



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA**

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

**L' INFLUENZA DELL' ILLUSIONE DI UZNADZE  
SULL' AFFERRAMENTO CON O SENZA VISIONE**

**Relatore (o Relatori):**

*Chiar.mo Prof. NICOLA BRUNO*

**Controrelatore:**

*Chiar.mo Prof. STEFANO UCCELLI*

**Laureanda:**

*ROSARIA FRONS*

**ANNO ACCADEMICO 2021 - 2022**

# INDICE

1. SOMMARIO.....	pag. 3
2.INTRODUZIONE.....	pag. 4
3. METODO.....	pag.15
3.1 PARTECIPANTI.....	pag.15
3.2 MATERIALI E PROCEDURE.....	pag.15
3.3 ANALISI STATISTICA.....	pag.20
4. RISULTATI.....	pag.27
5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	pag.36
6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	pag.40

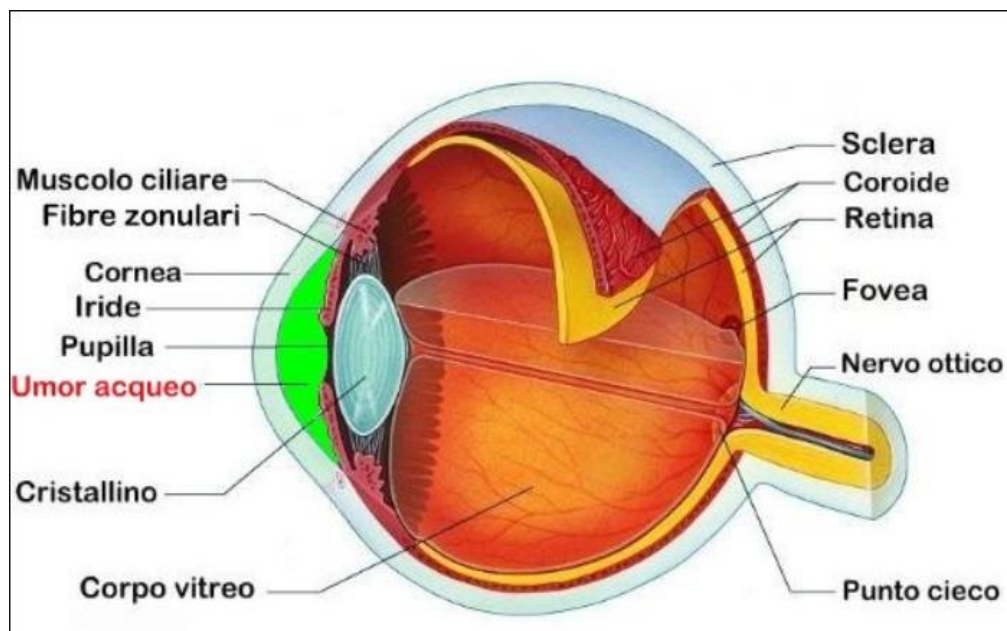
## SOMMARIO

Il presente lavoro di ricerca rientra nel dibattito riguardante l'influenza delle illusioni visive sull'afferramento di oggetti in partecipanti sani. L'illusione visiva a cui i partecipanti dell'esperimento sono stati sottoposti è stata l'illusione di Uznadze, in cui lo stesso stimolo di dimensione medie viene percepito più grande o più piccolo dopo la presentazione di uno stimolo più piccolo o più grande. Da studi precedenti è stata dimostrata l'influenza di tale illusione su compiti di afferramento quando ai partecipanti veniva rimossa la visione durante il movimento. In questa tesi si è voluto valutare l'effetto dell'illusione in un compito in piena visione. Il compito consisteva nell'afferrare con pollice e indice stimoli bersaglio in due condizioni diverse: una presa a circuito aperto (in cui la visione era assente) e una presa a circuito chiuso (con visione). L'influenza dell'illusione sull'afferramento è stata valutata misurando la massima apertura raggiunta dal pollice e indice attraverso la registrazione della cinematica. La previsione principale in linea con la letteratura era che l'effetto dell'illusione dovesse ridursi quando i partecipanti afferravano in piena visione. I risultati hanno rivelato come non ci sia una differenza sostanziale tra le due condizioni; nonostante il feedback visivo, che contribuisce all'aggiustamento dell'apertura delle dita durante il movimento, i partecipanti sono influenzati dall'illusione di contrasto di Uznadze. Questi risultati aggiungono importanti spunti al dibattito sul come le informazioni visive vengono sfruttate in azioni dirette ad uno scopo.

# INTRODUZIONE

Le neuroscienze cognitive studiano i substrati neurobiologici implicati nei diversi processi mentali. La psicologia della percezione, uno degli ambiti di ricerca che caratterizzano la psicologia, è il settore in cui rientra il presente lavoro di tesi.

La percezione visiva è un processo che origina dalla proiezione di qualsiasi oggetto nello spazio (stimolo distale) sulla retina (stimolo prossimale). Prima di inoltrarsi nella lettura della letteratura presentata, giungendo a parlare di percezione, è importante fornire delucidazioni sul sistema visivo umano.



*Figura 1 anatomia occhio umano*

L'occhio è un organo di forma sferica, una sfera piena di liquido delimitata da tre strati di tessuto. Lo strato più interno è chiamato retina ed è l'unico a possedere fotorecettori in grado di occuparsi della trasduzione del segnale luminoso in segnale elettrico. I raggi luminosi oltrepassano la cornea, una lente trasparente, e prima di colpire la retina passano attraverso due ambienti liquidi diversi. Lo spazio tra il cristallino e la cornea è chiamato camera anteriore e contiene umore acqueo (liquido che fornisce sostanze nutritive alle strutture); l'umore acqueo è prodotto dai processi ciliari nella camera posteriore (regione situata tra il cristallino e

l'iride) e fluisce nella camera anteriore attraverso la pupilla. Lo spazio compreso tra la parte posteriore del cristallino e la superficie della retina è chiamato camera vitrea e contiene umore vitreo che ha il compito di rimuovere impurità che potrebbero ostacolare il passaggio della luce. Il cristallino, la seconda lente presente nell'occhio, può modificare la propria forma, cambia indice di rifrazione, un meccanismo denominato accomodazione ed è responsabile della messa a fuoco degli oggetti. Infine la luce colpisce la retina, una sottile membrana multistrato che contiene una complessa rete neurale; in essa ci sono le cellule gangliari i cui assoni formano il nervo ottico indispensabile per il trasferimento dell'informazione visiva verso la corteccia cerebrale.

La retina è una struttura comparabile a una lamina sottile il cui spessore varia circa da 1/10 a 4/10 di mm a seconda della posizione. Ricopre la parte posteriore dell'occhio ed è costituita da dieci strati; è sufficiente, ai fini dell'indagine, focalizzarsi solo su due strati, quello contenente fotorecettori e la sezione in cui sono presenti le cellule gangliari. I fotorecettori sono cellule nervose che trasformano l'energia luminosa in un segnale neurale (trasduzione); ci sono due tipologie di fotorecettori: i coni (suddivisi in corti, medi e lunghi) e i bastoncelli. I primi funzionali per la visione fotopica (diurna), i secondi attivi in assenza di fonti luminose (visione scotopica). Le cellule gangliari, i cui assoni formano il nervo ottico, originano dall'emiretina nasale o temporale; a livello del chiasma ottico le cellule provenienti dall'emiretina nasale si incrociano e cambiano traiettoria (decussazione).

Il processo di visione, partendo dalla retina, si articola in due vie parallele: la via retinogenicolata-striata (verso la corteccia visiva primaria) e la via visiva extrastriata (verso la corteccia extrastriata). La via striata è suddivisa in ulteriori due percorsi denominati 'via dorsale' e 'via ventrale'; la prima termina la sua corsa verso la corteccia parietale posteriore, la seconda giunge alla corteccia visiva inferotemporale.

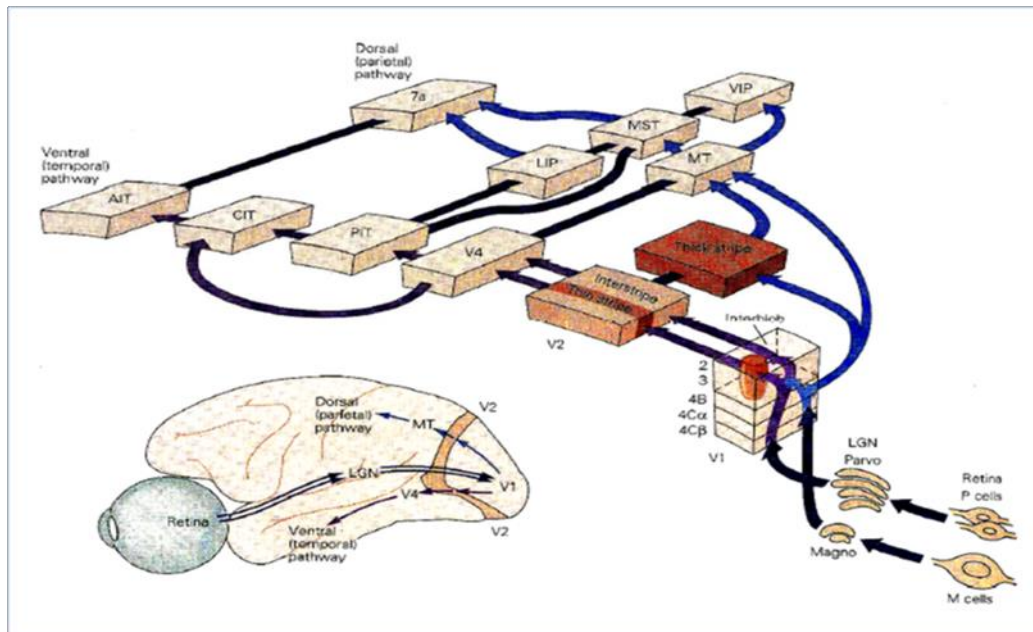


Figura 2 schema del percorso della via ventrale e via dorsale

Il processo di percezione è responsabile della costruzione dei contenuti della nostra esperienza cosciente (i percetti). Tale processo ha due specifiche funzioni (Koffka, 1935):

- Funzione qualitativa: si occupa del riconoscimento di forme, colori e significato.
- Funzione cognitiva: rende possibile l'interazione con l'ambiente, utilizzo delle informazioni visive per programmare e guidare le azioni.

La visione è una delle modalità con cui l'organismo entra in relazione con l'ambiente. Il concetto di stimolo ambientale è di natura sistemica e relazionale, emerge dalla relazione tra individuo e ambiente; un qualsiasi elemento per essere 'stimolante' è necessario che venga captato dai meccanismi sensoriali dell'organismo stesso. La visione è sempre un processo attivo, un processo di ricostruzione del mondo esterno; l'azione è una modalità per acquisire informazioni sul mondo esterno e per interfacciarsi con esso. Si definisce il concetto di 'ciclo percezione-azione', funzioni inestricabili.

I percetti, gli oggetti che popolano la nostra coscienza, non sono il riscontro oggettivo della realtà esterna, ma la ricostruzione del mondo in base al punto di vista. Le illusioni visive sono definite casi limite, in cui la percezione non rispecchia le conoscenze esplicite e il sistema

visivo viene tratto in inganno. È possibile che il soggetto possa essere consapevole di tale inganno, ma allo stesso tempo non possa fare a meno di percepirlo. Le illusioni sono un argomento affascinante, dimostrano la fallibilità di sistemi che spesso si tende a giudicare perfetti.

Nel presente lavoro di tesi, l'illusione a cui i partecipanti dell'esperimento sono stati sottoposti è stata una versione visiva dell'illusione di Uznadze (1966). L'illusione di Uznadze si basa su contrasto di grandezza nella modalità tattile. Usando una pallina da tennis, due palline da ping-pong e una biglia è possibile replicare l'illusione. Si istruisce il partecipante ad avere gli occhi chiusi mentre su un palmo della sua mano viene posizionata la pallina da tennis e sull'altro la biglia. Il partecipante ha il compito di tastare tali oggetti e ripete la sequenza per venti volte. Durante la ventunesima prova su ciascun palmo saranno posizionate palline da ping-pong aventi la stessa grandezza. Al partecipante bendato viene chiesto se le palline abbiano la stessa grandezza, ma si nota come il soggetto percepisca la pallina più piccola se precedentemente il palmo di quella mano aveva tastato la pallina da tennis (più grande), mentre percepisce la pallina più grande se precedentemente il palmo della mano aveva manipolato la biglia. L'illusione di Uznadze dimostra che la grandezza tattile di un oggetto non dipende dall'intensità fisica assoluta dello stimolo, ma dalla relazione fra due intensità diverse. Questo concetto è riassumibile nella definizione di principio di determinazione relazionale. Un altro importante fattore è la variabile temporale; il soggetto dopo aver toccato per molte volte lo stesso oggetto diventa meno sensibile ad esso.

Nell'esperimento ideato da Kappers e Bergmann-Tiest (2014) è stato testato se la forma dello stimolo potesse influenzare l'effetto dell'illusione di Uznadze. Se l'effetto collaterale negli esperimenti con le sfere è dovuto alla curvatura della pallina, è legittimo supporre che dopo l'adattamento alle sfere l'effetto collaterale diminuisca se viene usato come test un tetraedro. I risultati dimostrano che l'effetto collaterale delle dimensioni tattili dipende chiaramente dalla

forma, in particolare dalla combinazione di forme utilizzate. Se gli oggetti di adattamento e gli oggetti di prova hanno la stessa forma (sferica o tetraedrica) l'effetto è molto significativo; diminuisce se gli stimoli del test sono diversi. L'illusione di Uznadze è stata testata anche nel sistema visivo presentando al computer un disco grande e un disco piccolo a destra e a sinistra (o viceversa) di un punto di fissazione. Questi dischi 'inducenti' venivano fatti apparire e sparire rapidamente in sequenza, per poi venire sostituiti da due dischi uguali di dimensione media. I partecipanti hanno giudicato più grande il disco preceduto dall'inducente piccolo, e viceversa. Questo studio (Bruno, Garofalo, Daneyko, e Riggio, 2018) ha dimostrato che l'illusione di Uznadze genera un forte contrasto temporale nella grandezza percepito anche nella visione.

Inoltre, è stato dimostrato da Matsumiya (2012) che l'espressione del viso neutro è stata giudicata più felice dopo l'adattamento ad una espressione triste piuttosto che dopo l'adattamento a un'espressione felice. I volti, in particolare le espressioni facciali, sono esempi lampanti di elaborazione di forme che coinvolge le aree corticali come il giro frontale inferiore, il lobo parietale e il solco temporale superiore. In questi esperimenti la variabile temporale acquista un valore essenziale, una sua corretta manipolazione determina un diverso grado di adattamento agli stimoli.

#### *La teoria dei due sistemi visivi di Milner e Goodale*

Scopo del presente lavoro di tesi è la valutazione della suscettibilità della via dorsale alla presentazione di illusioni visive nella condizione in cui il soggetto abbia informazioni visive durante l'esecuzione del movimento. Prima di giungere alla descrizione di tale progetto è necessario presentare la teoria dei due sistemi visivi (two-visual-systems hypothesis, TVSH) di Milner e Goodale (1992). I ricercatori sottolineano come da evidenze neuropsicologiche, elettrofisiologiche e da analisi comportamentali, sia legittimo supporre la presenza di un diverso substrato neurale per compiti di mera percezione visiva e compiti di visione impiegata



in comportamenti motori, azioni. Lo studio dei deficit comportamentali associati a lesioni della corteccia inferotemporale e della corteccia parietale posteriore, in pazienti umani e in modelli animali, convengono nel suggerire come la prima sia importante per la percezione cosciente e il riconoscimento, mentre una lesione della seconda comporti deficit di elaborazione spaziale. Pazienti con agnosia visiva riconoscono un utensile presentato, ma sono incapaci di usarlo nel giusto modo; pazienti con atassia ottica dichiarano di non riconoscere l'oggetto presentato ma dimostrano di saperlo utilizzare con cognizione di causa. I ricercatori denominano tali processi 'via del cosa' (identificata nella via ventrale) e 'via del come' (via dorsale). Nel 2007 Milner e Goodale riformulano la loro teoria, sostenendo che i due processi visivi codificano gli stessi input, ciò che cambia sono i sistemi di output. Si parla di 'visione per percezione' e 'visione per azione'. Si sottolinea come le informazioni visive vengano trasformate da sistemi diversi in virtù di scopi diversi.

Molteplici sono le critiche rivolte a questa teoria; la maggior parte di esse verte su un'interpretazione errata e ambigua dei risultati a causa di una mancata precisione nel definire il concetto di percezione e azione. Ad esempio, i ricercatori Rossetti, Pisella e McIntosh (2017) affermano che una teoria della mente basata sulla doppia dissociazione tra funzioni visuo-motorie e percettive non sia sostenibile. Le dissociazioni proposte sono riscontrabili ad un livello elementare di azione, si sottolinea la necessità di considerare il ciclo 'percezione-azione'.

Westwood e Goodale (2003) presentano un lavoro basato sulla percezione visiva e controllo in tempo reale. I meccanismi visuo-motori dedicati al controllo dell'azione in tempo reale sono attivati quando il bersaglio verso cui tale azione è indirizzata è visibile. Sono sistemi che misurano con attenzione la metrica degli stimoli distali e quindi resistono alle illusioni di contrasto delle dimensioni. In situazioni in cui il bersaglio è occluso, cioè non è visibile, si pianifica il movimento sulla base di informazioni contestuali di tipo ventrale. Il controllo del

movimento di afferramento dipende da meccanismi visuo-motori che risiedono nella corteccia parietale posteriore facenti parte del flusso visivo dorsale (Goodale e colleghi, 1991; Jeannerod e colleghi, 1995; Binkofski e colleghi, 1998; Sakata e colleghi, 1998). Studi psicofisici su soggetti sani hanno dimostrato che le illusioni basate sulla dimensione percettiva influenzano la metrica delle azioni guidate dalla memoria, ma non necessariamente le metriche delle loro controparti visive durante l'azione (Wong e Mack, 1981; Bridgeman e colleghi, 1997; Hu e Goodale, 2000; Westwood et al., 2000). Questi risultati suggeriscono l'esistenza di due modalità di controllo dell'azione diretta verso oggetti nello spazio: una modalità 'off-line' basata sull'attivazione di meccanismi percettivi risiedenti nella via ventrale, e una modalità 'on-line' avente come substrato neurale la via dorsale. Basandosi su questi assunti la visione di un oggetto nello spazio elicitava nel soggetto la programmazione di schemi motori che decadono velocemente qualora tale oggetto non sia più visibile; si sottolinea un'assenza di 'memoria' del sistema dorsale (Westwood e Goodale, 2003). Quando l'oggetto da afferrare è occluso alla vista il sistema motorio genera un programma di movimento utilizzando le informazioni codificate dalla via ventrale; si basano su coordinate di riferimento di tipo allocentrico, il soggetto genera un movimento sulla base di informazioni pittoriche ottenute a priori, dati basati su un'analisi contestuale, l'oggetto in relazione ad altri oggetti nello spazio. Sulla base di quanto riportato la programmazione di azioni indirizzate ad un bersaglio non visibile subirebbe l'effetto di illusioni ottiche poiché il movimento da attuare sarebbe calibrato basandosi su informazioni contestuali; tale effetto non sarebbe riscontrabile durante movimenti nello spazio in cui si ha il controllo visivo di tale azione poiché si avrebbe un aggiustamento costante del movimento dovuto ai continui riscontri visivi (coordinate egocentriche).

Questa prospettiva è stata confutata da V.H. Franz, C. Hesse, S. Kollath (2008), i quali hanno testato se un ritardo tra la presentazione del bersaglio e il successivo l'afferramento portasse a

uno cambio dell'attivazione dalla via dorsale alla via ventrale utilizzando l'illusione di Müller-Lyer; i risultati hanno mostrato un'assenza di prove sufficienti a sostenere un cambio di codifica delle informazioni da dorsale a ventrale.

Nel 1995 Aglioti, DeSouza e Goodale sostengono che le illusioni di contrasto delle dimensioni ingannano l'occhio umano ma non l'esecuzione di azioni di afferramento. Registrando la cinematica del movimento di afferramento successivi all'illusione di Ebbinghaus, gli sperimentatori dimostrano come quest'ultima abbia influenza nella formulazione di un giudizio percettivo di grandezza (via ventrale, 'via del cosa'), ma non abbia effetti sull'esecuzione del movimento. I meccanismi che mediano la percezione della posizione dell'oggetto basano il loro funzionamento su coordinate allocentriche, viceversa, il motore alla base della generazione di output motori viene calibrato basandosi su coordinate egocentriche. Pertanto, gli autori conclusero che questi dati fossero una prova a favore della dissociazione funzionale fra via ventrale e dorsale proposta da Milner e Goodale. Il lavoro di Aglioti e collaboratori ha ricevuto non poche critiche; quando i partecipanti devono giudicare e valutare la grandezza dei dischi (compito di giudizio percettivo) spostano il focus attentivo da un disegno all'altro, attuando un'attenta comparazione. Durante il compito motorio, in cui i partecipanti afferrano il disco centrale, la loro attenzione è focalizzata sul singolo disco; il compito percettivo e il compito motorio non sono abbinati correttamente in termini di esigenze attenzionali (Franz, Gegenfurtner, Bulthoff, & Fahle, 2000; Pavani, Boscagli, Benvenuti, Rabuffetti, & Farne, 1999).

Contrariamente al lavoro di Aglioti del 1995, Pavani, Boscagli, Benvenuti e Farnè (1999) hanno chiesto ai partecipanti di stimare la grandezza di un disco presentato in una sola configurazione dell'illusione di Ebbinghaus, e successivamente di afferrarlo. I risultati hanno mostrato come la stima percettiva subisca l'effetto illusorio; i partecipanti hanno dichiarato di percepire il disco più o meno grande a seconda del contesto in cui è inserito. L'apertura delle

dita della mano durante l'afferramento non è stata totalmente impermeabile all'effetto illusorio: l'apertura è stata maggiore quando il disco è stato percepito come 'più grande' per effetto contestuale, e viceversa. Questo lavoro ha dimostrato come anche la via dorsale sia suscettibile a illusioni visive contrariamente alle predizioni della teoria di Milner e Goodale. Inoltre, uno studio multicentrico su ha analizzato in un campione molto grande di partecipanti gli effetti dell'illusione di Ebbinghaus tenendo conto di molti aspetti metodologici. I risultati hanno dimostrato che tra compiti percettivi e motori (vale a dire, stima della grandezza e afferramento) non ci fosse differenza: entrambe erano influenzate in eguale modo dal contrasto di grandezza di Ebbinghaus (Kopiske, Bruno, Hesse, Schenk, e Franz (2016). Pertanto, ad oggi è difficile sostenere una netta dissociazione funzionale in come via ventrale e via dorsale usino le informazioni visive.

Un'altra problematica importante nello studiare l'influenza delle illusioni visive sull'afferramento riguarda l'esecuzione con o senza feedback visivo. La generazione di qualsiasi movimento è formata da una fase balistica (a priori, generazione di un programma motorio in base alle informazioni propriocettive che giungono a livello della corteccia frontale) e una fase di controllo più lenta che utilizza circuiti a feedback per affinare e concludere il movimento. Se durante l'afferramento si utilizzassero delle procedure a circuito aperto (senza visione) e chiuso (con visione) si riuscirebbe a separare la componente balistica (fase preparatoria) dalla componente che riguarda il controllo on-line del movimento (fase esecutiva). La 'visione per percezione' si basa su un processo di analisi lento e opera su rappresentazioni più durature nel tempo, ciò afferisce alla sua funzione poiché è il sistema che genera una consapevolezza cosciente del mondo, quindi una visione dell'ambiente stabile. La 'visione per azione' è interessata a fornire informazioni sul rapporto tra l'individuo e l'ambiente, le stesse che decadono appena si genera il movimento. Aglioti e collaboratori hanno usato una procedura a circuito chiuso, tale che il soggetto aveva il pieno controllo del

movimento nel momento stesso in cui lo esegue e poteva aggiustarlo durante l'esecuzione. Secondo alcuni critici sembra che le azioni resistano all'illusione solo quando è possibile utilizzare un feedback visivo (Schenk, Franz, e Bruno, 2011). Non c'è attualmente consenso sull'assunto che percezione e azione possano essere dissociate nei contesti illusori; le azioni resistono alle illusioni visive quando è possibile applicare processi di correzione di tali azioni on-line, queste modulazioni perfezionano la rappresentazione iniziale del movimento che è sensibile al contesto (Bruno 2001). Queste conclusioni sanciscono una distinzione tra le due vie visive, ma allo stesso tempo ne riducono la portata di tale differenziazione.

L'ultimo lavoro da presentare è quello pubblicato nel 2019 a cura di Uccelli, Pisu, Riggio, e Bruno. È stato dimostrato come la versione visiva dell'illusione di Uznadze influenzasse la percezione della grandezza e successivamente si è testata l'ipotesi secondo la quale potesse influenzare anche le risposte motorie. Si è analizzato se la percezione della dimensione di un oggetto potesse essere influenzata dalla dimensione di un oggetto, contestuale, presentato prima. In una prospettiva a circuito aperto, con assenza di riscontri visivi, le risposte ottenute dipendono esclusivamente da ciò che è precedentemente elaborato. I risultati dimostrano come l'illusione abbia effetti su entrambe le vie visive ('visione per azione' e 'visione per percezione'); il sistema visivo è sensibile al contrasto sequenziale. La 'visione per l'azione' è sensibile al contesto temporale, non è immediata e totalmente 'priva di memoria' come inizialmente sostenuto (Westwood e Goodale, 2003; Goodale e Milner, 1992). La percezione dipende fortemente dal confronto con il contesto presentato; entrambi i sottosistemi visivi operano con le stesse informazioni ambientali, per cui non è più supportabile una dissociazione netta tra la due vie visive.

### Obiettivi della presente ricerca

Assodato che soggetti esposti all'illusione di Uznadze subiscono l'effetto di contrasto di grandezza in compiti di afferramento di bersagli non visibili ('circuitto aperto'), viene naturale domandarsi se lo stesso avviene o meno durante un afferramento in piena visione ('circuitto chiuso'). Il presente progetto di tesi ha l'obiettivo di testare l'illusione di Uznadze in un paradigma a circuitto chiuso e aperto per confrontare il contrasto di grandezza fra le due condizioni. La domanda di partenza è se questo tipo di illusione possa influenzare il movimento di afferramento di un bersaglio, nonostante il soggetto possa usufruire di riscontri visivi durante l'attuazione del movimento stesso. È generalmente accettato che gli effetti illusori diminuiscano (o si azzerino) quando i partecipanti compiono l'azione in piena visione, visto che è possibile compiere aggiustamenti in tempo reale mentre la mano si avvicina all'oggetto. Tuttavia, questo confronto circuitto aperto-chiuso utilizzando l'illusione di Uznadze non è stato ancora valutato nella letteratura corrente, e potrebbe costituire un importante tassello da aggiungere al dibattito sulla distinta elaborazione delle informazioni visive fra via-per-la-percezione e via-per-l'azione.

# METODO

## PARTECIPANTI

I soggetti che hanno partecipato alla ricerca appartengono al campione di studenti e/o lavoratori iscritti all'Università degli Studi di Parma. Tutti i soggetti erano destrimani, non avevano problemi di visione e privi di storia di malattie neurologiche. Non sono stati informati sullo scopo dello studio. Tutti i partecipanti hanno espresso il loro consenso verbale prima di proseguire con la raccolta dei dati, non è stato necessario firmare il consenso informato poiché l'esperimento non prevedeva nessun tipo di manipolazione invasiva. Nel presente lavoro di ricerca è stato stimato che è sufficiente un campione di 20 soggetti per raggiungere risultati significativi (con una soglia di significatività pari a 0.05)

## *APPROVAZIONE ETICA*

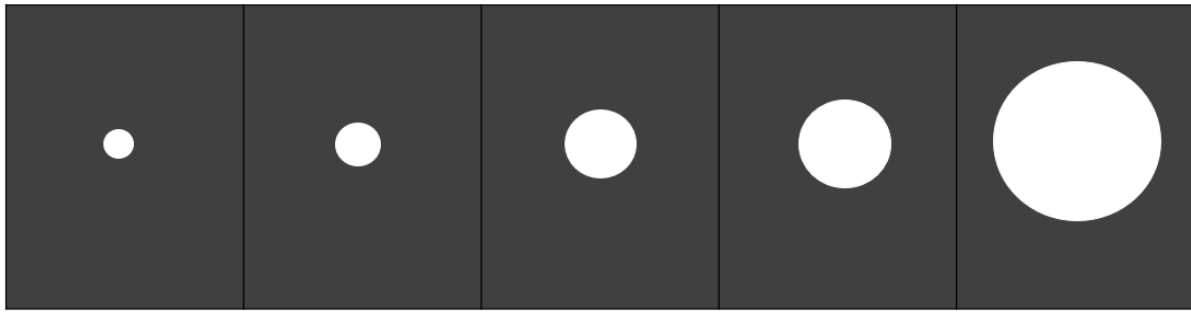
Lo studio è stato condotto in conformità con l'etica standard del Codice dei Principi Etici per la Ricerca Medica che coinvolge soggetti umani dell'Associazione medica mondiale (Dichiarazione di Helsinki), con l'etica standard del Collegio Italiano degli Psicologi (vedi [http://www.psy.it/codice\\_deontologico.html](http://www.psy.it/codice_deontologico.html)), nonché il Codice Etico per la Ricerca Psicologica della Società Psicologica Italiana (vedi <http://www.aipass.org/node/26>). Poiché lo studio non ha comportato trattamenti clinici o l'uso di apparecchiature biomediche con implicazioni cliniche, approvazione del Il comitato etico dell'ospedale di Parma è stato ritenuto non necessario.

## MATERIALI E PROCEDURE

### *STIMOLI*

Come stimoli sono stati utilizzati dei dischi di legno bianchi, con dietro posizionato un magnete, di diametro variabile, ma tutti aventi un'altezza pari a 1cm. Gli stimoli bersaglio

erano 3 e avevano i seguenti diametri: 35mm, 40mm e 45mm. È stata introdotta questa variazione nella misura del diametro per evitare risposte stereotipate da parte dei volontari; inoltre è stato poi possibile stimare la pendenza della funzione lineare relativa alla risposta in funzione della dimensione fisica dell'oggetto. Precedente alla presentazione degli stimoli bersaglio, c'è stata quella degli stimoli inducenti. Questi ultimi erano sempre dischi bianchi, ma differivano dagli stimoli bersaglio in base al loro diametro; variano lungo tre dimensioni: 10mm, 35mm, 40mm, 45mm e 100mm. I tre stimoli induttori con diametro medio (35, 40, 45) anticipavano come stimoli bersaglio stimoli con il medesimo diametro; inoltre, ai fini della nostra indagine sono stati considerati come un unico inducente di valore medio (40).



*Figura 3* presentazione set di stimoli usati; dischi di diametro rispettivamente 10mm, 35mm, 40mm, 45mm, 100mm

### *COMPITI E CONDIZIONI*

Il compito consiste nell'esecuzione di un afferramento con pollice e indice degli stimoli bersaglio che veniva svolto in due condizioni diverse: una presa a circuito aperto (open-loop) e una presa a circuito chiuso (close-loop).

Il compito di presa nel primo caso poteva avvalersi del feedback visivo durante l'esecuzione di tale movimento; viceversa nel secondo caso sono state rimosse le informazioni visive durante l'esecuzione del movimento pertanto quest'ultimo viene eseguito in base a ciò che il partecipante ha elaborato precedentemente rispetto alla genesi dell'output motorio. In entrambe le condizioni i partecipanti dovevano afferrare il disco posizionato dirimpetto ad essi e posizionarlo alla loro destra poggiandolo sul tavolo. Tutti gli stimoli, poiché sono provvisti



di magneti posizionato posteriormente, sono attratti da un altro magnete posizionato dietro un supporto di plastica formato da un pannello nero di lunghezza 30cm e altezza 21 cm. Il supporto, a sua volta, è posizionato sul tavolo verticalmente.

### *STRUMENTAZIONE*

L'esperimento è stato condotto all'interno del laboratorio di percezione e psicofisica, nel dipartimento di medicina e chirurgia dell'Università degli Studi di Parma. I soggetti prendono posto su una sedia regolabile posizionata davanti ad un tavolo lungo 90cm e profondo 80cm; su tale supporto è posizionata una tastiera ed è importante che anch'essa si trovi dirimpetto al partecipante. Ad una distanza di circa 43cm dalla barra spaziatrice, sulla tastiera, è posizionato un supporto di plastica formato da un pannello nero di lunghezza 30cm e altezza 21cm, esso è collocato in modo tale che il centro della barra spaziatrice corrisponda al centro del supporto di plastica. Dietro al pannello è posizionato un magnete che attrae i magneti posizionati dietro ai dischi (stimoli target / stimoli induttori) in modo tale che questi siano visibili ai soggetti in posizione verticale.

Il feedback visivo è stato rimosso utilizzando occhiali PLATO per occlusione visiva (Translucent Technologies Inc., Toronto, Ontario, Canada—Milgram, 1987). È stata studiata la cinematica del movimento utilizzando uno Smart System BTS-DX100 (frequenza di campionamento 100 Hz, precisione spaziale almeno  $<0,2$  mm con quattro telecamere a distanze di 1–1,5 m dalla mano del partecipante); sono stati posizionati tre markers sulla mano del soggetto, precisamente uno sul polso, l'altro sulla punta dell'indice e l'ultimo sulla punta del pollice. Su un personal computer con sistema operativo Windows 7 è stato installato il programma Matlab R2011b; compito del programma è generare la combinazione degli stimoli, gestire i segnali trigger agli occhiali Plato e controllare il sistema di tracciamento del movimento BTS.

### *DISEGNO SPERIMENTALE E VARIABILI DIPENDENTI*

Ogni soggetto ha svolto i due blocchi separatamente e questi ultimi sono stati controbilanciati tra i partecipanti. L'abbinamento delle coppie stimolo inducente/ stimolo bersaglio veniva estratto casualmente all'interno di ciascun blocco. Ogni inducente è stato presentato 30 volte per ciascun bersaglio, per un totale di 90 prove per condizione (180 prove in totale). Per la condizione di controllo (induce e bersaglio medi) ogni inducente era ripetuto 10 volte per il suo bersaglio appropriato. La variabile dipendente analizzata è stata la massima apertura raggiunta dal pollice e indice (max-grip-aperture, MGA) nel momento in cui l'arto era in movimento per afferrare l'oggetto. Sono state considerate altre variabili ai fini della nostra indagine; il tempo impiegato dal partecipante nel premere la barra spaziatrice (preview reaction time, PRT), il tempo impiegato per raggiungere la massima apertura raggiunta da pollice e indice (TTMGA) e il tempo di movimento, tempo impiegato per afferrare lo stimolo bersaglio (MT).

### *PROCEDURA*

Prima di iniziare il vero esperimento, lo sperimentatore spiega al partecipante il compito da eseguire; al fine di rendere la procedura quanto più chiara possibile si somministrano prove aggiuntive con coppie casuali di stimoli. La dinamica è la stessa per ogni prova all'interno di ciascuna categoria.

All'inizio di ogni prova il partecipante indossa gli occhiali con le lenti opache. Lo sperimentatore legge sullo schermo del computer la coppia di stimoli (induce/ bersaglio) da mostrare al partecipante e posiziona lo stimolo inducente sul supporto nero posto dirimpetto al soggetto. Lo sperimentatore, dopo aver posizionato adeguatamente lo stimolo inducente, dà un segnale di via e il partecipante che è istruito ad attenderlo, pigia con indice e pollice giunti sulla barra spaziatrice di una tastiera del PC posta dinanzi ad esso. Grazie alla pressione di tale

tasto gli occhiali del partecipante ricevono l'input per aprirsi e chiudersi per 5 volte, ciascuna di 250ms, per un totale di 2,5s di tempo; durante questo intervallo di tempo ai partecipanti è chiesto di osservare lo stimolo (inducente) posizionato sul pannello. Al termine dei 2,5s gli occhiali tornano chiusi, il partecipante non riceveva alcuno stimolo visivo, e un suono emesso dagli altoparlanti informa lo sperimentatore del termine di questa fase e dell'inizio della seconda; il ricercatore sostituisce lo stimolo inducente con lo stimolo bersaglio. Questa operazione richiede circa 2secondi di tempo in media; una volta che il disco è posto nella posizione appropriata lo sperimentatore verbalmente dà un secondo segnale di partenza. Il partecipante preme nuovamente la barra spaziatrice con indice e pollice giunti, ma questa volta gli viene chiesto di tenerla premuta il tempo necessario per osservare lo stimolo bersaglio.

Ora si evidenzia una differenza nella procedura tra le due condizioni.

Nel compito di presa a circuito aperto il rilascio del pulsante disattivava gli occhiali (opachi); nel compito di presa a circuito chiuso il rilascio del pulsante non disattivava gli occhiali e il partecipante afferra lo stimolo bersaglio vedendolo. In entrambi i casi, veniva attivata la registrazione cinematografica; il sistema registra il movimento di afferramento dello stimolo bersaglio; tale registrazione dura 3secondi, stima del tempo sufficiente a compiere l'afferramento. Complessivamente l'esperimento dura 1h e 15min circa.

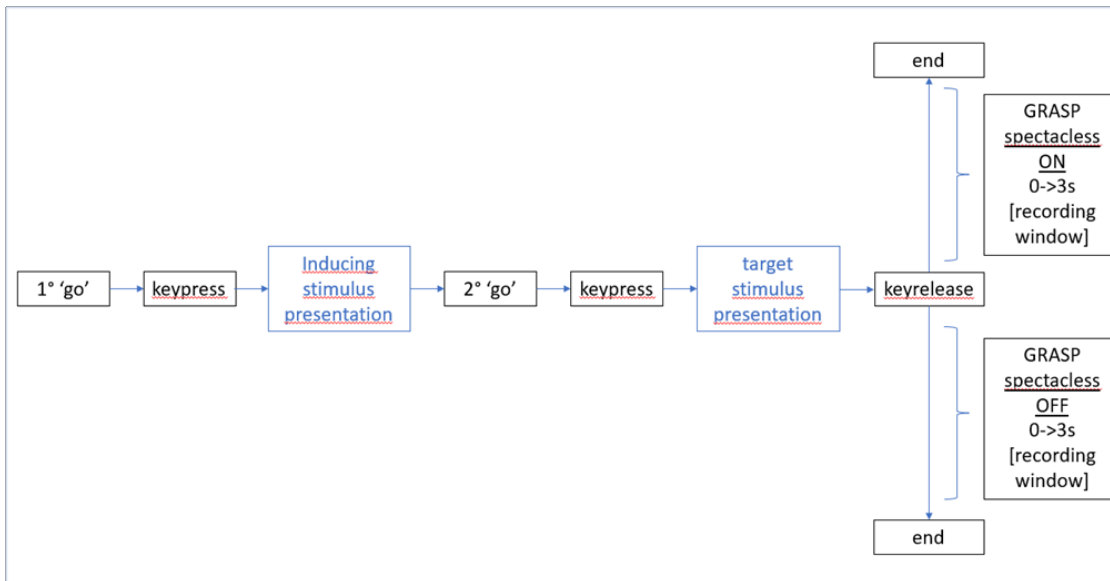


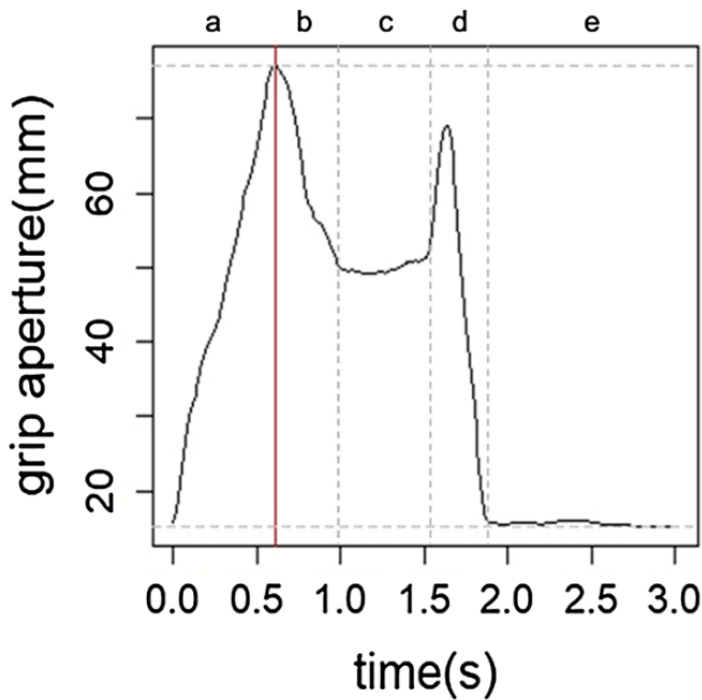
Figura 4 struttura del trial nei due compiti: 'close loop' / 'open loop'

### VALIDAZIONE DEI DATI E ANALISI

Tutte le prove sostenute dal singolo soggetto sono state sottoposte ad un'attenta validazione; l'obiettivo di tale procedura è individuare ed eliminare profili di afferramento atipici.

I criteri seguiti per decretare la validità di una prova sono due:

- Analisi della distanza tra pollice e indice: è necessario che all'inizio di ogni trial la distanza tra il pollice e l'indice non sia superiore a  $2 \pm 0.1$  cm (misura corrispondente alla giunzione di pollice e indice; parametro che prende in considerazione anche la posizione dei markers posti su entrambe le dita)
- Analisi del grafico della distanza dei marcatori in funzione del tempo: il grafico mostra una rapida crescita che raggiunge il culmine e poi decresce. Il picco riscontrato corrisponde al punto di massima apertura, distanza tra pollice e indice in volo, MGA. È stato riscontrato come questo valore non sia maggiore di 15cm (sulla base di valutazioni informali su una gamma di valori di MGA rilevati in diversi individui, prendendo in considerazione anche la valutazione dell'errore positivo costante a causa della posizione assunta dai marker).



*Figura 5 Apertura pollice-indice in funzione del tempo in una prova rappresentativa. **a** Fase di avvicinamento e apertura; **b** max apertura e fase di chiusura; **c** presa stabile durante lo spostamento del disco; **d** rilascio; **e** ritorno alla posizione iniziale*

Le prove che non rispettano queste linee guida sono classificate come errate, dunque sono scartate. La validazione dei dati secondo questi parametri ha comportato l'esclusione dello 0.5% di tutte le prove da tutti i soggetti che hanno partecipato alla ricerca. Successivamente è stato introdotto un limite inferiore pari a 20 mm e un limite superiore pari a 140mm; per decretare la validità di una prova è necessario che il valore attribuito a MGA rientri in questi parametri.

I criteri sono stati calcolati grazie all'utilizzo di script R che consente di visualizzare la traiettoria delle dita, la velocità e la loro apertura in funzione del tempo. La distanza tra il pollice e l'indice raggiunta in volo è calcolata come distanza euclidea tra due punti nello spazio; esso è un movimento che avviene nello spazio lungo tre dimensioni (lunghezza, altezza, profondità) pertanto, si regolano i dati di apertura grezzi in base alla pendenza assunta, circa l'80% (Smeets e Brenner 1999), e si esprime tale punteggio come percentuale della dimensione fisica.

Per ogni afferramento eseguito dal partecipante è stato calcolato un effetto dell'illusione

corretto in percentuale utilizzando la formula proposta da Bruno e Franz (2009):

$$\% \text{ effetto corretto} = (\text{effetto grezzo espansione} - \text{effetto grezzo compressione}) / \text{pendenza} \times \text{larghezza reale} \times 100$$

Gli effetti di espansione e di compressione si riferiscono al contrasto dimensionale dovuto alla presenza degli stimoli induttori: disco grande (100cm) e disco piccolo (10cm), la larghezza reale corrisponde al diametro del disco bersaglio, la pendenza della funzione lineare corrisponde al ridimensionamento dell'apertura delle dita.

Da ogni singola prova è stato possibile ricavare, oltre ai dati MGA di cui trattato in precedenza, altre informazioni riguardanti la cinematica del movimento eseguito dal partecipante.

È stato rilevato il tempo impiegato dal partecipante nel premere la barra spaziatrice. Tale misura temporale è stata etichettata con l'acronimo PRT (preview reaction time).

Per decretare la validità di ciascuna prova è necessario che siano rispettati due criteri:

- È stato introdotto un limite inferiore (100ms) e un limite superiore (3000ms); ogni prova per essere definita 'valida' è necessario che rientri in questi valori di riferimento.
- È importante che la distribuzione di tale variabile abbia un andamento gaussiano. Qualora tale variabile appartenga alla gamma di curve definite da una funzione di tipo normale è necessario apportare trasformazioni non lineari per la successiva applicazione di test parametrici.

In ordine logico è stato inizialmente applicato il primo criterio ed è stata valutata la distribuzione di tale variabile.

Si è scelto di considerare, come indici di normalità, i parametri della simmetria e della curtosi.

Una distribuzione di dati si dice simmetrica se è presente un valore medio in grado di dividere la distribuzione stessa in due parti perfettamente uguali. Se non esiste tale valore la distribuzione sarà asimmetrica e si analizzerà l'indice di asimmetria che potrà essere positivo

o negativo. A seconda del segno la distribuzione presenta il maggior numero di casi all'estremo destro (segno positivo, asimmetria a destra) o all'estremo sinistro della distribuzione (segno negativo, asimmetria a sinistra).

La curtosi misura quanto le cose della distribuzione siano più o meno addensate rispetto alle code di una distribuzione normale. Una curtosi negativa indica code scarsamente differenziate dai valori centrali (platicurtica), una curtosi positiva si evidenzia in distribuzioni con code chiaramente differenziate dai valori centrali (leptocurtica), un valore di curtosi uguale a 0 definisce la distribuzione 'normocurtica'. È definita 'normale' qualunque distribuzione abbia valori di simmetria e di curtosi compresi tra -1 e +1.

Analizzando la distribuzione dei dati della variabile PRT, essa risulta avere un indice di simmetria pari a 0.9638 e un indice di curtosi pari a 1.1413. Per l'applicazione di test parametrici, utili al fine dell'indagine, applicabili solo se i dati hanno una distribuzione normale, la distribuzione ha subito una trasformazione non lineare (trasformazione in radice quadrata). La nuova distribuzione ha un indice di simmetria pari a 0.09949 e un indice di curtosi pari a -0.26618.

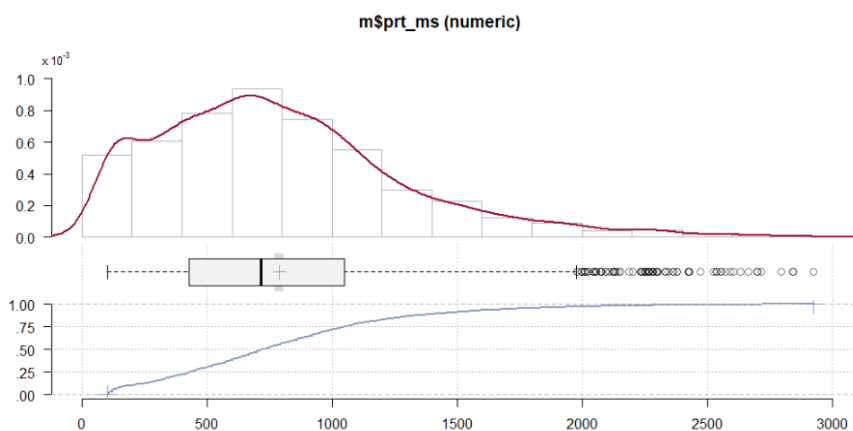


Figura 6 distribuzione dati PRT

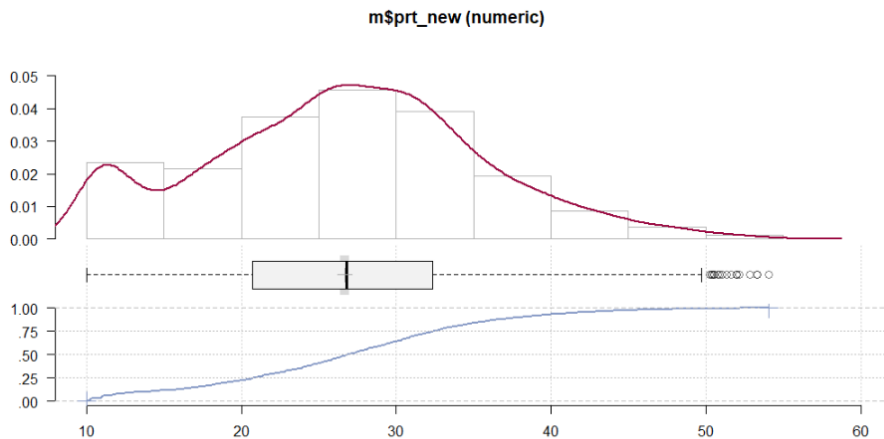


Figura 7 distribuzione dati PRT dopo trasformazione in radice quadrata

È stato rilevato il tempo in corrispondenza del quale il partecipante raggiunge la massima apertura della mano in volo (MGA). Tale distribuzione di dati è stata etichettata con l'acronimo (TTMGA).

Per decretare la validità di ciascuna prova è necessario che siano rispettati due criteri:

- È stato introdotto un limite inferiore (100ms) e un limite superiore (1500ms); ogni prova per essere definita 'valida' è necessario che ricada in questi valori di riferimento.
- È importante che la distribuzione di tale variabile abbia un andamento gaussiano.

Qualora tale variabile non rientri nella gamma di curve definite da una funzione di tipo normale è necessario apportare trasformazioni non lineari per la successiva applicazione di test parametrici.

In ordine logico è stato inizialmente applicato il primo criterio ed è stata valutata la distribuzione dei dati di tale variabile. L'indice di simmetria è pari a 1.31 (asimmetria positiva, più casi nella porzione destra del grafico), mentre l'indice di curtosi è pari a 2.56 (leptocurtica). È stata applicata una trasformazione in radice quadrata; la nuova distribuzione di dati ha un indice di simmetria pari a 0.74239 e un indice di curtosi pari a 1.08578.



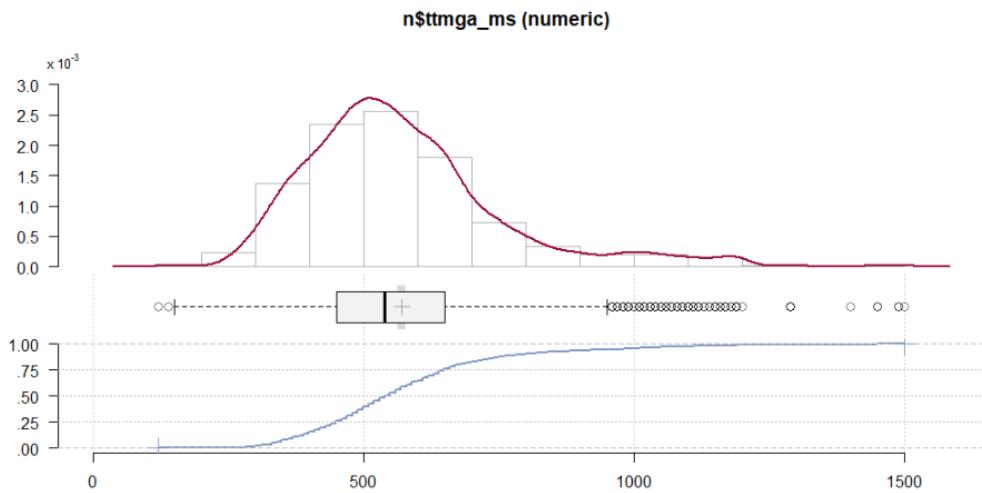


Figura 8 distribuzione dati TTMGA

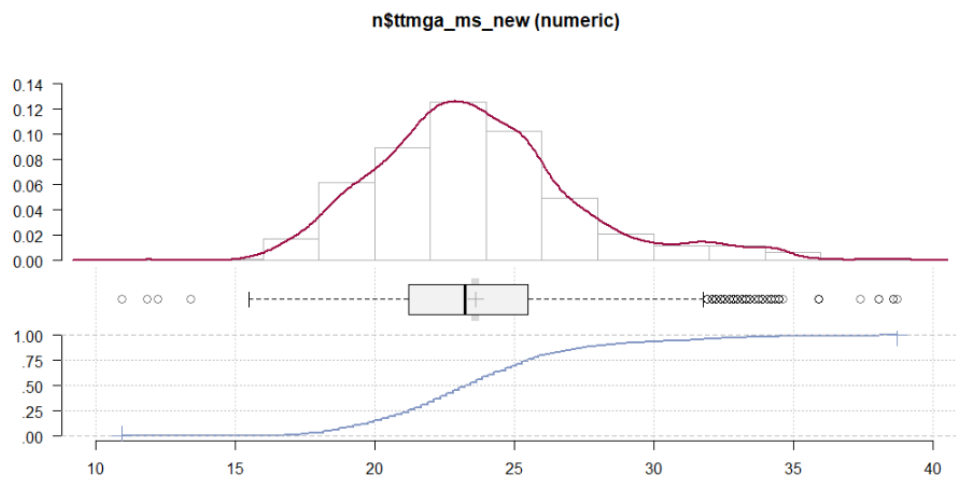


Figura 9 distribuzione dati TTMGA dopo trasformazione in radice quadrata

È stato rilevato il tempo in corrispondenza del quale il partecipante afferra lo stimolo bersaglio. Tale distribuzione di dati è stata etichettata con l'acronimo MT (tempo di movimento).

Per decretare la validità di ciascuna prova è necessario che siano rispettati due criteri

- È stato introdotto un limite inferiore (300ms) e un limite superiore (2500ms); ogni prova per essere definita 'valida' è necessario che rientri in questi valori di riferimento.
- È importante che la distribuzione di tale variabile abbia un andamento gaussiano. Qualora tale variabile non rientri nella gamma di curve definite da una funzione di tipo

normale è necessario apportare trasformazioni non lineari per la successiva applicazione di test parametrici.

In ordine logico è stato inizialmente applicato il primo criterio ed è stata valutata la distribuzione di tale variabile. L'indice di simmetria è pari a 0.97, mentre l'indice di curtosi è pari a 1.88 (leptocurtica). È stata applicata una trasformazione in radice quadrata; la nuova distribuzione di dati ha un indice di simmetria pari a 0.53477 e un indice di curtosi pari a 0.48533.

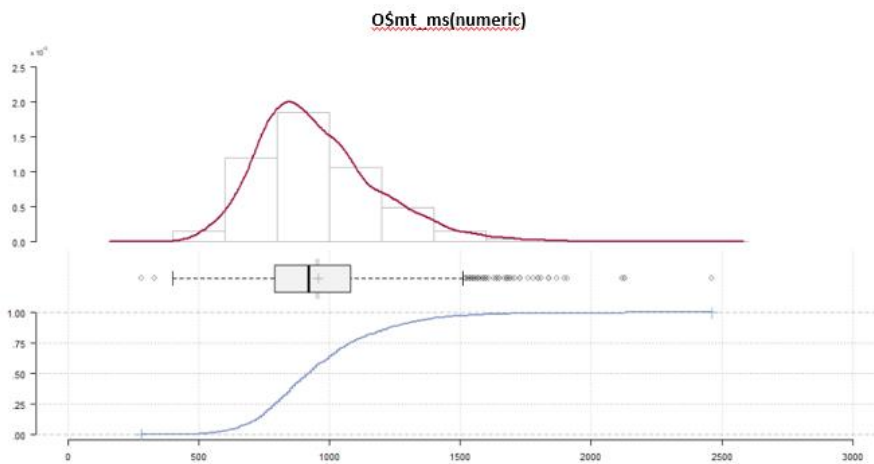


Figura 10 distribuzione dati MT

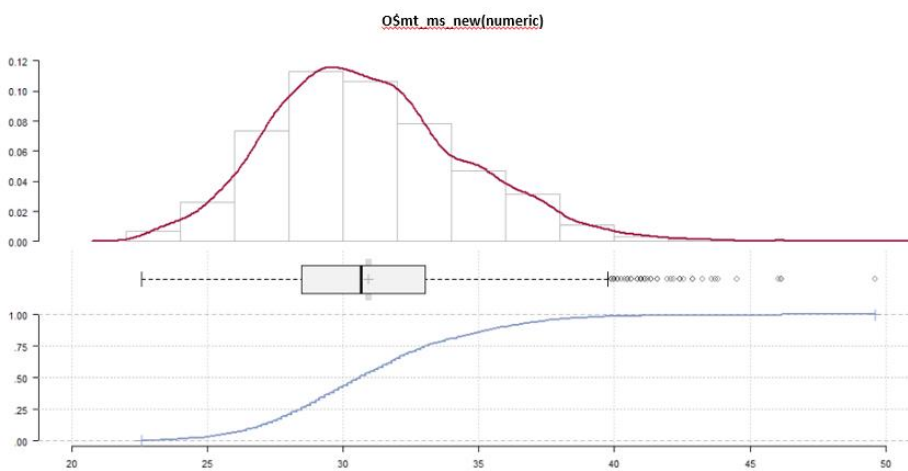


Figura 11 distribuzione dati MT dopo trasformazione in radice quadrata

# RISULTATI

## ANALISI E RISULTATI PRT

Per ciascun soggetto è stata calcolata la media e la deviazione standard dei punteggi della variabile PRT per ciascuna condizione (OL e CL); nella fig.12 è rappresentata la distribuzione di tali punteggi medi, rispettivamente per la condizione OL (asse delle ascisse) e per la condizione CL (asse delle ordinate).

Nel caso in cui le condizioni abbiano lo stesso impatto sulla performance del soggetto (nel tempo di prensione della barra spaziatrice) i punteggi seguiranno l'andamento delineato dalla bisettrice rappresentata.

Per verificare una differenza significativa nelle due performance, è stato effettuato un t-test di Student per campioni dipendenti (dati appaiati); l'analisi statistica ha dimostrato che esiste una differenza nei tempi di prensione nella condizione OL e CL; tale differenza è significativa ( $p\text{-value} = 0.0002119$ ;  $p\text{-value} < 0.05$ ).

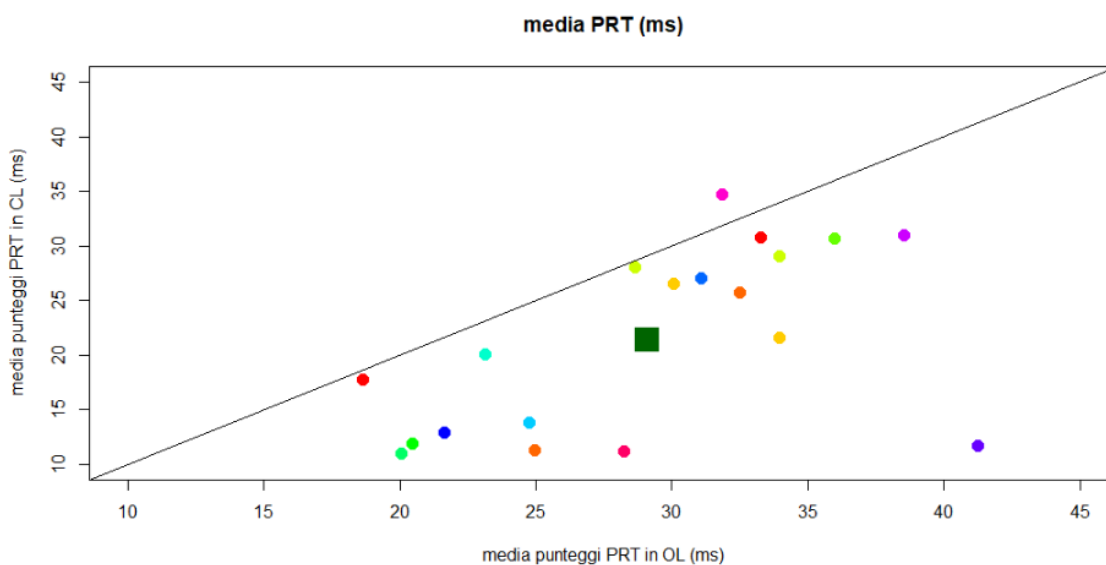


Figura 12 a media punteggi PRT durante OL e CL b quadrato verde corrispondente alla media delle medie in OL e CL

## ANALISI E RISULTATI TTMGA

Per ciascun soggetto è stata calcolata la media e la deviazione standard dei punteggi della

variabile TTMGA per ciascuna condizione (OL e CL); nella fig.13 è rappresentata la distribuzione di tali punteggi medi, rispettivamente per la condizione OL (asse delle ascisse) e per la condizione CL (asse delle ordinate).

Nel caso in cui le condizioni abbiano lo stesso impatto sulla performance del soggetto (nel tempo di raggiungimento della massima apertura in volo tra pollice e indice) i punteggi seguiranno l'andamento delineato dalla bisettrice rappresentata.

Per verificare una differenza significativa nelle due performance riferite al tempo impiegato dal partecipante, è stato effettuato un t-test di Student per campioni dipendenti (dati appaiati); l'analisi statistica ha dimostrato che esiste una differenza nel tempo di raggiungimento della MGA nella condizione OL e CL; tale differenza è significativa ( $p\text{-value} = 0.004329$ ;  $p\text{-value} < 0.05$ ).

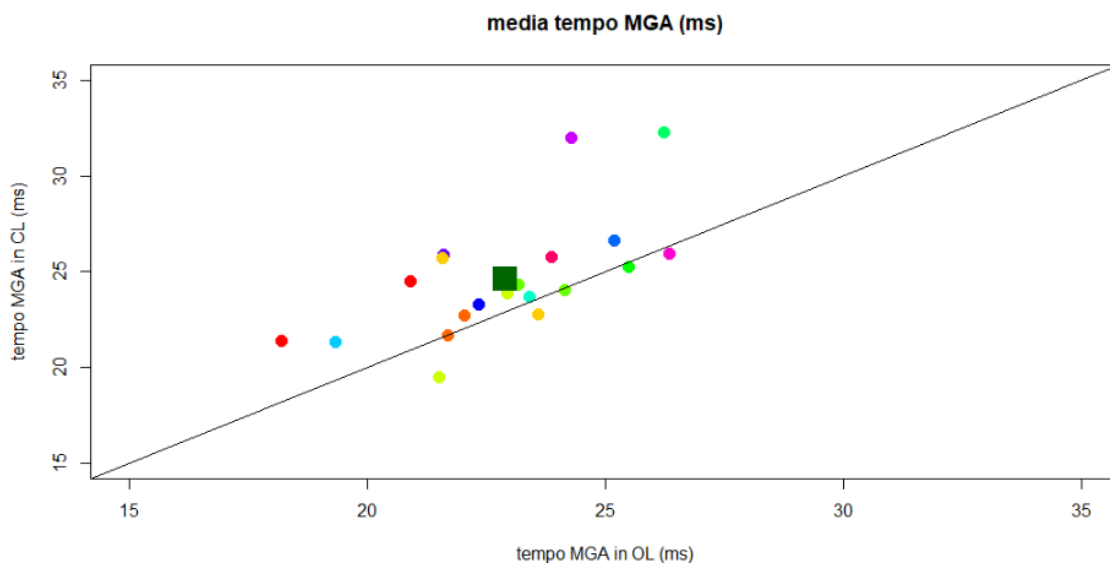


Figura 13 a media punteggi TTMGA durante OL e CL b quadrato verde corrispondente alla media delle medie in OL e CL

## ANALISI E RISULTATI MT

Per ciascun soggetto è stata calcolata la media e la deviazione standard dei punteggi della variabile MT per ciascuna condizione (OL e CL); nella fig.14 è rappresentata la distribuzione di tali punteggi medi, rispettivamente per la condizione OL (asse delle ascisse) e per la condizione CL (asse delle ordinate).

Nel caso in cui le condizioni abbiano lo stesso impatto sulla performance del soggetto (nel tempo di movimento, tempo in cui afferra lo stimolo bersaglio) i punteggi seguiranno l'andamento delineato dalla bisettrice rappresentata.

Per verificare una differenza significativa nelle due performance riferite al tempo di movimento, è stato applicato il t-test di Student per campioni dipendenti (dati appaiati); l'analisi statistica ha dimostrato che esiste una differenza nel tempo di movimento nella condizione OL e CL, ma che tale differenza non è significativa ( $p\text{-value} = 0.4672$ ;  $p\text{-value} > 0.05$ ).

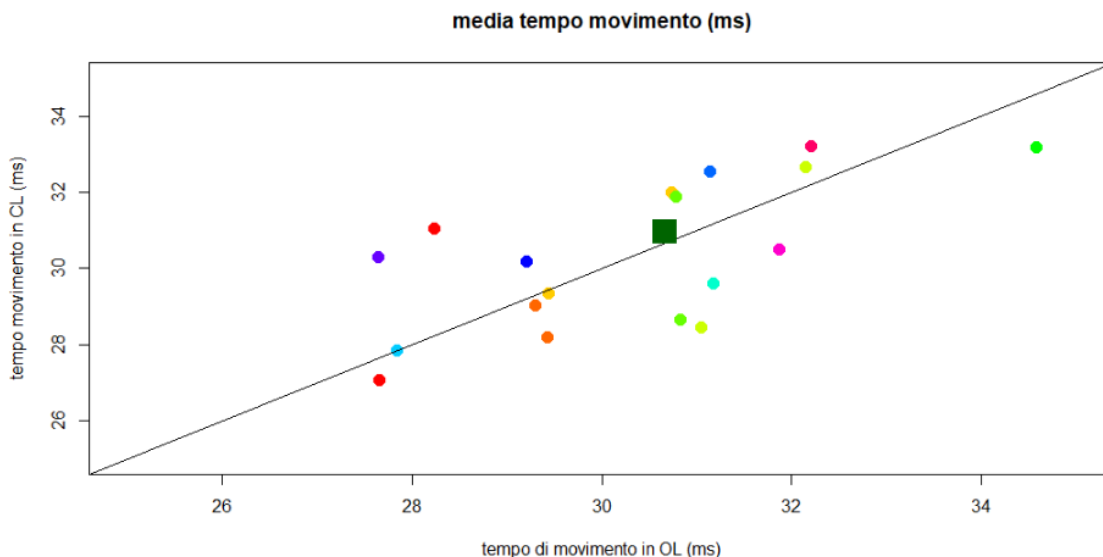


Figura 14 a media punteggi MT durante OL e CL b quadrato verde corrispondente alla media delle medie in OL e CL

## ANALISI E RISULTATI MGA

Le analisi sono state condotte su un campione formato da 3600 prove, rispettando i criteri di cui discusso in precedenza (impostando un limite inferiore pari a 20mm e un limite superiore pari a 140mm) la numerosità campionaria è diminuita del 1.78%, il nuovo campione comprende 3536 prove.

Per ciascun soggetto è stata misurata la media della MGA in funzione dello stimolo inducente nelle due condizioni (OL e CL); il medesimo procedimento è stato applicato per misurare la media della MGA in funzione dello stimolo bersaglio nelle due condizioni.

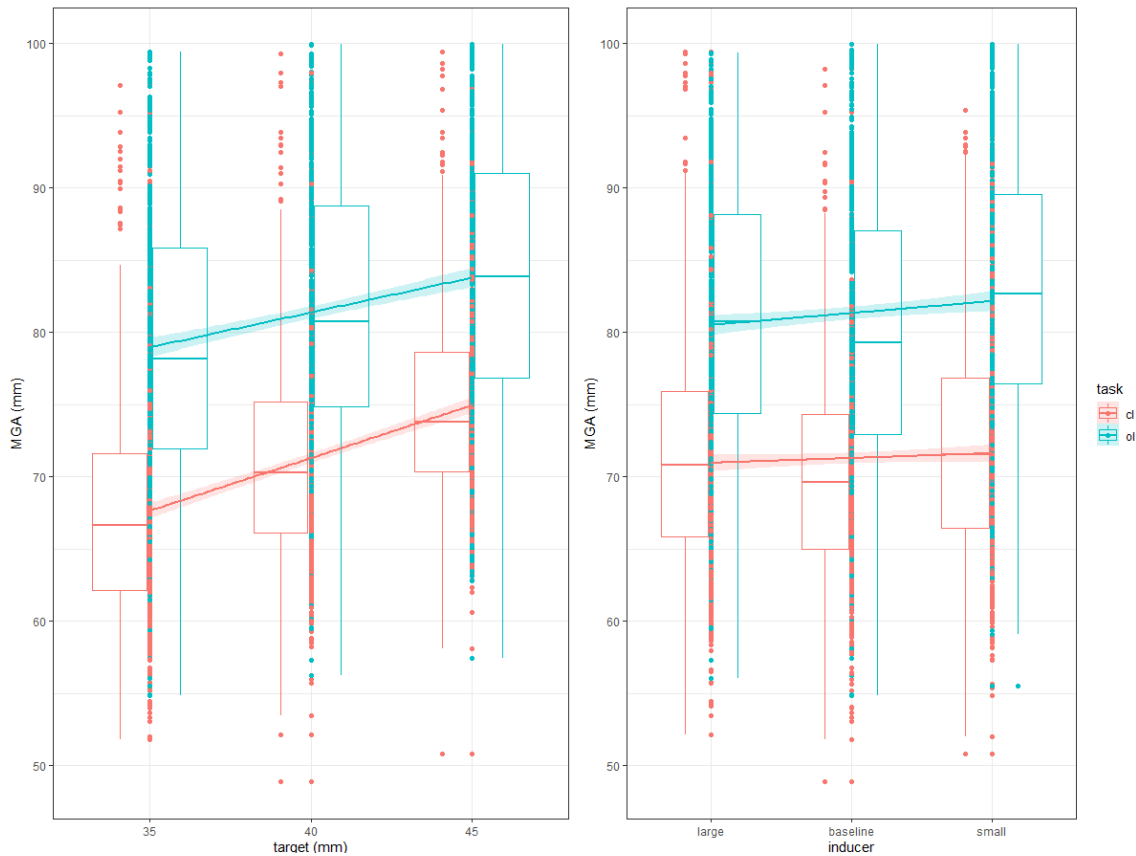


Figura 15 sinistra: misura MGA in funzione di stimoli bersaglio in OL e CL nel campione generale. destra: misura MGA in funzione di stimoli inducenti in OL e CL nel campione generale

Le rette di regressione, mostrate in fig.15, rappresentano la media dei valori delle MGA in funzione della presentazione di stimoli bersaglio e della presentazione di stimoli inducenti differenziando tra le due condizioni (OL e CL); in altri termini si misura la variazione dell'andamento della variabile dipendente (MGA) in relazione alla presentazione degli stimoli. La retta di regressione è definita da due parametri chiamati coefficienti di regressione:

- Il coefficiente angolare: esprime la pendenza della retta e indica la quantità unitaria di cui cambia Y (variabile dipendente, MGA) al variare di una unità di X (variabili indipendenti, presentazione di stimoli bersaglio e stimoli inducenti).
- L'intercetta punto di intersezione della retta di regressione con l'asse delle ordinate, esprime il valore atteso della variabile dipendente quando la variabile indipendente è uguale a 0.

I due parametri del modello lineare sono indipendenti l'uno dall'altro ed è necessario che siano calcolati sulla base dei dati.

Nella Fig.15 le rette di regressione sono calcolate basandosi sulla media delle medie, ma ciascun partecipante ha il proprio fit individuale. Per proseguire l'analisi evidenziano la possibile differenza significativa, tra i valori dell'intercetta e della pendenza di ogni singolo soggetto nelle due condizioni, è necessario ponderare tale risultato per la performance del singolo partecipante.

- È stato applicato il t-test di Student per dati appaiati ed è stata riscontrata una differenza significativa tra i valori dell'intercetta della retta di regressione che rappresenta la variazione di MGA in seguito alla presentazione degli stimoli bersaglio nella condizione OL e CL per ciascun partecipante; tale differenza è significativa (p-value: 0.000103, p-value <0.05).

```

Paired t-test
data:  int.ol.tg and int.cl.tg
t = 4.8844, df = 19, p-value = 0.000103
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 9.137889 22.841610
sample estimates:
mean of the differences
      15.98975

```

Figura 16 t.test, intercetta OL vs CL (bersaglio)

- È stato applicato il t-test di Student per dati appaiati ed è stata riscontrata una differenza significativa tra i valori dell'intercetta della retta di regressione che rappresenta la variazione di MGA in seguito alla presentazione degli stimoli inducente nella condizione OL e CL per ciascun partecipante; tale differenza è significativa (p-value: 1.575e-06, p-value <0.05).

```

Paired t-test
data:  int.ol.in and int.cl.in
t = 6.8417, df = 19, p-value = 1.575e-06
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 7.498047 14.107710
sample estimates:
mean of the differences
      10.80288

```

Figura 17 t.test, intercetta OL vs CL (inducente)

- È stato applicato il t-test di Student per dati appaiati e non è stata riscontrata una differenza significativa tra i valori della pendenza della retta di regressione che rappresenta la variazione di MGA in seguito alla presentazione degli stimoli bersaglio nella condizione OL e CL per ciascun partecipante; è stato dimostrato, inoltre, che il valore della pendenza della retta di regressione è significativamente diversa da 0 (p-value: 0.07669, p-value >0.05).

```

Paired t-test
data:  slope.ol.tg and slope.cl.tg
t = -1.8719, df = 19, p-value = 0.07669
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.27486678  0.01532689
sample estimates:
mean of the differences
      -0.1297699

```

Figura 18 t.test, pendenza OL vs CL (bersaglio)

- È stato applicato il t-test di Student per dati appaiati e non è stata riscontrata una differenza significativa tra i valori della pendenza della retta di regressione che rappresenta la variazione di MGA in seguito alla presentazione degli stimoli inducente nella condizione OL e CL per ciascun partecipante; è stato dimostrato, inoltre, che il valore della pendenza della retta di regressione è significativamente diversa da 0 (p-value: 0.5775, p-value >0.05).



```

Paired t-test

data: slope.ol.in and slope.cl.in
t = -0.56681, df = 19, p-value = 0.5775
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -1.2736153  0.7308009
sample estimates:
mean of the differences
 -0.2714072

```

Figura 19 t.test, pendenza OL vs CL (inducente)

I risultati elencati precedentemente fanno riferimento ai dati grezzi di apertura, non sono calibrati in base alla pendenza; il movimento avviene in uno spazio tridimensionale.

### ANALISI DELL'EFFETTO DI ILLUSIONE CORRETTO

Il campione dei dati che si riferisce ai valori di MGA raggiunti da ciascun partecipante dopo l'esposizione a stimoli inducenti comprende 120 prove; tale campione è scisso in due sottocampioni, ciascuno si riferisce alle condizioni sperimentali che affronta il partecipante (OL e CL). Si analizza l'influenza dello stimolo induttore (disco piccolo, disco intermedio, disco grande) sul MGA raggiunta; separatamente per le due condizioni. L'effetto illusorio corretto è stato calcolato secondo la formula di Bruno e Franz (2009) che è stata presentata in precedenza nella sezione Metodi.

MGA ~ inducente: 120mm; condizione: OL					MGA ~ inducente: 120mm; condizione: CL				
snumb	inducer	task	mga.mean	mga.sd	snumb	inducer	task	mga.mean	mga.sd
1	large	ol	86.20735	8.024472	1	large	cl	75.16307	5.652697
2	large	ol	79.58393	9.532973	2	large	cl	71.61821	4.363330
3	large	ol	90.65879	3.768309	3	large	cl	72.64438	4.314932
4	large	ol	77.93051	7.503995	4	large	cl	79.74478	6.252211
5	large	ol	91.78987	6.652562	5	large	cl	80.16854	10.043423
6	large	ol	87.83943	9.010261	6	large	cl	73.56932	7.216666
7	large	ol	92.81538	5.780114	7	large	cl	66.68241	4.665882
8	large	ol	79.63078	4.917704	8	large	cl	70.36594	4.427360
9	large	ol	75.18060	6.488195	9	large	cl	70.99758	5.999837
10	large	ol	75.68698	5.405593	10	large	cl	62.79587	5.678612
11	large	ol	75.02117	6.660624	11	large	cl	74.36475	10.260952
12	large	ol	79.80639	5.830124	12	large	cl	63.29401	5.435051
13	large	ol	71.56658	4.571850	13	large	cl	67.12575	7.161411
14	large	ol	83.81223	6.372222	14	large	cl	65.08635	6.042259
15	large	ol	78.54448	11.041999	15	large	cl	72.02971	3.861285
16	large	ol	75.65311	4.990904	16	large	cl	64.37490	5.521496
17	large	ol	65.41522	5.896119	17	large	cl	65.73133	3.575054
18	large	ol	86.47635	11.333761	18	large	cl	67.82312	6.056052
19	large	ol	92.86984	8.630883	19	large	cl	71.60911	5.016228
20	large	ol	73.51221	3.418079	20	large	cl	69.13183	5.615496

Figura 20 media di MGA in risposta alla presentazione di stimolo inducente 100mm nelle due condizioni OL e CL

MGA ~ inducente: 40mm; condizione: OL					MGA ~ inducente: 40mm; condizione: CL				
snumb	inducer	task	mga.mean	mga.sd	snumb	inducer	task	mga.mean	mga.sd
1	baseline	ol	85.10393	5.831791	1	baseline	cl	76.76370	5.823906
2	baseline	ol	78.62525	7.764456	2	baseline	cl	72.82824	4.694492
3	baseline	ol	90.65310	4.946174	3	baseline	cl	71.99048	5.223745
4	baseline	ol	80.02092	6.925075	4	baseline	cl	79.52171	5.792133
5	baseline	ol	92.13396	6.874395	5	baseline	cl	80.92827	10.462578
6	baseline	ol	86.12073	8.563815	6	baseline	cl	75.60601	7.143042
7	baseline	ol	92.30079	5.576188	7	baseline	cl	67.14961	4.709678
8	baseline	ol	81.88834	5.760496	8	baseline	cl	71.92705	4.277086
9	baseline	ol	76.19073	5.920429	9	baseline	cl	71.41963	6.092390
10	baseline	ol	76.77390	6.247619	10	baseline	cl	65.95141	4.587886
11	baseline	ol	78.28790	7.770365	11	baseline	cl	75.39592	9.703579
12	baseline	ol	82.39319	8.514086	12	baseline	cl	66.18566	6.247552
13	baseline	ol	73.01721	4.436349	13	baseline	cl	67.43869	6.331912
14	baseline	ol	85.25163	4.522237	14	baseline	cl	66.38162	5.328677
15	baseline	ol	82.02776	8.912872	15	baseline	cl	73.52924	7.914160
16	baseline	ol	77.30113	3.934512	16	baseline	cl	65.42831	4.970638
17	baseline	ol	65.98364	4.844493	17	baseline	cl	66.32959	4.205022
18	baseline	ol	88.52872	8.537807	18	baseline	cl	67.36538	5.389725
19	baseline	ol	91.95492	9.088184	19	baseline	cl	75.30098	6.448809
20	baseline	ol	72.86883	3.650428	20	baseline	cl	70.83937	5.631249

Figura 21 media di MGA in risposta alla presentazione di stimolo inducente 40mm nelle due condizioni OL e CL

MGA ~ inducente: 10mm; condizione: OL					MGA ~ inducente: 10mm; condizione: CL				
snumb	inducer	task	mga.mean	mga.sd	snumb	inducer	task	mga.mean	mga.sd
1	small	ol	86.01361	6.483941	1	small	cl	77.25682	6.606160
2	small	ol	79.68577	8.785986	2	small	cl	73.36939	4.404008
3	small	ol	92.23225	4.948655	3	small	cl	71.69599	4.212271
4	small	ol	88.49066	6.894977	4	small	cl	82.31920	6.009304
5	small	ol	94.43946	6.129018	5	small	cl	86.99693	11.626041
6	small	ol	90.99316	6.943355	6	small	cl	79.14165	7.462086
7	small	ol	94.64351	5.449664	7	small	cl	67.59482	4.292889
8	small	ol	83.08367	5.623311	8	small	cl	73.33057	4.227504
9	small	ol	78.28579	5.994695	9	small	cl	73.00423	5.196944
10	small	ol	77.92807	4.486961	10	small	cl	65.67429	5.428823
11	small	ol	79.77501	7.522380	11	small	cl	75.02584	11.742561
12	small	ol	82.79733	6.961838	12	small	cl	65.26836	4.535248
13	small	ol	75.19192	4.547810	13	small	cl	68.37307	5.292455
14	small	ol	84.72037	5.740907	14	small	cl	66.24784	4.935389
15	small	ol	85.72179	10.241811	15	small	cl	75.64803	6.636221
16	small	ol	76.34225	5.686632	16	small	cl	67.49338	7.019869
17	small	ol	68.23144	5.519419	17	small	cl	66.12631	4.084490
18	small	ol	88.12289	9.891306	18	small	cl	68.19980	4.689251
19	small	ol	93.35996	8.434082	19	small	cl	76.66414	6.489690
20	small	ol	75.12553	3.235966	20	small	cl	72.39700	6.785682

Figura 22 media di MGA in risposta alla presentazione di stimolo inducente 10mm nelle due condizioni OL e CL

Per testare la presenza di una differenza significativa tra gli effetti nelle due condizioni la statistica utilizzata è il t-test di Student; tale test ha evidenziato una differenza non significativa.

Nella Fig.23 è rappresentato l'effetto illusorio percentuale, la bisettrice corrisponde all'assenza di differenza tra la condizione OL e CL. Il quadrato nero rappresentato corrisponde alla media delle medie dell'effetto illusorio percentuale rispettivamente nella condizione OL e CL.

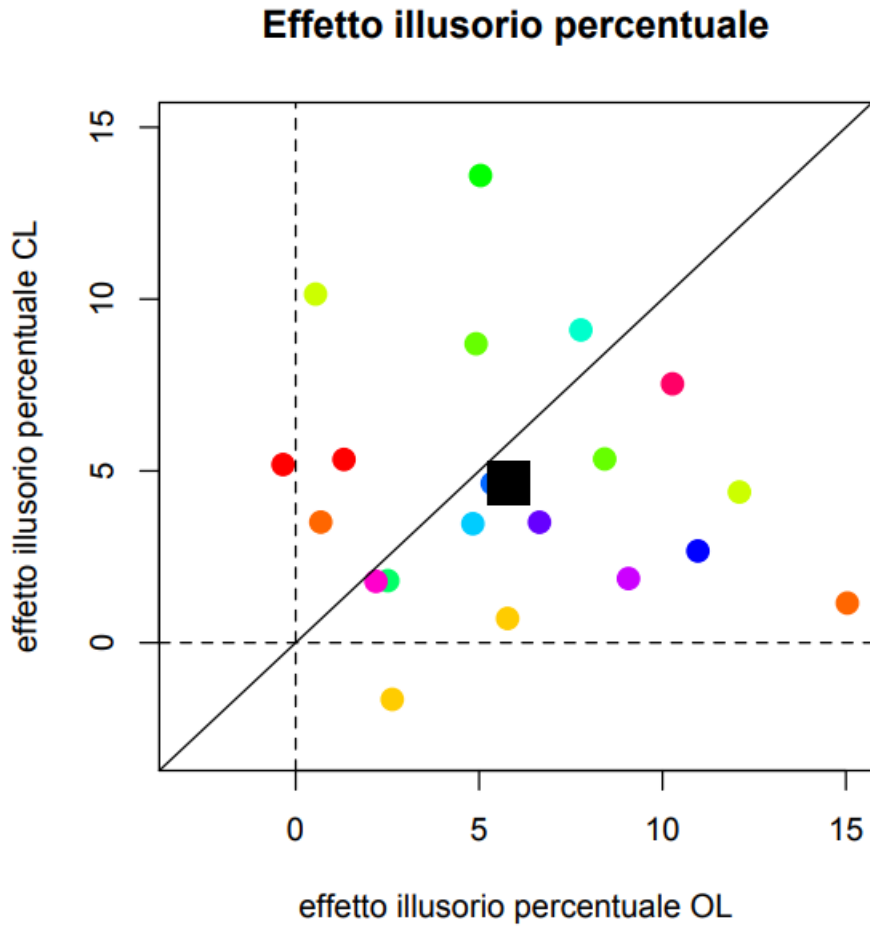


Figura 23 effetto illusorio percentuale

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La dissociazione anatomica e funzionale tra il substrato che controlla la ‘visione per percezione’ e il substrato che controlla la ‘visione per azione’, proposta dalla teoria di Milner e Goodale del 1992, ha portato alla convinzione che le azioni dovrebbero resistere all’effetto delle illusioni visive. L’illusione di Uznadze ha fornito dati sufficienti a confutare tale posizione.

Il presente lavoro di ricerca valuta l’impatto di tale illusione in una condizione di afferramento a circuito aperto e in una condizione di afferramento a circuito chiuso. Nel lavoro di Bruno e colleghi (2018) l’intervallo di tempo che intercorre tra la presentazione dello stimolo induttore e dello stimolo bersaglio è quasi pari a 0 secondi; è immediato poiché la presentazione degli stimoli avviene sullo schermo di un personal computer. Nel presente lavoro di ricerca sono stati utilizzati oggetti 3D reali, lo scambio manuale tra le due classi di stimoli richiede un certo lasso di tempo, sebbene gli sperimentatori siano stati ben addestrati a sostituire lo stimolo induttore con lo stimolo bersaglio nel minor tempo possibile tale procedura ha richiesto in media 2 secondi di tempo.

Secondo la teoria di Milner e Goodale il flusso dorsale possiede una memoria di breve durata; se ciò fosse vero ci aspetteremmo che il ritardo (2 secondi) intrinseco ad ogni prova, dovrebbe limitare notevolmente l’effetto dell’illusione di Uznadze sull’apertura tra pollice e indice nel compito di afferramento (MGA); al contrario i risultati dimostrano che il compito di presa è influenzato dal contrasto dovuto alla presentazione dei due stimoli nonostante la presenza di un inevitabile ritardo.

Dall’analisi del preview reaction time (PRT) si evince una differenza significativa tra la condizione a circuito aperto e a circuito chiuso. I partecipanti mediamente premono la barra spaziatrice per un lasso di tempo maggiore nella condizione OL rispetto alla condizione CL. Tale risultato supporta l’ipotesi secondo cui nella condizione a circuito aperto, poiché durante

il movimento non si hanno riscontri visivi, è necessario calibrare accuratamente il movimento di afferramento da eseguire, secondo prospettive egocentriche. Nella condizione a circuito chiuso il partecipante impiega minor tempo nella pressione della barra spaziatrice; è possibile sostenere come non sia necessaria una calibrazione puntuale e precisa a priori del movimento se è possibile usufruire di riscontri visivi durante l'esecuzione del movimento stesso; tali riscontri sono essenziali per apportare modifiche al movimento rendendolo funzionale.

I risultati dell'analisi del tempo in cui il partecipante raggiunge la massima apertura (TTMGA) dimostrano una differenza significativa della performance nelle due condizioni OL E CL.

I partecipanti nella procedura a circuito aperto impiegano meno tempo nel raggiungere la massima apertura tra pollice e indice (MGA) rispetto all'esecuzione del medesimo movimento nella condizione a circuito chiuso.

La condizione a circuito aperto genera un movimento più veloce rispetto alla genesi del medesimo movimento eseguito durante la procedura a circuito chiuso; nel primo caso l'afferramento si basa su coordinate egocentriche risidenti in memoria a breve termine che decadono dopo un certo lasso di tempo, ciò determina un movimento fulmineo e scattante che inevitabilmente raggiunge la MGA in un tempo inferiore rispetto alla condizione ad essa rapportata.

Nella procedura a circuito chiuso il partecipante calibra il proprio movimento sulla base di riscontri visivi che giungono durante l'esecuzione stessa del movimento, il raggiungimento dell'MGA sarà posticipato, rispetto alla condizione a circuito aperto.

Con l'acronimo MT, tempo di movimento, ci si riferisce al momento in cui il partecipante afferra lo stimolo bersaglio. Non risulta significativa la differenza nel tempo di afferramento tra due condizioni (OL e CL); sembra che non avere un riscontro visivo non implichi un ritardo nei tempi di afferramento dello stimolo bersaglio; la performance dei partecipanti sembra sia analoga nelle medesime condizioni.

L'obiettivo principale di tale ricerca era constatare se fosse presente l'effetto dell'illusione di Uznadze in entrambe le condizioni somministrate al partecipante; in altri termini l'obiettivo di tale tesi era constatare se le illusioni ottiche influenzassero la via dorsale nel momento in cui il partecipante usufruiva di feedback visivi durante l'esecuzione del movimento stesso.

Dai risultati delle analisi condotte si evince che in entrambe le condizioni il partecipante ha un valore di MGA indiscutibilmente maggiore rispetto al diametro dello stimolo bersaglio da afferrare.

Nella condizione definita a 'circuito aperto' i valori dell'MGA sono nettamente maggiori rispetto ai valori assunti dal partecipante nella condizione definita a 'circuito chiuso' a parità di stimolo target da afferrare; nella momento in cui il partecipante effettua il movimento 'alla cieca' tende ad aumentare maggiormente la distanza tra pollice e indice, ragionevolmente sarebbe più probabile che lo stimolo da afferrare rientri nel range se quest'ultimo assume ampiezza elevata.

Il secondo grafico della fig. 15 rappresenta il valore della MGA assunta dai partecipanti dopo l'esposizione dello stimolo inducente. I risultati rispettano il principio dell'illusione; nel momento in cui il partecipante è esposto allo stimolo inducente con diametro di 120mm raggiunge una MGA minore rispetto a quella raggiunta dopo l'esposizione dello stimolo inducente con diametro di 10mm.

In entrambi i casi le pendenze sono significativamente diverse da 0, il che vuol dire che l'effetto illusorio agisce in entrambe le condizioni e la statistica utilizzata ha sottolineato come non è presente una differenza significativa dell'effetto tra le due condizioni.

Nei punteggi dell' 'effetto illusorio corretto', l'analisi statistica utilizzata dimostra una differenza non significativa tra la condizione OL e CL.

In altri termini, è possibile asserire che il partecipante dopo essere stato esposto all'illusione ottica modifichi il proprio comportamento, analogamente a quanto previsto dall'illusione

stessa, anche nel caso possa usufruire di riscontri visivi durante l'esecuzione di un'azione (afferramento).

È possibile concludere tale trattazione sostenendo l'influenza delle illusioni ottiche (illusione di Uznadze) sulla via visiva dorsale; in particolare sulla via definita 'visione per azione', nella condizione in cui il partecipante usufruisca di riscontri visivi durante l'esecuzione dell'azione stessa (CL).

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Aglioti, S., DeSouza, J.F.X., & Goodale, A.D. (1995). *Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand*, *Current Biology* 5, 679-685
- Binkofski, F., Dohle, C., Posse, S., Stephan, K. M., Hefter, H., Seitz, R. J. and Freund, H. J. (1998). *Human anterior intraparietal area subserves prehension: a combined lesion and functional MRI activation study*, *Neurology* 50,1253-1259
- Bridgeman, B., Peery, S. and Anand, S. (1997). *Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space*, *Perception and Psychophysics* 59,456-469
- Bruno, N. (2001). When does action resist visual illusions?. *Trends in cognitive sciences*, 5(9), 379-382.
- Bruno, N. (2021). *Introduzione alla psicologia della percezione visiva. Come facciamo a vedere*, il Mulino.
- Bruno, N., Franz, V.H. (2009). *When is grasping affected by the Müller-Lyer illusion? A quantitative review*. *Neuropsychologia* 47, 1421-1433
- Bruno, N., Garofalo, G., Daneyko, O., & Riggio, L. (2018). Visual similarity modulates visual size contrast. *Acta Psychologica*, 188, 122-130.
- Franz, V. H., Gegenfurtner, K. R., Bulthoff, H. H., & Fahle, M. (2000). *Grasping visual illusions: No evidence for a dissociation between perception and action*. *Psychological Science*, 11(1), 20-25
- Franz, V. H., Hesse, C., & Kollath, S. (2009). Visual illusions, delayed grasping, and memory: no shift from dorsal to ventral control. *Neuropsychologia*, 47(6), 1518-1531.
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S. and Carey, D. P. (1991). *A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them*, *Nature* 349, 154-156
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in neurosciences*, 15(1), 20-25.
- Hu, Y. and Goodale, M. A. (2000). *Grasping after a delay shifts size-scaling from absolute to relative metrics*, *J. Cognitive Neuroscience* 12, 856-868
- Jeannerod, M., Arbib, M. A., Rizzolatti, G. and Sakata, H. (1995). *Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation*, *Trends in Neuroscience* 18, 314-320
- Kappers, A. M., & Bergmann Tiest, W. M. (2014). Influence of shape on the haptic size aftereffect. *PLoS one*, 9(2), e88729.
- Koffka, K. (1935), *Principles of Gestalt psychology*, New York, Harcourt Brace & Co 79, 130-152



- Kopiske, K. K., Bruno, N., Hesse, C., Schenk, T., & Franz, V. H. (2016). The functional subdivision of the visual brain: Is there a real illusion effect on action? A multi-lab replication study. *cortex*, 79, 130-152.
- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988) *Science* 240, 740-749. *Manuale di neuroscienze per visione occhio.*
- Matsumiya K (2012) *Haptic face aftereffect*. *i-Perception* 3, 97-100
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785.
- Pavani, F., Boscagli, I., Benvenuti, F., Rabuffetti, M., Farnè, A. (1999), *Are perception and action affected differently by the Titchener circles illusion?*, *Exp Brain Res* 127 (1), 95-101
- Rossetti, Y., Pisella, L., & McIntosh, R. D. (2017). Rise and fall of the two visual systems theory. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 60(3), 130-140.
- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, M., Murata, A., Tanaka, Y. and Tsutsui, K. (1998). *Neural coding of 3D features of objects for hand action in the parietal cortex of the monkey*, *Phil. Trans. Roy. Soc. London B: Biol. Sci.* 353, 1363-1373
- Schenk, T., Franz, V., & Bruno, N. (2011). *Vision-for-perception and vision-for-action: Which model is compatible with the available psychophysical and neuropsychological data?* *Vision Research* 5, 812-818
- Smeets, J.B.J., Brenner, E. (1999) *A new view on grasping*. *Mot Control*, 3(3), 237-271.
- Uccelli, S., Pisu, V., Riggio, L., & Bruno, N. (2019). *The Uznadze illusion reveals similar effects of relative size on perception and action*, *Experimental Brain Research*. 237(4), 953-965.
- Uznadze, D. (1966). *The Psychology of Set* (Consultants Bureau, New York).
- Westwood, D. A., Chapman, C. D. and Roy, E. A. (2000a). *Pantomimed actions may be controlled by the ventral visual stream*, *Experimental Brain Research* 130, 545-548
- Westwood, D. A., Heath, M. and Roy, E. A. (2000b). *The effect of a pictorial illusion on closed-loop and open-loop prehension*, *Experimental Brain Research* 134, 456-463
- Westwood, D.A., & Goodale, M.A. (2003) *Perceptual illusion and the real-time control of action*, *Spatial Vision* 16, 243-254
- Wong, E. and Mack, A. (1981). *Saccadic programming and perceived location*, *Acta Psychologica* 48, 123-131