



# UNIVERSITÀ DI PARMA

**DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PSICOBIOLOGIA E NEUROSCIENZE  
COGNITIVE**

**RAGGIUNGERE ED AFFERRARE UN OGGETTO:  
COSA MODULA IL “MARGINE DI SICUREZZA”?**

Relatore:

*Professor* NICOLA BRUNO

Controrelatore:

*Dottor* STEFANO UCCELLI

Laureanda:

LAURA BANFI

Anno Accademico 2021/2022



## Indice

<b>ABSTRACT</b>	5
<b>CAPITOLO 1: INTRODUZIONE</b>	7
1.1 La legge di Weber	7
1.2 I modelli del sistema visivo	8
1.2.1 <i>Mishkin e Ungerleider</i>	8
1.2.2 <i>Milner e Goodale</i>	10
1.3 L'afferramento guidato dalla visione	12
1.3.1 <i>Lo studio di Ganel e collaboratori</i>	16
1.3.2 <i>Lo studio di Utz e collaboratori</i>	19
1.3.3 <i>Lo studio di Bruno e collaboratori</i>	22
1.4 Il margine di sicurezza	25
1.5 La ricerca	30
<b>CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI</b>	31
2.1 Partecipanti	31
2.2 Etica	31
2.3 Stimoli	31
2.4 Strumentazione	32
2.5 Disegno sperimentale	33

2.6 Procedura	34
2.7 Validazione dei dati	35
<b>CAPITOLO 3: RISULTATI</b>	<b>37</b>
3.1 Analisi dei dati	37
3.2 Discussione dei dati	44
<b>CAPITOLO 4: CONCLUSIONE</b>	<b>48</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>51</b>

## **ABSTRACT**

L'afferramento degli oggetti è un'azione che eseguiamo innumerevoli volte nella quotidianità. Il comportamento di afferramento consta di due differenti fasi: un rapido avvicinamento della mano all'oggetto con una progressiva apertura delle dita fino al raggiungimento della massima apertura, e un successivo rallentamento del movimento che conduce alla graduale chiusura delle dita e al contatto con l'oggetto.

L'afferramento implica un'osservazione dell'oggetto durante la quale le informazioni visive vengono elaborate e trasformate in una programmazione motoria adatta al fine di afferrare l'oggetto. Il modello del sistema visivo di Milner e Goodale (1995) sostiene che le informazioni visive vengano elaborate dalle vie di elaborazione visiva ventrale e dorsale, rispettivamente implicate nella visione per la percezione e per l'azione. Gli autori proposero una dissociazione tra le due vie in quanto la via ventrale elaborerebbe le informazioni visive per il riconoscimento, mentre la via dorsale per l'esecuzione delle azioni.

La legge di Weber è quel principio psicofisico della percezione umana che sostiene l'esistenza di una relazione di diretta proporzionalità tra la soglia differenziale e l'intensità dello stimolo. Ganel, Chajut e Algom (2008a) condussero uno studio al fine di testare la validità della legge di Weber per un'azione guidata dalla visione come l'afferramento di oggetti. La legge di Weber venne rispettata quando i partecipanti svolgevano il compito percettivo ma non quello di afferramento. Ad oggi, i risultati dello studio di Ganel e collaboratori rappresentano una prova della dissociazione funzionale fra via ventrale e dorsale proposta da Milner e Goodale.

Studi successivi (Utz, Hesse, Aschenneller e Schenk, 2015; Bruno, Uccelli, Viviani e de'Sperati, 2016), invece, non supportano la dissociazione basata su differenti processi

di trasformazione delle informazioni visive a seconda che debba essere eseguito un compito motorio o percettivo. Queste indagini hanno consentito di comprendere che l'afferramento non è unicamente determinato dalla grandezza dell'oggetto, bensì anche da vincoli biomeccanici e strategici. Infatti, la massima apertura della mano, raggiunta nella prima fase dell'afferramento, è determinata dalla dimensione dell'oggetto e da una costante, il "margine di sicurezza", che garantisce al soggetto la possibilità di svolgere un afferramento efficace, sottraendolo dalla necessità di calcolare immediatamente e precisamente le dimensioni dell'oggetto. Il "margine di sicurezza", misurabile stimando l'intercetta del modello lineare che descrive l'evoluzione della massima apertura in funzione delle dimensioni dell'oggetto da afferrare, consente di eseguire un afferramento efficace.

Abbiamo chiesto al campione sperimentale di svolgere un compito di afferramento, a circuito aperto, di oggetti di differenti dimensioni, utilizzando una presa di precisione. Alla luce dell'importante ruolo riconosciuto al "margine di sicurezza", abbiamo calcolato il suo valore per ciascun partecipante. In seguito, abbiamo indagato quali elementi potessero determinare la sua grandezza. Abbiamo individuato una relazione di diretta proporzionalità tra la dimensione della mano e il "margine di sicurezza". Conseguentemente abbiamo indagato il potenziale potere predittivo sul "margine di sicurezza" di due variabili temporali: il tempo dedicato all'osservazione dell'oggetto, precedente all'inizio dell'afferramento, e l'intervallo temporale intercorso tra l'inizio del movimento e il raggiungimento della massima apertura della mano. Queste analisi hanno consentito di comprendere che tendono ad utilizzare un maggiore "margine di sicurezza" coloro che guardano l'oggetto più a lungo e coloro che dedicano più tempo alla prima fase dell'afferramento.

## CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

### 1.1 La legge di Weber

La legge di Weber, secondo la quale la sensibilità è inversamente proporzionale all'intensità dello stimolo, è uno dei principi fondamentali della psicofisica. La legge fu formulata da Ernst Weber dopo aver indagato le prestazioni di alcuni soggetti a compiti di discriminazione sensoriale. Gli studi consentirono a Weber di affermare che la sensibilità, ovvero la capacità di cogliere la differenza tra due stimoli, è inversamente proporzionale all'intensità dello stimolo (Fechner, Howes e Boring, 1966) e, conseguentemente, di evidenziare l'esistenza di una relazione di diretta proporzionalità tra l'intensità dello stimolo e la soglia differenziale, ovvero la minima differenza di intensità tra due stimoli che consente di percepirli come distinti. Studi svolti successivamente hanno dimostrato che questa relazione differiva a seconda del canale sensoriale indagato. La legge di Weber viene rispettata indipendentemente dal canale sensoriale indagato (Hesse, Harrison, Giesel e Schenk, 2021), rappresentando quindi un funzionamento generale di ogni organismo che debba rispondere a stimoli che si possono a lui presentare a differente intensità.

$$\Delta I / I = K$$

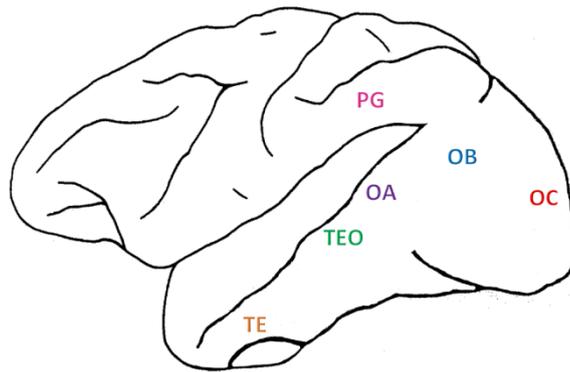
*Legge di Weber.  $\Delta I$ : soglia differenziale;  $I$ : intensità dello stimolo di riferimento;  $K$ : costante di Weber.*

Il rapporto tra la soglia differenziale e l'intensità dello stimolo definisce la costante di Weber, la quale è specifica per il canale sensoriale indagato, e dipende dalle condizioni di misurazione. Gli studi e le conseguenti proposte avanzate da Weber rappresentarono poi il punto di partenza per due importanti filoni di ricerca: lo sviluppo di paradigmi utili alla misurazione delle soglie e lo sviluppo del concetto di legge psicofisica (Bruno, 2021).

## 1.2 I modelli del sistema visivo

### 1.2.1 *Mishkin e Ungerleider*

Mishkin e Ungerleider nella seconda metà del 1900 condussero diversi studi sul modello animale della scimmia grazie ai quali riuscirono a dimostrare il coinvolgimento della corteccia striata, della regione pre-striata del lobo occipitale e di porzioni dei lobi parietale e temporale nel processo visivo. La loro scoperta era in contrasto con le previsioni di studi svolti precedentemente, secondo i quali unicamente la corteccia striata è implicata nella visione. La conclusione fu sostenuta a partire dalla seguente evidenza sperimentale: lesioni a regioni differenti dalla corteccia striata non determinano disturbi di natura visiva (Lashley, 1948). Contrariamente a quanto sostenuto da Lashley, gli studi di Mishkin e Ungerleider evidenziarono il coinvolgimento di un più ampio distretto cerebrale nei meccanismi visivi. In particolare, proposero l'esistenza di due vie visive corticali originanti dalla corteccia visiva primaria, rappresentate in figura 1.1. La prima connette la corteccia visiva primaria alle regioni pre-striate e continua il suo percorso raggiungendo la regione temporale inferiore (Mishkin, 1982). La seconda via visiva connette la corteccia visiva primaria alle regioni pre-striate e queste ultime alle aree parietali inferiori (Mishkin, Ungerleider e Macko, 1983). È possibile quindi definire le due vie corticali rispettivamente: sistema di proiezione occipitotemporale e occipitoparietale. W. Pohl, nel 1973, fu il primo a condurre gli studi che hanno poi portato alla definizione di una dissociazione tra le due vie visive.



*Figura 1.1 - Mishkin, M., Ungerleider, L.G. & Macko, K.A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. Trends in Neurosciences, 6, 414-417.*

*Rappresentazione dell'emisfero sinistro del macaco Rhesus in visione laterale. Modello del sistema visivo di Mishkin e Ungerleider: via occipitotemporale e occipitoparietale. Via occipitotemporale: OC (corteccia striata), OB (regione prestriata), OA (regione prestriata), TE (corteccia temporale inferiore), TEO (corteccia temporale inferiore). Via occipitoparietale: OC (corteccia striata), OB (regione prestriata), OA (regione prestriata), PG (corteccia parietale inferiore).*

La via occipitotemporale riceve informazioni soprattutto dalla regione striatale laterale, che ricopre un importante ruolo nel processo di visione centrale (Mishkin, Ungerleider e Macko, 1983). La via occipitotemporale, dopo aver raggiunto le regioni temporali inferiori, prosegue verso le strutture limbiche del medesimo lobo e conseguentemente verso il lobo frontale ventrale (Turner, Mishkin e Knapp, 1980). Il virtù del percorso operato dalla via visiva, essa è implicata nel processo di identificazione visiva degli oggetti e quindi nell'elaborazione di informazioni relative alle qualità dello stimolo: dimensione, colore e forma (Mishkin, 1972). Il conseguente collegamento con le regioni limbiche e frontali rende possibile l'associazione dell'informazione sull'identificazione degli oggetti con informazioni emotive e motorie, tali da attribuire un significato alle informazioni stesse (Mishkin, Ungerleider e Macko, 1983). A sostegno di questa proposta vi è la seguente dimostrazione: lesioni alla regione temporale posteriore causano un significativo

peggioramento della performance in compiti di discriminazione (Mishkin, 1972). Attraverso studi condotti sulla scimmia fu dimostrato che la porzione anteriore della corteccia infero-temporale, componente essenziale della via occipitotemporale, è importante non solamente nella percezione visiva, bensì anche nel riconoscimento; lesioni a questa area determinano deficit nel processo stesso (Mishkin, 1954). La via occipitoparietale è implicata nella percezione della relazione spaziale tra gli elementi occupanti l'ambiente, e rappresenta quindi il substrato neurale della visione spaziale (Mishkin, 1972). Questa via è quindi responsabile della localizzazione visiva degli oggetti; dopo aver raggiunto le regioni parietali inferiori, prosegue verso le cortecce limbica e frontale (in porzione dorsale) (Pandya e Kuypers, 1969), consentendo quindi la guida visiva degli atti motori e la costruzione di mappe spaziali. In virtù del ruolo a cui adempie, riceve informazioni dalla regione striatale sia laterale che mediale, rispettivamente implicate nella visione centrale e periferica. Un importante sito della via occipitoparietale è l'area parietale PG, area polisensoriale implicata nel processo di discriminazione visuo-spaziale e tattile (Mishkin, Ungerleider e Macko, 1983).

### *1.2.2 Milner e Goodale*

Milner e Goodale (1995) riformularono la proposta di Mishkin e Ungerleider (1982) proponendo un nuovo modello del sistema visivo basato sulla distinzione tra: via di elaborazione visiva ventrale e via di elaborazione visiva dorsale, rispettivamente implicate nella visione per la percezione e nella visione per l'azione. Gli autori, a differenza della modello tradizionale (Clark, 2001), ritengono che il legame tra percezione e azione sia indiretto, nonostante ammettano la possibilità che la percezione influenzi l'azione. I due flussi nascono dalle medesime aree visive primarie, elaborano informazioni relative alla struttura e alla collocazione spaziale degli stimoli e sono entrambe modulate dall'attenzione (Milner e Goodale, 2008). Infatti, a parere degli autori,

ciò che distingue le due vie corticali è il modo in cui le informazioni visive vengono trasformate, in virtù del differente scopo a cui esse adempiono, e i loro output (Goodale e Milner, 1992). La via visiva ventrale è responsabile della visione per la percezione; con il termine percezione gli autori intendono sia l'esperienza cosciente, che quella inconscia e quindi non consapevole, del vedere oggetti ed eventi. Le informazioni sugli stimoli vengono elaborate in coordinate allocentriche e non sono specifiche per un preciso momento; è importante che il soggetto disponga di informazioni sugli stimoli relative sia al momento presente che a tempi passati e che in seguito le combini, per poter pianificare l'azione (Milner e Goodale, 2008). La via visiva dorsale è responsabile della visione per l'azione, ovvero dell'esecuzione e del controllo di essa, dopo che la via ventrale ha identificato e pianificato le azioni adeguate per interagire con gli oggetti e lo spazio. In virtù del ruolo a cui deve adempiere, è fondamentale che la via dorsale elabori le informazioni visive in coordinate egocentriche nel preciso momento in cui il movimento deve essere eseguito (Goodale e Milner, 1992), dato che le relazioni spaziali tra gli stimoli e il soggetto mutano rapidamente nel tempo. Le informazioni visive utilizzate dai due flussi sono di differente natura; mentre i soggetti possono o meno avere consapevolezza delle informazioni visive che percepiranno, i medesimi non avranno invece consapevolezza delle informazioni visive impiegate per l'esecuzione e il controllo online del movimento, nonostante siano consapevoli delle azioni eseguite (McIntosh et al., 2004). A conferma del modello proposto da Milner e Goodale, furono importanti le osservazioni della cosiddetta "doppia dissociazione" nei pazienti: con danno alla via ventrale o con danno alla via dorsale (Milner e Goodale, 2008). I pazienti con alterazione del funzionamento del flusso ventrale, come la paziente D.F., presentano deficit in compiti percettivi (agnosia visiva), ma la performance in compiti di raggiungimento e afferramento è paragonabile a quella di soggetti di controllo (Milner et al., 1991). Al contrario, i pazienti con atassia ottica presentano un'alterazione del funzionamento della via dorsale a causa di lesioni situate nel lobulo parietale superiore, nella porzione

superiore del lobulo parietale inferiore e nel solco intraparietale. I pazienti con atassia ottica hanno difficoltà nel raggiungimento e nella manipolazione degli oggetti situati nel campo visivo controlaterale alla lesione (Karnath e Perenin, 2005) ma svolgono un efficace riconoscimento degli oggetti (Goodale e Milner, 1992). Il modello prevede, nella maggior parte dei casi, un impiego contemporaneo e cooperativo dei due flussi (Goodale e Milner, 2018), e questo viene dimostrato anche da studi che evidenziano una reciproca connettività tra essi (Chen, Snow, Culham e Goodale, 2018). La proposta è, ad oggi, sostenuta anche da studi di neuroimmagine, in particolare condotti con la risonanza magnetica funzionale (Goodale e Milner, 2018).

### 1.3 L'afferramento guidato dalla visione

La legge di Weber, un principio psicofisico che propone una relazione di inversa proporzionalità tra la sensibilità e l'intensità dello stimolo, è valida per tutte le dimensioni sensoriali. Ganel, Chajut e Algom (2008a) furono i primi ad interrogarsi e successivamente testare la validità della legge di Weber durante un compito motorio guidato dalla visione, nello specifico l'afferramento di oggetti. Chiesero ai loro partecipanti di svolgere un compito di afferramento e uno di stima manuale. Il compito di stima manuale prevedeva che i soggetti osservassero un oggetto e stimassero la sua grandezza aprendo il pollice e l'indice della mano. Dimostrarono, comparando le prestazioni ai due compiti, la violazione della legge di Weber nel compito di afferramento e il suo rispetto nel compito di stima manuale. Infatti, riscontrarono che la variabilità della massima apertura delle dita cresceva all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto nel compito percettivo ma non in quello di afferramento. A parere degli autori, i risultati confermavano le previsioni del modello di elaborazione visiva proposto da Milner e Goodale (1995).

Smeets e Brenner (2008) contraddissero la spiegazione proposta da Ganel e collaboratori. Proposero che, per afferrare, le persone debbano percepire ed elaborare le informazioni visive sulla posizione dei punti di presa collocati sulla superficie dell'oggetto e, in seguito, posizionare in quei punti le dita della propria mano: l'afferramento non è determinato dalla codifica delle informazioni sulla dimensione dell'oggetto. Infatti, Smeets e Brenner (1999) sostennero che la pianificazione e l'esecuzione dell'afferramento implicasse inizialmente di individuare le posizioni della superficie dell'oggetto nelle quali collocare le dita, sfruttando anche informazioni sul peso dell'elemento, sulla sua fragilità e sulla rugosità della sua superficie, e successivamente di spostare le dita sull'oggetto, nelle posizioni selezionate. Per questo motivo non può essere atteso un rispetto delle previsioni della legge di Weber dato che quest'ultima è valida per proprietà che presentano uno zero assoluto e che possono essere unicamente positive.

La spiegazione si discosta sia dal modello del sistema visivo di Milner e Goodale, sia dalla classica descrizione dell'afferramento, secondo la quale quest'ultimo è il risultato dell'interazione di schemi percettivi e motori. Gli schemi percettivi consentono di cogliere le informazioni sull'oggetto, conoscere le posizioni della mano e dell'oggetto e, infine, attivare gli schemi motori appropriati per afferramento. Gli schemi motori garantiscono l'esecuzione e il controllo del movimento precedentemente programmato. Jeannerod, Arbib, Rizzolatti e Sakata (1995) proposero che l'afferramento fosse il risultato di un'interazione di tre schemi motori, responsabili di: raggiungimento, pre-sagomatura delle dita e chiusura di esse sull'oggetto. Per afferrare un oggetto, quindi, vengono attivati differenti schemi motori, i quali possono essere eseguiti da unità di presa diverse; nel caso in cui il soggetto debba eseguire una presa di precisione, le unità di presa sono il pollice e l'indice. I tre schemi motori informano un quarto schema, quello di coordinamento, del tempo necessario per passare dallo stato attuale a quello desiderato.

Lo schema di coordinamento si occupa di coordinare da un punto di vista temporale gli schemi, che possono riguardare anche distretti corporei differenti. Nel caso della presa di precisione lo schema di coordinamento deve coordinare l'attività di schemi relativi al movimento del braccio, del polso e delle dita. Jeannerod e collaboratori descrissero l'afferramento come il risultato della selezione e della coordinazione di schemi motori, componenti più elementari dell'intera azione e, facendo studi sulla scimmia, cercarono di individuare il substrato neurale delle unità. Proposero che la codifica delle proprietà intrinseche dell'oggetto (forma, dimensione e orientamento) e la loro trasformazione nella configurazione motoria adeguata, fossero operate dal sistema visuo-motorio, in particolare dalle aree cerebrali AIP ed F5. Mentre la scarica dei neuroni parietali perdura per tutto lo svolgimento dell'azione, la risposta dei neuroni di F5 tende ad essere specifica per un atto motorio e la maggior parte di questi neuroni è selettiva per un tipo di prensione. Alcuni neuroni di F5, al contrario di quelli situati nella regione parietale, sono in grado di rispondere sia nel caso in cui il soggetto svolga in prima persona l'afferramento, sia nel caso in cui osservi un'altra persona eseguirlo (Jeannerod et al., 1995). In accordo con la proposta di Goodale e Milner (1995), Jeannerod e collaboratori proposero una dissociazione tra l'elaborazione pragmatica e semantica delle informazioni, rispettivamente operate nel lobo parietale e temporale.

Successivamente ai lavori appena citati, furono svolti numerosi studi che hanno consentito di acquisire informazioni sullo svolgimento e sulle caratteristiche dell'afferramento. Quest'ultimo è stato indagato in modi differenti: paragonando le caratteristiche della presa di un oggetto 2D o 3D (Ozana e Ganel, 2019), ricercando differenze o somiglianze tra un afferramento eseguito con una sola mano o bimanualmente (Hesse, Harrison, Giesel e Schenk, 2021), confrontando l'afferramento con un compito di stima manuale o con un afferramento pantomimico (Utz, Hesse,

Aschenneller e Schenk, 2015). Il termine pantomima viene utilizzato per identificare comportamenti che hanno uno scopo comunicativo (Goldenberg, 2014).

Utz e collaboratori (2015) riscontrando una violazione della legge di Weber nei loro studi, proposero una spiegazione per la riduzione della variabilità della massima apertura della mano (MGA) all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto: i vincoli biomeccanici agiscono, insieme ai fattori sensoriali, sulla modulazione della variabilità dell'MGA. Bruno, Uccelli, Viviani e de'Sperati (2016) dimostrarono che i vincoli biomeccanici modulano la variabilità dell'MGA non solo per oggetti grandi ma anche per quelli di dimensioni medie. Analogamente a quanto fatto dal gruppo di Ganel (2008a), Bruno e collaboratori (2016) hanno confrontato un compito di afferramento e uno di stima manuale. Il compito di afferramento prevedeva che i partecipanti osservassero e afferrassero oggetti di diverse grandezze con il pollice e l'indice. Nel compito di stima manuale veniva chiesto ai partecipanti di osservare oggetti di varie dimensioni e aprire il pollice e l'indice della mano in modo che l'apertura corrispondesse alla dimensione dell'oggetto. A differenza di quanto ottenuto precedentemente, i risultati aderirono alle previsioni della legge di Weber per oggetti di piccole dimensioni ma riscontrarono una riduzione della variabilità dell'MGA, per oggetti di dimensioni medio-grandi, all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto, in entrambi i compiti. Qualche anno dopo venne criticato il ruolo dei fattori biomeccanici nella riduzione della variabilità dell'MGA all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto, in virtù dei risultati ottenuti chiedendo ai partecipanti di eseguire un compito pantomimico di afferramento; risultati che supportavano quanto previsto dalla legge di Weber (Manzone, Davarpanah Jazi, Whitwell e Heath, 2017). La proposta trova però sostegno nei risultati di uno studio svolto nel 2021 da Hesse e collaboratori, i quali evidenziano aderenza alla legge di Weber in un compito di afferramento bimanuale e conseguentemente supportano il ruolo dei

vincoli biomeccanici nel determinare una riduzione della variabilità dell'MGA all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto in un compito di presa unimanuale.

Risultati aderenti alle previsioni della legge di Weber per l'afferramento di oggetti di piccole dimensioni ma che la violano per oggetti di dimensioni maggiori, sono stati replicati da Uccelli, Pisu e Bruno (2021) i quali hanno proposto che si potesse riscontrare nella relazione tra il margine di sicurezza del partecipante e la dimensione dell'oggetto da afferrare, la motivazione della riduzione della variabilità dell'MGA all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto.

### *1.3.1 Lo studio di Ganel e collaboratori*

Ganel e collaboratori (2008a) furono i primi a testare la validità della legge di Weber nell'esecuzione di un comportamento motorio determinato da un processo di percezione visiva. L'indagine da loro condotta prevedeva di richiedere ai partecipanti di eseguire quattro compiti: aggiustamento, stima delle dimensioni dell'oggetto a loro presentato e afferramento con presa in tempo reale o ritardata. Nel compito dell'aggiustamento percettivo era richiesto ai partecipanti di modificare la lunghezza di una linea presentata sullo schermo, in modo che combaciasse con la lunghezza dell'oggetto. Nel compito di stima manuale i partecipanti dovevano stimare la lunghezza dell'oggetto aprendo pollice e indice. Nel compito di afferramento con presa in tempo reale dovevano osservare e in seguito afferrare l'oggetto che veniva loro presentato. Nella condizione di afferramento ritardato, dopo la presentazione iniziale, la possibilità di visione veniva loro occlusa per cinque secondi, e a ciò conseguiva l'impiego della traccia mnestica al fine di svolgere il compito motorio (Ganel et al., 2008a). Come variabile dipendente, nel loro disegno sperimentale, indagarono la JND (just noticeable difference, vale a dire l'incremento minimo rilevabile della grandezza dello stimolo). Al fine di misurarla, nei compiti percettivi

vennero utilizzate le riproduzioni dei partecipanti durante l'esecuzione dei compiti, mentre per il compito motorio venne misurata la massima apertura tra il pollice e l'indice (Ganel e Goodale, 2003). Come rappresentato in figura 1.2, i risultati hanno evidenziato che, nei compiti percettivi, la JND aumentava all'aumentare della lunghezza dell'oggetto, in accordo con quanto previsto dalla legge di Weber. Al contrario, nel compito di afferramento la JND rimaneva costante, dimostrando come quest'ultima, in un compito motorio, non era influenzata dalle dimensioni dell'oggetto (Ganel et al., 2008a).

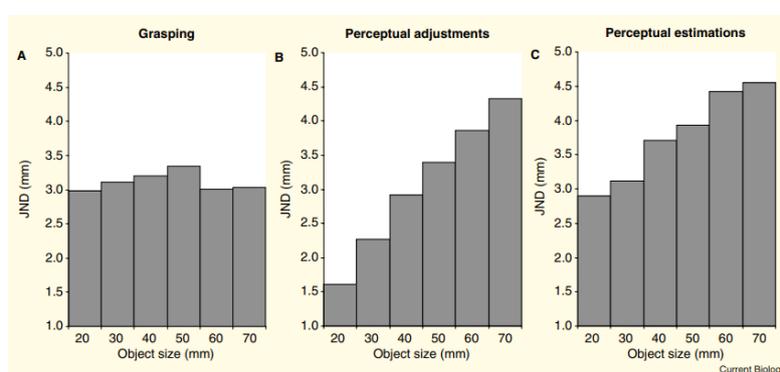


Figura 1.2 - Ganel, T., Chajut, E. & Algom, D. (2008a). Visual coding for action violates fundamental psychophysical principles. *Current Biology*, 18 (14), 599-601.

Rappresentazione dell'effetto delle dimensioni dell'oggetto nei tre compiti. A: compito di afferramento, B: compito di aggiustamento, C: compito di stima percettiva. Nei compiti percettivi (B e C) si evidenzia un incremento della JND all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto, nel compito di afferramento (A) la JND non viene, invece, influenzata dalle dimensioni dell'oggetto (Ganel et al., 2008a).

I risultati del compito di afferramento evidenziano, quindi, una violazione della legge di Weber. La JND non viene influenzata dalle dimensioni dell'oggetto nel caso in cui l'afferramento venga eseguito con una presa in tempo reale. Al contrario, nel caso in cui il compito di afferramento venga eseguito con una presa ritardata, che si basa su rappresentazioni percettive (Milner e Goodale, 2006) è possibile notare, come

evidenziato in figura 1.3, un incremento della JND all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto (Ganel et al., 2008a).

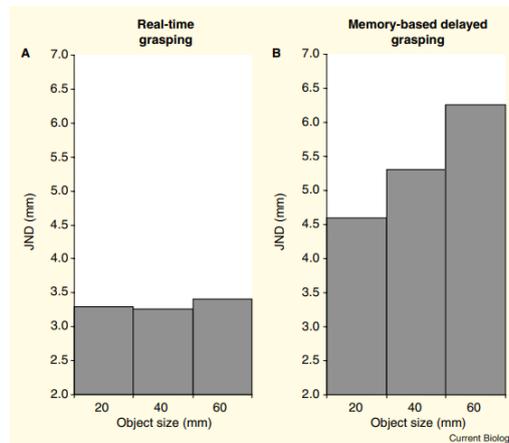


Figura 1.3 - Ganel, T., Chajut, E. & Algom, D. (2008a). Visual coding for action violates fundamental psychophysical principles. *Current Biology*, 18 (14), 599-601.

Rappresentazione dell'effetto delle dimensioni dell'oggetto in un compito di afferramento eseguito in due condizioni. A: compito di afferramento con presa in tempo reale, B: compito di afferramento eseguito con presa ritardata. La JND incrementa all'aumentare della grandezza dell'oggetto solo nella condizione B (Ganel et al., 2008a).

In conclusione, la dissociazione emersa evidenzia, secondo gli autori, un differente processo di elaborazione delle informazioni visive in virtù del fatto che preludano ad un compito di stima percettiva o ad un compito di afferramento: l'azione viene codificata a partire dalle informazioni e quindi dalle dimensioni assolute dell'oggetto. Questo risultato è stato dagli autori proposto come a sostegno della dissociazione tra la percezione e l'azione proposta da Milner e Goodale.

### *1.3.2 Lo studio di Utz e collaboratori*

A partire dai risultati ottenuti da Ganel e collaboratori (2008a), Utz e collaboratori (2015), proposero una spiegazione alternativa al ricorso di differenti tipologie di rappresentazioni visive, a seconda che debba essere operato un compito percettivo o esecutivo. Il principio della loro proposta si riscontra nella seguente considerazione: la variabilità della massima apertura della mano durante un compito di afferramento è influenzata da differenti fattori, tra i quali è possibile riscontrare il rumore sensoriale, quello neuromuscolare e i fattori biomeccanici. Conseguentemente, non riscontrare una relazione lineare tra la dimensione dell'oggetto e la variabilità dell'MGA non sorprende dato che molteplici fonti di rumore possono annullare l'effetto delle dimensioni dell'oggetto sulla variabilità dell'MGA stessa (Utz et al., 2015). Proposero che le differenze di pendenza della funzione che mette in relazione l'MGA e la dimensione dell'oggetto (Franz & Gegenfurtner, 2008), riflettessero il contributo del rumore sensoriale alla variabilità dell'MGA e quindi che differenze di pendenza modulassero la relazione tra la dimensione dell'oggetto e l'MGA. Alla luce di ciò svilupparono compiti con caratteristiche differenti, per testare il comportamento di afferramento in condizioni diverse. Gli aspetti che differenziavano le sessioni sperimentali erano i seguenti: presa reale o pantomima, possibilità di vedere la propria mano durante il comportamento motorio, presenza del feedback aptico (Utz et al., 2015). Infatti, alcuni studi precedentemente svolti (Holmes, Lohmus, McKinnon, Mulla e Heath, 2013) avevano evidenziato come venisse rispettato quanto previsto dalla legge di Weber in compiti di presa pantomimica ma non reale e il potenziare ruolo della possibilità di vedere la propria mano nel momento in cui viene eseguito l'afferramento, pantomimico o reale, nel verificare o meno quanto previsto dalla legge di Weber. Inoltre, gli studi precedentemente condotti avevano dimostrato che, modificando il feedback aptico, è possibile modulare la pendenza della funzione: dimensione dello stimolo-MGA.

Controllarono questo aspetto al fine di testare la relazione tra la pendenza della funzione e l'emergere della legge di Weber. Proprio per questo motivo utilizzarono un sistema a specchio per condurre gli esperimenti (Utz et al., 2015). I partecipanti dovevano afferrare un oggetto, collocato dietro lo specchio. Gli oggetti impiegati avevano dimensioni variabili e potevano appartenere ad un set di stimoli con peso costante o crescente all'incrementare delle dimensioni dello stimolo stesso. Nelle differenti condizioni sperimentali le variabili manipolate erano le seguenti: dimensione, peso, posizione, corrispondenti o differenti degli oggetti rispettivamente presentati davanti e dietro lo specchio. Alla luce del supposto ruolo del feedback aptico sopra citato, gli autori introdussero un'ultima condizione sperimentale di esso privata. I risultati, come rappresentato in figura 1.4, dimostrano un effetto della dimensione dell'oggetto sulla variabilità dell'MGA in quasi tutti i compiti. La relazione evidenziata è inversa rispetto a quanto previsto dalla legge di Weber: all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto, diminuisce la variabilità della massima apertura della mano (Utz et al., 2015).

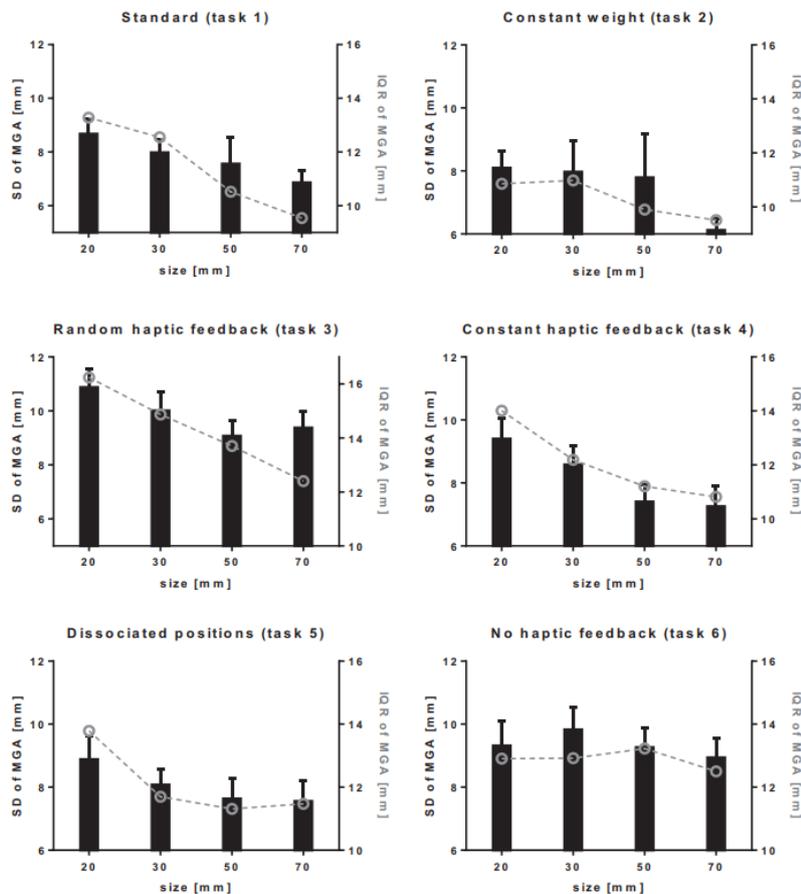


Figura 1.4 - Utz, K.S., Hesse, C., Aschenneller N. & Schenk T. (2015). Biomechanical factors may explain why grasping violates Weber's law. *Vision research*, 111, 22-30.

Rappresentazione della variabilità (SD: barre nere, IQR: cerchi grigi) dell'MGA al variare delle dimensioni degli oggetti. Eccetto l'ultimo compito, si evidenzia una riduzione della variabilità dell'MGA all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto (Utz et al., 2015).

La spiegazione proposta da Utz e collaboratori è la seguente: i vincoli biomeccanici riducono la variabilità dell'MGA per oggetti di dimensioni maggiori, dato che l'MGA per essi si avvicina alle dimensioni dell'oggetto. In altri termini, la variabilità cessa di crescere poiché le dita raggiungono un valore tetto oltre al quale non possono più essere aperte. Gli autori ritengono quindi che, non solo gli aspetti sensoriali, ma anche i vincoli

biomeccanici e altri fattori non visivi, siano implicati nella modulazione della variabilità dell'MGA (Utz et al., 2015).

### *1.3.3 Lo studio di Bruno e collaboratori*

Bruno e collaboratori (2016) confutarono la proposta avanzata da Ganel e collaboratori (2008a) secondo la quale è possibile dissociare la visione per la percezione e la visione per l'azione sulla base del differente processo di elaborazione visiva relativamente alle due differenti azioni. Ganel e collaboratori, infatti, alla luce dell'indagine svolta, conclusero che la precisione della visione per l'azione resta costante al variare della dimensione dello stimolo, violando quanto previsto dalla legge di Weber, mentre la visione per la percezione aderisce al principio psicofisico. A differenza degli studi precedentemente condotti, Bruno e collaboratori indagarono il comportamento di stima manuale e afferramento impiegando stimoli le cui dimensioni erano da molto piccoli (5 mm) al limite di afferrabilità (120 mm) e ricorrendo ad un disegno sperimentale a circuito aperto; utilizzando un sistema a circuito chiuso, il soggetto sperimentale avrebbe potuto operare degli aggiustamenti online, modificando le rappresentazioni visive calcolate prima dell'inizio del movimento, e questo avrebbe potuto causare la violazione della legge di Weber (Heath, Mulla, Holmes e Smuskowitz, 2011). Gli autori chiesero ai loro partecipanti di svolgere due compiti: stima manuale e afferramento, per poi misurare l'apertura tra il pollice e l'indice della mano dei soggetti durante lo svolgimento dei due compiti. Come mostra la figura 1.5, in entrambe le procedure emerge una relazione lineare tra l'apertura della mano e le dimensioni dell'oggetto (Bruno et al., 2016).

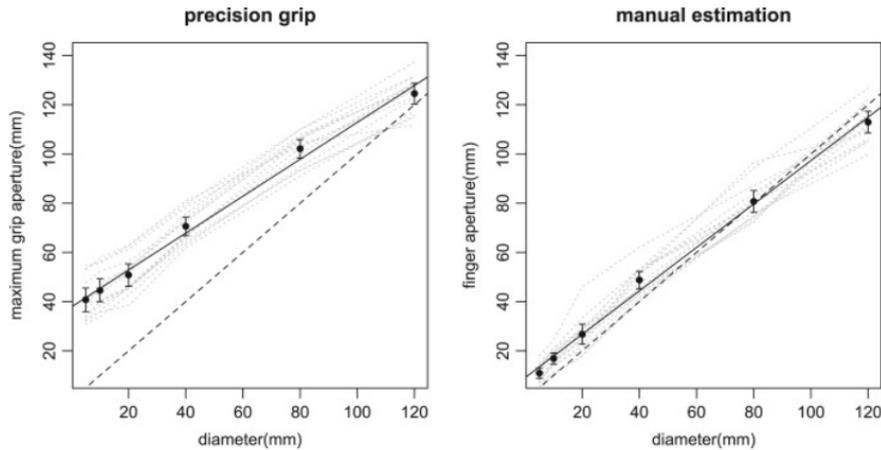


Figura 1.5 - Bruno, N., Uccelli, S., Viviani, E. & de'Sperati, C. (2016). Both vision-for-perception and vision-for-action follow weber's law at small object sizes, but violate it at larger sizes. *Neuropsychologia*, 91, 327-334.

*Rappresentazione dell'apertura media di pollice e indice dei partecipanti in funzione delle dimensioni dell'oggetto (Bruno et al., 2016).*

Ganel e collaboratori avevano evidenziato una dissociazione tra le azioni comunicative e performative (Gibson, 1966); in particolare ritenevano che la precisione dell'MGA rimanesse costante al mutare delle dimensioni dell'oggetto, durante l'esecuzione di un'azione performativa. Bruno e collaboratori, come mostrato in figura 1.6, evidenziarono, a differenza di quanto verificato e proposto sia da Ganel che da Utz (2015), un incremento della variabilità dell'MGA per oggetti di piccole dimensioni e, in seguito, una sua diminuzione, indipendentemente dal compito svolto. L'unica differenza riscontrata tra i due compiti è la seguente: mentre la variabilità dell'MGA nel compito di afferramento incrementa fino ad una dimensione dell'oggetto pari a 20 mm, l'incremento della variabilità nel compito di stima manuale avviene fino ad una grandezza dell'oggetto pari a 40 mm. Quindi i risultati di Bruno e collaboratori sono in accordo con quanto previsto dalla legge di Weber, per oggetti di piccole dimensioni, indipendentemente dal

compito svolto. Al contrario, per oggetti di dimensioni maggiori, non si evidenzia la medesima tendenza.

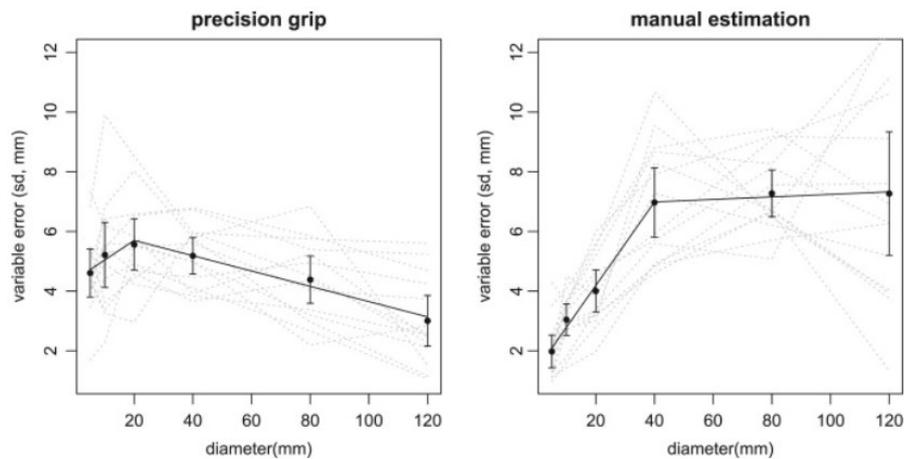


Figura 1.6 - Bruno, N., Uccelli, S., Viviani, E. & de'Sperati, C. (2016). Both vision-for-perception and vision-for-action follow weber's law at small object sizes, but violate it at larger sizes. *Neuropsychologia*, 91, 327-334.

*Rappresentazione della variabilità (SD) dell'MGA in funzione del diametro dell'oggetto nel compito motorio (sinistra) e percettivo (destra) (Bruno et al., 2016).*

La spiegazione proposta dagli autori è la seguente: fattori terzi, come per esempio i vincoli biomeccanici della mano e la strategia motoria impiegata per completare il compito, possono aver contrastato l'incremento della variabilità dell'MGA, per oggetti di dimensioni medio-grandi. Infatti, quando la dimensione dell'oggetto da afferrare o stimare cresce, avvicinandosi al limite di afferrabilità della mano, l'errore variabile si riduce sempre di più. Però la distribuzione degli errori, all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto, è risultata asimmetrica solo per l'azione comunicativa. Questo risultato supporta l'idea che i vincoli biomeccanici possano rappresentare la spiegazione centrale della diminuzione della variabilità dell'MGA all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto, unicamente per il compito di stima manuale. Dato che il limite biomeccanico della mano non può essere l'unico fattore coinvolto nella riduzione della variabilità

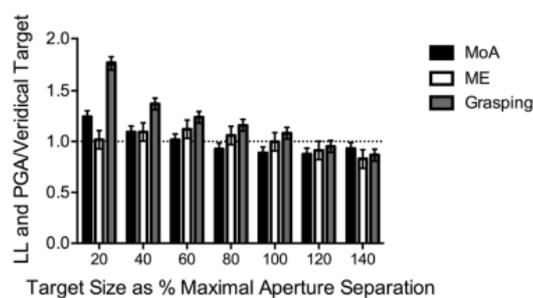
dell'MGA all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto, proposero il coinvolgimento anche della strategia motoria utilizzata per afferrare. In conclusione, Bruno e collaboratori sostennero l'esistenza di una dissociazione tra le azioni comunicative e quelle performative basata su vincoli biomeccanici e/o strategici (Bruno et al., 2016).

#### 1.4 Il margine di sicurezza

Il comportamento di afferramento prevede due differenti fasi; la prima è veloce, consta di un'accelerazione e avvicinamento della mano all'oggetto e una progressiva apertura delle dita fino al raggiungimento della massima apertura, successivamente il movimento subisce un rallentamento. La seconda fase, quella di controllo, conduce alla chiusura delle dita della mano sull'oggetto. Al fine di rendere l'afferramento efficiente, economico e fluido, è necessario che durante la prima fase la massima apertura della mano sia molto più grande delle dimensioni dell'oggetto, per evitare che il soggetto debba riaprire la mano in un momento successivo a causa di un'apertura insufficiente. L'apertura della mano, superiore alle dimensioni dell'oggetto, che precede l'afferramento, è definita da due fattori: il margine di sicurezza e la dimensione dell'oggetto (Bruno et al., 2016). La massima apertura della mano corrisponde quindi all'80% circa delle dimensioni dell'oggetto da afferrare (Smeets e Brenner, 1999), alla cui osservazione segue un processo di trasformazione delle informazioni visive nella rappresentazione motoria adeguata al fine di esperire un comportamento motorio, a cui si aggiunge una costante. La costante corrisponde all'intercetta del modello lineare che coglie la relazione tra l'MGA e le dimensioni dell'oggetto, garantendo al soggetto un margine di sicurezza nel momento in cui si accinge ad afferrare (Uccelli et al., 2021). Il margine di sicurezza, variabile tra i soggetti, è la differenza tra la massima apertura della mano e la stima della dimensione dell'oggetto da afferrare, e consente al soggetto di non dover calcolare immediatamente una precisa apertura. Bruno e collaboratori (2016) evidenziarono una

riduzione della variabilità dell'MGA a partire da una dimensione dello stimolo pari a 20 mm, nel caso dell'afferramento, e pari a 40 mm nel caso in cui, invece, fosse richiesto al soggetto di eseguire il compito di stima manuale. È plausibile che la riduzione dell'errore sia determinata dal seguente aspetto: la variabilità dell'apertura della mano del soggetto si riduce all'incrementare delle dimensioni dell'oggetto a causa dell'approssimarsi delle sue dimensioni alla massima grandezza afferrabile dalla mano del partecipante (Utz et al, 2015). In aggiunta a quanto evidenziato da Utz (2015), Bruno e collaboratori dimostrarono una riduzione dell'errore anche nei compiti di stima manuale, nel momento in cui però lo stimolo raggiunge una dimensione superiore (40 mm) rispetto alla dimensione dell'oggetto che induce riduzione della variabilità dell'MGA nel caso in cui venga richiesto al soggetto di eseguire una presa. L'MGA, durante il comportamento di afferramento è determinata dal margine di sicurezza e dalla dimensione dell'oggetto; conseguentemente, l'apertura della mano del soggetto è prossima al suo limite di apertura non solo per oggetti di grandi dimensioni, ma anche per oggetti di dimensioni intermedie. Durante la stima manuale, invece, l'MGA è unicamente determinata dalla dimensione dell'oggetto e questo spiega il motivo per cui la riduzione della variabilità si riscontri a partire da una dimensione dell'oggetto pari a 40 mm (Bruno et al., 2016). Anche Heath, Manzone, Khan e Davarpanah Jazi (2017) dimostrarono che la massima apertura durante i compiti di afferramento è molto più grande (1,95 volte) delle dimensioni dello stimolo e dell'MGA impiegata per completare un compito di stima manuale (2 volte). I loro risultati supportano quindi ulteriormente la proposta secondo la quale, durante l'afferramento, la massima apertura della mano sia determinata non solo dalle dimensioni dell'oggetto, bensì anche dal margine di sicurezza. Rilevante sul tema è lo studio condotto da Ayala, Binsted e Heath (2018) i quali hanno sviluppato un esperimento in cui chiedevano ai partecipanti di svolgere un compito di stima manuale e un compito di afferramento per stimoli le cui dimensioni variavano tra il 20% e il 140% della loro massima apertura pollice-indice (MAS). Le dimensioni degli stimoli potevano

quindi variare tra i partecipanti. Dalla loro indagine è emerso che, durante un compito di afferramento, incrementava la massima apertura della mano all'aumentare delle dimensioni dello stimolo quando quest'ultimo aveva una dimensione compresa tra il 20% e il 100% del MAS, le quali si sono poi stabilizzate per dimensioni dello stimolo superiori. Evidenziarono inoltre, come mostrato in figura 1.7, una massima apertura della mano maggiore nel compito di afferramento rispetto che nel compito di stima manuale, per stimoli di grandezza compresa tra il 20% e il 100% del MAS del partecipante.



*Figura 1.7 - Ayala, N., Binsted, G. & Heath, M. (2018). Hand anthropometry and the limits of aperture separation determine the utility of Weber's law in grasping and manual estimation. Experimental Brain Research, 236 (8), 2439-2446.*

*Il rapporto tra la massima apertura e la dimensione dello stimolo è maggiore nei compiti di afferramento rispetto che nella stima manuale, quando lo stimolo ha una dimensione compresa tra il 20% e il 100% del MAS del partecipante. Per stimoli di dimensioni maggiori non si notano differenze tra i due compiti (Ayala et al., 2018).*

Questi risultati, quindi, supportano che la massima apertura della mano del soggetto quando deve eseguire un afferramento è determinata dalle dimensioni dell'oggetto e dal margine di sicurezza, mentre nei compiti percettivi la massima apertura non è influenzata dal margine di sicurezza. Infatti, nei compiti di stima manuale, hanno riscontrato un incremento della massima apertura della mano all'aumentare delle dimensioni dello stimolo, quando aveva una dimensione compresa tra il 20% e il 120% del MAS. Gli autori

hanno proposto che questa differenza sia attribuibile al fatto che durante i compiti di stima manuale l'apertura della mano non sia influenzata dal margine di sicurezza e che quindi il soggetto abbia la possibilità di aprire maggiormente la mano durante il compito di stima rispetto che durante la presa (Ayala et al., 2018).

Al fine di rendere l'afferramento efficiente e fluido, la strategia che viene impiegata per completare il compito è la seguente: inizialmente la mano si avvicina all'oggetto aprendo progressivamente le dita fino al raggiungimento della massima apertura e conseguentemente, in una seconda fase più lenta e controllata, le dita entreranno in contatto con l'oggetto. La strategia utilizzata al fine di completare il comportamento di afferramento rappresenta quindi un compromesso tra la velocità e la precisione. Uccelli e collaboratori (2021) hanno dimostrato una modulazione dei tempi di osservazione dell'oggetto e della variabilità dell'MGA in funzione delle dimensioni dell'oggetto da afferrare. Lo studio prevedeva che i partecipanti afferrassero oggetti di differenti dimensioni (5, 10, 20 e 40 mm), occludendo la visione non appena iniziava il comportamento di afferramento. Dimostrarono che il tempo dedicato all'osservazione dell'oggetto, che precedeva l'afferramento, era più lungo se il partecipante doveva afferrare un oggetto di dimensioni inferiori rispetto che uno più grande. Al fine di afferrare un oggetto di piccole dimensioni è necessaria una maggiore precisione e conseguentemente un maggiore intervallo temporale dedicato alla programmazione rispetto ad elementi di dimensioni superiori. In virtù della proposta strategia impiegata per afferrare, ci si aspetterebbe una maggiore precisione per l'afferramento di oggetti di piccole dimensioni e una progressiva riduzione della precisione all'incrementare delle dimensioni degli oggetti. Come evidenziato in figura 1.8, dai risultati di Uccelli e collaboratori, emerge un incremento della variabilità dell'MGA, e quindi una riduzione della precisione, all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto, fino ad una grandezza pari a 20 mm, ma una riduzione dell'errore per oggetti le cui dimensioni vanno da 20 mm a 40 mm.

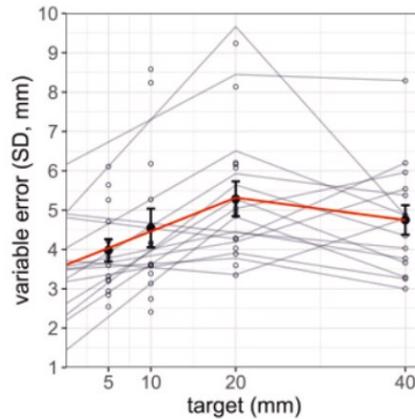


Figura 1.8 - Uccelli, S., Pisu, V. & Bruno, N. (2021). Precision in grasping: consistent with weber's law, but constrained by "safety margins". *Neuropsychologia*, 163.

Nel grafico è rappresentata la relazione tra la variabilità dell'MGA e la dimensione dell'oggetto: l'SD dell'MGA aumenta per oggetti le cui dimensioni vanno da 5 a 20 mm, e poi diminuisce (Uccelli et al., 2021).

Gli autori hanno proposto che questa riduzione dell'errore sia dovuta alla relazione tra il margine di sicurezza e la dimensione dell'oggetto; quando il margine di sicurezza del soggetto è prossimo alla dimensione dell'oggetto, la variabilità dell'MGA è ridotta rispetto ad una condizione in cui il margine di sicurezza è molto più grande delle dimensioni dell'oggetto in quanto, al fine di afferrare un elemento, è sempre necessario che l'MGA sia più grande dell'oggetto. Da ciò consegue che nella condizione in cui un soggetto debba afferrare un oggetto di dimensioni ridotte, l'MGA potrà variare molto di più rispetto ad una condizione in cui venga richiesto al soggetto di afferrare uno stimolo le cui dimensioni sono prossime a quelle del margine di sicurezza del soggetto. La proposta è stata dagli autori dimostrata evidenziando che la distribuzione della massima apertura della mano da simmetrica per oggetti di piccole dimensioni, diviene asimmetrica a destra (Uccelli et al., 2021).

## 1.5 La ricerca

Le proposte avanzate, le dimostrazioni fatte e gli studi condotti sopra riportati motivano questa ricerca. Il primo obiettivo è indagare la relazione tra l'MGA e la dimensione dell'oggetto che i partecipanti all'esperimento si accingono ad afferrare. Analogamente a quanto verificato da studi precedenti (Bruno et al., 2016; Ayala et al., 2018; Uccelli et al., 2021), ci aspettiamo di riscontrare un incremento dell'MGA all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto. Quando viene eseguito un compito di afferramento è necessario che la massima apertura della mano sia superiore alle dimensioni dell'oggetto; infatti, l'MGA è determinata dalle dimensioni dell'oggetto e da un margine di sicurezza, il quale garantisce l'efficienza del comportamento motorio. Il margine di sicurezza è colto dall'intercetta del modello lineare che descrive l'evoluzione della massima apertura in funzione delle dimensioni dell'oggetto da afferrare. La pendenza del modello lineare, invece, rappresenta il contributo della dimensione dell'oggetto all'MGA. Vogliamo individuare i due parametri del modello e misurare il margine di sicurezza di ciascun partecipante. Ci aspettiamo di riscontrare una maggiore variabilità nel margine di sicurezza rispetto che nel contributo della dimensione dell'oggetto all'MGA, dato che il margine di sicurezza può essere influenzato da vari fattori tra cui: lo stile di conduzione della presa e la velocità del movimento. In seguito, dato il ruolo del margine di sicurezza che ci aspettiamo di riscontrare, è nostro interesse indagare la relazione tra il margine di sicurezza e tre variabili: l'apertura pollice-indice della mano (HS, una misura proxy della grandezza della mano), il tempo di osservazione dell'oggetto precedente all'inizio del compito di afferramento (una misura assimilabile al tempo di reazione), e l'intervallo temporale intercorso tra l'inizio del movimento e l'MGA, al fine di comprendere se queste lo influenzino o modulino.

## **CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI**

### **2.1 Partecipanti**

Hanno partecipato allo studio 28 soggetti (19 femmine e 9 maschi), di età compresa tra i 20 e i 34 anni (media = 24.96; dev.st. = 3.19) per la maggior parte studenti dell'Università di Parma. Tutti i partecipanti avevano acuità visiva normale o corretta e tutti, eccetto uno, erano destrimani.

### **2.2 Etica**

Lo studio è stato condotto seguendo gli standard etici del Codice dei principi etici per la ricerca medica che coinvolge soggetti umani della World Medical Association (Dichiarazione di Helsinki), con gli standard etici del Collegio Italiano degli Psicologi e il Codice Etico per la ricerca psicologica della Società Italiana di Psicologia. Dato che lo studio non prevedeva trattamenti clinici o l'uso di apparecchiature biomediche con implicazioni cliniche, non è stata richiesta l'approvazione del comitato etico dell'ospedale di Parma.

### **2.3 Stimoli**

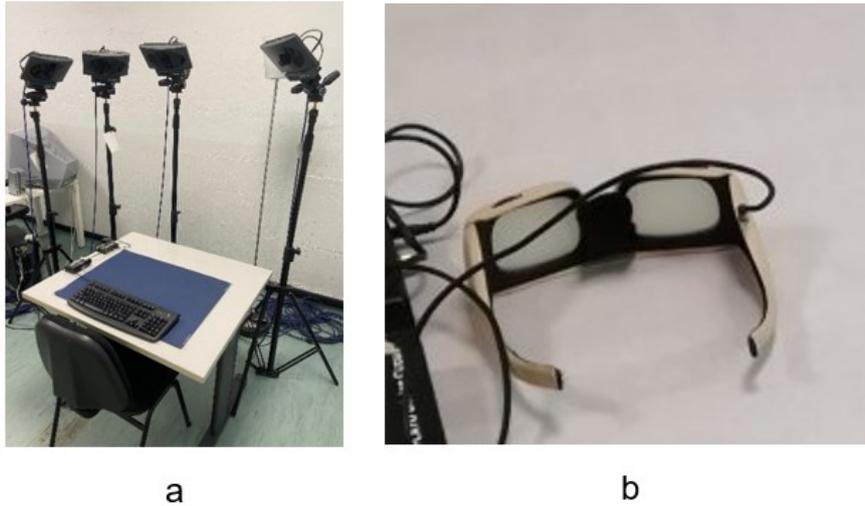
Gli stimoli utilizzati nello studio, visibili in figura 2.1, erano sei dischi (cilindri di legno bianchi) con uno spessore di 10 mm e con un diametro di differenti dimensioni: 5, 20, 40, 50, 60, 90 mm.



*Figura 2.1 - Fotografia degli stimoli impiegati per la conduzione dell'esperimento: 6 dischi di legno con diametro rispettivamente di 5, 20, 40, 50, 60, 90 mm, tutti di 1 cm di spessore.*

## 2.4 Strumentazione

La ricerca è stata svolta presso il laboratorio di cinematica del dipartimento di Medicina e Chirurgia dell'Università degli studi di Parma (Unità di Neuroscienze). All'interno del laboratorio erano presenti due computer fissi. Il primo, attraverso uno script Matlab, informava lo sperimentatore su quale stimolo presentare al partecipante, in ciascuna prova. Il secondo computer, attraverso un programma di acquisizione del movimento, consentiva di disporre delle registrazioni di ogni singola prova. La registrazione del movimento veniva operata grazie ad un sistema di quattro telecamere ad infrarossi BTS-SMART-DX 100 (frequenza di acquisizione media: 200 fps, accuratezza: <math><0.2\text{ mm}</math> su un volume di:  $2 \times 2 \times 2\text{ m}</math>) e l'applicazione di tre marker, sensibili agli infrarossi, posizionati sull'apice del pollice e dell'indice della mano destra e sul polso della medesima mano del partecipante. I soggetti erano seduti su una sedia regolabile posta su un lato di un tavolo rettangolare (80 x 90 cm), sul quale era posizionato un cartoncino blu. Sul cartoncino era disegnato un simbolo (+), che indicava il sito di posizionamento del target (figura 2.2 a). Sul tavolo, di fronte al partecipante, era collocata, inoltre, una tastiera. I partecipanti indossavano un paio di occhiali occludenti PLATO (Translucent Technologies Inc.), i quali consentono la visione o la sua occlusione a seconda di alcuni comandi eseguiti sulla tastiera (figura 2.2 b).$



*Figura 2.2 - A sinistra il setting sperimentale impiegato per la conduzione dell'esperimento. Il partecipante, seduto sulla sedia indossava gli occhiali PLATO (a destra). Le telecamere ad infrarossi BTS-SMART-DX 100 consentivano la registrazione del movimento.*

## 2.5 Disegno sperimentale

Ciascun partecipante veniva sottoposto ad una sessione sperimentale che prevedeva la presentazione di ciascuno dei sei stimoli 30 volte, per un totale di 180 presentazioni. La variabile indipendente del disegno sperimentale è, quindi, la dimensione del diametro dello stimolo che il partecipante doveva afferrare. L'afferramento veniva eseguito in una condizione a circuito aperto: il partecipante aveva la possibilità di osservare lo stimolo prima che incominciasse il movimento di presa, in seguito la vista veniva occlusa grazie agli occhiali PLATO e il comportamento di raggiungimento e afferramento veniva eseguito in cieco ("open-loop", Woodworth, 1899). La motivazione che giustifica questa scelta è la seguente: evitare l'alterazione del movimento precedentemente programmato a causa dell'intervento di aggiustamenti online del comportamento. Era richiesto al partecipante di procedere all'afferramento impiegando una presa di precisione, ovvero unicamente con il pollice e l'indice della mano destra. Le variabili dipendenti della ricerca sono: la massima apertura pollice-indice (MGA) durante l'esecuzione del compito, il

tempo dell'MGA e il tempo di osservazione dello stimolo precedente all'inizio del comportamento di afferramento (anche chiamato "preview reaction time").

## 2.6 Procedura

Prima dell'inizio dell'esperimento ciascun partecipante era sottoposto ad una breve sessione di prove, affinché familiarizzasse con il compito da svolgere. La procedura è schematizzata in figura 2.3. L'esperimento prevedeva che il partecipante raggiungesse e afferrasse lo stimolo che gli veniva presentato dallo sperimentatore. Il soggetto, seduto sulla sedia posta in prossimità del tavolo, poneva la mano destra in posizione di partenza: pollice e indice chiusi sulla barra spaziatrice della tastiera. Indossava gli occhiali PLATO, i quali, all'inizio di ciascuna prova erano traslucidi, e quindi impedivano la visione al partecipante. I soggetti attendevano il segnale di "via" dello sperimentatore. La consegna fornita era la seguente: "Dopo aver udito il segnale di avvio, premi la barra spaziatrice con pollice e indice chiusi, a qual punto vedrai l'oggetto che dovrai afferrare. In seguito, lascia la barra spaziatrice ed esegui l'afferramento, quanto più naturale e fluido possibile, dell'oggetto con una presa di precisione (con pollice e indice) e, infine, appoggia il disco lateralmente." Lo sperimentatore, dopo aver collocato lo stimolo nella corretta porzione del cartoncino posizionato sul tavolo, offriva al partecipante l'indicazione di avvio della prova. Udito il segnale, il soggetto premeva la barra spaziatrice. La pressione del tasto induceva l'apertura degli occhiali e quindi la possibilità di vedere l'oggetto. Dopo aver osservato l'oggetto il partecipante rilasciava la barra spaziatrice e si accingeva ad operare l'afferramento. Nel momento in cui il soggetto rilasciava il tasto della tastiera, gli occhiali si chiudevano, impedendo quindi la visione durante il raggiungimento e il contatto con l'oggetto. Nello stesso momento le telecamere incominciavano a registrare il movimento; la registrazione procedeva per 3 secondi. Dopo aver afferrato lo stimolo, il partecipante lo posizionava lateralmente sul tavolo, per

poi tornare in posizione di partenza. Un segnale sonoro informava della corretta registrazione della prova, offrendo quindi la possibilità di procedere con quella successiva. La procedura veniva ripetuta 180 volte: 30 presentazioni di ciascuno stimolo impiegato. L'ordine di presentazione degli stimoli era randomizzato. In seguito alla conduzione dell'esperimento, a ciascun soggetto è stato chiesto di aprire quanto più possibile, ma senza che questo implicasse uno sforzo, il pollice e l'indice della mano destra, ed è stata misurata la distanza tra l'apice delle due dita: questa misurazione ha fornito il valore dell'HS.



Figura 2.3 - Schematizzazione delle fasi della procedura sperimentale.

## 2.7 Validazione dei dati

In seguito all'acquisizione dei dati, la registrazione di ciascuna prova è stata sottoposta a revisione al fine di verificare che non fossero emerse problematiche o errori durante la registrazione del movimento. I dati, per ciascun partecipante, sono stati organizzati in un file Excel, e in seguito inseriti in uno script di R. Quest'ultimo ha consentito di disporre di informazioni relativamente alla traiettoria del pollice e dell'indice durante l'afferramento, al comportamento motorio in relazione al tempo impiegato e alla distanza tra le dita. Sulla base di queste informazioni consentiva il calcolo dell'MGA, del tempo impiegato per il suo raggiungimento, e del tempo di osservazione di ciascuno stimolo precedente all'afferramento, in ciascuna prova. Per considerare una registrazione buona e quindi

indicativa di un corretto movimento del partecipante, al fine dell'esperimento, era necessario che venissero rispettate due condizioni. La prima condizione è che le dita, in posizione di partenza, devono essere attaccate e quindi la distanza tra i marker rispettivamente collocati su pollice e indice deve essere di massimo 2 cm. In secondo luogo, era importante che fosse possibile riscontrare un unico picco MGA in ciascuna prova. In seguito, tutti i dati sono stati raccolti in un unico file Excel e poi sono stati analizzati con il software statistico R. Prima di indagare le proposte avanzate e verificare gli obiettivi prefissati, sono state svolte delle analisi preliminari. Abbiamo inizialmente eliminato i valori estremi (outliers) dall'insieme dei dati, utilizzando la seguente formula:

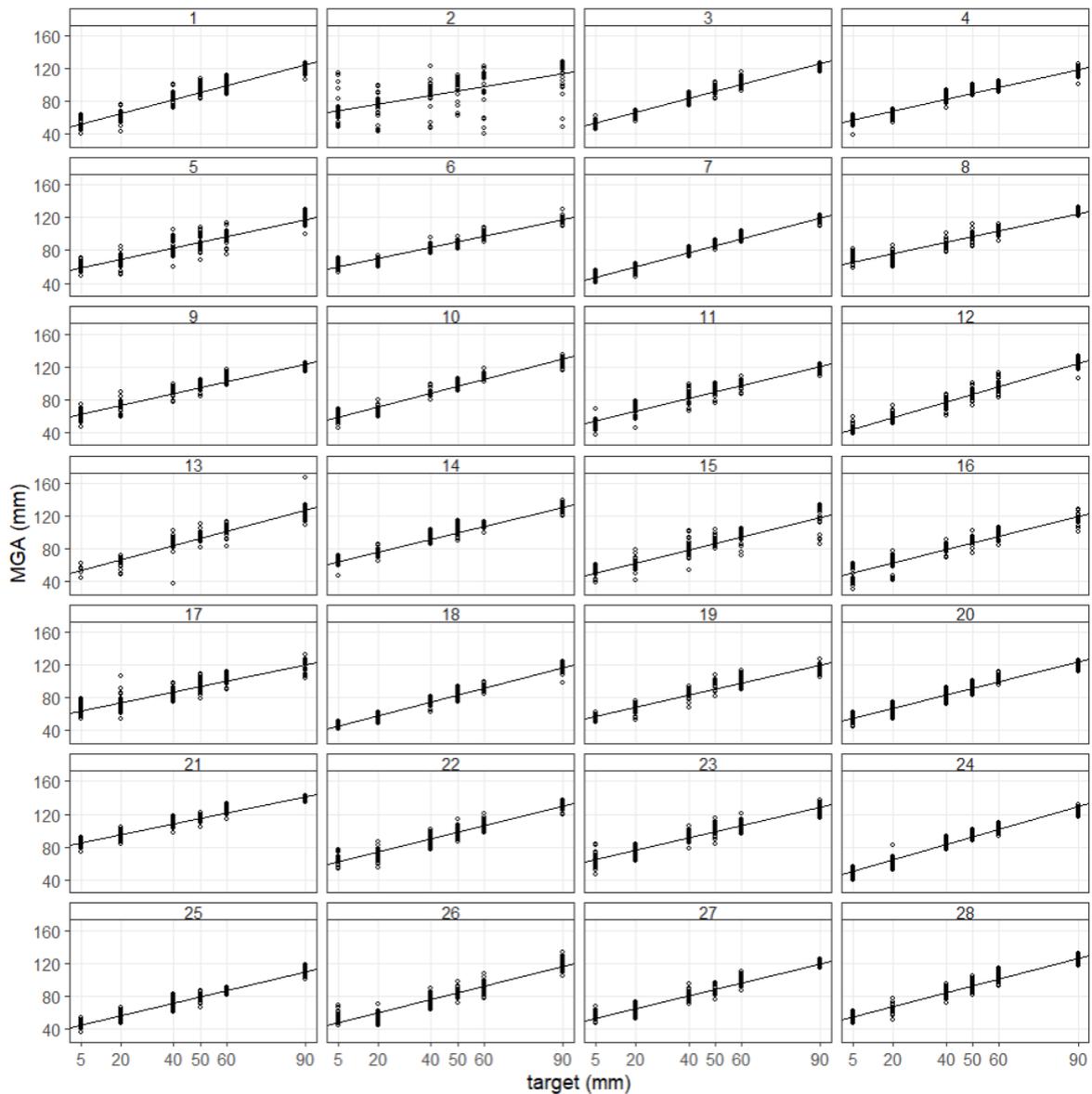
$$(Residui - Mediana) > 2.5 * IQR$$

Per ciascun partecipante sono stati calcolati i residui del modello che indaga la relazione tra l'MGA e la dimensione dell'oggetto e in seguito la sua mediana e il suo range interquartile (IQR). Sono stati eliminati i dati per i quali la differenza tra il valore residuo e la mediana era superiore a 2.5 volte il IQR. Questa analisi ha portato all'esclusione dalle successive indagini di circa lo 0.64% dei dati. In seguito, abbiamo eliminato i valori indicanti un tempo di MGA superiore a 2.5 secondi: affinché un movimento di afferramento possa considerarsi balistico, il soggetto dovrebbe impiegare massimo 2.5 secondi per raggiungere la massima apertura della mano. Infine, abbiamo escluso dalle nostre analisi le prove sperimentali nelle quali i partecipanti osservavano lo stimolo per più di 8 secondi, sufficiente intervallo temporale al fine di osservare e acquisire le informazioni visive utili per l'esecuzione del compito.

## CAPITOLO 3: RISULTATI

### 3.1 Analisi dei dati

Inizialmente è stata indagata la relazione tra l'MGA e la dimensione dell'oggetto. La figura 3.1 mostra, per ciascun partecipante, i valori MGA per ogni disco presentato.



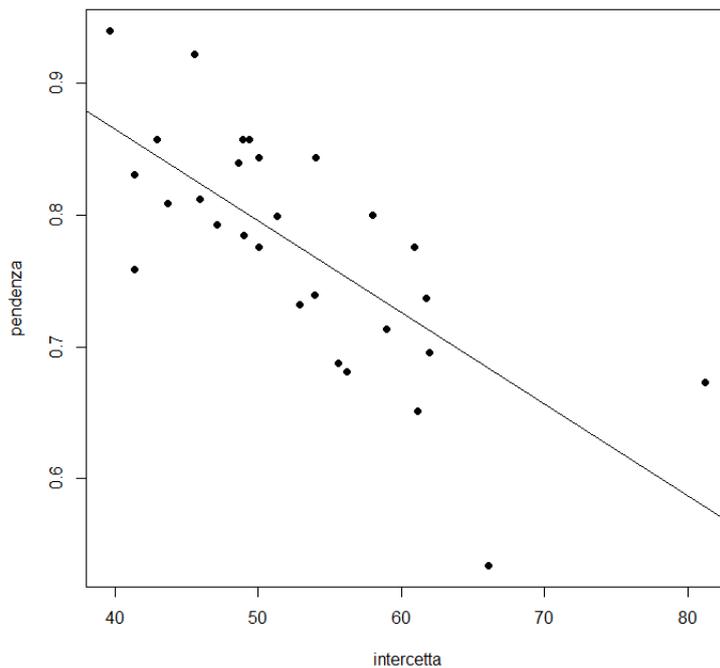
*Figura 3.1 - Rappresentazione della relazione tra l'MGA e la dimensione del disco per ciascun partecipante. In ascissa: le 6 dimensioni del disco (5, 20, 40, 50, 60, 90 mm); in ordinata: il valore MGA di ciascuna delle 30 prese effettuate per ciascun disco.*

In accordo con studi precedenti (Bruno et al., 2016; Heath et al., 2017; Uccelli et al., 2021) all'aumentare delle dimensioni dell'oggetto da afferrare incrementa linearmente l'MGA dei partecipanti. Dal grafico emerge una scarsa variabilità della relazione tra i soggetti: l'andamento del cambiamento della massima apertura, al variare delle dimensioni del disco, è simile in quasi tutti i partecipanti. L'unica eccezione si riscontra per il soggetto 2: come emerge dal grafico, quest'ultimo riporta una elevata variabilità nei valori della massima apertura, per l'afferramento di un disco di una particolare dimensione. È possibile, inoltre, notare, per questo partecipante, dati estremi e talvolta un'MGA la cui dimensione è inferiore alla grandezza del disco presentatogli. Considerando il campione nella sua totalità, la tabella 1 mostra la media e la deviazione standard della pendenza e dell'intercetta del modello lineare, in aggiunta ai valori minimo e massimo dei medesimi parametri.

<b>MGA ~ target</b>	Pendenza	Intercetta
Media	0.7766	52.7627
Deviazione standard	0.0872	9.01093
Minimo	0.5342	66.0468
Massimo	0.9398	81.2238

*Tabella 1 - Valori della media, della deviazione standard, del minimo e del massimo dell'intercetta e della pendenza del modello.*

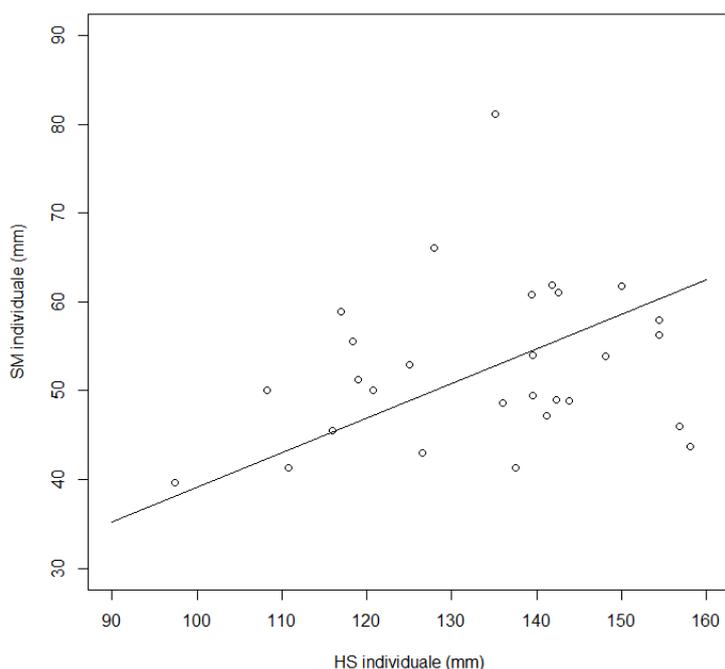
Come evidenziato in figura 3.2, è stato possibile riscontrare l'esistenza di una correlazione negativa di intensità moderatamente elevata ( $r = -0.7195962$ ) tra la pendenza e l'intercetta del modello che coglie la relazione tra la massima apertura della mano del partecipante durante un compito di afferramento e la dimensione dell'oggetto.



*Figura 3.2 - Rappresentazione della relazione tra l'intercetta e la pendenza del modello che coglie la relazione tra l'MGA e la dimensione dell'oggetto.*

In figura 3.3 è rappresentata la relazione tra il margine di sicurezza e l'HS per ciascun partecipante. Il margine di sicurezza individuale, un valore costante al variare delle dimensioni dell'oggetto, corrisponde all'intercetta del modello lineare che descrive l'evoluzione dell'MGA in funzione della dimensione dell'oggetto, per ciascun soggetto. L'HS è stato ricavato misurando la distanza tra il pollice e l'indice dei partecipanti. Il modello impiegato che coglie e meglio descrive la distribuzione dei dati è stato costruito sottraendo l'intercetta al modello lineare che indaga il potenziale ruolo predittivo dell'HS sul margine di sicurezza. La motivazione per la quale è stato adattato il modello descritto è la seguente: alla luce delle descrizioni del margine di sicurezza e dell'HS, non è possibile immaginare l'esistenza di un margine di sicurezza per un HS uguale a zero e quindi una mano assente. Il modello rivela una discreta relazione tra le due variabili, infatti all'aumentare di 1 mm dell'apertura pollice-indice della mano, il margine di sicurezza aumenta di circa 0.4 mm, la cui stima è affidabile e precisa (standard error =

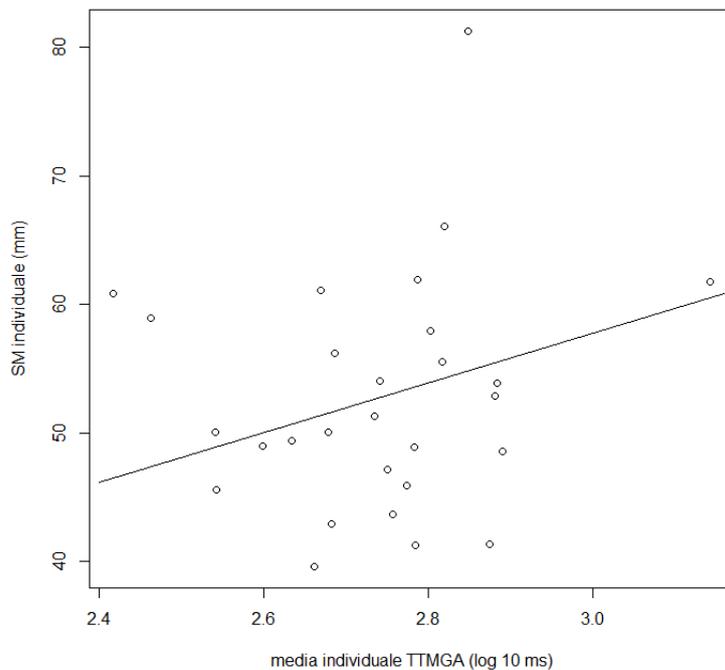
0.013). L'HS ha un effetto significativamente diverso da zero ( $p\text{-value} < 0.001$ ) sul margine di sicurezza, e spiega il 96% della sua variabilità. Al fine di sincerarci che la relazione evidenziata non dipendesse dall'outlier della distribuzione, il soggetto 21 (SM > 80 mm) abbiamo nuovamente svolto l'indagine descritta privando il campione di questo soggetto. I risultati hanno confermato la relazione precedentemente evidenziata, non determinando variazioni significative di essa.



*Figura 3.3 - Rappresentazione della relazione tra il margine di sicurezza e l'apertura pollice-indice dei soggetti sperimentali.*

La figura 3.4 mostra la relazione tra il margine di sicurezza dei partecipanti e l'intervallo temporale intercorso tra l'inizio del movimento di afferramento e il raggiungimento della massima apertura pollice-indice, nella prima fase di quest'ultimo. Preliminarmente all'indagine della relazione, abbiamo operato una trasformazione logaritmica della variabile temporale, data l'asimmetria della sua distribuzione. Abbiamo calcolato per ciascun soggetto la media del tempo di MGA, al fine di studiare la relazione tra

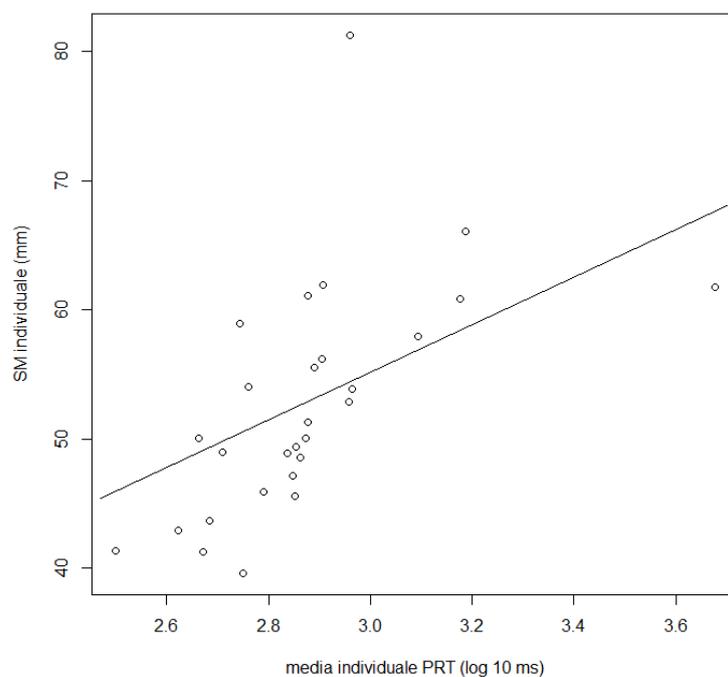
quest'ultimo e il margine di sicurezza. Analogamente a quanto fatto per la precedente analisi, abbiamo adattato ai dati il modello lineare della relazione tra il margine di sicurezza e la media del tempo dell'MGA espresso in unità logaritmiche, sottraendo ad esso la sua intercetta. La durata della prima fase dell'afferramento consente di spiegare il 97% della variabilità del margine di sicurezza. L'analisi statistica ha, inoltre, rivelato un effetto del tempo di MGA sul margine di sicurezza significativamente diverso da zero ( $p\text{-value} < 0.001$ ) evidenziando, mediamente, l'utilizzo di un maggiore margine di sicurezza all'incrementare della durata della prima fase dell'afferramento, la cui stima, operata dal modello, è precisa (standard error = 0.6241).



*Figura 3.4 - Rappresentazione della relazione tra il margine di sicurezza dei partecipanti e la media, di ciascun soggetto, del tempo di MGA, espresso in unità logaritmiche.*

In analogia a quanto indagato per l'HS e il tempo di MGA, abbiamo analizzato la relazione tra il margine di sicurezza e il tempo di osservazione dell'oggetto precedente all'inizio del movimento di raggiungimento e afferramento dell'oggetto. Abbiamo operato

una trasformazione logaritmica del tempo di osservazione data l'asimmetria della distribuzione dei dati e calcolato la media, per ogni partecipante, di esso. Abbiamo adattato ai dati il modello lineare della relazione tra il margine di sicurezza e il tempo di osservazione dell'oggetto precedente all'avvio dell'attività motoria, al quale è stata sottratta l'intercetta del modello stesso. La motivazione della scelta è analoga a quanto esposto precedentemente. Come rappresentato in figura 3.5, è possibile riscontrare una chiara relazione tra il margine di sicurezza e il tempo dedicato all'osservazione preliminare dell'oggetto ( $r = 0.6$ ): coloro che dedicano più tempo all'osservazione dell'oggetto, tendono ad essere caratterizzati da un maggiore margine di sicurezza nell'esecuzione dell'afferramento, la cui stima, operata dal modello, è affidabile (standard error = 0.4834). L'analisi statistica ha evidenziato un effetto del tempo di osservazione dell'oggetto sul margine di sicurezza significativamente diverso da zero ( $p$ -value < 0.001) e una quota pari al 98% della variabilità di quest'ultimo spiegata dal predittore.

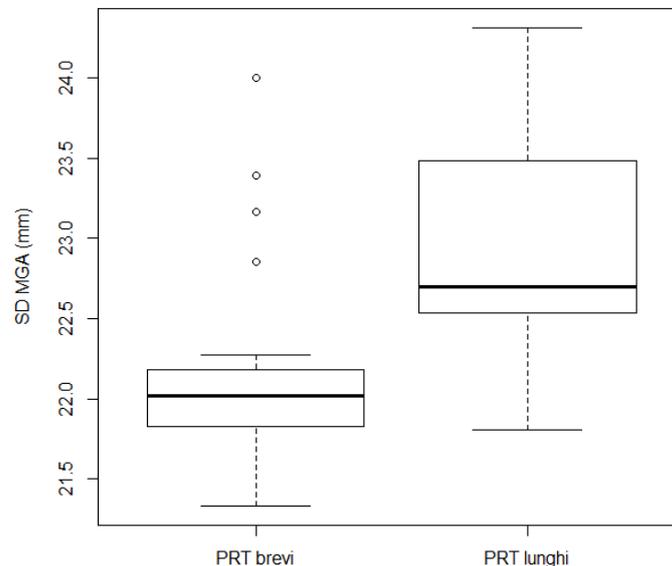


*Figura 3.5 - Rappresentazione della relazione tra il margine di sicurezza individuale e la media, di ciascun soggetto, del tempo di osservazione del disco, espressa in unità logaritmiche.*

In seguito, è stata condotta un'analisi di regressione multipla al fine di indagare l'effetto congiunto, sul margine di sicurezza dei tre predittori: HS, tempo dedicato all'osservazione preliminare dell'oggetto, durata della prima fase dell'afferramento. È stato adattato ai dati un modello lineare che consente di indagare l'effetto di ciascun predittore sul margine di sicurezza, indipendentemente dalla modulazione operata dagli altri due, al quale è stata sottratta l'intercetta. Il modello è stato così costruito alla luce della seguente considerazione: non è possibile individuare e definire un valore per il margine di sicurezza quando la dimensione della mano del partecipante è nulla e quindi la mano è assente, il tempo di osservazione dell'oggetto è uguale a zero e quindi quando quest'ultimo non viene osservato, il tempo dell'MGA è nullo e quindi l'attività motoria di raggiungimento e afferramento non è iniziata. L'effetto congiunto dei tre predittori consente di spiegare il 98% della variabilità del margine di sicurezza. Considerando i tre fattori congiuntamente, l'effetto di HS sul margine di sicurezza si annulla, mantenendo costanti i valori delle due variabili temporali. Analogamente, l'effetto dell'intervallo temporale dedicato al raggiungimento della massima apertura della mano sul margine di sicurezza, controllando l'HS e il tempo dedicato all'osservazione dell'oggetto, non risulta essere significativamente diverso da zero. Unicamente il tempo dedicato all'osservazione preliminare dell'oggetto ha un effetto significativamente diverso da zero sul margine di sicurezza (p-value = 0.01).

La figura 3.6 mostra le distribuzioni delle deviazioni standard dell'MGA per tempi di osservazione dell'oggetto brevi e lunghi. Abbiamo calcolato per ciascun soggetto la mediana del tempo di osservazione dell'oggetto e in seguito abbiamo categorizzato la variabile. Abbiamo classificato i tempi di osservazione in brevi e lunghi a seconda che fossero superiori o inferiori alla mediana. In seguito, per ciascun soggetto abbiamo calcolato le deviazioni standard dell'MGA per i tempi di osservazione brevi e lunghi. La deviazione standard dell'MGA tende ad essere maggiore e più variabile quando l'oggetto

viene osservato più a lungo. La deviazione standard mediana dell'MGA è maggiore per tempi di osservazione più lunghi.



*Figura 3.6 - Rappresentazione delle distribuzioni delle deviazioni standard dell'MGA per tempi di osservazione dell'oggetto più brevi (a sinistra) e più lunghi (a destra).*

### 3.2 Discussione dei dati

In questo studio è stato chiesto ai partecipanti di afferrare con una presa di precisione oggetti di differenti dimensioni che potevano osservare prima che la visione venisse rimossa non appena iniziato il movimento verso l'oggetto. Il movimento di afferramento consta di due differenti fasi; inizialmente il soggetto avvicina la mano all'oggetto con una velocità relativamente elevata aprendo progressivamente le dita (fase balistica), fino al raggiungimento della massima apertura. Successivamente il movimento rallenta consentendo un miglior controllo durante la chiusura delle dita sulla superficie dell'oggetto (fase di controllo). La strategia appena descritta consente al soggetto di non dover calcolare precocemente e precisamente le dimensioni dell'oggetto, ma di

avvicinarsi ad esso e controllare l'apertura delle dita in una fase successiva (Bruno et al., 2016).

L'MGA è determinata da due componenti: le dimensioni dell'oggetto e il margine di sicurezza. Abbiamo costruito un modello lineare per indagare la relazione tra la massima apertura della mano durante l'afferramento e la dimensione dell'oggetto. L'intercetta del modello rappresenta il margine di sicurezza, la sua pendenza coglie l'apertura della mano determinata dalla grandezza dell'oggetto. Abbiamo riscontrato una relazione di inversa proporzionalità tra la pendenza e l'intercetta del modello lineare: all'incrementare della grandezza dell'apertura della mano determinata dalle dimensioni dell'oggetto, diminuisce la grandezza del margine di sicurezza che le persone utilizzano per svolgere il compito. Quando le persone osservano l'oggetto che dovranno afferrare, stimano le sue dimensioni. Il risultato sembra suggerire che coloro che sottostimano la dimensione dell'oggetto rispetto alla sua reale grandezza, mentre lo osservano, tendono a ricorrere ad un margine di sicurezza maggiore rispetto alle persone che operano una stima più realistica delle dimensioni dell'oggetto. Se la dimensione dell'apertura della mano determinata dalla grandezza dell'oggetto è prossima alla sua dimensione reale, la persona non avrà la necessità di utilizzare un grande margine di sicurezza al fine di rendere efficace l'afferramento. Al contrario, se le persone che sottostimano la dimensione dell'oggetto non utilizzassero un margine di sicurezza maggiore, rischierebbero di avere un'apertura della mano insufficiente per afferrare l'oggetto.

Le informazioni visive di cui il soggetto dispone in seguito all'osservazione dell'oggetto inducono ad un'apertura pollice-indice della mano prossima all'80% delle dimensioni dell'oggetto (Smeets e Brenner, 1999). Questo aspetto, noto in letteratura, lo abbiamo riscontrato anche nella nostra indagine. Infatti, la pendenza media del modello lineare che coglie la relazione tra l'MGA e la dimensione del disco è pari a 0.7766. Abbiamo però riscontrato una rilevante eccezione: la pendenza del modello lineare del soggetto

12 è pari a 0.9398, prossima alla dimensione del disco, il margine di sicurezza di questo soggetto è di 39.6558, inferiore alla media del campione e il minore riscontrato. Lo studio della relazione tra l'MGA e l'oggetto aveva evidenziato una similarità dell'andamento tra quasi tutti i partecipanti, ad eccezione di uno, il soggetto 2, i cui valori MGA erano maggiormente variabili. La pendenza della retta che rappresenta la relazione tra MGA e dimensione dell'oggetto, per questo partecipante, è pari a 0.5342; il minore riscontrato. Questo aspetto potrebbe spiegare la maggiore variabilità, i valori estremi presenti nella sua distribuzione e le MGA inferiori alle dimensioni del disco.

Il principale fattore determinante l'MGA è il margine di sicurezza di ciascun partecipante, un valore costante colto dall'intercetta del modello lineare. Alla luce di quanto descritto ci si aspettava di riscontrare una maggiore variabilità relativamente al margine di sicurezza rispetto a quanto potesse variare, tra i soggetti, la pendenza. Le indagini hanno confermato la previsione (dev.st. margine di sicurezza = 9.0109, dev.st pendenza = 0.0871). Infatti, il margine di sicurezza può essere influenzato da diversi aspetti tra cui: la dimensione della mano della persona, la velocità di esecuzione del compito, il tempo dedicato all'osservazione dell'oggetto da afferrare e alla conseguente elaborazione delle informazioni visive. Nonostante non ci aspettassimo che una caratteristica anatomica potesse modulare la strategia motoria utilizzata per completare il compito, abbiamo riscontrato che coloro che hanno una mano più grande tendono a ricorrere ad un maggiore margine di sicurezza per svolgere l'afferramento. L'analisi condotta ha rivelato, inoltre, che un maggior margine di sicurezza caratterizza anche coloro che mediamente svolgono più lentamente la fase dell'afferramento che conduce all'apertura massima delle dita della mano. Questo aspetto potrebbe essere spiegato dalla seguente considerazione: la procedura sperimentale negava ai partecipanti la possibilità di osservare l'oggetto durante il raggiungimento e l'afferramento. Coloro che impiegano più tempo ad avvicinarsi allo stimolo potrebbero adottare una strategia motoria più cauta e

quindi un margine di sicurezza maggiore con il fine di evitare di rendere inefficace l'afferramento per un'apertura insufficiente della mano. L'analisi di regressione multipla ha però consentito di comprendere che l'effetto di queste variabili sul margine di sicurezza si annulla nella condizione in cui si considerino i loro effetti congiuntamente a quello esercitato dall'osservazione preliminare del disco. Il tempo dedicato all'osservazione dell'oggetto, che precede l'inizio del comportamento motorio, svolge, al contrario, un ruolo centrale e rilevante nella modulazione del margine di sicurezza. Avevamo ipotizzato che dedicare un maggiore intervallo temporale all'osservazione dell'oggetto consentisse di codificare con maggior precisione le sue informazioni, tra cui la dimensione, e conseguentemente conducesse alla tendenza a ricorrere ad un margine di sicurezza inferiore, data la possibilità di programmare con più precisione il raggiungimento e l'afferramento, rispetto ad un'osservazione più rapida dell'oggetto. Contrariamente alle nostre aspettative, l'indagine ha evidenziato che le persone che guardano più a lungo l'oggetto prima di iniziare il compito, tendono mediamente a ricorrere ad un maggior margine di sicurezza. Per questo motivo abbiamo studiato le distribuzioni delle deviazioni standard dell'MGA quando i soggetti dedicano un intervallo temporale breve o più lungo all'osservazione dell'oggetto. Abbiamo riscontrato un'MGA maggiore quando le persone osservano per più tempo l'oggetto prima di iniziare il compito. Dedicare più tempo all'osservazione preliminare dell'oggetto non riflette quindi un incremento della precisione della risposta; al contrario, è indicativo di una minore precisione. Una possibile spiegazione di questo risultato è le persone più insicure guardino per più tempo l'oggetto prima di afferrarlo e, per il medesimo motivo, adottino una strategia motoria più cauta per completare il compito e quindi ricorrano ad una maggiore MGA.

## CAPITOLO 4: CONCLUSIONE

In accordo con studi precedenti (Bruno et al., 2016; Heath et al., 2017; Uccelli et al., 2021) abbiamo ottenuto un effetto di modulazione della dimensione dell'oggetto sull'MGA, che incrementa all'aumentare della grandezza dell'oggetto da afferrare. Abbiamo riscontrato che l'elaborazione delle informazioni relative alla dimensione dell'oggetto inducono ad una apertura della mano prossima all'80% della dimensione dell'oggetto, in accordo con le previsioni di Smeets e Brenner (1999). La dimensione della massima apertura della mano, raggiunta nella prima fase dell'afferramento, è quindi determinata soprattutto dal margine di sicurezza. Il margine di sicurezza è un valore costante e individuale, colto dall'intercetta del modello lineare che indaga l'effetto della dimensione dell'oggetto sull'MGA. Abbiamo dimostrato che il margine di sicurezza è inversamente proporzionale alla dimensione dell'MGA determinata dalla grandezza dell'oggetto. Questa relazione potrebbe indicare che le persone che sottostimano la dimensione dell'oggetto, rispetto alla sua grandezza reale, utilizzano un margine di sicurezza più grande per rendere efficiente il loro afferramento. Al contrario, le persone che operano una stima realistica della dimensione dell'oggetto, non hanno necessità di ricorrere a questa strategia motoria.

I nostri risultati consentono, inoltre, di proporre l'esistenza di elementi implicati nella modulazione del margine di sicurezza. Abbiamo riscontrato un effetto modulatore sul margine di sicurezza di una caratteristica anatomica, la dimensione della mano, in particolare della distanza tra il pollice e l'indice: coloro che hanno una mano più grande, tendono a ricorrere ad un maggiore margine di sicurezza quando afferrano. Sembra quindi che coloro che hanno una mano più grande adottino una strategia motoria più cauta per completare il compito. Questo aspetto potrebbe essere spiegato dal fatto che, per chi ha una mano grande, gli oggetti sono in proporzione più piccoli che per chi ha

una mano di dimensioni inferiori. È possibile quindi che, i partecipanti con una mano più grande, abbiano valutato gli stimoli come piccoli durante l'osservazione e questa valutazione potrebbe averli indotti ad utilizzare una strategia motoria più cauta per completare il compito e quindi a ricorrere ad un margine di sicurezza maggiore.

Il margine di sicurezza tende, inoltre, ad essere maggiore in coloro che svolgono più lentamente la prima fase dell'afferramento, ovvero quella che conduce alla massima apertura della mano. L'intervallo temporale intercorso tra l'inizio del movimento e il contatto con l'oggetto è maggiore per chi dedica più tempo alla prima fase dell'afferramento. Durante l'esperimento i soggetti potevano vedere lo stimolo solo fino a quando non iniziavano l'attività motoria. Dedicare più tempo alla prima fase dell'afferramento, vuol dire far passare più tempo tra l'osservazione dello stimolo e il contatto con esso. Per questo motivo, le informazioni sulle caratteristiche dell'oggetto, acquisite precedentemente, potrebbero essere meno dettagliate. Questo aspetto potrebbe indurre le persone a ricorrere ad un margine di sicurezza maggiore, al fine di essere sicure di svolgere un afferramento efficiente.

L'effetto più rilevante e critico, sul margine di sicurezza, nel nostro studio, sembra essere esercitato dal tempo dedicato all'osservazione del disco preliminare all'inizio del compito: coloro che dedicano più tempo all'osservazione dell'oggetto, tendono a ricorrere, mediamente, all'utilizzo di un maggiore margine di sicurezza nell'afferramento. L'analisi di regressione multipla ha suggerito che la grandezza del margine di sicurezza dipenda soprattutto dal tempo di osservazione dell'oggetto, indipendentemente dalla dimensione della mano e dalla durata della prima fase dell'afferramento. Questo risultato suggerisce che dedicare più tempo all'osservazione dell'oggetto da afferrare e all'elaborazione delle informazioni percepite, induce ad utilizzare un maggiore margine di sicurezza e quindi a svolgere il compito adottando una strategia motoria più cauta.

Abbiamo riscontrato che dedicare più tempo all'osservazione dell'oggetto, non riflette una maggiore precisione nell'afferramento, bensì una minore precisione. Infatti, quando le persone guardavano più a lungo l'oggetto, ricorrevano ad una maggiore MGA per completare il compito. Le persone che osservano più a lungo l'oggetto potrebbero essere persone più insicure di coloro che vi dedicano meno tempo. Proprio per questo motivo potrebbero utilizzare una maggiore MGA al fine di essere sicure di rendere efficiente il proprio afferramento.

In conclusione, lo studio condotto ha offerto la possibilità di indagare quali elementi potessero modulare la dimensione del margine di sicurezza. I risultati ottenuti consentono di proporre una criticità nella determinazione del margine di sicurezza di aspetti di natura anatomica, strategica ed inerenti l'elaborazione delle informazioni sullo stimolo.

## BIBLIOGRAFIA

Ayala, N., Binsted, G., & Heath, M. (2018). Hand anthropometry and the limits of aperture separation determine the utility of Weber's law in grasping and manual estimation. *Experimental Brain Research*, 236 (8), 2439-2446.

Bálint, R. (1909). Seelenlähmung des "Schauens", optische ataxie, räumliche störung der aufmerksamkeit. *European Neurology*, 25, 67-81.

Bootsma, R. J., Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., & Zaal, F. T. J. M. (1994). The speed-accuracy trade-off in manual prehension: effects of movement amplitude, object size and object width on kinematic characteristics. *Experimental Brain Research*, 98 (3), 535-541.

Bruno, N. (2021). *Introduzione alla psicologia della percezione visiva. Come facciamo a vedere*. Bologna: Il Mulino.

Bruno, N., Uccelli, S., Viviani, E., & de'Sperati, C. (2016). Both vision-for-perception and vision-for-action follow weber's law at small object sizes, but violate it at larger sizes. *Neuropsychologia*, 91, 327-334.

Chen, J., Snow, J. C., Culham, J. C., & Goodale, M. A. (2018). What role does "Elongation" play in "Tool-specific" activation and connectivity in the dorsal and ventral visual streams? *Cerebral Cortex*, 28 (4), 1117-1131.

Clark, A. (2001). Visual experience and motor action: Are the bonds too tight? *Philosophical Review*, 110 (4), 495-519.

Fechner, G. T., Howes, D. H., & Boring, E. G. (1966). *Elements of psychophysics*, 1. New York: Holt, Rinehart and Winston.

- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47 (6), 381-391.
- Franz, V. H., & Gegenfurtner, K. R. (2008). Grasping visual illusions: Consistent data and no dissociation. *Cognitive Neuropsychology*, 25 (7), 920-950.
- Ganel, T., Chajut, E., & Algom, D. (2008a). Visual coding for action violates fundamental psychophysical principles. *Current Biology*, 18 (14), 599-601.
- Ganel, T., Chajut, E., Tanzer, M., & Algom, D. (2008b). Response: when does grasping escape weber's law? *Current Biology*, 18 (23), 1090-1091.
- Ganel, T., & Goodale, M. A. (2003). Visual control of action but not perception requires analytical processing of object shape. *Nature*, 426 (6967), 664-667.
- Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Göhringer, F., Löhr-Limpens, M., Hesse, C., & Schenk, T. (2019). Grasping discriminates between object sizes less not more accurately than the perceptual system. *Vision*, 3 (36).
- Goldenberg, G. (2014). Apraxia – The cognitive side of motor control. *Cortex*, 57, 270-274.
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 349 (6305), 154-156.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15 (1), 20-25.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (2018). Two visual pathways - where have they taken us and where will they lead in future? *Cortex*, 98, 283-292.

Heath, M., Manzone, J., Khan, M., & Davarpanah Jazi, S. (2017). Vision for action and perception elicit dissociable adherence to weber's law across a range of 'graspable' target objects. *Experimental Brain Research*, 235 (10), 3003-3012.

Heath, M., Mulla, A., Holmes, S. A., & Smuskowitz, L. R. (2011). The visual coding of grip aperture shows an early but not late adherence to Weber's law. *Neuroscience Letters*, 490 (3), 200-204.

Hesse, C., Harrison, R. E., Giesel, M., & Schenk, T. (2021). Bimanual grasping adheres to weber's law. *I-Perception*, 12 (6), 1-16.

Holmes, S. A., & Heath, M. (2013) Goal-directed grasping: the dimensional properties of an object influence the nature of the visual information mediating aperture shaping. *Brain and Cognition*, 82 (1), 18-24.

Holmes, S. A., Lohmus, J., McKinnon, S., Mulla, A., & Heath, M. (2013). Distinct visual cues mediate aperture shaping for grasping and pantomime-grasping tasks. *Journal of Motor Behavior*, 45 (5), 431-439.

James, T. W., Culham, J., Humphrey, G. K., Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2003). Ventral occipital lesions impair object recognition but not object-directed grasping: A fMRI study. *Brain*, 126 (11), 2463-2475.

Jeannerod, M., Arbib, M. A., Rizzolatti, G., & Sakata, H. (1995). Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in Neurosciences*, 18 (7), 314-20.

Karnath, H. O., & Perenin, M. T. (2005). Cortical control of visually guided reaching: Evidence from patients with optic ataxia. *Cerebral Cortex*, 15 (10), 1561-1569.

Lashley, K. S. (1948). The mechanism of vision: XVIII. Effects of destroying the visual "associative areas" of the monkey. *Genetic Psychology Monographs*, 37, 107-166.

Manzone, J., Davarpanah Jazi, S., Whitwell, R. L., & Heath, M. (2017). Biomechanical constraints do not influence pantomime-grasping adherence to weber's law: a reply to Utz et al. (2015). *Vision Research*, 130, 31-35.

McIntosh, R. D., McClements, K. I., Schindler, I., Cassidy, T. P., Birchall, D., & Milner, A. D. (2004). Avoidance of obstacles in the absence of visual awareness. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271 (1534), 15-20.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. New York: Oxford University Press.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2006). *The visual brain in action* (2nd ed.). Oxford: Oxford University Press.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46 (3), 774-785.

Milner, A. D., Perrett, D. I., Johnston, R. S., Benson, P. J., Jordan, T. R., Heeley, D. W., Bettucci, D., Mortara, F., Mutani, R., Terazzi, E., & Davidson, D. L. W. (1991). Perception and action in 'visual form agnosia'. *Brain*, 114 (1), 405-428.

Mishkin, M. (1982). A memory system in the monkey. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 298 (1089), 85-95.

Mishkin, M. (1972). Cortical visual areas and their interactions. In: Karczmar, A. G., & Eccles, J. C. (Eds.), *Brain and Human Behavior* (pp 187-208). Berlino: Springer-Verlag.

Mishkin, M., Lewis, M. E., & Ungerleider, L. G. (1982). Equivalence of parieto-preoccipital subareas for visuospatial ability in monkeys. *Behavioural Brain Research*, 6, 41-55.

Mishkin, M., & Ungerleider, L. G. (1982). Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys. *Behavioural Brain Research*, 6 (1), 57-77.

Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414-417.

Mishkin, M. (1954). Visual discrimination performance following partial ablations of the temporal lobe: II. Ventral surface vs hippocampus. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 47 (3), 187-193.

Navon, G., & Ganel, T. (2020). Consciously monitored grasping is vulnerable to perceptual intrusions. *Consciousness and Cognition*, 85.

Niechwiej-Szwedo, E., Cao, M., & Barnett-Cowan, M. (2022). Binocular viewing facilitates size constancy for grasping and manual estimation. *Vision*, 6 (2).

Ozana, A., & Ganel, T. (2019). Weber's law in 2d and 3d grasping. *Psychological Research*, 83 (5), 977-988.

Pandya, D. N., & Kuypers, H. G. (1969). Cortico-cortical connections in the rhesus monkey. *Brain Research*, 13 (1), 13-36.

Pohl, W. (1973). Dissociation of spatial discrimination deficits following frontal and parietal lesions in monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 82 (2), 227-239.

Rennig, J., Karnath, H. O., Cornelsen, S., Wilhelm, H., & Himmelbach, M. (2018). Hemifield coding in ventral object sensitive areas - Evidence from visual hemiagnosia. *Cortex*, 98, 149-162.

Smeets J. B. J., & Brenner E. (2006). 10 years of illusions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32 (6), 1501-1504.

Smeets, J. B. J., & Brenner, E. (1999). A new view on grasping. *Motor Control*, 3 (3), 237-271.

Smeets, J. B. J., & Brenner, E. (2008). Grasping weber's law. *Current Biology*, 18 (23), 1089-1090.

Smeets, J. B. J., & Brenner, E. (1995). Perception and action are based on the same visual information: distinction between position and velocity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 19-31.

Turner, B. H., Mishkin, M., & Knapp, M. (1980). Organization of the amygdalopetal projections from modality-specific cortical association areas in the monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 191 (4), 515-543.

Uccelli, S., Pisu, V., & Bruno, N. (2021). Precision in grasping: consistent with weber's law, but constrained by "safety margins". *Neuropsychologia*, 163.

Utz, K. S., Hesse, C., Aschenneller, N., & Schenk, T. (2015). Biomechanical factors may explain why grasping violates weber's law. *Vision Research*, 111, 22-30.

Woodworth, R. S. (1899). The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review: Monograph Supplements*, 3 (3), 1-114.