ACCADEMICO: 2021/2022

## INDICE

Premessa .....	3
CAPITOLO I.....	5
Cornice teorica.....	5
1.1. Come il cervello rappresenta le grandezze .....	5
1.2. <i>A theory of magnitude</i> (ATOM) .....	8
1.2.1. Evidenze comportamentali .....	11
1.2.2. Evidenze neuropsicologiche e di <i>neuroimaging</i> .....	20
1.3. Differenze in funzione di età e patologia .....	23
1.3.1. Invecchiamento fisiologico.....	24
1.3.2. Malattia di parkinson.....	28
CAPITOLO II.....	31
Progetto “Come elaboriamo le quantità” .....	31
2.1. Obiettivi.....	31
2.2. Compito di bisezione.....	33
2.3. Disegno di ricerca sperimentale .....	37
2.3.1. Variabili dipendenti.....	37
2.4. Campione.....	38
2.4.1. Studio 1.....	39
2.4.2. Studio 2.....	41
2.5. Strumenti .....	42
2.6. Procedimento .....	43
2.7. Risultati .....	45
2.7.1. Studio 1.....	46
2.7.1.1. <u>Probabilità di risposta "lungo/molti" (p-long)</u> .....	46
2.7.1.2 <u>Bisection point</u> .....	50
2.7.1.2. <u>Weber ratio</u> .....	52
2.7.2. Studio 2.....	53
2.7.2.1. <u>Probabilità di risposta “lungo/molti” (p-long)</u> .....	53
2.7.2.2. <u>Bisection point</u> .....	58
2.7.2.3. <u>Weber ratio</u> .....	59
2.8. Discussione e limiti .....	63

BIBLIOGRAFIA .....	70
APPENDICE .....	75

## Premessa

Da sempre è presente un interesse nei confronti delle origini e dell'evoluzione di abilità, umane e animali, di percezione ed elaborazione di aspetti che definiscano il mondo fisico, ovvero le grandezze come lunghezza, numero e durata temporale. Queste sicuramente permettono al singolo individuo di crearsi rappresentazioni del mondo esterno, muoversi e prendere decisioni in esso. Numero (o numerosità), durata e lunghezza sono state definite in diversi modi, in letteratura: quantità numerabili o non numerabili, grandezze analogiche o discrete oppure espressione di dimensioni quali quantità, tempo e spazio. Per una coerenza espositiva, in questa trattazione, verranno citate prevalentemente come grandezze.

Uno dei primi approcci alla questione deriva dagli studi di Piaget (1952), il quale sosteneva che le iniziali interazioni sensori-motorie permettevano ai neonati di stabilire e apprendere categorie spaziali (i.e., “spazio da raggiungere” e “oltre lo spazio da raggiungere”). Successivamente invece alcuni autori hanno proposto l'esistenza sin dalla nascita di un sistema, sia cognitivo che neurale, comune e generalizzato deputato all'elaborazione e stima di grandezze diverse (durata, numero e lunghezza). Questo sistema affinerrebbe, nel corso dello sviluppo, i suoi meccanismi di elaborazione mediante le stesse interazioni sensori-motorie con l'ambiente, citate da Piaget (1952), ed esperienze di apprendimento. Proprio sulla base di questa proposta teorica (ATOM; Walsh, 2003a), è stato strutturato il nostro progetto “Come elaboriamo le quantità”, il quale proponeva la realizzazione di due studi principali. Il primo (studio 1) ha confrontato le performance comportamentali in tre compiti di bisezione temporale, numerica e spaziale tra partecipanti giovani e anziani per poter indagare un'evoluzione fisiologica dei processi di elaborazione delle grandezze. Nel secondo studio (studio 2) invece sono state confrontate le performance comportamentali, mostrate alla somministrazione degli stessi tre compiti,

tra partecipanti sani e pazienti con Malattia di Parkinson per verificare la vulnerabilità del sistema alla patologia. Dai risultati emersi è stata evidenziata una variazione significativa a livello comportamentale sia in funzione della grandezza stimata sia del gruppo di appartenenza. Propriamente, è stata osservata una variazione di accuratezza, nei processi di stima, in tutti i partecipanti in funzione della grandezza considerata. Nello studio 1, addirittura è stata osservata una dissociazione tra giovani e anziani, in termini di stima degli stimoli numerici e temporali: i partecipanti giovani tendevano a sottostimare gli stimoli temporali; mentre quelli anziani a sovrastimare prevalentemente stimoli numerici. Inoltre, è stata osservata una ridotta sensibilità di stima per informazioni temporali in tutti i partecipanti. In realtà, gli anziani (studio 1) e i pazienti (studio 2) manifestavano anche una maggiore variabilità e incostanza di performance in tutti e tre i compiti di bisezione e, quindi, anche nell'elaborazione di informazioni spaziali e numeriche. Pertanto, le evidenze osservate non hanno avvalorato completamente le nostre previsioni iniziali e appaiono più coerenti con ipotesi teoriche parzialmente distinte dall'ATOM.

# CAPITOLO I

## Cornice teorica

### 1.1. Come il cervello rappresenta le grandezze

Le grandezze <sup>1</sup> di durata, lunghezza e numerosità sono l'espressione fisica delle dimensioni di tempo, spazio e quantità. Queste ultime vanno a definire il mondo esterno ed è essenziale imparare a conoscerle per poter esplorare l'ambiente e muoversi adeguatamente in esso.

Pertanto, la necessità di raccogliere informazioni e creare una rappresentazione delle grandezze nel cervello assolve all'obiettivo di elaborazione, discriminazione e interpretazione adeguata degli stimoli ambientali. Tutto ciò permette al singolo individuo di modulare e correggere il proprio comportamento a seconda delle esigenze circostanziali e, quindi, di muoversi in maniera adattiva nell'ambiente circostante. Queste sono abilità che si sviluppano precocemente nell'infanzia e sono condivise da specie sia animali che umana.

Tradizionalmente, le grandezze di durata, lunghezza e numerosità sono sempre state concepite come separate, in funzione innanzitutto della loro natura rappresentativa, a livello cerebrale, ed espressiva, nell'utilizzo comportamentale. Prima fra tutte, la numerosità assume una proprietà discreta e, per riferirsi ad essa in maniera esplicita, ci si avvale del linguaggio e dello spazio. Infatti, l'utilizzo dei numeri, in qualsiasi aspetto della vita quotidiana, è subordinato sempre all'espressione degli stessi sotto forma o di stringhe di lettere o di codici arabi. Queste rappresentazioni numeriche occupano uno spazio ben specifico, sia a livello mentale (i.e., linea numerica mentale) che fisico (i.e., scrittura e lettura di numeri).

---

<sup>1</sup> per "grandezza fisica" si intende la proprietà di un corpo o un fenomeno, che può essere misurata con l'ausilio di uno o più strumenti di misura

Al contrario, sia la lunghezza che la durata hanno una natura intrinsecamente continua: infatti, possono essere espresse come continuità lineari di unità spaziali e temporali. Le informazioni riferite a queste ultime due possono inoltre essere utilizzate per trasformazioni senso-motorie e il coordinamento dell'azione.

Questa variabilità entro le grandezze avvalorata l'idea che possano esserci anche processi distinti che sottostanno alla loro elaborazione. A livello percettivo, la dimensione temporale appare affidarsi maggiormente a meccanismi pressoché soggettivi e, conseguentemente, variabili a seconda di stati emotivi e personali del singolo individuo, oltre che delle circostanze ambientali (cfr. Micillo, Stablum & Mioni, 2021). Diversamente, la dimensione spaziale e quella della quantità implicano processi che, trovando ancoraggio nell'ambiente esterno, risultano più obiettivi. Di conseguenza, la percezione e interpretazione di elementi, classificabili entro le due grandezze (i.e., lunghezza e numerosità), risultano molto più intuitive rispetto a quelle della durata temporale (Walsh, 2003b).

La distinzione tra i processi, ad esempio, potrebbe riguardare aspetti come la richiesta di risorse attentive: infatti, Droit-Volet e colleghi (2008)<sup>2</sup> hanno osservato che la rappresentazione continua di tempo e lunghezza richiedesse maggiore attenzione per essere elaborata rispetto alla rappresentazione discreta della numerosità.

Walsh (2013), inoltre, ha proposto che la distinzione tra i sistemi di grandezze potesse risiedere anche nel percorso evolutivo degli stessi. Infatti, l'acquisizione di una maggiore competenza, nell'elaborazione delle singole grandezze, risulta far affidamento a diversi elementi (i.e., quantità e tipologia di feedback ambientali, livello di consapevolezza) ed essere influenzata diversamente da acquisizione e sviluppo del linguaggio.

---

<sup>2</sup> come citato in Dormal & Pesenti (2013)

La variabilità osservata dei processi ha indotto gli studiosi a ipotizzare che esistessero sistemi multipli e specifici a sottendere tali processi di elaborazione, stima e discriminazione di ciascuna grandezza. In questa prospettiva, le informazioni avrebbero dovuto essere analizzate separatamente per tempo, quantità e spazio e confrontate mediante metriche e modalità uniche. Sulla base di essa, è stato previsto di osservare frequentemente dissociazioni e non interazioni a livello sia comportamentale che neurale, durante i compiti di stima delle grandezze diverse (Cappelletti, Freeman & Cipolloti, 2009). Pertanto, c'è stata un'ampia diffusione di studi indipendenti per tempo, numero e lunghezza, che miravano a individuare quali fossero gli specifici meccanismi per ciascuna grandezza e dove risiedessero.

Dagli studi indipendenti (e.g., per la numerosità, Dehaene, Dehaene-Lambertz & Cohen, 1998; Castelli, Glaser & Butterworth, 2006; per la lunghezza, Dormal & Pesenti, 2009; per la durata, Rao, Mayer, & Harrington, 2001<sup>3</sup>), però, è emerso un prevalente coinvolgimento della corteccia parietale, durante i processi di elaborazione e stima di tutte e tre le grandezze. In particolare, è stata osservata una sovrapposizione del pattern di attivazione a livello parietale posteriore destro, in concomitanza all'attivazione di altre aree circoscritte e specifiche per ciascuna grandezza (e.g., network fronto-parietale in processi di elaborazione e stima della numerosità, vedi Ansari & Dhital, 2006; Piazza et al., 2006)<sup>4</sup>. Di conseguenza, è risultato plausibile proporre un'ipotesi alternativa alla tradizionale separazione dei sistemi di elaborazione delle grandezze citate. Questa ipotesi alternativa ha contemplato la possibilità che potesse esistere un generale e comune meccanismo di elaborazione delle grandezze e, inoltre, anche un comune substrato neurale dove potessero risiedere rappresentazioni condivise e distribuite delle grandezze.

---

<sup>3</sup> come citato in Dormal & Pesenti (2012)

<sup>4</sup> come citato in Dormal & Pesenti (2012)



È bene, in questa prospettiva, specificare una distinzione tra un'ipotesi radicale e altre varianti teoriche meno estreme. Nel primo caso, è stato previsto che esistesse un meccanismo completamente condiviso tra le grandezze (e.g., in riferimento a numerosità e durata, Meck & Church, 1983). Pertanto, ciascuna di esse avrebbe dovuto ingaggiare il meccanismo in un dato momento solo per la sua elaborazione e non avrebbe potuto esserci competizione tra i processi (a livello comportamentale, non ci sarebbero potute essere interazioni tra processi di elaborazione). Nel secondo caso, invece, possiamo citare le ricerche di Walsh (2003a) e Cohen Kadosh e colleghi (2008), i quali hanno proposto un compromesso tra le due prospettive radicali (i.e., separazione e condivisione complete tra le grandezze). In particolare, questi ultimi hanno suggerito una parziale indipendenza delle grandezze, dettata dalla condivisione di processi operativi, ad esempio i meccanismi di confronto (Cappelletti et al., 2009; Cohen Kadosh et al., 2008).

In questi termini, è risultato plausibile prevedere la presenza di interazioni tra processi di elaborazione delle grandezze e, di conseguenza, influenza sulla performance comportamentale. Queste interazioni potrebbero essere bidirezionali o unidirezionali e di facilitazione o interferenza tra le grandezze.

Per una maggiore linearità della trattazione, di seguito, ci si focalizzerà soprattutto sull'approfondimento della letteratura a favore dell'ipotesi di condivisione e parziale indipendenza tra processi (ATOM di Walsh, 2003a) piuttosto che sulle ricerche riferite a un'indagine separata e indipendente delle grandezze.

### **1.2. *A Theory of Magnitude (ATOM)***

Sulla base di evidenze a favore dell'esistenza di una relazione anche minima (e.g., numerosità e lunghezza; Dormal & Pesenti, 2009) tra le grandezze, tradizionalmente contemplate come separate; è emersa l'idea secondo cui tempo, spazio e quantità potessero essere descritti come differenti manifestazioni della stessa dimensione.

Sicuramente, la principale sfida incontrata nella formulazione di un modello, che avesse alla base tale idea, è stata quella di individuare un terreno a livello neurale e cognitivo che accomunasse le grandezze, con proprietà e caratteristiche diverse come già esposto (cfr. paragrafo 1.1). In virtù di questa prospettiva, autori come Gallistel e Gelman (2000) hanno teorizzato che quantità numerabili e non numerabili potessero essere rappresentate mediante il medesimo simbolismo mentale (i.e., medesime regole e caratteristiche di rappresentazione). L'ipotesi di un condiviso linguaggio mentale, a livello rappresentativo, permette di spiegare la possibilità di combinazione tra le grandezze, frequentemente osservata, in modo da contribuire a processi decisionali importanti a livello comportamentale. Sulla base di queste considerazioni, Walsh (2003a) ha proposto il modello ATOM, secondo cui esisterebbe un generalizzato meccanismo di elaborazione per dimensioni distinte di spazio, tempo e quantità e, di conseguenza, per le grandezze di lunghezza, durata e numerosità. Propriamente la condivisione del meccanismo sarebbe parziale e non completa. In questo modo, viene riconosciuta una relativa indipendenza di ciascuna grandezza.

L'autore è stato il primo a contemplare una coesistenza di queste tre grandezze. In precedenza, invece, la letteratura ha ospitato esclusivamente studi rivolti all'indagine di relazioni al massimo tra due grandezze e dimensioni, come ad esempio tra tempo e quantità (e.g., Meck & Church, 1983).

Il focus del modello è sicuramente l'intreccio delle tre grandezze, principalmente sotto tre aspetti (i.e., cognitivo, cerebrale e rappresentazionale).

Da un punto di vista cognitivo, l'ATOM prevede una relazione almeno parziale tra i processi di elaborazione deputati a ciascuna grandezza. Da un punto di vista cerebrale, tenta di individuare un network neurale, la cui attivazione sarebbe comune all'esecuzione dei compiti specifici per ogni grandezza. Propriamente, il modello prevede che le rappresentazioni simboliche mentali di ciascuna dimensione (e grandezza) risiedano a

livello della corteccia parietale e che, da essa, originino i processi di analisi e giudizio delle grandezze. Questi processi costituirebbero il fondamento essenziale per raccogliere informazioni e orientare la selezione e l'attuazione delle azioni sensoriali e motorie. Lo stretto legame di questo meccanismo postulato e i comportamenti motori potrebbe spiegare la sua localizzazione a livello della via dorsale, nota per il suo coinvolgimento nell'elaborazione e pianificazione dell'azione.

Infine, da un punto di vista rappresentativo, il modello assume che le quantità numerabili e non numerabili (i.e., grandezze di numerosità, durata e lunghezza) vengano sottoposte a una mappatura monotona. Propriamente, questa mappatura permetterebbe di creare una relazione lineare tra gli aspetti delle dimensioni (tempo, spazio e quantità) e delle grandezze (durata, lunghezza e numerosità): ad esempio, a una maggior velocità nel dominio del tempo corrisponde una maggior velocità di durata temporale.

Quasi tutti gli studi, condotti in questo filone di ricerca, concordano sulla presenza di questo meccanismo generalizzato anche in specie non umane e sin dalle fasi più precoci di sviluppo, se non direttamente dalla nascita, e pertanto la sua base risulta propriamente prelinguistica. Quest'ultimo punto può essere considerato sia un punto di forza che di debolezza del modello: sicuramente attribuisce una delimitazione alla teoria e la distingue dalle altre; allo stesso tempo, però, la limita a livello locale. Infatti, il modello risulta troppo specifico e non contempla l'evoluzione del sistema generalizzato per le grandezze in virtù dell'influenza di fattori intervenienti nel corso dello sviluppo. Pertanto, potrebbe non essere adeguato a spiegare la variabilità che potrebbe essere osservata tra i meccanismi di elaborazione, a seconda dell'età (Dormal & Pesenti, 2012).

Nonostante le rappresentazioni siano presenti già precocemente, Walsh (2013) ha suggerito successivamente che queste si affinino e arricchiscano attraverso l'interazione motoria che l'individuo ha con l'ambiente. Perciò, l'evoluzione del patrimonio

conoscitivo di queste grandezze potrebbe procedere di pari passo all'acquisizione di abilità visuo-motorie quali raggiungimento, presa e manipolazione concreta degli oggetti. Sebbene il punto di vista di Walsh sia sostenuto dalla convergenza di risultati in studi molti più diretti e specifici, di seguito citati; tuttavia, l'iniziale formulazione del modello ATOM tende a essere considerata troppo modulare e ristretta. Infatti, i riferimenti riportati da Walsh (2003a, 2003b) erano relativi a studi indipendenti su singole grandezze e all'individuazione casuale di interferenze tra processi simultanei di elaborazione e, di conseguenza, eventuali relazioni tra esse. Pertanto, il modello iniziale definisce solo in modo approssimativo la natura e l'estensione delle rappresentazioni delle grandezze interessate.

Tale quadro teorico, di conseguenza, non ha permesso all'autore di fornire una chiara previsione di relazione tra esse né sufficienti suggerimenti su quali meccanismi e correlati cerebrali siano specifici per ogni grandezza e quali invece siano condivisi da più di esse (Dormal & Pesenti, 2012).

Solo successivamente, alcuni studi hanno meglio specificato come la corteccia parietale potesse essere considerata uno dei centri di elaborazione delle grandezze, facendo però parte di un network più ampio a cui sarebbero integrate anche le funzionalità della corteccia prefrontale (Buetti & Walsh, 2009; Dormal & Pesenti, 2012).

### **1.2.1. Evidenze comportamentali**

Già dagli studi tradizionali che indagavano in maniera indipendente tempo, spazio e quantità, gli studiosi hanno iniziato a osservare interazioni tra queste dimensioni. Le interazioni sono state dedotte soprattutto da effetti di influenza su compiti di stima di una grandezza (durata, lunghezza o numerosità), esercitati dalla concomitante presenza di elementi attribuibili a un'altra (spesso, definita come "dimensione irrilevante", perché irrilevante ai fini del compito stesso). Queste interazioni, infatti, hanno permesso di ipotizzare una condivisione di risorse cognitive tra i processi di elaborazione delle tre

grandezze considerate. Pertanto, in caso di simultanea presenza di almeno due di esse, in una data condizione sperimentale, la quantità di risorse a cui ciascun processo di elaborazione attinge è minore rispetto a quando solo uno è attivato (Cappelletti et al., 2009).

Di conseguenza, sono stati elaborati e proposti diversi studi (di seguito citati) che utilizzavano, in maniera sistematica, paradigmi di interferenza. Tale struttura sperimentale permetteva di esplorare l'influenza di una grandezza irrilevante sul giudizio di un'altra grandezza e investigare la presenza di interazioni comportamentali tra diversi processi di elaborazione e stima delle grandezze. È opportuno, innanzitutto, citare l'influenza osservata di fattori numerici su processi di analisi e interpretazione di stimoli temporali, che ha portato a considerare l'esistenza di una parziale relazione tra le dimensioni di tempo e quantità (e.g., Cappelletti et al., 2009; Dormal & Pesenti, 2012). Sulla stessa linea, Olivieri e colleghi (2008)<sup>5</sup> hanno evidenziato lo stesso effetto, introducendo però un fattore di novità. Infatti, questi autori hanno tentato di spiegare l'influenza di fattori numerici sui giudizi temporali, in virtù anche di una dimensione spaziale: ovvero, la disposizione e rappresentazione mentale dei fattori numerici, secondo la linea numerica mentale (i.e., da sinistra a destra, nel caso della cultura occidentale). Pertanto, è stato osservato che la durata di presentazione del numero 1 (disposto più a sinistra nella linea numerica mentale) era sottostimata; mentre quella del numero 9 (disposto più a destra) sovrastimata, rispetto a una cifra di riferimento (i.e., 5).

Con maggiore frequenza, in letteratura sono state individuate interazioni soprattutto in termini di interferenza (anche se non si escludono effetti di facilitazione, come nel caso del *distance effect*) tra quantità e spazio e tra quantità e tempo. Nel primo caso, la più

---

<sup>5</sup> come citato in Grondin (2020)

forte evidenza deriva dalla presenza di un pattern comportamentale condiviso: ovvero la rilevazione di *distance effect*<sup>6</sup> e *size effect*<sup>7</sup> sia in compiti di giudizi di numerosità sia in compiti che confrontano altre grandezze (e.g., lunghezza) (e.g., Crollen, Grade, Pesenti & Dormal, 2013). La stretta relazione tra le dimensioni di quantità e spazio è stata avvalorata anche dalla presenza dell'effetto SNARC<sup>8</sup> (Walsh, 2003a).

In particolare, il *distance effect* e l'effetto SNARC hanno reso plausibile l'esistenza di una linea numerica mentale. Quest'ultima è il risultato della capacità umana di rappresentare e ordinare i numeri secondo un codice spaziale.

L'ordinamento dei numeri dipende dalla direzione assunta dal processo di lettura, variabile a seconda della lingua e della cultura (Dehaene et al., 1993; Gevers & Lammertyn, 2005): infatti nella cultura occidentale, in cui la lettura procede da sinistra verso destra, anche la linea numerica mentale assume questa direzione (i grandi numeri sono localizzati a destra; mentre i piccoli a sinistra).

In riferimento a dimensioni di spazio e quantità possiamo parlare, prevalentemente, di un'interazione bidirezionale; anche se, in alcuni casi, si è osservata una maggiore forza di influenza da parte della grandezza numerica rispetto a quella spaziale, e viceversa (Cappelletti et al., 2009; Dormal & Pesenti, 2013).

Per quanto riguarda le interazioni tra quantità e tempo, invece, queste sono state osservate prevalentemente in esperimenti di doppio compito, in cui lo svolgimento di un secondo

---

<sup>6</sup> il "*distance effect*" definisce l'aumento dell'abilità di discriminazione tra due stimoli (i.e., numeri) all'aumentare della distanza tra i due

<sup>7</sup> per "*size effect*" si intende che, a una distanza equivalente, la discriminazione tra due stimoli (i.e., numeri) diminuisce di pari passo all'aumento della loro grandezza.

<sup>8</sup> l'effetto SNARC riguarda l'associazione spaziale-numerica del codice di risposta, in cui i giudizi sui piccoli numeri sono associati a codici di risposta nello spazio sinistro; mentre i grandi numeri a codici di risposta nello spazio destro.

compito ha pregiudicato l'esito accurato della stima temporale. La condizione di doppio compito sembra inficiare il processamento temporale, indipendentemente dalla natura del secondo compito; al contrario, solo il calcolo mentale è influenzato negativamente dal compito temporale (e.g., Casini & Macar, 1997)<sup>9</sup>.

La relazione tra tempo e spazio non è stata frequente oggetto d'interesse; anche se la correlazione naturale tra queste due dimensioni può essere dettata dal concetto di velocità. Le poche evidenze esistenti suggeriscono che gli elementi spaziali esercitino un'influenza, sia in termini di facilitazione che di interferenza, sulla percezione temporale e di altre grandezze (e.g., Dormal & Pesenti, 2013). Ad esempio, in uno studio di Stavy e Tirosh (2000)<sup>10</sup>, i bambini giudicavano più veloce il treno più grande rispetto a quello più piccolo, nonostante fossero state fornite informazioni a prova di un'uguale velocità tra i due treni.

Inoltre, è risultato opportuno esplorare la natura di queste interazioni per poter delineare conclusioni più chiare sulla validità del modello ATOM (Walsh, 2003a). Queste interazioni potrebbero essere bidirezionali e simmetriche, nel caso di un'influenza tra le dimensioni reciproca e di uguale forza; oppure unidirezionali e asimmetriche, nel caso di influenza solo su un versante o di forza maggiore da parte di una grandezza sull'altra.

In linea con l'idea che esistano meccanismi di elaborazione delle tre grandezze condivisi, si dovrebbero osservare quindi interazioni bidirezionali o almeno unidirezionali. La natura delle interazioni invece dovrebbe essere prevalentemente asimmetrica (i.e., forza di influenza maggiore da parte di una grandezza sull'altra o sulle altre), in accordo con l'idea che ci sia anche una parziale indipendenza dei meccanismi e/o rappresentazioni.

---

<sup>9</sup> come citato in Walsh (2003a)

<sup>10</sup> come citato in Dormal & Pesenti (2012)

Effettivamente, gli studi<sup>11</sup> che hanno indagato tutte e tre le grandezze entro uno stesso paradigma sperimentale hanno osservato uno scenario simile a quello appena descritto.

Ad esempio, alcuni autori (Cappelletti et al., 2009; De Visscher, Noel, Pesenti & Dormal, 2018; Dormal & Pesenti, 2013) hanno evidenziato come tempo, quantità e spazio potessero essere in parte indipendenti e, tuttavia, modularsi a vicenda. L'indipendenza è stata dimostrata dalla possibilità di osservare una compromissione selettiva di ciascuna dimensione: ad esempio, i soggetti adulti con diagnosi di Discalculia Evolutiva manifestavano compromissione in processi di elaborazione e stima numerica e temporale, ma non spaziale (De Visscher et al., 2018). L'influenza tra le dimensioni, invece, è stata avvalorata dall'osservazione di interazioni tra esse: ad esempio, le informazioni numeriche influenzavano la stima degli intervalli temporali; ma non era osservato l'effetto contrario (Cappelletti et al., 2009; Dormal & Pesenti, 2013).

È stato suggerito che l'interferenza o facilitazione asimmetrica di una dimensione rispetto a un'altra potesse indicare una dimensione più saliente (a cui si potesse accedere in maniera più automatica e veloce, anche in una condizione di "dimensione irrilevante"; e.g., Cappelletti et al., 2009; Crollen et al., 2013) o elaborata in modo più veloce o efficiente o richiestiva di minori risorse attentive rispetto alle altre (i.e., numerosità; Droit-Volet, Clement & Fayol, 2007).

Altri autori (Dormal & Pesenti, 2013), successivamente, hanno suggerito che ci potesse essere tra le grandezze una differenza in termini di elaborazione automatica di esse. In particolare, dal loro studio è emerso che la numerosità era associata a più alti livelli di

---

<sup>11</sup> Questi studi sono stati selezionati, tramite il motore di ricerca PsychInfo, sulla base di uno specifico criterio di inclusione: l'obiettivo di indagine di processi di elaborazione delle tre grandezze di durata, numerosità e lunghezza (**TABELLA 1**). L'unica eccezione è stata lo studio di Dormal e collaboratori (2012), incluso perchè ha considerato i processi di elaborazione di almeno due grandezze per una popolazione clinica e non clinica. Questo è risultato utile ai fini della trattazione per assenza di ricerche sulle medesime popolazioni che considerassero tutte e tre le grandezze. Nel testo sono presenti anche studi che non rispettano pienamente questi criteri, ma sono stati inseriti per una completezza informativa.



automatismo, in processi di elaborazione; mentre la durata ai più bassi. Tale esito era associato a una presentazione sequenziale degli stimoli.

Infatti, questi autori hanno sottolineato che il gradiente di automaticità dipendesse da range, modalità (e.g., visiva o uditiva) e modo (e.g., sequenziale o simultaneo) di presentazione degli stimoli. Droit-Volet e colleghi (2007) e Droit-Volet (2010) già avevano osservato performance comportamentali distinte, nell'elaborazione numerica, spaziale e temporale, a seconda che la presentazione degli stimoli fosse sequenziale o meno. Infatti, in una presentazione sequenziale, le grandezze di numerosità e lunghezza condividono le medesime caratteristiche della durata, manifestandosi come un sequenziale flusso di informazione. In questo paradigma sperimentale, non prevale una dimensione come più saliente delle altre e non si osserva una distinzione tra le performance di discriminazione o stima delle grandezze; diversamente da quanto osservato nella presentazione non sequenziale degli stimoli (i.e., il livello di accuratezza di stima maggiore è associato a compiti di elaborazione numerica).

Pertanto, in base alla variazione delle proprietà degli stimoli o delle caratteristiche dei paradigmi sperimentali utilizzati, è possibile che una grandezza sia più o meno saliente delle altre ed effetti di facilitazione e interferenza siano più o meno propensi a manifestarsi. Questo potrebbe spiegare perché, in letteratura, siano osservati dati non sempre coincidenti.

Inoltre, sarebbe opportuno indagare anche se queste asimmetrie siano costanti o dettate da condizioni circostanziali, a seconda della tipologia di compito svolto. Propriamente, in virtù di differenze osservate in rappresentazioni, sviluppo evolutivo, aspetti di elaborazione delle grandezze (i.e., livello di consapevolezza, risorse attentive, quantità e tipologia di feedback ricevuti) e fattori di influenza su di esse (e.g., linguaggio e sistema motorio); l'ATOM riesce a spiegare in maniera più plausibile la presenza di interazioni asimmetriche piuttosto che simmetriche.

La revisione sistematica degli studi condotti a riguardo, elaborata da Dormal e Pesenti (2012), ha avvalorato ulteriormente e in modo più specifico il modello ATOM. Questi autori hanno, infatti, osservato molteplici parallelismi tra performance comportamentali osservate durante compiti di discriminazione, che coinvolgevano durate, numerosità e lunghezze. Innanzitutto, è stato rilevato che tutti e tre i processi di discriminazione percettiva obbedivano alla legge di Weber: in accordo con essa, l'aumento dell'intensità richiesto per produrre un aumento apprezzabile nella sensazione percettiva risulta una funzione costante dell'intensità di questo stimolo.

Un'ulteriore analogia citata dagli autori riguarda la traiettoria evolutiva delle rappresentazioni di grandezze. L'indagine delle capacità di discriminazione in bambini di pochi mesi ha riportato risultati comparabili, indipendentemente dalla grandezza studiata. Infatti, in questi studi i bambini di 6 mesi rispondevano al cambiamento di numerosità, lunghezze o durate quando il rapporto tra due stimoli era pari a 1:2; mentre fallivano se il rapporto di variazione era pari a 2:3. Questo pattern comportamentale di *distance effect* diminuiva in maniera proporzionale all'aumentare dell'età. Perciò, i bambini di 10 anni risultavano in grado di rilevare e discriminare cambiamenti di numerosità, lunghezza e durata anche in un rapporto pari a 2:3.

È opportuno citare un ulteriore studio (De Hevia, Izard, Coubart, Spelke & Streri, 2014) che avvalora l'idea che il meccanismo di elaborazione delle grandezze sia presente sin dalla nascita. Infatti, si osserva che i neonati dopo poche ore di vita siano in grado di generalizzare l'informazione, presentata durante la fase di familiarizzazione, a nuovi valori di grandezza (e.g., predisposizione ad associare lunghezze più lunghe a numeri più grandi e durate più lunghe). Questo permette di supporre che i neonati abbiano, sin da subito, un'abilità di apprendimento associativo di cambiamenti congruenti tra le dimensioni oppure che la generalizzazione a informazioni diverse sia agevolata dalla condivisione almeno parziale della rappresentazione di grandezze diverse.

In generale, è plausibile considerare che le capacità fondamentali per l'elaborazione delle grandezze o siano innate o emergano presto nell'esperienza post-natale. D'altra parte, si suppone che la discriminazione soprattutto delle grandezze analogiche (e.g., durata) migliori con l'età in virtù dell'affinamento di capacità attentive o di mantenimento delle informazioni nella memoria di lavoro (Droit-Volet et al., 2007).

In conclusione, l'osservazione di omologhi effetti comportamentali (e.g., *distance effect* e *size effect*), durante compiti di stima di numerosità, lunghezze e durate non implica necessariamente l'esistenza di una rappresentazione comune a tutte e tre le grandezze. Alcuni autori (e.g., Cohen Kadosh, Tzelgov & Henik, 2008)<sup>12</sup> hanno ipotizzato che questi effetti comportamentali potessero emergere a un livello di passaggio intermedio tra l'accesso alla rappresentazione e le fasi decisionali.

Pertanto, data la molteplicità di dati contraddittori e delle differenti caratteristiche degli studi citati risulta difficile delineare conclusioni definitive riguardo il modello ATOM.

Nella maggior parte degli studi citati, però, un aspetto rilevante riguarda l'osservazione di performance di stima non completamente sovrapponibili tra numerosità, durata e lunghezza: infatti, la performance di elaborazione temporale risulta meno efficace rispetto a quella delle grandezze di numerosità e lunghezza. Questo è, appunto, coerente con l'idea di parziale indipendenza tra i meccanismi di elaborazione e l'osservazione di caratteristiche diverse tra le grandezze (i.e., la durata ha una natura intrinsecamente sequenziale e, pertanto, richiede un aggiuntivo controllo cognitivo rispetto alle altre grandezze; Lewis & Miall, 2006; Staddon, 2005)<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> come citato in Dormal & Pesenti (2012)

<sup>13</sup> come citato in Droit-Volet, Clement & Fayol (2007)

Autori (anno)	Gruppi	N Gruppo 1	Età Gruppo 1	Scolarità Gruppo 1	N Gruppo 2	Età Gruppo 2	Scolarità Gruppo 2	N Gruppo 3	Età Gruppo 3	Scolarità Gruppo 3	Compito	Risultati
Cappelletti, Freeman & Cipolletti (2009)	Gruppo 1 - paziente CB Gruppo 2 - controlli sani, appaiati al singolo paziente per QI ed età	1	62	Università	18 (M = 8, F = 10)	63.8 (3.20)	-	-	-	-	1 - stima temporale 2 - conoscenza di fatti temporali 3 - confronto temporale 4 - stima numerosità 5 - confronto numerosità 6 - stima calcolo 7 - stima arca 8 - stima del numero di quadrati 9 - conoscenza di fatti numerici 10 - conoscenza di fatti aritmetici 11 - confronto numerico	Il paziente CB mostrava una compromissione selettiva a livello di processamento temporale rispetto ai controlli sani e una performance preservata in termini di elaborazione numerica e spaziale. Questo pattern, secondo gli autori, poteva essere spiegato in virtù del suo quadro neuropsicologico (i.e., lesione estesa a livello parietale, frontale e sotto-corticale; ma intatto solco intra-parietale)
Crollen, Grade, Pesenti & Dormal (2013)	Gruppo 1 (giovani adulti)-ESP 1. Gruppo 2 (giovani adulti)-ESP 2	16 (M = 5, F = 11)	19.50 (.97)	-	16 (M = 8, F = 8)	29 (7)	-	-	-	-	Compito di percezione e produzione: nell'esperimento 1 (ESP 1) - grandezze quantificabili (tempo, numerosità, lunghezza) e nell'esperimento 2 (ESP 2) - grandezze non quantificabili (lettere dell'alfabeto).	È stato osservato come i processi di stima possano essere influenzati a seconda della tipologia di task: i.e., sottostima in compiti di percezione e sovrastima in compiti di produzione. Inoltre, la media d'errore di sovrastima o sottostima variava a seconda della grandezza (più ridotta per la lunghezza rispetto alle altre due grandezze). Questo dato è stato osservato solo per le grandezze di durata, lunghezza e numerosità e non nella condizione di controllo (i.e., lettere dell'alfabeto)
De Hevia, Izard, Coubart, Spelke & Streri (2014)	Gruppo 1 (neonati) - ESP 1 Gruppo 2 (neonati) - ESP 2 Gruppo 3 (neonati) - ESP 3	32	51.9 h (range 7.8 - 94.5 h)	-	32	51.9 h (range 7.8 - 94.5 h)	-	-	32	51.9 h (range 7.8 - 94.5 h)	Compito di statistical learning, mediante presentazione di stimoli visivi (linea lunga o corta) e uditivi (sequenze sillabiche di 6 o 18: numerosità). Nell'ESP 1, variava numerosità e durata temporale delle sequenze sillabiche; nell'ESP 2, solo la numerosità e nell'ESP 3 solo la durata temporale. Queste variazioni potevano essere appaiate, in ciascun esperimento, a variazioni o meno anche degli stimoli visivi.	I neonati risultavano essere in grado di reagire a stimoli nuovi, ovvero diversi rispetto a quelli della fase di familiarizzazione, presentati con grandezze diverse: i.e., predisposizione ad associare lunghezze più lunghe a numeri più grandi e durate più lunghe. Quindi, erano in grado di generalizzare l'informazione a nuovi valori di grandezza.
De Visser, Noel, Pesenti & Dormal (2018)	Gruppo 1 - Discalculia evolutiva (DD) Gruppo 2 - controlli appaiati per età	15	26.3 (6.07)	-	15	25.1 (5.50)	-	-	-	-	Compito di categorizzazione: per numerosità, durata, lunghezza e identità di facce	I pazienti con DD hanno mostrato una compromissione nella performance di elaborazione di grandezze sia numeriche che non numeriche (i.e., categorizzazione della durata) rispetto ai controlli. Diversamente, la percezione della lunghezza è risultata pressoché preservata
Dormal, Grade, Mormont & Pesenti (2012)	Gruppo 1 - pazienti PD idiopatico (PD). Gruppo 2 - controlli appaiati a gruppo 1 per età e sesso (HE) Gruppo 3 - controlli giovani adulti (HY)	18 (M = 11, F = 7)	64.2 (9.03)	12.2 (3.12)	18 (M = 11, F = 7)	63.8 (9.80)	11.4 (2.9)	18 (M = 6, F = 12)	21.10 (2.04)	Università	Compito di confronto: per numerosità e tempo	Gli anziani sani avevano difficoltà nell'eseguire un compito di confronto, quando gli stimoli erano durate temporali, rispetto ai giovani sani. Inoltre, anche i pazienti con Malattia di Parkinson presentavano un analogo andamento della performance, ma leggermente peggioro rispetto agli anziani sani. Non c'erano invece differenze per l'elaborazione della numerosità tra i tre gruppi
Dormal & Pesenti (2013)	Gruppo 1 (giovani adulti)- task di confronto numerosità Gruppo 2 (giovani adulti)- task di confronto tempo Gruppo 3 (giovani adulti)- task di confronto lunghezza	18	21 (5.02)	-	18	21 (5.02)	-	-	18	21 (5.02)	Compito di confronto: tra due matrici successive, in cui sono rappresentate tre dimensioni (durata, lunghezza, numerosità) e devono confrontare e giudicare unicamente la dimensione rilevante, ovvero quella che varia.	Nel compito di confronto della numerosità, la variazione della durata non ha avuto alcun effetto diretto sulla performance; mentre quella della lunghezza sì. Viceversa, nel compito di confronto delle lunghezze, i tassi di errore sono stati influenzati esclusivamente dalle variazioni numeriche. Infine, nel compito di confronto tra durate, sono stati osservati effetti di interferenza e/o facilitazione da parte di indizi numerici e spaziali.
Droit-Volet, Clement & Fayol (2007)	Studio 1 Gruppo 1 - bambini Gruppo 2 - bambini Gruppo 3 - adulti  Studio 2 Gruppo 1 - bambini Gruppo 2 - bambini Gruppo 3 - adulti	68 (M = 38, F = 30)	5.11 (.28)	-	74 (M = 36, F = 38)	7.97 (.39)	Scuola primaria	78 (M = 11, F = 67)	19.67 (2.36)	Università	Compito di bisezione: a seconda della condizione, a cui randomicamente i partecipanti di ciascun gruppo erano assegnati, essi dovevano premere un tasto classificare lo stimolo (durata, numero o lunghezza) come "breve/pochi" o "lungo/molti". Il range poteva variare da 4/10 a 8/20.	Per la presentazione non sequenziale, le performance di stima nei compiti di bisezione erano pressoché sovrapponibili per numero e lunghezza (i.e., stessi valori di WR e BP), ma non per il tempo per il quale il valore di WR era più alto. Nell'esperimento 2, invece, la presentazione sequenziale degli stimoli ha dettato una sovrapposizione delle funzioni per tutte e tre le grandezze in virtù della condivisione delle stesse caratteristiche (i.e., un sequenziale flusso di informazione)
Droit-Volet (2010)	Gruppo 1 - presentazione non sequenziale Gruppo 2 - presentazione sequenziale	90	20.59 (3.35)	Università	90	20.59 (3.35)	Università	-	-	-	Compito di bisezione + condizione di assenza o presenza di click train	È stato dimostrato come un treno di click potesse alterare la percezione del tempo, in termini di sovrastima. Inoltre, questo treno di click ha influenzato anche la percezione di numero e lunghezza, ma solo quando esse condividevano le caratteristiche del tempo (i.e., presentazione sequenziale degli stimoli).

TABELLA 1: aspetti principali degli studi citati nel paragrafo 1.2.1 e 1.2.2 (autore/i, popolazione target, numerosità del campione, età e scolarità, descrizione compiti e risultati).

### 1.2.2. Evidenze neuropsicologiche e di *neuroimaging*

La frequente osservazione di pattern di influenza, unidirezionale o bidirezionale, tra le grandezze dovrebbe coincidere con la presenza di focolai di attivazione (in studi di *neuroimaging*) o di siti lesionali cerebrali (in studi neuropsicologici), parzialmente o completamente sovrapposti, associati a performance di elaborazione e stima di numerosità, lunghezza e durata.

Nella sua trattazione, Walsh (2003a, 2003b) si è riferito a studi precedenti (e.g., Critchley, 1953)<sup>14</sup> che attestavano una coincidenza di deficit spaziali e temporali in caso di lesioni localizzate entro la corteccia parietale inferiore destra (rIPC). Diversamente, l'elaborazione della numerosità simbolica e non simbolica (e.g., rispettivamente cifre arabe e insiemi di pallini) è stata associata all'attivazione dei lobi parietali bilaterali: più nello specifico, compiti di confronto e stima sono stati riferiti all'attività lateralizzata a destra; mentre compiti di calcolo esatto a sinistra, in quanto si affidavano al network del linguaggio (Rao et al., 2001<sup>15</sup>; Tudusciuc & Nieder, 2007). Questi dati sicuramente evidenziano una corrispondenza tra le funzionalità dei lobi parietali, soprattutto nell'emisfero destro, e meccanismi di elaborazione e rappresentazione delle tre grandezze di durata, lunghezza e numerosità.

Successivamente alla formulazione dell'ATOM, si è tentato di elaborare studi rivolti all'individuazione di un network neurale che fosse condiviso da tutte e tre le grandezze considerate. In realtà, fino ad oggi, solo pochi studi hanno esaminato in maniera diretta (i.e., disegno sperimentale *within-subjects*) se soprattutto alcune aree parietali siano coinvolte in giudizi di due o più grandezze differenti. Ad esempio, uno studio di risonanza

---

<sup>14</sup> come citato in Walsh (2013)

<sup>15</sup> come citato in Walsh (2003a)

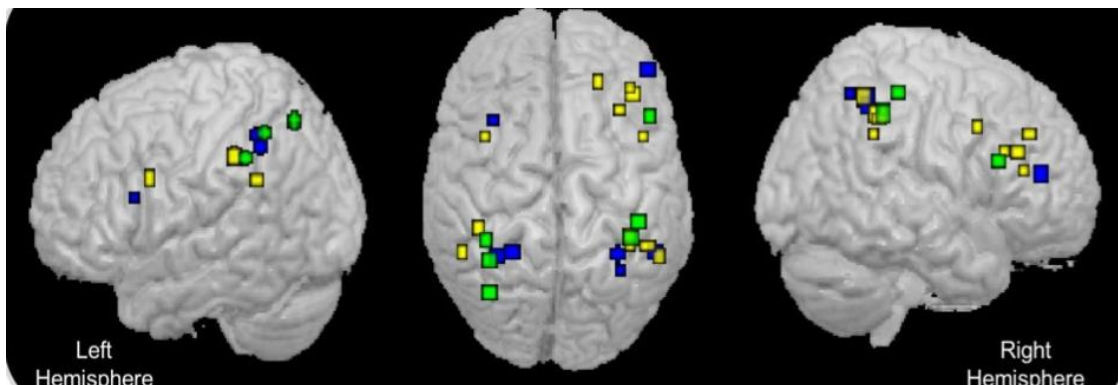
magnetica funzionale che ha confrontato i pattern di attivazione, durante l'elaborazione di quantità discrete e continue (e.g., numerosità, lunghezze e durate), è stato quello di Castelli e collaboratori (2006). I ricercatori hanno individuato una maggiore attivazione del solco intra-parietale (IPS) durante l'elaborazione di quantità discrete, suggerendo soprattutto che in esso possano risiedere rappresentazioni di grandezze quantificabili (i.e., numerosità). In seguito, anche Dormal e Pesenti (2009) hanno individuato un'attivazione del solco-intraparietale (IPS) durante confronti tra numerosità e lunghezza.

Inoltre, anche in paradigmi di stimolazione magnetica transcranica (TMS) dell'IPS destro e sinistro è emersa una coerenza con gli effetti di interferenza tra le grandezze. In particolare, l'interferenza dell'attività dell'IPS destro ha influenzato la performance di elaborazione numerica e spaziale; mentre quella dell'IPS sinistro ha inficiato solo un compito di confronto tra numerosità. Diversamente, i giudizi delle durate non ne hanno risentito (vedi Dormal & Pesenti, 2013). Queste evidenze risultano sicuramente in linea con l'idea di un coinvolgimento privilegiato dell'IPS bilaterale soprattutto per l'elaborazione di grandezze discrete, come indicato sopra (cfr. Castelli et al., 2006).

Altri studi hanno proposto che, in parte, anche le aree frontali (in particolare, la corteccia prefrontale dorso-laterale) potessero contribuire a tali meccanismi: soprattutto, si è ipotizzato che potesse esserci una co-occorrenza di neuroni spaziali e temporali. Sia durante l'elaborazione numerica che temporale è stata evidenziata l'attivazione di un ampio network fronto-parietale, prevalentemente lateralizzato a destra. Questo network includeva sia IPS sia giri precentrale, medio e superiore frontale (Dormal, Dormal, Joassin & Pesenti, 2012).

Un quadro di attivazione più chiaro è stato fornito dalla revisione sistematica (comprendente studi neuropsicologici, di *brain* e *neuroimaging*), elaborata da Dormal e Pesenti (2012). In essa, sono stati citati studi che hanno mostrato risultati convergenti, in termini di pattern di attivazione, durante compiti di elaborazione e stima di numerosità,

durata e lunghezza (vedi **FIGURA 1**). In questo modo, è stato verificato il ruolo cruciale svolto dalla corteccia parietale destra, e soprattutto, dal solco intra-parietale destro in questi processi.



**FIGURA 1:** picchi di attività cerebrale, registrati durante studi (citati nella revisione di Dormal & Pesenti, 2012) che coinvolgevano compiti di stima delle grandezze di numero (blu), durata (giallo) e lunghezza (verde).

È bene citare anche evidenze coerenti derivanti da studi neuropsicologici, i quali hanno sottolineato le strette relazioni tra lesioni in specifiche zone cerebrali e funzionalità compromesse di processamento temporale, spaziale e delle quantità. Ad esempio, Cappelletti e colleghi (2009) (vedi **TABELLA 1**) hanno condotto uno studio su un singolo individuo, indagando la sua performance in vari compiti in funzione a una lesione estesa a livello parietale inferiore destro, temporale superiore destro, frontale inferiore destro e prefrontale laterale fino ad arrivare a una compromissione profonda anche dell'insula e dei gangli della base. Tale quadro neuropsicologico è stato associato, a livello comportamentale, a una compromissione del processo di elaborazione temporale con una conseguente diminuzione dell'accuratezza di performance, nei compiti dedicati ad essa. Diversamente, il paziente manifestava prestazioni nella norma in riferimento a compiti spaziali e numerici. Quest'ultimo dato è stato spiegato in funzione a un'integrità del solco intra-parietale (IPS), supportando la considerazione che l'IPS potesse essere la

base neurale privilegiata per l'intreccio tra le grandezze di lunghezza e numerosità (Dormal & Pesenti, 2009).

Un limite degli studi neuropsicologici, però, ha riguardato principalmente il fatto che i pazienti indagati mostrassero sempre ampie lesioni a livello corticale, non strettamente limitate alla corteccia parietale (Buetti & Walsh, 2009; Dormal & Pesenti, 2012). Pertanto, i risultati di tali studi sono stati considerati insufficienti per delineare conclusioni univoche e definitive riguardo i substrati neurali coinvolti nei processi di elaborazione delle tre grandezze.

In maniera più consistente, invece, da studi *brain* e *neuroimaging* (citati sopra) è stato effettivamente osservato dal punto di vista corticale, come alcuni siti di attivazione per le tre grandezze si sovrappongono (i.e., corteccia parietale inferiore destra, IPS destro); mentre altri no o comunque non sempre (i.e., gangli della base, insula, corteccia prefrontale dorso-laterale). Nello specifico, il processamento temporale richiede l'attivazione di un network corticale più esteso; mentre i processi dedicati a fattori spaziali e numerici risultano più circoscritti (IPS). In ogni caso, la sovrapposizione a livello parietale (nello specifico, rIPC) conferma le teorizzazioni iniziali di Walsh (2003a, 2003b), secondo cui ci possa essere almeno una parziale condivisione di risorse e comunicazione tra processi di elaborazione e stima di grandezze di numerosità, durata e lunghezza.

### **1.3. Differenze in funzione di età e patologia**

È plausibile che si verificano delle variazioni, in virtù di diversi fattori, nei processi di elaborazione, rappresentazione e stima delle tre grandezze già citate.

Coerentemente con gli obiettivi del nostro progetto (cfr. paragrafo 2.1), citeremo prevalentemente studi riferiti a due popolazioni diverse (anziani sani e pazienti con diagnosi di Malattia di Parkinson). Come già affermato nei paragrafi precedenti, le traiettorie evolutive e il perfezionamento di abilità di elaborazione e discriminazione delle



grandezze possono dipendere e variare in funzione della presenza o meno di condizioni e fattori specifici, come feedback appropriati dall'esterno o maggiori livelli di consapevolezza da parte dell'individuo. Sicuramente, il processo di invecchiamento e l'insorgenza di una patologia come la Malattia di Parkinson possono costituire delle variabili interferenti con queste condizioni e fattori specifici, limitando così i processi di elaborazione delle grandezze e di interpretazione degli stimoli ambientali.

Innanzitutto, è bene specificare che un considerevole numero di ricerche si è focalizzato soprattutto sull'indagine di cambiamenti entro un'unica dimensione, ovvero il tempo. In particolare, si è ipotizzato che potessero verificarsi cambiamenti nell'esperienza soggettiva temporale e nei processi di elaborazione dell'informazione temporale, in funzione sia dell'aumentare dell'età (i.e., invecchiamento fisiologico<sup>16</sup>) sia della presenza di fattori patologici (i.e., Malattia di Parkinson).

Per quanto riguarda altre dimensioni, come quella spaziale e quella numerica, non si osserva in letteratura un interesse di analoga portata.

Di seguito, si tenterà di dare una visione di insieme sull'andamento di performance comportamentale che ci si potrebbe aspettare, sia in individui anziani sani sia in pazienti con Malattia di Parkinson. È possibile che si osservi di seguito uno squilibrio informativo tra cambiamenti nei processi di elaborazione temporale e quelli di elaborazione spaziale e numerica, in virtù di un ridotto numero di evidenze in letteratura.

### **1.3.1. Invecchiamento fisiologico**

Grondin (2020) ha proposto che in età avanzata possa emergere l'impressione che il tempo scorra più velocemente rispetto a prima. Questo vissuto potrebbe determinare

---

<sup>16</sup> per "invecchiamento fisiologico" si intende l'insieme di variazioni, a livello corticale, biochimico e comportamentale, che si verificano col procedere dell'età. Queste variazioni però non sono dovute alla presenza di una patologia acquisita o degenerativa (Denes, 2016)

distorsioni nei processi di elaborazione e percezione dell'informazione temporale e, conseguentemente, ridurre l'accuratezza di performance in compiti specifici.

L'autore, nella sua trattazione, ha citato molteplici teorie proposte come interpretazioni del fenomeno di accelerazione temporale (e.g., teoria del rapporto, teoria mnesica). Quella che però più ci interessa è sicuramente l'ipotesi attentiva, secondo cui il fenomeno potrebbe derivare da un declino di risorse attentive tipico del processo di invecchiamento (Craik & Hai, 1999)<sup>17</sup>. Pertanto, un dato intervallo temporale potrebbe essere percepito come più breve in funzione di una mancanza di risorse attentive.

Come già citato (cfr. paragrafo 1.2.1), l'elaborazione di informazioni temporali è associata a una minore accuratezza e sicurezza rispetto al processo di stima di grandezze numeriche e spaziali, in virtù delle sue caratteristiche rappresentative e dell'assenza di consistenti fattori esterni che possano confermare la percezione temporale (tale percezione è pressoché soggettiva). Pertanto, è stato proposto che questa difficoltà di elaborazione e interpretazione fosse l'espressione del coinvolgimento di un controllo cognitivo dinamico (i.e., maggiori risorse attentive e di memoria di lavoro; Droit-Volet et al., 2007). Di conseguenza, si prospetta che in soggetti anziani il venir meno di risorse attentive possa compromettere ulteriormente questo processamento temporale rispetto a quello numerico e spaziale.

Il declino di tali risorse potrebbe essere associato a variazioni e modifiche entro la corteccia parietale e frontale. La prima è stata prevalentemente associata alla gestione e distribuzione delle risorse attentive; mentre la seconda è riconosciuta come essenziale per funzionalità esecutive, quali memoria di lavoro e controllo attentivo. Queste modifiche possono essere osservate nel corso del processo di invecchiamento fisiologico (Denes, 2016). Infatti, gli studi volumetrici sottolineano che gli effetti più accentuati

---

<sup>17</sup> come citato in Grondin (2020)

dell'invecchiamento fisiologico si riflettono soprattutto in una riduzione di materia grigia a livello della corteccia prefrontale dorso-laterale, orbitale e pre-centrale, oltre che a livello del lobo superiore della corteccia parietale. Tali dati sono confermati anche da studi metabolici, i quali riconoscono che con l'età si possa osservare una diminuzione del flusso sanguigno globale e del consumo globale di ossigeno a riposo, sempre a livello delle cortecce frontale e parietale (Chicherio, Ludwig & Borella, 2015).

Nonostante queste ultime considerazioni, a livello comportamentale non esistono molte dimostrazioni empiriche che siano in grado di avvalorare il fenomeno di accelerazione temporale. Gli unici studi trasversali condotti, in linea di massima, non hanno individuato differenze significative entro l'esperienza soggettiva temporale tra anziani e giovani adulti. Propriamente, sono state riportate differenze in funzione di livelli maggiori di ansia o di pressione percepite (i.e., coloro che percepivano una maggiore pressione in un determinato periodo temporale riportano che quello stesso periodo sia trascorso più velocemente per loro) dal singolo individuo, piuttosto che in funzione all'età (Grondin, 2020).

Interessanti sono invece ricerche, di seguito citate, che hanno tentato di individuare in età avanzata la presenza di deficit o alterazioni nell'analisi e utilizzo di informazioni e indizi temporali e, di conseguenza, compromissione nei processi di elaborazione e interpretazione degli stimoli ambientali. Già Wearden (2005) aveva osservato che il comportamento di *timing* prospettico<sup>18</sup> era associato a una maggiore variabilità, negli anziani, ma sostanzialmente non differiva in maniera significativa da quello dei partecipanti più giovani. In particolare, in compiti di bisezione, i suoi studi non hanno riscontrato effetti, in funzione all'età o al quoziente intellettivo (QI), né su valori di

---

<sup>18</sup> per "*timing* prospettico" si intende un pattern comportamentale che riflette giudizi temporali, eseguiti quando l'individuo è informato in anticipo che dovrà prestare attenzione all'informazione temporale e stimarla (Wearden, 2005)

Bisection Point (BP) né di Weber Ratio (WR), indici essenziali alla valutazione del comportamento di percezione e stima temporale (cfr. paragrafo 2.3.1).

Un trend opposto di risultati è stato mostrato dallo studio di Zanto e collaboratori (2011). Questi ricercatori hanno individuato differenze molto significative tra partecipanti giovani e anziani. Propriamente, i primi sfruttavano l'informazione temporale per migliorare la propria performance, in compiti di detezione dello stimolo target (infatti, questo veniva segnalato temporalmente in precedenza); mentre, i secondi non facevano lo stesso. Ciò è stato interpretato in funzione di un deficit nella capacità degli anziani di attivare meccanismi di aspettativa, per guidare la performance ottimale: infatti, i partecipanti anziani non elaboravano adeguatamente l'indizio temporale, che segnalava la presentazione successiva dello stimolo target, e non risultavano in grado di distribuire adeguatamente (in funzione dell'indizio temporale) le risorse attentive per poter rilevare lo stimolo target.

In linea con il modello ATOM (Walsh, 2003a) e con l'ipotesi attentiva (Craik & Hai, 1999)<sup>19</sup> riferita a distorsioni nella percezione temporale, si potrebbe anche ipotizzare che queste variazioni a livello corticale abbiano effetti estesi anche a processi di elaborazione, percezione e stima di altre grandezze come numerosità e lunghezza. Infatti, questa considerazione risulta plausibile in virtù di evidenze del coinvolgimento del meccanismo attentivo nell'elaborazione di ciascuna delle grandezze (vedi Dormal & Pesenti, 2013). Purtroppo, esistono ancora pochissime ricerche sistematicamente orientate all'indagine e individuazione di variazioni entro processi di elaborazione per tutte e tre le grandezze considerate. Sicuramente, in maniera indipendente, possono essere fatte delle considerazioni su ciascun dominio di grandezza, oltre a quelle già indicate per la durata. Ad esempio, Denes (2016) nella sua trattazione riconosce come alcune abilità, nel

---

<sup>19</sup> come citato in Grondin (2020)

processo di invecchiamento fisiologico, possano mantenersi preservate. Addirittura, queste risultano accrescere il proprio patrimonio. Tra di esse, è bene citare in particolare la memoria semantica e le conoscenze numeriche, strettamente associate ai processi di elaborazione, rappresentazione e stima della grandezza di numerosità. Pertanto, sulla base di queste considerazioni, appare plausibile che i processi sopra citati non subiscano alterazioni consistenti con l'aumentare dell'età.

### **1.3.2. Malattia di Parkinson**

La Malattia di Parkinson (MP) è prevalentemente descritta come un disturbo motorio con diverse sfumature fenomenologiche in funzione della gravità, dalla rigidità muscolare, instabilità posturale, tremore a riposo, estrema lentezza di movimento fino alla completa assenza di esso. Nel quadro clinico della malattia, però, sono predominanti anche difficoltà cognitive (tra cui compromissione delle funzioni esecutive e, in fasi più avanzate della malattia, declino cognitivo) e affettive (e.g., ansia, depressione).

Questa malattia è fondamentalmente il risultato della perdita di neuroni, deputati alla produzione di dopamina, all'interno della substantia nigra pars compacta (SNC). Nonostante il loop motorio fronto-striatale sia la primaria disfunzione nella MP, possono essere identificati altri circuiti fronto-striatali colpiti dalla malattia. Ad esempio, si osservano anche alterazioni a livello della corteccia prefrontale dorso-laterale (o DLPFC), la quale è in stretta associazione con i nuclei della base. La sua compromissione potrebbe spiegare la manifestazione di disfunzionalità esecutive, soprattutto in riferimento a *working memory* e *decision making*. Questa breve descrizione della malattia chiarisce maggiormente alcune ipotesi, proposte successivamente, per spiegare uno specifico pattern comportamentale osservato (soprattutto, compromissione della performance di elaborazione temporale), in pazienti con Malattia di Parkinson.

Tra queste ipotesi, citiamo quella di Wojtecki e collaboratori (2011)<sup>20</sup> che propongono di spiegare questi risultati in funzione di un rallentamento dell'orologio temporale. Questo fenomeno di rallentamento sarebbe attribuibile alla patofisiologia (descritta sopra) tipica della Malattia di Parkinson, in quanto si ipotizza che la funzionalità di orologio temporale sia detenuta dai gangli della base. Un ulteriore esempio è stato fornito da Grondin (2020): è stato riconosciuto un ruolo cruciale sia della produzione dopaminergica che dei gangli della base (entrambi alterati nella MP) in processi di elaborazione dell'informazione temporale. In particolare, gli studi di Malapani e collaboratori (1998; 2002)<sup>21</sup> riferiscono la tendenza dei pazienti a sovrastimare brevi intervalli e a sottostimare lunghi intervalli temporali, in compiti percettivi. Altri invece riconoscono un trend generale di sottostima, in compiti di stima temporale, e sovrastima, in compiti di produzione temporale (per una revisione vedi Jones & Jahanshahi, 2015).

Fin qui, come già osservato nel caso dell'invecchiamento fisiologico, si osserva un interesse predominante per l'indagine di processi di elaborazione temporale; mentre scarseggiano le ricerche riferite anche ad altre grandezze (numerosità e lunghezza). Anche se si potrebbe comunque presupporre che, in virtù di una disfunzione esecutiva generale tipica della patologia, i pazienti con MP risultino limitati in qualsiasi compito che richieda una distribuzione delle risorse attentive e un mantenimento delle informazioni nella memoria di lavoro. Quindi, anche compiti di elaborazione, stima e interpretazione di altre grandezze, oltre a quella della durata temporale.

Uno dei pochi studi che hanno considerato l'indagine di processi di elaborazione e stima di almeno due grandezze (i.e., numerosità e durata) è stato quello di Dormal e colleghi (2012). Infatti, in esso, sono state confrontate le performance di partecipanti anziani sani

---

<sup>20</sup> come citato in Jones & Jahanshahi (2015)

<sup>21</sup> come citato in Jones & Jahanshahi (2015)

e pazienti con Malattia di Parkinson in compiti di confronto numerico e di stima della durata temporale.

I risultati hanno evidenziato un pattern comportamentale pressoché sovrapponibile tra i due gruppi, in entrambi i compiti. Propriamente, la performance risultava compromessa (in modo leggermente più significativo nel gruppo di pazienti) nell'elaborazione dell'informazione temporale e preservata in riferimento all'elaborazione numerica. Pertanto, questi ricercatori hanno sostenuto che né il processo di invecchiamento fisiologico né la patofisiologia della Malattia di Parkinson potessero intaccare l'elaborazione numerica. Questa considerazione, invece, non è valida per quanto riguarda l'elaborazione temporale che potrebbe presentare gradi di compromissione diversi, tra i due gruppi, a seconda di severità diversa delle alterazioni cognitive e neurali.

Ciò che evince da questo paragrafo è che, sicuramente, saranno necessarie ulteriori indagini sull'influenza di questi fattori fisiologici (i.e., invecchiamento fisiologico) e patologici (i.e., Malattia di Parkinson) sui processi di elaborazione delle grandezze per arricchirne le conoscenze a riguardo.

D'altra parte, appare evidente che un fronte di supporto all'interpretazione degli stimoli ambientali potrebbe essere la pressoché preservata elaborazione di grandezze numeriche, in entrambe le condizioni valutate. Questa considerazione, invece, non è valida per i processi di elaborazione e interpretazione di informazioni temporali. Questi, infatti, risultano essere i più vulnerabili alle circostanze sia fisiologiche sia patologiche.

## CAPITOLO II

### Progetto “Come elaboriamo le quantità”

Il progetto “Come elaboriamo le quantità” fa riferimento al filone di ricerca più recente, in cui il focus dell’interesse è stato orientato all’esplorazione di meccanismi di elaborazione e rappresentazione delle grandezze di numerosità, durata e lunghezza. Gli studi iniziali, che si sono proposti questo obiettivo, hanno considerato una popolazione giovane (bambini di età compresa fra 5 e 8 anni, e.g., Droit-Volet et al., 2007; neonati con poche ore di vita, e.g., De Hevia et al., 2014) e adulta (giovani adulti con un’età media di 20 anni, e.g., Droit-Volet, 2010).

In questo caso, invece, si è cercato di ampliare lo sguardo di indagine anche ad anziani sani e pazienti con diagnosi di Malattia di Parkinson (MP).

#### 2.1. Obiettivi

Pertanto, sono stati strutturati due studi principali:

- Lo studio 1 mirava a confrontare le prestazioni comportamentali di partecipanti giovani adulti (età compresa fra i 20 e i 32 anni) e partecipanti anziani sani (età compresa fra i 65 e gli 80 anni).
- Lo studio 2 si proponeva di osservare analogie e differenze nelle prestazioni comportamentali tra partecipanti sani (età compresa fra 49 e 82 anni) e pazienti con Malattia di Parkinson (età compresa tra 41 e 88 anni).

A tutti i partecipanti di entrambi gli studi sono stati somministrati tre compiti di bisezione, per durata, numerosità e lunghezza. L’obiettivo era quello di indagare come si esprimessero i processi di elaborazione e stima delle grandezze (i.e., durata, numerosità e lunghezza), a seconda degli aspetti in cui differivano i gruppi considerati (giovani vs anziani; gruppo di controllo vs pazienti con Malattia di Parkinson).

I tre compiti di bisezione, in generale, richiedevano di classificare gli stimoli presentati, in base alla somiglianza o vicinanza a due stimoli standard, appresi in precedenza. Questi



stimoli standard erano “lungo” per la durata e la lunghezza (o “molti” per la numerosità) e “breve” (o “pochi”).

Di seguito, verranno indicate nel dettaglio quali ipotesi il nostro studio ha tentato di indagare e verificare. Innanzitutto, a livello generale, è stata posta a verifica l’attendibilità della teoria proposta da Walsh (2003a), la quale sostiene l’esistenza di un meccanismo di elaborazione e rappresentazione comune e generalizzato per grandezze diverse.

Secondo questa prospettiva, i processi di elaborazione e giudizio delle grandezze dovrebbero essere comuni, almeno in parte, e avere accuratezza analoga. Pertanto, ci si dovrebbe aspettare di non osservare alcuna differenza di accuratezza tra i giudizi di bisezione, entro il singolo individuo o all’interno di uno stesso gruppo (in cui è controllato l’eventuale effetto della variabile indipendente “Gruppo”: nel nostro caso, età anagrafica e presenza della Malattia di Parkinson).

Nello studio 1, l’aspettativa principale è che ci possa essere un cambiamento nei processi di elaborazione delle grandezze, all’aumentare dell’età; perciò, dal confronto tra il Gruppo Giovani e il Gruppo Anziani, si dovrebbero osservare variazioni nell’accuratezza delle performance, propriamente riduzione di essa e incremento di variabilità nelle risposte, nel Gruppo Anziani. Assumendo la validità della teoria di Walsh, l’aspettativa è riferita a osservare tale pattern di dati per tutti e tre i compiti di bisezione, in maniera indifferente. In realtà, la letteratura già cita una maggiore vulnerabilità dei processi di stima temporale rispetto agli altri (cfr. paragrafo 1.2.1).

La riduzione di accuratezza si potrebbe prospettare in associazione a un deterioramento fisiologico della corteccia parietale (nello specifico, corteccia parietale posteriore destra), assunta come substrato ospitante il meccanismo deputato all’elaborazione delle diverse grandezze (Dormal & Pesenti, 2012; Walsh, 2003a; Buetti & Walsh, 2009).

Infine, nello studio 2 si è ipotizzato che anche le sequele neuropsicologiche, tipiche della presenza della Malattia di Parkinson, possano avere un impatto sui processi di

elaborazione. Di conseguenza ci si aspetta di osservare, nei pazienti con Morbo di Parkinson, ulteriori riduzione di accuratezza e incremento di variabilità rispetto al Gruppo di Controllo. Questa aspettativa è rivolta soprattutto al compito di bisezione temporale, in virtù delle evidenze in letteratura (Dormal et al., 2012; Jones & Jahanshahi, 2015; Grondin, 2020).

Negli altri due compiti di bisezione (i.e., numerosità e lunghezza), le richieste mnemoniche (soprattutto, di *working memory*) e attentive sono superiori alla norma (Jones & Jahanshahi, 2015). Pertanto, per una generalizzata disfunzionalità esecutiva nella Malattia di Parkinson, si potrebbe supporre un relativo deterioramento delle performance dei pazienti anche in questi due compiti, rispetto al Gruppo di Controllo.

## **2.2. Compito di bisezione**

Inizialmente, il compito di bisezione ha trovato un'applicazione privilegiata nella letteratura riferita al *timing* e alla percezione temporale. La bisezione temporale è definibile un compito prospettico, in quanto il partecipante è consapevole in anticipo del fatto che gli verranno richiesti dei giudizi temporali; ma anche percettivo, poiché il partecipante viene istruito a classificare le durate di presentazione degli standard (Mioni, 2018; Penney & Cheng, 2018). La definizione, in questo caso, è riferita al dominio temporale ma può essere estesa anche alla bisezione di altre grandezze: infatti, nel nostro progetto, tutti e tre i compiti di bisezione possono essere descritti come prospettici e percettivi.

Nella letteratura più recente, la struttura del compito di bisezione temporale è stata generalizzata a diverse grandezze (lunghezza e numerosità, oltre alla durata), che presentano caratteristiche diverse dalla dimensione temporale. Infatti, queste non condividono analoghe proprietà di rappresentazione: la lunghezza e la durata sono due grandezze continue, mentre la numerosità può essere espressa in modo discreto e discontinuo (cfr. paragrafo 1.1).

Questa diversità ha creato delle criticità, almeno inizialmente, per l'individuazione di uno strumento che permettesse di standardizzare in maniera univoca i processi di elaborazione. Numerosi studiosi si sono cimentati in tale sfida e da tale intento sono emersi molteplici filoni di indagine. In essi, è possibile individuare una certa variabilità dell'indagine, in termini di popolazione target: ad esempio, in base alla presenza di aspetti clinici presenti (adulti con Morbo di Parkinson idiopatico, vedi Dormal et al., 2012; adulti con discalculia evolutiva, vedi De Visscher et al., 2018) e all'età (neonati, vedi de Hevia et al., 2014; giovani adulti, vedi Droit-Volet, 2010).

Inoltre, un'ulteriore fonte di variabilità è riferita proprio alla scelta degli strumenti e del metodo: in alcuni casi (Droit-Volet et al., 2007; Droit-Volet, 2010), sono stati utilizzati task di bisezione, come nel nostro caso; in altri di confronto tra le grandezze (Dormal et al., 2013) e, in altri ancora, compiti di percezione e produzione (Crollen et al., 2013). Sicuramente, la variabilità su questo fronte metodologico rende più complesso ottenere delle conclusioni univoche per confermare o confutare le prospettive teoriche, presenti in letteratura, tra cui "*A Theory of Magnitude*" (Walsh, 2003a; 2013).

Ora verranno descritti, più nel dettaglio, i compiti di bisezione utilizzati nel progetto da noi presentato. I compiti sono stati elaborati mediante la programmazione di PsychoPy (versione 2021.2.3).

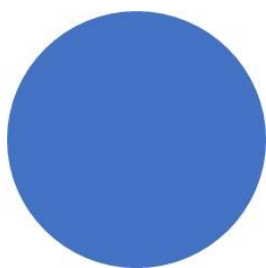
In ogni compito, la struttura generale prevedeva una fase iniziale di familiarizzazione (con 14 trials) e una fase test (due sessioni da 42 trials ciascuna). Nella prima fase, è stato chiesto esplicitamente al partecipante di memorizzare come standard di riferimento "breve/pochi" ("breve" per il compito di tempo e lunghezza; mentre "pochi" per il compito di numerosità) uno stimolo fissato al valore più basso che si sarebbe potuto incontrare nel compito (3.7 cm per la lunghezza, 4 pallini per la numerosità e, infine, 400 millisecondi per la durata); oppure "lungo/molti" un altro stimolo fissato al valore più

alto (9.2 cm per la lunghezza, 10 pallini per la numerosità e 1 secondo per la durata temporale).

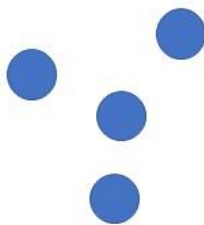
I valori, più alto e più basso, a cui sono stati fissati gli standard di riferimento sono gli estremi di un intervallo a 7 livelli. Questo intervallo comprende valori che vanno da 400 a 1000 millisecondi (i.e., 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000), nella bisezione temporale, o da 3,7 a 9.2 cm (i.e., 3.7, 4.6, 5.5, 6.4, 7.3, 8.2, 9.2 cm), nella bisezione spaziale, o da 4 a 10 pallini (i.e., 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) nella bisezione numerica.

Nella fase test, invece, sono stati presentati stimoli intermedi (cioè assumevano valori intermedi nell'intervallo a 7 livelli) e stimoli estremi ed è stato chiesto al partecipante di classificarli in funzione alla vicinanza o uguaglianza allo standard “lungo/molti” o a quello “breve/pochi”.

Gli stimoli utilizzati differivano a seconda della tipologia del compito di bisezione: insiemi di pallini di diversa numerosità (vedi esempio nella **FIGURA 2.B**); linee di lunghezza diversa (vedi esempio nella **FIGURA 2.C**) e un pallino centrale di durata diversa (vedi esempio nella **FIGURA 2.A**). Tutti gli stimoli erano di colore blu e venivano presentati sullo sfondo bianco, pressoché in posizione centrale sullo schermo del computer. L'ordine di presentazione era casuale.



**A.**



**B.**



**C.**

**FIGURA 2:** (A) esempio di stimolo nel compito di bisezione temporale, (B) esempio di stimolo nel compito di bisezione numerica, (C) esempio di stimolo nel compito di bisezione spaziale.

Come già detto, nei compiti di bisezione ai partecipanti veniva chiesto di giudicare e classificare gli stimoli, presentati nella fase test, in base agli standard di riferimento appresi: il giudizio dei partecipanti era espresso da una risposta comportamentale, ovvero la pressione di un tasto sulla tastiera del computer.

In seguito alla scomparsa dello stimolo target da giudicare e alla comparsa di un punto interrogativo, i partecipanti dovevano premere sulla tastiera “s” se, per loro, lo stimolo target era vicino o uguale allo standard di riferimento “breve/pochi” e “l” se, per loro, lo stimolo target era assimilabile allo standard “lungo/molti”.

È utile specificare che, nelle istruzioni iniziali, si sollecitava a considerare a quale standard fosse più vicino lo stimolo target, senza richiedere che ci fosse estrema certezza nel giudizio. D'altra parte, all'inizio della prova, veniva richiesto di non attuare strategie di conteggio, ma di affidarsi semplicemente alla percezione immediata e soggettiva. Quest'ultimo aspetto potrebbe aver creato una condizione di insicurezza maggiore nei partecipanti nel riferire le proprie risposte, ma anche di soggettività maggiore nel processo percettivo.

L'ordine dei compiti di bisezione è stato stabilito dalla sperimentatrice e assegnato casualmente ad ogni partecipante, prima dell'inizio della prova; con l'accortezza di considerare un ugual numero di partecipanti per ciascuna delle sei condizioni ottenute dalla combinazione di bisezione temporale (T), spaziale (L) e numerica (N). Propriamente, queste condizioni erano TLN, TNL, LTN, LNT, NTL, NLT.

In questo modo, si è ottenuto un quadro bilanciato che ha permesso di controllare la variabile di ordine di esecuzione dei compiti, per evitare confusione nell'interpretazione dei risultati. Infatti, l'ordine di esecuzione potrebbe influenzare l'accuratezza di

prestazione del partecipante: lo svolgimento di un compito di bisezione (temporale, spaziale o numerico), prima degli altri, potrebbe agevolare o inficiare la performance di giudizio e classificazione degli stimoli ai compiti successivi (e.g., Dormal & Pesenti, 2013).

### **2.3. Disegno di ricerca sperimentale**

Il disegno sperimentale su cui si basa la strutturazione del progetto è un disegno misto 2x3x7 sia per lo studio 1 che per lo studio 2. Quindi, in entrambi gli studi, è stato effettuato un confronto tra due gruppi (i.e., Gruppo Giovani vs Gruppo Anziani, nello studio 1; Gruppo di Controllo vs Gruppo Parkinson, nello studio 2) delle performance in tre diversi compiti di bisezione (durata, numerosità e lunghezza) considerando stimoli in un intervallo a 7 livelli (da 1 a 7).

#### **2.3.1. Variabili dipendenti**

Le nostre variabili dipendenti, analizzate per tutti i partecipanti (sia dello studio 1 che dello studio 2) indipendentemente dal gruppo specifico di appartenenza, in tutti e tre compiti di bisezione sono:

- Probabilità con cui uno stimolo target possa essere classificato dal partecipante come “lungo/molti”: ad esempio, alla presentazione di un insieme di 4 pallini nella bisezione numerica, si considera la probabilità che il partecipante lo consideri più vicino allo standard di riferimento “lungo/molti”. In questo esempio specifico, la *p-long* dovrebbe essere minima se non nulla, in quanto i 4 pallini rappresentano il livello minimo di numerosità, nel nostro compito di bisezione numerica (cfr. paragrafo 2.2). Questa è stata calcolata per tutti gli stimoli target presentati, fissati per i 7 possibili livelli, in tutti e tre i compiti di bisezione.

- Weber Ratio (WR): si definisce come il rapporto tra la differenza *limen*<sup>22</sup> e il Bisection Point. Questo indice rappresenta la sensibilità, quindi la precisione percettiva e di giudizio, del singolo individuo: più è alto il WR, più piatta è la funzione psicometrica e minore sarà la sensibilità individuale.
- Bisection Point (BP): è un altro indice caratteristico del compito di bisezione. È definibile come il punto di uguaglianza soggettiva e si calcola considerando il valore dello stimolo, associato a una probabilità di risposta “lungo/molti” pari a 0,50.

#### 2.4. Campione

Il reclutamento di tutti i partecipanti è avvenuto su base volontaria, mediante annunci comunali (anziani), all'interno dei contesti universitari (giovani) e presso l'ambulatorio “Malattia di Parkinson e disordini del movimento” di pertinenza del dipartimento di “Biomedicina, Neuroscienze e Diagnostica Avanzata (Bi.N.D.)” dell'Università di Palermo (pazienti). Si è svolto in un periodo temporale compreso tra Novembre 2021 e Aprile 2022.

Questo campione è stato reclutato e seguito da più di uno sperimentatore: la sottoscritta ha raccolto i dati relativi a 53 partecipanti totali (di cui 19 giovani e 34 anziani). Questi successivamente sono stati assegnati al Gruppo Giovani o Gruppo Anziani (studio 1) o Gruppo di Controllo (studio 2), in base all'età. Di questi però ne sono stati esclusi 5 (1 partecipante giovane e 4 anziani sani) per mancanza di un numero sufficiente di risposte al compito computerizzato.

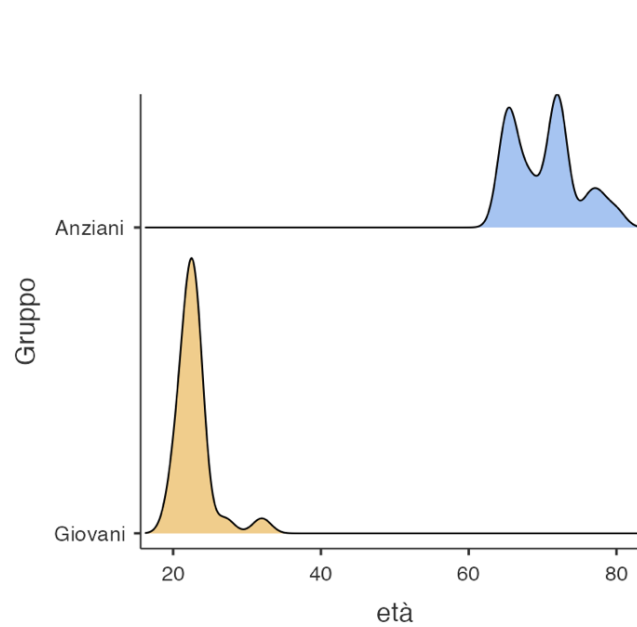
Le specifiche anagrafiche e l'analisi dei dati però sono state riferite a tutti i campioni dei due studi, non solo ai dati raccolti da me.

---

<sup>22</sup> calcolata sulla base della metà della distanza tra il valore degli stimoli, a cui sono associate probabilità, rispettivamente, pari a 0,25 e 0,75 di essere classificati come “lungo/molti”: ad esempio, la metà della distanza tra uno stimolo a 400 e uno a 800, associati a tali probabilità, è pari a 200

### 2.4.1. Studio 1

Il campione è costituito da 49 partecipanti di cui 25 giovani (10 maschi e 15 femmine) nel Gruppo Giovani (età media = 22.8; ds = 2.35; vedi **FIGURA 2.1**) e 24 anziani (8 maschi e 16 femmine) nel Gruppo Anziani (età media = 70.3; ds = 4.51 vedi **FIGURA 2.1**).

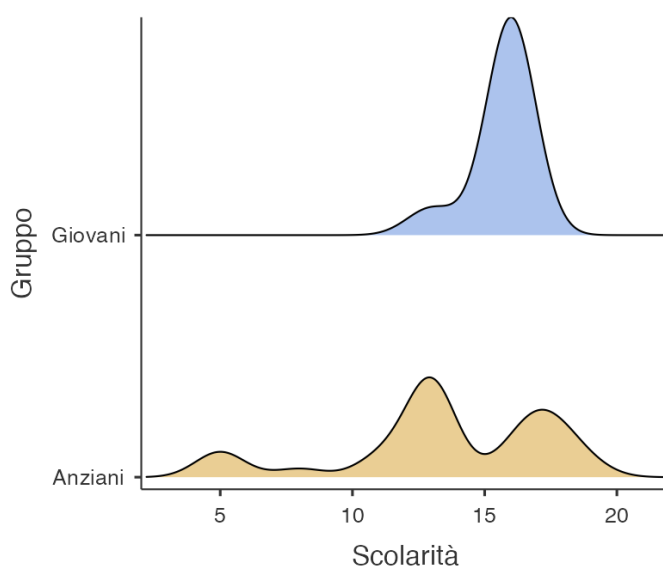


**FIGURA 2.1:** distribuzione per età nei due gruppi considerati nello studio 1

I partecipanti assegnati al Gruppo Giovani hanno mostrato una scolarità media pari a 15.7 (ds = 0.970); mentre i partecipanti anziani hanno presentato scolarità media pari a 13.4 (ds = 3.92) (vedi **FIGURA 2.2**).



## Scolarità



**FIGURA 2.2:** distribuzioni dei valori di scolarità associati ai partecipanti dei due gruppi, considerati nello studio 1.

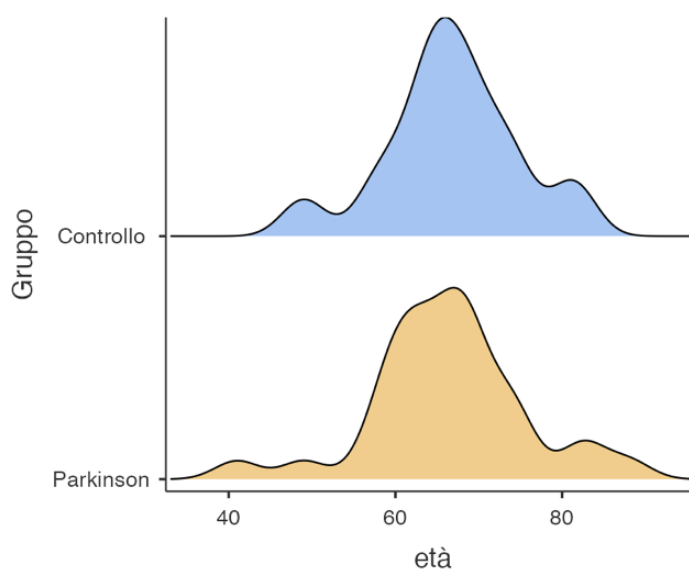
I criteri di inclusione a questi due gruppi sono stati:

- Età anagrafica: nel Gruppo Giovani, i partecipanti dovevano avere un'età compresa tra i 20 e i 35 anni; mentre, nel Gruppo Anziani, il criterio d'età era superiore o uguale ai 65 anni.
- Punteggio al MoCA (solo nel Gruppo Anziani) superiore al cut-off di normalità: ovvero, superiore al punteggio grezzo di 15,5/30 sulla base della taratura su popolazione italiana con età compresa tra 21 e 95 anni, effettuata da Santangelo et al. (2014).
- Storia negativa di deficit neurologici e disturbi psichiatrici
- Assenza di deficit visivi o uditivi gravi, che non avrebbero permesso un'esecuzione adeguata del compito e la somministrazione del MoCA.

### 2.4.2. Studio 2

Il campione è composto da 60 partecipanti, di cui 30 (10 maschi e 20 femmine) appartenenti al Gruppo di Controllo (età media = 66.8; ds = 8.00; vedi **FIGURA 2.3**) e 30 (16 maschi e 14 femmine) al Gruppo Parkinson (età media = 66.3; ds = 9.41; vedi **FIGURA 2.3**) sulla base della presenza o meno di una diagnosi certificata di Malattia di Parkinson. I partecipanti dei due gruppi sono stati matchati per scolarità.

età

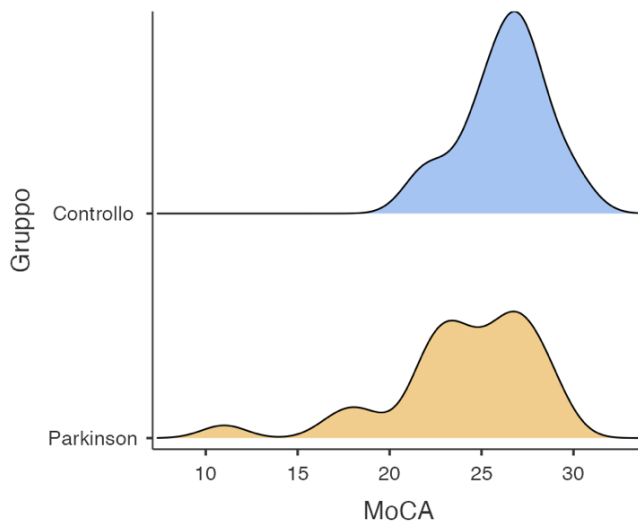


**FIGURA 2.3:** distribuzione per età nei due gruppi considerati nello studio 2

I criteri di inclusione a questi due gruppi hanno riguardato:

- Diagnosi certificata di Malattia di Parkinson (per il Gruppo Parkinson).
- Punteggio al MoCA (vedi **FIGURA 2.4**) superiore al cut-off di normalità (per il Gruppo di Controllo): ovvero, superiore al punteggio grezzo di 15,5/30 sulla base della taratura su popolazione italiana con età compresa tra 21 e 95 anni, effettuata da Santangelo et al. (2014).
- Assenza di deficit visivi o uditivi gravi, che non avrebbero permesso un'esecuzione adeguata del compito e la somministrazione del MoCA.

## MoCA



**FIGURA 2.4:** distribuzione dei punteggi ottenuti alla somministrazione del MoCA per il Gruppo di Controllo e il Gruppo Parkinson.

I partecipanti del Gruppo di Controllo hanno ottenuto punteggi nella norma; mentre per i partecipanti del Gruppo Parkinson si osserva una distribuzione più variabile dei punteggi, di cui solo uno è effettivamente al di sotto del cut-off mostrando una condizione di *mild cognitive impairment* per il partecipante (punteggio equivalente a ES pari a 0). Altri due partecipanti, invece, hanno ottenuto punteggi grezzi compresi in un range pari 15.51 – 18.28 (ES = 1), ai limiti della norma. Infine, i restanti partecipanti hanno evidenziato un livello di performance al MoCA medio-inferiore (ES = 2, 3, 4) con un punteggio grezzo superiore a 18.29.

### 2.5. Strumenti

Preliminare all'esecuzione del test al computer, per i partecipanti del Gruppo Anziani (nello studio 1) e quelli del Gruppo di Controllo e Gruppo Parkinson (nello studio 2), è stata la somministrazione del *Montreal Cognitive Assessment* (Nasreddine et al., 2005). Questo è stato uno strumento utile per individuare la presenza della condizione preclinica di *mild cognitive impairment* e valutarne la gravità. Esso è costituito da una serie di item in grado di valutare più domini cognitivi, che potrebbero risultare compromessi in tale

fase, tra cui attenzione, memoria (immediata, differita e di lavoro), abilità visuo-spaziali e prassico-costruttive, orientamento spazio-temporale.

Per lo svolgimento del compito, è stato utilizzato un personal computer MacBook Air 2020. Gli stimoli visivi sono stati presentati sul monitor integrato da 13,3 pollici (2560x1600). Per fornire le risposte al compito, è stata utilizzata la tastiera integrata del pc e, in particolare, sono stati contrassegnati i tasti “I” e “s” per facilitare le risposte dei partecipanti durante l’esecuzione.

## 2.6. Procedimento

Il luogo della somministrazione per tutti i partecipanti, ad eccezione dei pazienti con Malattia di Parkinson, sono stati i laboratori del Dipartimento di Psicologia Generale; in via Venezia 8, Padova. I pazienti, invece, sono stati testati presso l’ambulatorio “Malattia di Parkinson e disordini del movimento” di pertinenza del dipartimento di “Biomedicina, Neuroscienze e Diagnostica Avanzata (Bi.N.D.)” dell’Università di Palermo, a Palermo, Italia.

I partecipanti sono stati testati all’interno di stanze silenziose e ben illuminate. Prima dell’inizio della fase di testing, a ciascun partecipante è stato lasciato il tempo di leggere il consenso informato e di chiedere eventuali delucidazioni alla sperimentatrice.

All’interno del consenso informato (vedi **Appendice**)<sup>23</sup>, vi era una breve spiegazione degli obiettivi di ricerca e delle modalità di svolgimento e trattamento dei dati, garantendo l’anonimato e la possibilità del partecipante di abbandonare la somministrazione in qualsiasi momento.

Per i partecipanti anziani (studio 1) e dei due gruppi nello studio 2 era prevista anche la somministrazione del *Montreal Cognitive Assessment* prima dell’esecuzione dei task di

---

<sup>23</sup> questo è stato presentato in forma digitale (mediante google moduli) per il gruppo dei giovani e in versione cartacea per il resto dei partecipanti.

bisezione, per una durata di circa 10 minuti. In questa fase di valutazione cognitiva, venivano forniti fogli e una matita, utili soprattutto per alcuni item prassico-costruttivi del MoCA.

In seguito, ad ogni partecipante veniva data una breve spiegazione sulle modalità di esecuzione dei compiti da parte della sperimentatrice.

Inoltre, è stata sottolineata la necessità di rimanere concentrati sull'esecuzione dei compiti, chiarendo che il partecipante aveva la possibilità, tra un compito e l'altro, di prendersi una pausa. Durante tutta la sessione, la somministratrice è rimasta nella stanza insieme al partecipante, così da permettere la fruibilità dello strumento.

Al termine dell'ultimo compito svolto era possibile rispondere alle domande e curiosità del partecipante, se presenti. La durata totale della sessione di testing era pari a circa 40 minuti.

## 2.7. Risultati

In seguito alla raccolta dei dati, sono state condotte analisi ANOVA a misure ripetute <sup>24</sup> per indagare, in ciascuno studio (studio 1 e 2), l'effetto delle variabili indipendenti (Gruppo, Grandezza e Livello) da noi considerate sulle variabili dipendenti di probabilità di risposta “lungo/molti” (o *p-long*), Bisection Point (BP) e Weber Ratio (WR) (cfr. paragrafo 2.3). In particolare, “Gruppo” è stata considerata una variabile *between subjects* a due livelli: nello studio 1, giovani e anziani, e nello studio 2, assenza e presenza di Malattia di Parkinson. “Grandezza” e “Livello” sono due variabili *within subjects*: la prima presenta tre livelli (durata, numero e lunghezza), mentre la seconda ne presenta sette (da 1 a 7).

Inoltre, sono stati condotti confronti post-hoc tra campioni dipendenti, con correzione di Tukey, per la necessaria indagine in caso di significatività. Questi hanno permesso di analizzare le differenze tra coppie considerate.

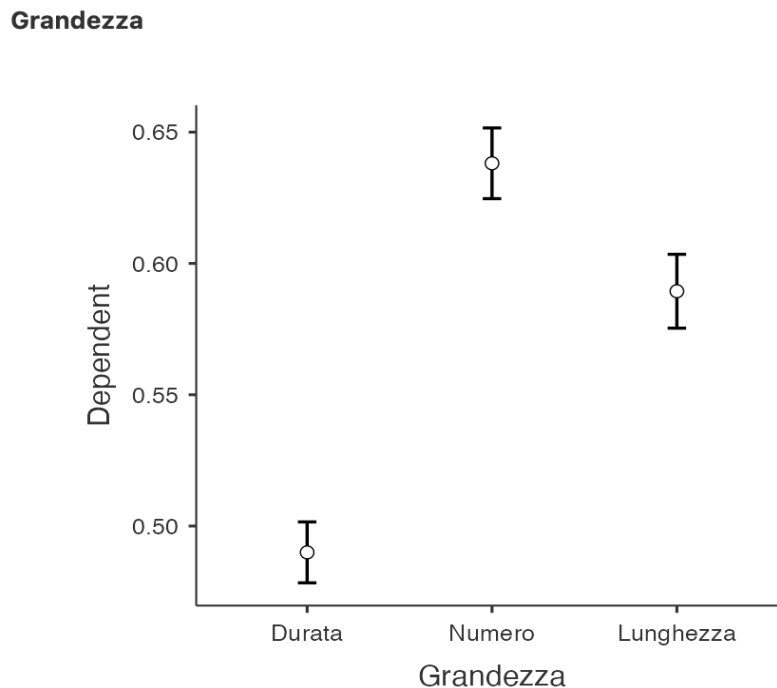
---

<sup>24</sup> queste sono state realizzate mediante la piattaforma Jamovi (versione solid 2.2.5)

## 2.7.1. Studio 1

### 2.7.1.1. Probabilità di risposta “lungo/molti” (*p-long*)

L'effetto “Grandezza” è risultato significativo [ $F(2, 92) = 41.34, p < .001, \eta^2p = 0.47$ ]: la *p-long* è pari a 0.500 per la durata, 0.642 per il numero e 0.592 per la lunghezza. Dall'analisi post-hoc sono risultati significativi tutti i possibili confronti. Dunque, l'accuratezza di stima variava significativamente in funzione della grandezza da stimare, con valori di *p-long* significativamente ridotti per la durata rispetto alle altre due grandezze e valori significativamente maggiori per il numero rispetto alle altre due grandezze. In questo modo, si è evidenziato un pattern di sottostima per le durate temporali e sovrastima per gli stimoli numerici (**FIGURA 2.5**).



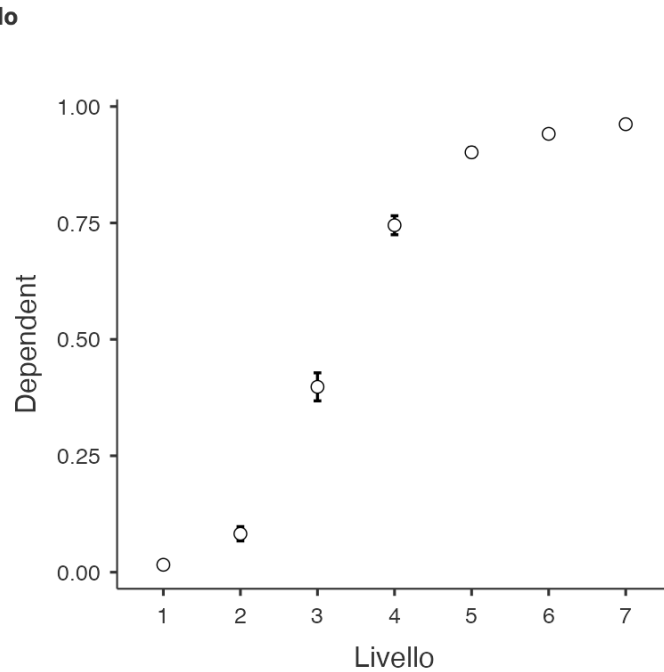
**FIGURA 2,5:** valori medi di *p-long* ed errori standard per ciascuna grandezza considerata (durata, numero, lunghezza)

L'effetto “Livello” è risultato significativo [ $F(6, 276) = 840.40, p < .001, \eta^2p = 0.95$ ]: la *p-long* è uguale a 0.016 per il livello 1, 0.082 per il livello 2, 0.398 per il livello 3, 0.745

per il livello 4, 0.901 per il livello 5, 0.941 per il livello 6 e 0.962 per il livello 7.

Dall'analisi post-hoc sono risultati significativi tutti i confronti tra livelli.

Dalla **FIGURA 2.6** si osserva che la *p-long* tende a crescere all'aumentare del livello.

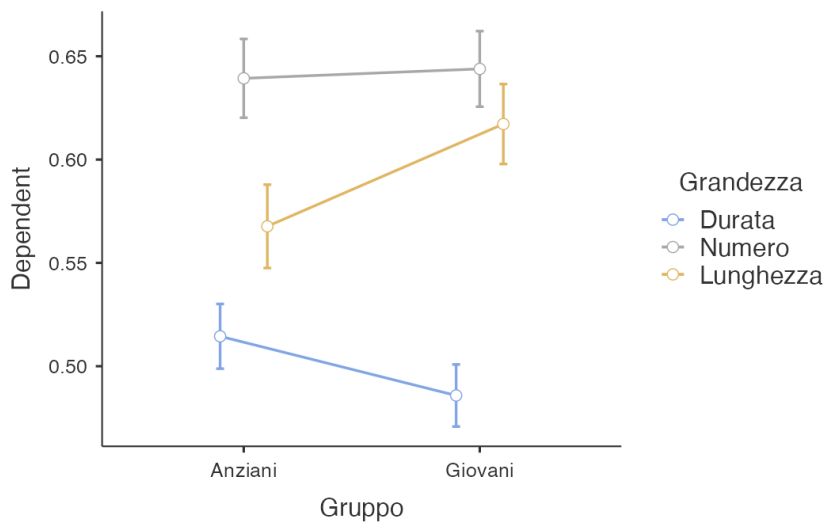


**FIGURA 2.6:** valori medi di *p-long* ed errori standard per ciascun livello (da 1 a 7)

L'interazione "Gruppo x Grandezza" è risultata significativa [ $F(2, 92) = 3.08, p = 0.05, \eta^2 p = 0.06$ ]: la *p-long*, rispettivamente nel Gruppo Anziani e nel Gruppo Giovani, per la durata è pari a 0.514 e a 0.486; per il numero, 0.639 e 0.644 e, infine, per la lunghezza, 0.568 e 0.617 (**FIGURA 2.7**).



### Gruppo \* Grandezza



**FIGURA 2.7:** valori medi di *p-long* ed errori standard associati a grandezza (durata, numero, lunghezza) e gruppo (anziani, giovani)

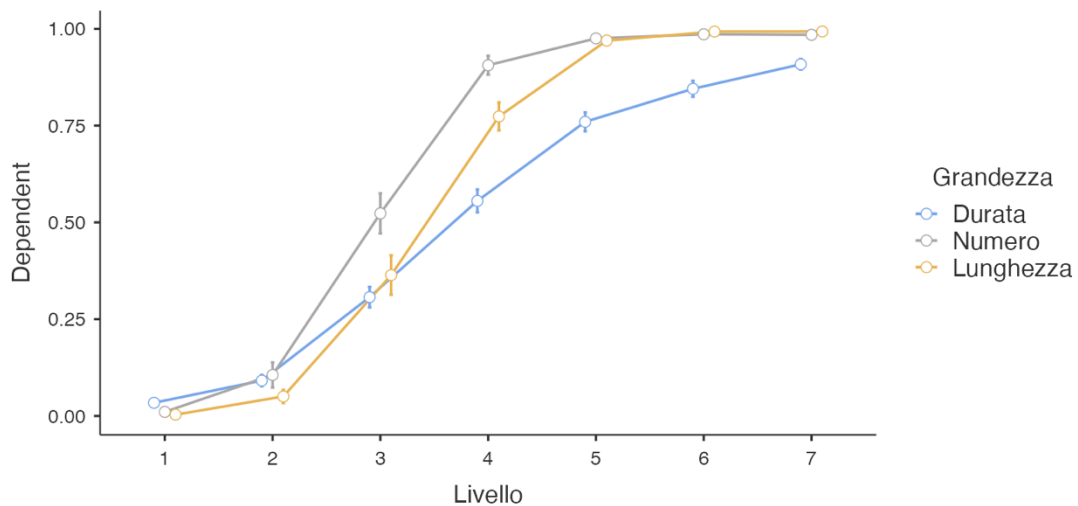
Dall'analisi post-hoc sono risultati significativi i confronti, entro il Gruppo Anziani, tra il compito di bisezione numerica e i compiti di bisezione temporale e spaziale, con un valore di *p-long* significativamente maggiori per gli stimoli numerici. Non è risultato significativo, invece, un confronto tra il compito di bisezione temporale e quello di bisezione spaziale. Pertanto, negli anziani emerge generalmente un pattern di sovrastima per gli stimoli numerici.

Anche entro il Gruppo Giovani, sono state evidenziate differenze significative dal confronto tra il compito di bisezione temporale e i compiti di bisezione numerica e spaziale, con valori di *p-long* significativamente minori per gli stimoli temporali. Pertanto, i partecipanti giovani hanno mostrato una tendenza a sottostimare gli stimoli temporali rispetto a quelli numerici e spaziali.

Nei giovani, però, non è risultato significativo il confronto tra il compito di bisezione spaziale e quello di bisezione numerica.

In conclusione, è risultata significativa anche l'interazione "Grandezza x Livello" [ $F(12, 552) = 13.32, p < .001, \eta^2_p = 0.22$ ]: i valori medi delle *p-long* associate al compito di bisezione temporale per tutti i livelli (da 1 a 7) sono riportati di seguito: 0.034, 0.091, 0.030, 0.555, 0.759, 0.845, 0.908; al compito di bisezione numerica: 0.010, 0.105, 0.523, 0.905, 0.975, 0.985, 0.984; al compito di bisezione spaziale: 0.003, 0.050, 0.363, 0.773, 0.969, 0.992, 0.993.

Livello \* Grandezza



**FIGURA 2.8:** valori medi di *p-long* ed errori standard associati a livello (da 1 a 7) e grandezza (durata, numero, lunghezza)

Dalle analisi post-hoc è stato evidenziato un confronto significativo, nel livello 3, tra il compito di bisezione temporale e quello di bisezione numerica, ma non con quello di bisezione spaziale. Inoltre, neanche il confronto tra bisezione spaziale e numerica è risultato significativo. Quindi, si osserva nei partecipanti una tendenza a sovrastimare la numerosità, in quanto presentano maggiori risposte “lungo/molti”, rispetto alla durata, anche per un livello piuttosto basso come il livello 3.

Nel livello 4, invece, i confronti significativi sono stati rilevati tra il compito di bisezione temporale e i compiti di bisezione numerica e spaziale, con valori significativamente

ridotti di *p-long* per gli stimoli temporali. Non è risultato significativo, invece, il confronto tra bisezione numerica e spaziale. Anche nei livelli 5, 6 e 7 sono stati evidenziati gli stessi confronti significativi (**FIGURA 2.8**).

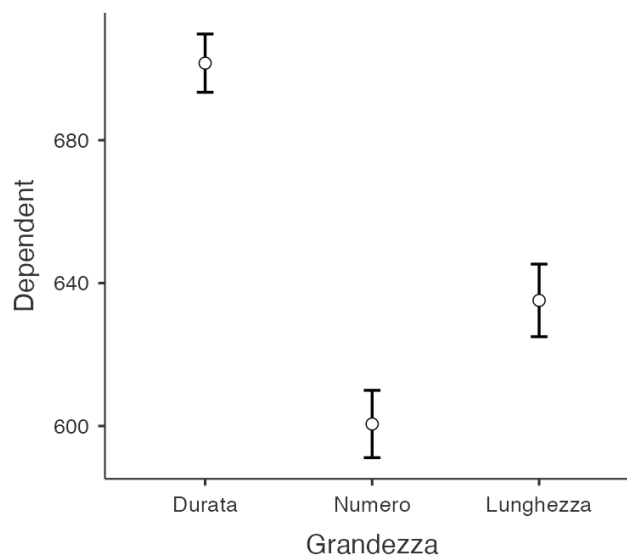
Pertanto, si osserva nei partecipanti una tendenza sempre più significativa a sottostimare le durate temporali più lunghe (dal livello 4 al 7).

### 2.7.1.2 *Bisection Point*

Il fattore “Grandezza” è risultato significativo [ $F(2, 92) = 39.71, p < .001, \eta^2_p = 0.46$ ]: i valori medi di BP associati sono pari a 702 per la durata, 601 per il numero e 635 per la lunghezza. Dall’analisi post-hoc tutti i confronti possibili sono risultati significativi, con un valore di BP significativamente maggiore per la durata rispetto alle altre due grandezze e significativamente minore per il numero rispetto alle altre due grandezze. Pertanto, i partecipanti hanno mostrato una tendenza a sottostimare le durate temporali e a sovrastimare gli stimoli numerici (**FIGURA 2.9**).

#### Estimated Marginal Means

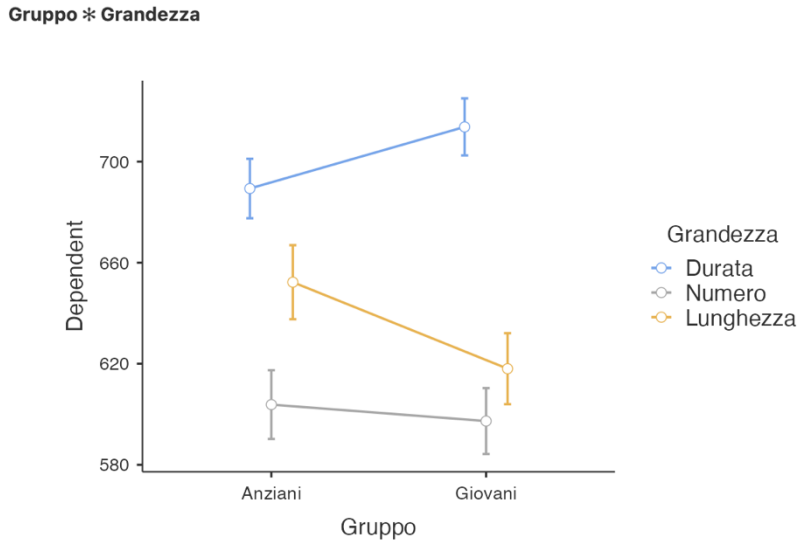
##### Grandezza



**FIGURA 2.9:** valori medi di BP ed errori standard per grandezza (durata, numero, lunghezza)

È stata inoltre evidenziata come significativa l'interazione "Gruppo x Grandezza" [ $F(2, 92) = 3.24, p = 0.04, \eta^2_p = 0.07$ ]: i valori medi di BP, rispettivamente nel Gruppo Anziani e nel Gruppo Giovani, sono pari a 689 e 714 per la durata; 604 e 597 per il numero e, infine, 652 e 618 per la lunghezza.

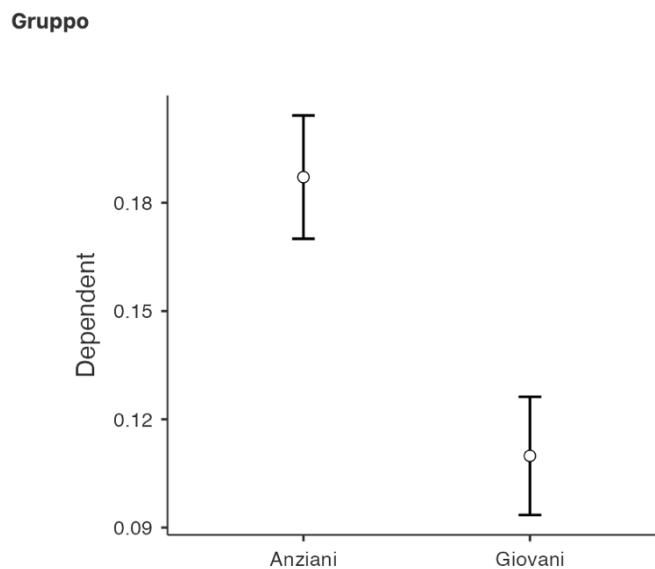
Dall'analisi post-hoc è risultato significativo il confronto, entro il Gruppo Anziani, tra il compito di bisezione temporale e quello di bisezione numerica, con un valore di BP significativamente maggiore per la durata rispetto al numero. Non è stata osservata una differenza significativa nel confronto tra durata e lunghezza né tra lunghezza e numero. Pertanto, si è evidenziata una tendenza a sottostimare gli stimoli temporali rispetto a quelli numerici. I confronti, entro il Gruppo Giovani, hanno evidenziato confronti significativi tra il compito di bisezione temporale e i compiti di bisezione numerica e spaziale, con un valore di BP significativamente maggiore per la durata rispetto alle altre due grandezze. Questo ha evidenziato sempre una tendenza a sottostimare le durate temporali rispetto agli stimoli numerici o spaziali. Non è stata osservata una differenza significativa, invece, dal confronto tra compito di bisezione numerica e quello di bisezione spaziale (**FIGURA 3**). Inoltre, non sono state evidenziate differenze significative per i valori di BP, entro i compiti (durata, numero e lunghezza), tra i gruppi.



**FIGURA 3:** valori medi di BP ed errori standard associati a ciascuna grandezza (durata, numero, lunghezza) e a ciascun gruppo (anziani, giovani).

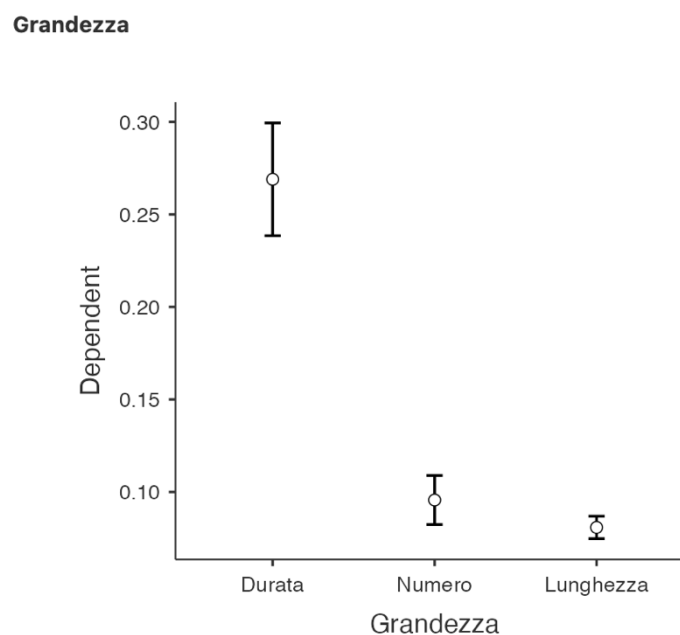
### 2.7.1.2. *Weber Ratio*

Il fattore “Gruppo” è risultato significativo [ $F(1, 46) = 10.7, p = .002, \eta^2p = 0.19$ ]: con WR pari a 0.187 per il Gruppo Anziani e 0.110 per il Gruppo Giovani. Dunque, i giovani hanno mostrato una minore variabilità di risposta e una maggiore sensibilità di stima rispetto ai partecipanti anziani (**FIGURA 3.1**).



**FIGURA 3.1:** valori medi di WR ed errori standard per ciascun gruppo considerato (anziani, giovani)

Il fattore “Grandezza” è risultato significativo [ $F(2, 92) = 30.32, p < .001, \eta^2_p = 0.39$ ]: i valori medi di WR sono pari a 0.269 per la durata, 0.095 per il numero e 0.080 per la lunghezza. Dall’analisi post-hoc sono risultati significativi i confronti tra la durata e le altre due grandezze (durata-numero e durata-lunghezza), con valori di WR significativamente maggiori per la durata rispetto alle altre due grandezze. Pertanto, sono state osservate una minore sensibilità di stima per gli stimoli temporali e una maggiore per gli stimoli spaziali e numerici (**FIGURA 3.2**).



**FIGURA 3.2:** valori medi di WR ed errori standard per ciascuna grandezza (durata, numero, lunghezza) considerata

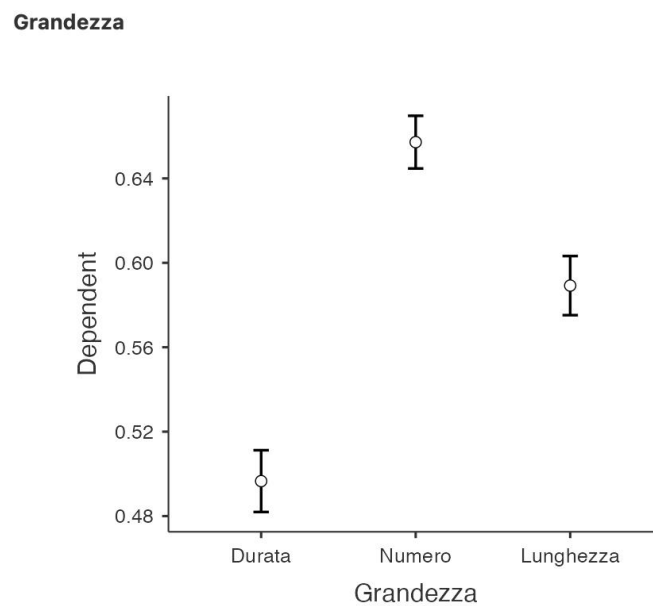
## 2.7.2. Studio 2

Di seguito, verranno esplicitati gli effetti significativi per ciascuna variabile dipendente considerata (i.e., *p-long*, WR e BP) emersi dall’indagine riferita al Gruppo di Controllo e al Gruppo Parkinson (studio 2).

### 2.7.2.1. Probabilità di risposta “lungo/molti” (*p-long*)

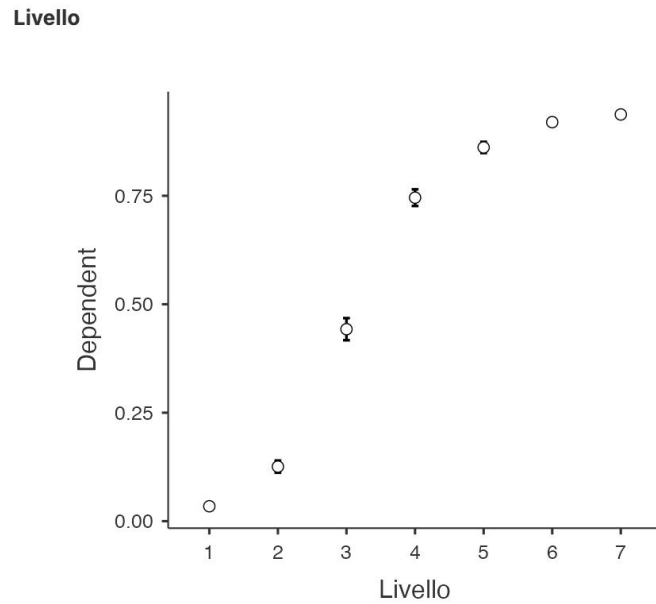
Il fattore “Grandezza” è risultato significativo [ $F(2, 116) = 39.96, p < .001, \eta^2_p = 0.41$ ]: il valore medio di *p-long* è pari a 0.497 per la durata, 0.657 per il numero e, infine, 0.589

per la lunghezza. Dall’analisi post-hoc tutti i confronti possibili sono risultati significativi, con valori di *p-long* significativamente ridotti per la durata rispetto alle altre due grandezze e valori significativamente maggiori per il numero rispetto alle altre due grandezze. Pertanto, l’accuratezza di stima variava significativamente in funzione della grandezza da stimare: propriamente è stata osservata nei partecipanti una tendenza a sottostimare la durata e a sovrastimare il numero (**FIGURA 3.3**).



**FIGURA 3.3:** valori medi di *p-long* ed errori standard per ciascuna grandezza (durata, numero, lunghezza) considerata

Il fattore “Livello” è risultato significativo [ $F(6, 348) = 901.24, p < .001, \eta^2p = 0,94$ ]: i valori medi di *p-long* sono pari a 0.034 per il livello 1, 0.125 per il livello 2, 0.442 per il livello 3, 0.745 per il livello 4, 0.861 per il livello 5, 0.919 per il livello 6 e infine 0.937 per il livello 7. Dall’analisi post-hoc sono risultati significativi tutti i confronti possibili, ad eccezione del confronto tra il livello 6 e il livello 7. Pertanto, è stato osservato come il valore di *p-long* aumentasse significativamente all’aumentare del livello, in tutti i partecipanti, eccetto dal livello 6 al 7 in cui il valore di *p-long* non variava in maniera significativa (vedi **FIGURA 3.4**).



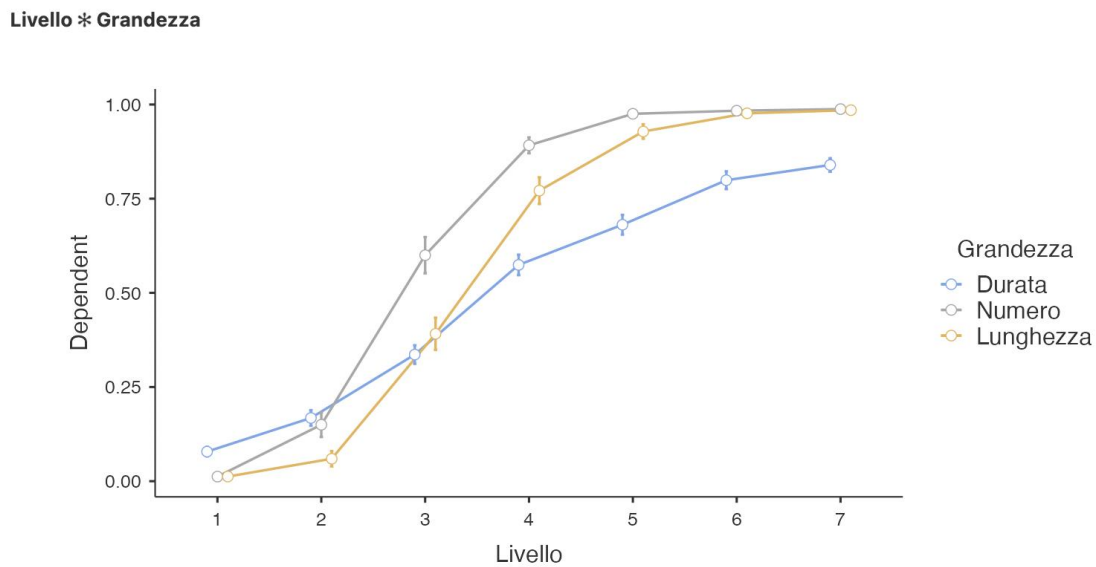
**FIGURA 3.4:** valori medi di *p-long* ed errori standard per ciascun livello considerato (da 1 a 7)

L'interazione "Grandezza x Livello" è risultata significativa [ $F(12, 696) = 21.10, p < .001, \eta^2_p = 0.27$ ]: i valori medi della *p-long* associati ai 7 livelli, sono di seguito riportati per la durata: 0.078, 0.167, 0.336, 0.574, 0.680, 0.799, 0.839; per il numero: 0.012, 0.149, 0.600, 0.891, 0.975, 0.983, 0.987; per la lunghezza: 0.012, 0.059, 0.391, 0.771, 0.928, 0.976, 0.985.

Dall'analisi post-hoc si evidenziano confronti significativi, nel livello 1, tra il compito di bisezione temporale e i compiti di bisezione numerica e spaziale con valori di *p-long* significativamente superiori per la durata rispetto alle altre due grandezze; ma non tra il compito di bisezione numerica e quello di bisezione spaziale. Pertanto, è stata evidenziata una tendenza a sovrastimare le durate temporali più brevi rispetto alle numerosità più piccole e lunghezze più brevi. Confronti significativi sono stati individuati anche nei livelli 3, 4, 5, 6 e 7 tra il compito di bisezione temporale e i compiti di bisezione numerica e spaziale, ma non tra il compito di bisezione numerica e quello di bisezione spaziale. In questo caso, però, è stata osservata una tendenza inversa rispetto al livello 1. Infatti, i valori di *p-long* per la durata sono risultati significativamente ridotti rispetto alle altre due



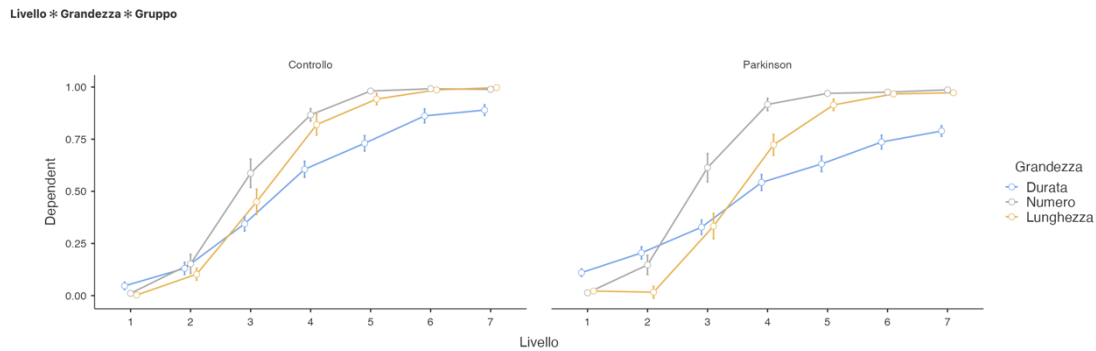
grandezze, evidenziando una tendenza a sottostimare le durate temporali più lunghe (dal livello 3 al 7) (**FIGURA 3.5**).



**FIGURA 3.5:** valori medi di p-long ed errori standard per ciascuna grandezza (durata, numero, lunghezza) e livello (da 1 a 7)

Nel livello 2, invece, non è stata evidenziata alcuna differenza significativa tra il compito di bisezione temporale e quello numerico o quello spaziale e nemmeno tra il compito di bisezione numerica e quello di bisezione spaziale.

In conclusione, è risultata significativa l'interazione "Gruppo x Grandezza x Livello" [F(12, 696) = 2.35, p = .006,  $\eta^2p = 0,04$ ]: i valori medi di *p-long* associati, rispettivamente, al Gruppo di Controllo e al Gruppo Parkinson, nei livelli da 1 a 7, sono di seguito riportati per la durata [0.046, 0.130, 0.344, 0.605, 0.730, 0.861, 0.889] [0.110, 0.205, 0.328, 0.542, 0.631, 0.736, 0.789]; per il numero [0.011, 0.152, 0.586, 0.866, 0.981, 0.991, 0.989] [0.013, 0.147, 0.613, 0.916, 0.969, 0.975, 0.986]; per la lunghezza [0.002, 0.102, 0.449, 0.819, 0.942, 0.986, 0.997] [0.022, 0.016, 0.333, 0.723, 0.914, 0.967, 0.972].



**FIGURA 3.6:** valori medi di *p-long* ed errori standard per ciascun gruppo (controllo, Parkinson), grandezza (durata, numero, lunghezza) e livello (da 1 a 7).

Dall'analisi post-hoc sono stati evidenziati confronti significativi entro il Gruppo di Controllo, nel livello 4, tra il compito di bisezione spaziale e quello di bisezione numerica, con un valore di *p-long* significativamente ridotto per la durata rispetto al numero. Non è stata evidenziata, invece, una differenza significativa dal confronto né tra durata e lunghezza né tra numero e lunghezza. In questo modo, è stata evidenziata nei partecipanti del gruppo di controllo una tendenza a sottostimare le durate temporali rispetto agli stimoli numerici.

Nel livello 5, invece, sono stati osservati confronti significativi sia tra durata e numero sia tra durata e lunghezza, ma non tra numero e lunghezza. Sia nel livello 6 sia nel livello 7, non sono stati osservati confronti significativi tra le tre grandezze.

Entro il Gruppo Parkinson, invece, sono stati evidenziati confronti significativi nel livello 1 tra il compito di bisezione temporale e i compiti di bisezione numerica e spaziale, ma non tra compiti di bisezione numerica e spaziale. Infatti, sono stati osservati valori di *p-long* significativamente maggiori per la durata rispetto alle altre due grandezze, mostrando una tendenza dei pazienti a sovrastimare le durate temporali più brevi rispetto a numerosità più piccole e lunghezze più brevi.

Nel livello 2, è risultato significativo il confronto tra durata e lunghezza, ma non tra durata e numero né tra numero e lunghezza. In particolare, il valore di *p-long* associato alla

durata era significativamente maggiore rispetto a quello associato alla lunghezza, evidenziando una tendenza a sovrastimare le durate brevi (livello 2) rispetto alle lunghezze brevi.

Nel livello 4, il confronto tra durata e numero è risultato significativo, con un valore di p-long significativamente inferiore per la durata rispetto al numero. Pertanto, i pazienti tendevano sottostimare le durate temporali, fissate a questo livello, rispetto agli stimoli numerici. Non sono stati evidenziati come significativi confronti tra durata e lunghezza o tra numero e lunghezza.

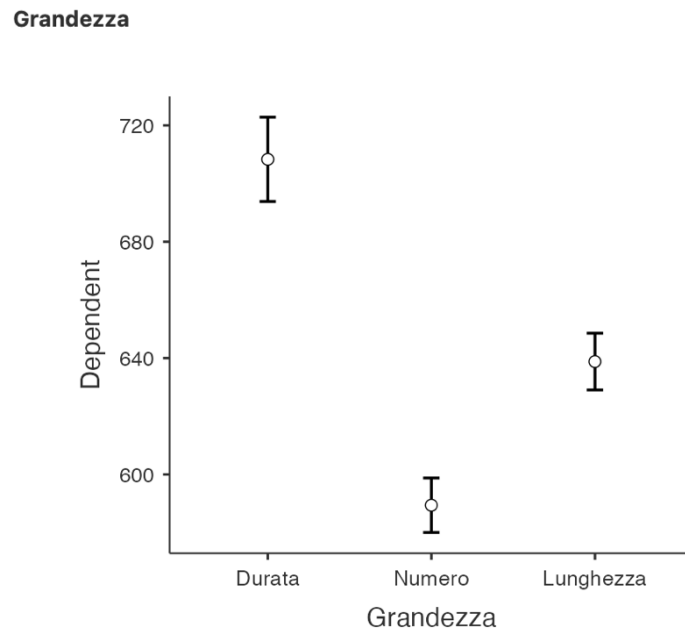
A partire dal livello 5 fino al livello 7, invece, sono risultati significativi confronti tra durata e numero e tra durata e lunghezza, ma non tra numero e lunghezza. In particolare, il valore di p-long associato alla durata era significativamente ridotto rispetto alle altre due grandezze, evidenziando una tendenza dei pazienti a sottostimare le durate temporali più lunghe in maniera significativa rispetto alle numerosità più grandi e alle lunghezze più lunghe.

Sicuramente dalle analisi post-hoc si evidenzia nei pazienti una performance comportamentale molto più incostante, in termini di accuratezza di stima, tra i compiti di bisezione rispetto al gruppo di controllo. Infatti, essi hanno mostrato pattern di sovrastima e sottostima, al variare dei livelli, molto di più rispetto al gruppo di controllo: ad esempio, anche solo negli ultimi livelli (6 e 7) i pazienti hanno mostrati confronti significativi tra le grandezze, diversamente dal gruppo di controllo (vedi **FIGURA 3.6**).

#### *2.7.2.2. Bisection Point*

Il fattore “Grandezza” è risultato significativo [ $F(2, 116) = 32.01, p < .001, \eta^2p = 0,36$ ]: i valori medi di BP sono pari a 708 per la durata, 589 per il numero e 639 per la lunghezza. Dall’analisi post-hoc tutti i confronti possibili tra grandezze sono risultati significativi. Pertanto, l’accuratezza di stima variava significativamente tra i compiti di bisezione. In particolare, i valori maggiori di BP erano associati alla durata; mentre i valori minori al

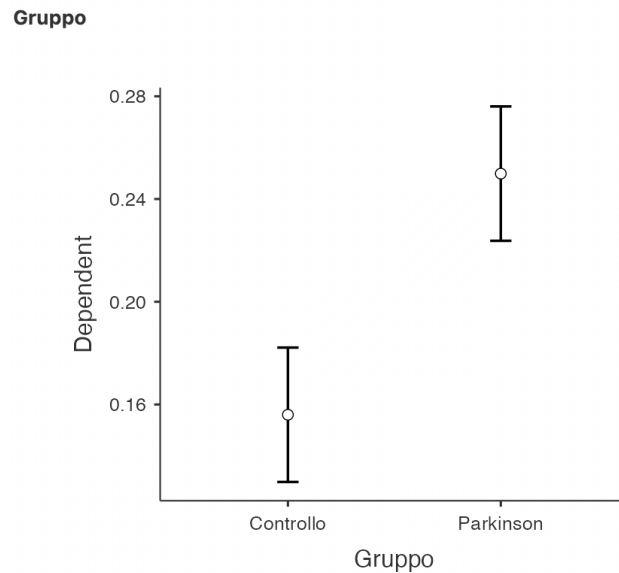
numero. In questo modo, si osservava nei partecipanti una tendenza a sottostimare la durata rispetto alle altre due grandezze e a sovrastimare il numero rispetto alle altre due grandezze (vedi **FIGURA 3.7**).



**FIGURA 3.7:** valori medi di BP ed errori standard per ciascuna grandezza (durata, numero, lunghezza) considerata

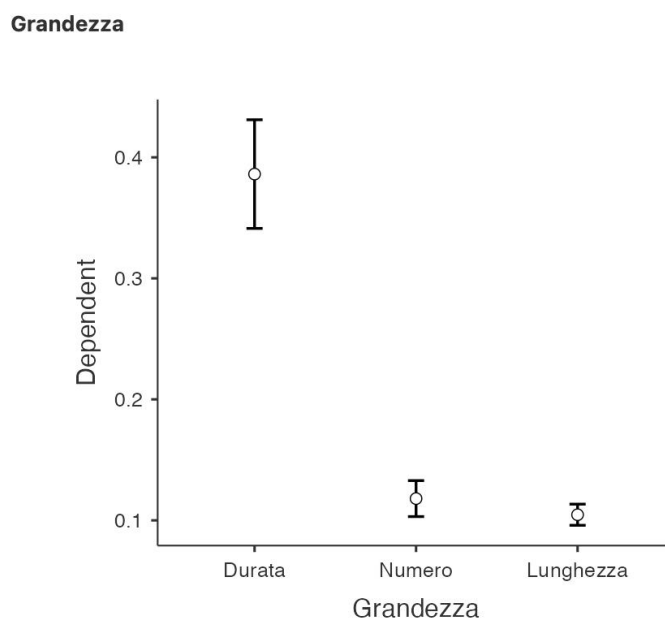
### 2.7.2.3. *Weber Ratio*

Il fattore “Gruppo” è risultato significativo [ $F(1, 58) = 6.44, p = 0.014, \eta^2_p = 0.10$ ]: il valore medio di WR è pari a 0.156 per il Gruppo di Controllo e 0.250 per il Gruppo Parkinson. Quindi, il Gruppo Parkinson presentava una maggiore variabilità di performance e minore sensibilità di stima, nei compiti di bisezione (vedi **FIGURA 3.8**).



**FIGURA 3.8:** valori medi di WR ed errori standard per ciascun gruppo considerato (controllo, Parkinson)

Il fattore “Grandezza” è risultato significativo [ $F(2, 116) = 39.19, p < .001, \eta^2_p = 0.40$ ]: i valori medi di WR sono pari a 0.386 per la durata, 0.118 per il numero e 0.105 per la lunghezza. Dalle analisi post-hoc i confronti sono risultati significativi tra durata e numero e tra durata e lunghezza, ma non tra numero e lunghezza. In particolare, i valori di WR associati alla durata erano significativamente maggiori rispetto alle altre due grandezze, evidenziando una minore sensibilità di stima dei partecipanti per gli stimoli temporali e una migliore per gli stimoli numerici e spaziali (vedi **FIGURA 3.9**).

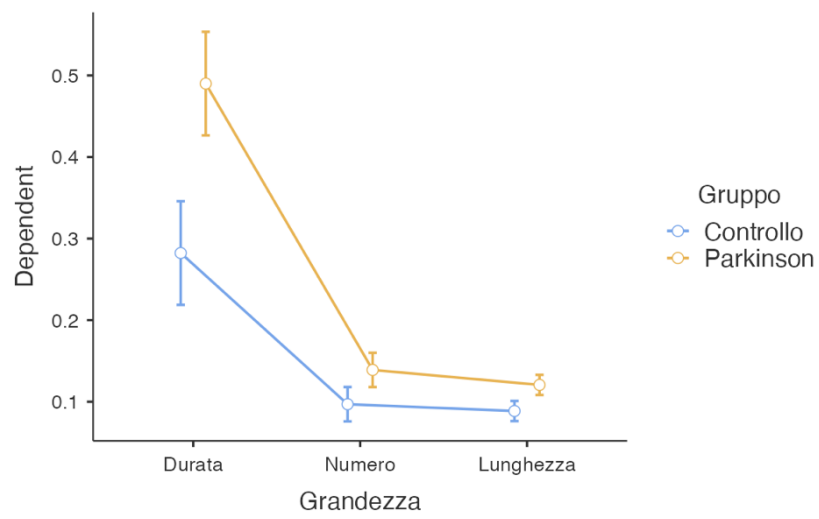


**FIGURA 3.9:** valori medi di WR ed errori standard per ciascuna grandezza (durata, numero, lunghezza) considerata

Infine, è risultata significativa l'interazione "Gruppo x Grandezza" [ $F(2, 116) = 3.78, p = .026, \eta^2 p = 0.06$ ]: i valori medi di WR, rispettivamente nel Gruppo di Controllo e nel Gruppo Parkinson, associati al compito di bisezione temporale sono pari a 0.282 e a 0.490; per il compito di bisezione numerica, 0.097 e 0.139 e, infine, per il compito di bisezione spaziale, 0.088 e 0.120 (vedi **FIGURA 4**).

Dalle analisi post-hoc si osservano confronti significativi, entro il gruppo di controllo, tra il compito di bisezione temporale e i compiti di bisezione numerica e spaziale, ma non tra quelli di bisezione numerica e spaziale. Entro il Gruppo Parkinson, sono stati osservati gli stessi confronti significativi. Non sono stati osservati, invece, confronti significativi tra i due gruppi, entro i compiti di bisezione di durata, numero e lunghezza (**FIGURA 4**). I valori di WR associati alla durata erano significativamente più alti rispetto alle altre due grandezze, mostrando una sensibilità di stima nei partecipanti di entrambi i gruppi ridotta nel compito di bisezione temporale rispetto agli altri due compiti, anche se significativamente inferiore soprattutto nel Gruppo Parkinson (cfr. fattore "Gruppo" significativo).

**Grandezza \* Gruppo**



**FIGURA 4:** valori medi di WR ed errori standard per ciascun gruppo (controllo, Parkinson) e grandezza (durata, numero, lunghezza)

## 2.8. Discussione e limiti

Sia nello studio 1 che nello studio 2, in tutti i partecipanti sono state evidenziate differenze significative nella performance di stima, in base alla grandezza considerata. Questo dato è incoerente con le aspettative iniziali di osservare performance comportamentali, entro i gruppi, sovrapponibili tra i compiti di bisezione in virtù della presenza di un sistema generalizzato per le grandezze.

Tutti i gruppi considerati hanno mostrato una tendenza a sottostimare le durate temporali (valori di p-long più bassi e BP più alti), soprattutto più lunghe, e a sovrastimare (valori di p-long più alti e BP più bassi) gli stimoli numerici rispetto alle altre grandezze. In particolare, gli anziani (studio 1) hanno mostrato un più accentuato pattern di sovrastima numerica; mentre i giovani un più accentuato pattern di sottostima temporale. Questo potrebbe essere spiegato in virtù di una tendenza degli anziani ad affidarsi, nei giudizi, a domini rimasti preservati nel corso del processo di invecchiamento (Chicherio, Ludwig & Borella, 2015; Denes, 2016). La sottostima degli stimoli temporali invece, per tutti i partecipanti, risulta coerente con le evidenze già riportate nel paragrafo 1.2.1 secondo cui i processi di elaborazione e stima delle informazioni temporali siano più inaccurati e richiestivi in termini di risorse (Droit-Volet et al., 2007).

È bene citare anche l'ipotesi di Dormal e Pesenti (2013), secondo cui ci sarebbero diversi gradi di automaticità nell'elaborazione delle grandezze (maggiore per il numero e minore per la durata). Pertanto, in questi termini, la maggiore automaticità di elaborazione per il numero potrebbe portare a una stima inaccurata per eccesso; la minore automaticità per la durata a una stima inaccurata per difetto.

Nello studio 2, sono state osservate in entrambi i gruppi performance di stima analoghe a quelle dei partecipanti dello studio 1, con una maggiore variabilità e incostanza mostrata dai pazienti tra i compiti di bisezione, in base al livello. Infatti, è stata osservata una tendenza a sovrastimare le durate temporali più brevi (livello 1) rispetto alle numerosità



più piccole o lunghezze più brevi e a sottostimare le durate temporali più lunghe (dal livello 3 fino al 7) rispetto alle numerosità più grandi o lunghezze più lunghe. Quest'ultimo dato risulta coerente con le considerazioni già citate di Malapani e colleghi (1998; 2002)<sup>25</sup>, secondo i quali i processi di percezione e stima delle informazioni temporali risulterebbero significativamente alterati dalla patologia. L'accuratezza di stima della lunghezza, in entrambi gli studi, appare mantenersi pressoché costante e stabile rispetto alle altre due grandezze considerate e anche tra i gruppi.

Per quanto riguarda la sensibilità di stima, in entrambi gli studi, questa era significativamente diversa sia in funzione della grandezza considerata sia in funzione del gruppo. In particolare, in tutti i partecipanti, una minore sensibilità di stima (valori di WR più alti) è stata associata al compito di bisezione temporale rispetto agli altri due compiti. Pertanto, i partecipanti dei due gruppi hanno presentato una performance, in termini di sensibilità, migliore nei compiti di bisezione numerica e spaziale. Una spiegazione plausibile a questa evidenza potrebbe essere riferita al fatto che l'utilizzo delle informazioni numeriche, innanzitutto, richieda e tragga sostegno da istruzione formale, linguaggio e stimoli ambientali. Questi tendenzialmente si mantengono costanti o risultano compromessi solo tardivamente, nel corso del processo di invecchiamento fisiologico o patologico (cfr. Denes, 2016). Per la lunghezza, invece, si potrebbe citare l'esposizione a stimoli e informazioni spaziali, nella vita quotidiana, e di conseguenza lo sviluppo di una maggiore *expertise* in termini di abilità visuo-spaziali per permettere un adattamento al contesto ambientale di vita (Meneghetti, Carbone, Muffato & De Beni, 2015). Quest'ultima considerazione risulta coerente anche con l'osservazione sopra citata

---

<sup>25</sup> come citato in Jones & Jahanshahi (2015)

di un mantenimento pressoché costante del livello di accuratezza, nel compito di bisezione spaziale, rispetto agli altri due compiti anche tra i gruppi considerati.

È bene però tenere in considerazione un'inevitabile influenza di indizi spaziali derivanti dallo schermo del computer, utilizzato per la presentazione degli stimoli nel nostro studio, nell'elaborazione facilitata e apparentemente più sicura degli stimoli spaziali.

Inoltre, gli anziani (studio 1) e i pazienti (studio 2) hanno mostrato una sensibilità di stima significativamente ridotta rispetto ai giovani (studio 1) e al gruppo di controllo (studio 2), nei tre compiti di bisezione. Le spiegazioni sopra citate, inoltre, evidenziano proprio come sia plausibile osservare, nei partecipanti anziani e nei pazienti, una sensibilità ridotta di stima in generale, ma pur sempre migliore nei compiti di bisezione numerica e spaziale rispetto a quello di bisezione temporale.

Tutte queste evidenze empiriche sono in linea con le ipotesi iniziali del nostro studio, secondo cui le informazioni temporali risentirebbero maggiormente di un'involuzione di sensibilità di stima, in virtù dell'influenza del processo di invecchiamento fisiologico e, ancora di più, dell'insorgenza della Malattia di Parkinson (cfr. Grondin, 2020; Jones & Jahanshahi, 2015).

In conclusione, i dati sopra citati risultano coerenti con la revisione dello stesso Walsh (2013) e con le ricerche condotte da altri autori (e.g., Cappelletti et al., 2009; Dormal & Pesenti, 2012; 2013) per cui potrebbe esserci una comunanza tra meccanismi e processi di elaborazione di grandezze diverse, ma non completa in modo da contemplare anche una parziale indipendenza degli stessi.

La parziale condivisione dei meccanismi e processi di elaborazione potrebbe essere considerata plausibile sulla base dell'osservazione che, in partecipanti anziani (studio 1) e in pazienti (studio 2), sia stata riportata una maggiore variabilità e incostanza nei processi di stima rispetto ai partecipanti giovani (studio 1) e al gruppo di controllo (studio 2), indipendentemente dalla grandezza da analizzare.

Purtroppo, questa significatività in funzione del gruppo di appartenenza non è stata osservata in tutti gli indici di performance indagati (non per BP e *p-long*). Questo potrebbe essere considerato un limite nella considerazione di queste evidenze come attendibili e coerenti con la proposta teorica di Walsh (2003a).

D'altra parte, l'indipendenza almeno parziale dei meccanismi e processi di elaborazione delle grandezze sarebbe evidenziata da una maggiore compromissione nella performance di stima delle informazioni temporali, rispetto a quelle numeriche e spaziali, e da un'elaborazione facilitata e quasi automatica degli stimoli numerici.

Infine, è opportuno considerare anche una serie di aspetti critici dello studio che potrebbero aver dettato un'influenza consistente sui risultati riportati, soprattutto in riferimento ai partecipanti anziani e ai pazienti. Pertanto, sarebbe opportuno dedurre con cautela che le variazioni significative di performance, in funzione della grandezza o del gruppo, riflettano variazioni entro processi di elaborazione delle grandezze.

Innanzitutto, l'esecuzione dei tre compiti di bisezione richiedeva il mantenimento pressoché costante (almeno entro ogni compito) di risorse attentive e di memoria di lavoro, il quale risulta essere già sommariamente ridotto o alterato in una popolazione anziana sana e ancora di più in una clinica (i.e., Malattia di Parkinson) (cfr. Denes, 2016; Grondin, 2020).

Una performance comportamentale significativamente variabile potrebbe essere stata influenzata anche da una ridotta motivazione endogena del partecipante. È probabile che la riduzione di essa sia riferita all'influenza di un bias di credenza personale. Infatti, tutti i partecipanti (gli anziani e i pazienti più dei giovani) si sono mostrati, prima dell'inizio del compito di bisezione temporale, meno fiduciosi nelle proprie capacità di percezione e stima delle informazioni temporali e, di conseguenza, meno sicuri e motivati nello svolgimento della consegna. In generale, questa condizione potrebbe aver alterato la

percezione immediata dello stimolo e, conseguentemente, il giudizio di stima fornito dal partecipante.

Un ulteriore aspetto da sottolineare riguarda sicuramente il ridotto tempo concesso per la risposta (i.e., il punto di domanda rimaneva per breve tempo sullo schermo, dopo la scomparsa dello stimolo target), il quale potrebbe aver limitato l'accuratezza di stima e incentivato un senso di insicurezza e ansia nell'esecuzione del compito in funzione di una riduzione dei tempi di reazione, soprattutto nei pazienti e nei partecipanti anziani.

È capitato, infatti, che qualche partecipante adottasse una strategia di risposta doppia (i.e., premeva due volte il tasto di risposta per un determinato stimolo), avendo notato in precedenza di aver risposto prima della comparsa del punto interrogativo (il più delle volte era, però, non una risposta tempestiva allo stimolo corrente bensì una risposta tardiva allo stimolo precedente) o dopo la scomparsa di esso. Una soluzione possibile potrebbe essere il garantire un proporzionato tempo di risposta, sempre in termini di secondi, per agevolare una risposta adeguata soprattutto da parte dei partecipanti anziani. È bene precisare che il tempo non dovrebbe essere eccessivo (e.g., superare il minuto) in quanto, in questi termini, le risposte non sarebbero attendibili. Infatti, potrebbero subentrare meccanismi di interpretazione dello stimolo e, quindi, l'influenza di molteplici variabili contestuali e personali e il risultato non corrisponderebbe più alla percezione immediata ed effettiva del partecipante.

Infine, anche la scarsa familiarità delle persone in età avanzata, rispetto ai partecipanti giovani, con la tecnologia potrebbe aver esercitato un'influenza sulla raccolta dei dati. Sebbene l'utilizzo del computer nei compiti di bisezione fosse estremamente esemplificato e limitato alla tastiera, i partecipanti si mostravano più ansiosi e impauriti nel riportare le loro risposte.

## Conclusioni

Dal nostro studio “Come elaboriamo le quantità” si evidenzia fondamentalmente un’incompleta attendibilità della proposta teorica di Walsh (2003a). Recentemente, è stato proposto che il sistema generalizzato per le grandezze possa esistere ed essere presente sin dalla nascita, ma che possa anche differenziarsi nel corso del tempo in virtù dell’influenza di fattori intervenienti (Newcombe, 2014; Walsh, 2013).

Sia Lourenco e Longo (2010; 2011) che Casasanto (2008) parlano di una traiettoria evolutiva del sistema che origina come prelinguistica e simmetrica ed evolve in linguistica e asimmetrica. Dunque, il punto di partenza sarebbe sempre un sistema generalizzato per le grandezze, prelinguistico (presente sin dalla nascita) e simmetrico (interazione e influenza simmetrica tra grandezze), che in virtù dell’acquisizione linguistica si differenzerebbe mostrando una parziale indipendenza dei meccanismi di elaborazione e, di conseguenza, interazioni e influenze asimmetriche tra esse. Questo spiegherebbe la maggiore automaticità di elaborazione di informazioni numeriche, osservata anche nel nostro studio, in quanto esse si avvalgono di fonti sicure di sostegno, come indizi spaziali e modalità linguistiche, sia in termini rappresentativi che espressivi (cfr. paragrafo 1.1).

Queste proposte teoriche appaiono più coerenti con quanto osservato nei risultati riportati, sia in termini di differenze di performance in funzione alla grandezza che in funzione al gruppo. Infatti, il differenziamento almeno parziale dei meccanismi di elaborazione delle grandezze permetterebbe di spiegare il pattern peculiare di sensibilità (ridotta) osservato nell’elaborazione di informazioni temporali in tutti i partecipanti e nei tre compiti di bisezione, con compromissione maggiore per quella temporale, negli anziani (studio 1) e nei pazienti (studio 2).

Sicuramente la ricerca futura dovrebbe proporsi di approfondire molto di più il patrimonio conoscitivo riguardo i processi di elaborazione e stima delle grandezze negli anziani e popolazioni cliniche come i pazienti con Malattia di Parkinson.

Potrebbe anche essere opportuna un'indagine sistematizzata dei processi di elaborazione, per tutte le età, in modo da poter individuare quando avvenga questo cambiamento di rotta (differenziamento del sistema delle grandezze) e soprattutto in funzione a quale fattore specifico. Questo permetterebbe di verificare se le proposte di differenziamento dei meccanismi di elaborazione, in funzione della loro sensibilità al linguaggio, siano attendibili.

## BIBLIOGRAFIA

- Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The Parietal Cortex and the Representation of Time, Space, Number and Other Magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364 (1525), 1831-1840.
- Cappelletti, M., Freeman, E.D., & Cipolotti, L. (2009). Dissociations and Interactions between Time, Numerosity and Space Processing. *Neuropsychologia*, 47 (13), 2732-2748.
- Casasanto, D. (2008). Who's Afraid of the Big Bad Whorf? : Crosslinguistic Differences in Temporal Language and Thought. *Language Learning*, 58 (1), 63–79.
- Castelli, F., Glaser, D., & Butterworth, B. (2006). Discrete and Analogue Quantity Processing in the Parietal Lobe: a Functional MRI Study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(12), 4693-4698.
- Chicherio, C., Ludwig, C., & Borella, E. (2015). Il Cervello che Invecchia: tra Perdite e Guadagni. In R., De Beni & E., Borella (A cura di), *Psicologia dell'Invecchiamento e della Longevità* (pp. 109-132). Bologna: Il Mulino.
- Cohen Kadosh, R., Lammertyn, J., & Izard, V. (2008). Are Numbers Special? An Overview of Chronometric, Neuroimaging, Developmental and Comparative Studies of Magnitude Representation. *Progress in Neurobiology*, 84, 132–147.
- Crollen, V., Grade, S., Pesenti, M. & Dormal, V. (2013). A Common Metric Magnitude System for the Perception and Production of Numerosity, Length, and Duration. *Frontiers in Psychology*, 4 (449), 1-11.
- De Hevia, M.D., Izard, V., Coubart, A., Spelke, E.S. & Streri A. (2014). Representations of Space, Time, and Number in Neonates. *PNAS*, 111 (13), 4809-4813.

- De Visscher, A., Noel, M-P., Pesenti, M. & Dormal, V. (2018). Developmental Dyscalculia in Adults: beyond Numerical Magnitude Impairment. *Journal of Learning Disabilities, 5* (6), 600-606.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The Mental Representation of Parity and Number Magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General, 122* (3), 371-396.
- Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract Representations of Numbers in the Animal and Human Brain. *TINS, 21* (8), 355-361.
- Denes, G. (2016). *Plasticità Cerebrale: Come Cambia il Cervello nel Corso della Vita*. Roma: Carocci Editore; pp. 61-72.
- Dormal, V., Dormal, G., Joassin, F., & Pesenti, M. (2012). A Common Right Fronto-Parietal Network for Numerosity and Duration Processing: An fMRI Study. *Human Brain Mapping, 33*, 1490–1501.
- Dormal, V., Grade, S., Mormont, E. & Pesenti, M. (2012). Dissociation between Numerosity and Duration Processing in Aging and Early Parkinson’s Disease. *Neuropsychologia, 50* (9), 2365-2370.
- Dormal, V, & Pesenti, M. (2009). Common and Specific Contributions of the Intraparietal Sulci to Numerosity and Length Processing. *Human Brain Mapping, 30* (8), 2466-2476.
- Dormal, V., & Pesenti, M. (2012). Processing Magnitudes within the Parietal Cortex. In A. Costa & E. Villalba (Eds.), *Horizons in Neuroscience Research* (pp.107-140). New-York: Nova Science Publishers.



- Dormal, V. & Pesenti, M. (2013). Processing Numerosity, Length and Duration in a Three-Dimensional Stroop-Like Task: towards a Gradient of Processing Automaticity? *Psychological Research*, 77, 116-127.
- Droit-Volet, S. (2010). Speeding up a Master Clock Common to Time, Number and Length? *Behavioural Processes*, 85 (2), 126-134.
- Droit-Volet, S., Clement, A., & Fayol, M. (2007). Time, Number and Length: Similarities and Differences in Discrimination in Adults and Children. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61 (12), 1827-1846.
- Jones, C.R.G. & Jahanshahi, M. (2015). Striatal and Frontal Pathology: Parkinson's Disease and Patients with Lesions of the Basal Ganglia and Frontal Cortex. In A. Vatakis & L.J. Allman (Eds.), *Time Distortions in Mind: Temporal Processing in Clinical Populations* (pp.250-277). Leiden: Brill.
- Gallistel, R.C., & Gellman, R. (2000) Non-Verbal Numerical Cognition: from Reals to Integers. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 4, 59–65.
- Gevers, W., & Lammertyn, J. (2005). The Hunt for SNARC. *Psychology Science*, 47 (1), 10-21.
- Grondin, S. (2020). *The Perception of Time. Your Questions Answered*. New-York: Taylor & Francis; pp. 23-30; pp. 67-73; pp. 100-104; pp. 163-168.
- Lourenco, S.F., & Longo, M.R. (2010). General Magnitude Representation in Human Infants. *Psychological Science*, 21 (6), 873–881.
- Lourenco, S.F., & Longo, M.R. (2011). Origins and Development of Generalized Magnitude Representation. In S. Dehaene & E. Brannon (Eds.), *Space, Time and Number in the Brain* (pp. 225-244). Oxford: Oxford University Press.

Meck, W. H., and Church, R. M. (1983). A Mode Control Model of Counting and Timing Processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9, 320–334.

Meneghetti, C., Carbone, E., Muffato, V., & De Beni, R. (2015). Il Cervello che Invecchia: tra Perdite e Guadagni. In R., De Beni & E., Borella (A cura di), *Psicologia dell'Invecchiamento e della Longevità* (pp. 311- 334). Bologna: Il Mulino.

Micillo, L., Stablum, F., & Mioni, G. (2021). Do the Young and the Old Perceive Emotional Intervals Differently when Shown on a Younger or Older Face? *Cognitive Processing*, 22 (4), 691-699.

Mioni, G. (2018). Methodological Issues in the Study of Prospective Timing. In V. Argiro, F. Balci, M. Di Luca & A. Correa (Eds.), *Timing and time perception. Procedures, measures, and applications* (pp. 79-97). Leiden - Boston: Brill.

Nasreddine, Z.S., Phillips, N.A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, Isabelle, Cummings, J.L., & Chertkow, H. (2005) The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a Brief Screening Tool for Mild Cognitive Impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53 (4), 695-699.

Newcombe, N.S. (2014). The Origins and Development of Magnitude Estimation. *Ecological Psychology*, 26 (1-2), 147-157.

Penney, T.B., & Cheng, X. (2018). Duration Bisection: A User's Guide. In V. Argiro, F. Balci, M. Di Luca & A. Correa (Eds.), *Timing and time perception. Procedures, measures, and applications* (pp. 98-127). Leiden - Boston: Brill.

- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York, NY: International Universities Press.
- Santangelo, G., Siciliano, M., Pedone, R., Vitale, C., Falco, F., Bisogno, R., Siano, P., Barone, P., Grossi, D., Santangelo F. & Trojano L. (2014). Normative Data for the Montreal Cognitive Assessment in an Italian Population Sample. *Neurological Sciences*, 36 (4), 585-591.
- Tudusciuc, O., & Nieder, A. (2007). Neuronal Population Coding of Continuous and Discrete Quantity in the Primate Posterior Parietal Cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (36), 14513-14518.
- Walsh, V. (2003a). A Theory of Magnitude: Common Cortical Metrics of Time, Space and Quantity. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7 (11), 483-488.
- Walsh, V. (2003b). Time: the Back-Door of Perception. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7 (8), 335-338.
- Walsh, V. (2013). Magnitudes, Metaphors, and Modalities: a Theory of Magnitude Revisited. In J. Simner & E. Hubbard (Eds.), *Oxford Handbook of Synesthesia* (pp. 1-19). Oxford: Oxford University Press.
- Wearden, J. H. (2005). The Wrong Tree: Time Perception and Time Experience in the Elderly. In J. Duncan, L. Phillips, P. McLeod (Eds.), *Measuring the Mind: Speed, Control and Age* (pp. 137-158). Oxford: Oxford University Press.
- Zanto, T.P., Pan, P., Liu, H., Bollinger, J., Nobre, A.C., & Gazzaley, A. (2011). Age-Related Changes in Orienting Attention in Time. *The Journal of Neuroscience*, 31 (35), 12461-12470.

## APPENDICE

Di seguito, è possibile visionare il consenso informato alla partecipazione e al trattamento dei dati proposto a tutti i partecipanti degli studi 1 e 2.

### MODULO INFORMATIVO E DI CONSENSO ALLA PARTECIPAZIONE E AL TRATTAMENTO DEI DATI

#### DESCRIZIONE E SCOPI DELLA RICERCA

Gentile partecipante,

con il presente documento le chiediamo di fornire il suo consenso informato a partecipare alla ricerca “come elaboriamo le quantità” coordinata dalla prof.ssa Giovanna Mioni. L’obiettivo della ricerca è quello di valutare come diverse quantità (tempo, lunghezza e numerosità) vengono concepite ed elaborate nella popolazione di adulti sani.

#### METODOLOGIA DI RICERCA

Durante la ricerca le verrà chiesto di svolgere alcuni compiti al computer e rispondere ad alcune domande poste dall’operatore.

In dettaglio, verranno utilizzati i seguenti strumenti: computer e questionari

#### LUOGO E DURATA DELLA RICERCA

La ricerca sarà svolta presso i locali e i laboratori di ricerca del Dipartimento di Psicologia Generale dell’Università degli studi di Padova e avrà una durata complessiva di 40 minuti.

#### RECAPITI

- Responsabile della ricerca:

Prof.ssa Giovanna Mioni, ricercatore a tempo determinato (RTD\_B) presso il Dipartimento di Psicologia Generale, Università di Padova ([giovanna.mioni@unipd.it](mailto:giovanna.mioni@unipd.it))

Grazia Cerullo, laureanda presso il Dipartimento di Psicologia Generale, Università di Padova ([grazia.cerullo@studenti.unipd.it](mailto:grazia.cerullo@studenti.unipd.it))

- Responsabile della raccolta dati: Prof.ssa Giovanna Mioni

- Eventuali altri recapiti: Luigi Micillo - [luigi.micillo@unipd.it](mailto:luigi.micillo@unipd.it) / Grazia Cerullo

#### CONSENSO ALLA PARTECIPAZIONE E AL TRATTAMENTO DEI DATI

La/Il sottoscritt\_ (COGNOME E NOME IN STAMPATELLO)  
\_\_\_\_\_ acconsente liberamente a partecipare allo studio dal titolo  
“come elaboriamo le quantità”

La/il sottoscritt\_ dichiara:

1. Di essere a conoscenza che lo studio è in linea con le vigenti leggi D. Lgs 196/2003 e UE GDPR 679/2016 sulla protezione dei dati e di acconsentire al trattamento ed alla

comunicazione dei dati personali, nei limiti, per le finalità e per la durata precisati dalle vigenti leggi (D. Lgs 196/2003 e UE GDPR 679/2016). Il responsabile della ricerca si impegna ad adempiere agli obblighi previsti dalla normativa vigente in termini di raccolta, trattamento e conservazione di dati sensibili.

2. Di essere consapevole di potersi ritirare dallo studio in qualunque momento, senza fornire spiegazioni, senza alcuna penalizzazione e ottenendo il non utilizzo dei dati.
3. Di essere consapevole che i dati saranno raccolti in forma confidenziale (nome/codice).
4. Di essere a conoscenza che i propri dati saranno utilizzati esclusivamente per scopi scientifici e statistici e con il mantenimento delle regole relative alla riservatezza.
5. Di essere a conoscenza che, qualora lo desiderasse, può ottenere la restituzione dei dati grezzi.
6. Di sapere che una copia del presente modulo mi sarà consegnata dal ricercatore tramite Google Form o in versione cartacea
7. Di sapere che la protezione dei suoi dati è designata con Decreto del Direttore Generale 4451 del 19 dicembre 2017, in cui è stato nominato un Responsabile della Protezione dati, [privacy@unipd.it](mailto:privacy@unipd.it).

La/Il sottoscritt\_ (COGNOME E NOME IN STAMPATELLO) \_\_\_\_\_

presa visione del presente modulo esprime il proprio consenso alla partecipazione e al trattamento dei propri dati personali.

Data \_\_\_\_\_

Firma leggibile \_\_\_\_\_