



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

XXIV CICLO DEL DOTTORATO DI RICERCA IN

NEUROSCIENZE E SCIENZE COGNITIVE

Indirizzo PSICOLOGIA

BASI NEUROFISIOLOGICHE E RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE DELL'EFFETTO DI CONTRASTO CROMATICO IN PAZIENTI CON CEREBROLESIONE ACQUISITA E PARTECIPANTI SANI

Settore scientifico-disciplinare M-PSI/02

DOTTORANDA

Antonia Fumarola

COORDINATORE

Prof. Tiziano Agostini

RELATORE

Prof. Tiziano Agostini

CORRELATORE

Dott. Konstantinos Prifitis

ANNO ACCADEMICO 2010/2011

A Giovanni e Sofia

Indice

I	Introduzione Generale	7
II	Le basi neurofisiologiche dei fenomeni di contrasto e di costanza acromatici	13
1	Introduzione	15
1.1	I fenomeni di contrasto e di costanza acromatici: definizione e teorie . . .	15
1.2	Le basi neurofisiologiche dei fenomeni di contrasto e di costanza acromatici.	20
2	Esperimenti	27
2.1	METODO	27
2.1.1	Partecipanti	27
2.1.2	Apparato e stimoli	30
2.1.3	Procedure	31
2.1.4	Risultati	32
2.2	Ulteriori studi	33
3	Conclusioni	39

III	La rappresentazione mentale del contrasto di luminanza	43
4	Introduzione	45
4.1	L'effetto SNARC	45
4.2	I modelli teorici che spiegano l'effetto SNARC	52
4.2.1	Triple-Code Model	52
4.2.2	Il modello "Polarity correspondence".	54
4.2.3	Modello a due vie di Gevers	56
4.2.4	La teoria della magnitudo : ATOM	57
4.3	I numeri e la luminanza: effetto congruenza	59
5	Esperimenti	63
5.1	Esperimento 1 "Compito Indiretto"	63
5.1.1	Metodo	63
5.1.1.1	Partecipanti	63
5.1.1.2	Apparato	63
5.1.1.3	Stimoli	64
5.1.2	Disegno sperimentale	66
5.1.3	Procedura	66
5.1.4	Risultati	69
5.2	Esperimento 2 "Compito Diretto"	71
5.2.1	Metodo	71
5.2.1.1	Partecipanti	71
5.2.1.2	Apparato	71
5.2.1.3	Stimoli	71
5.2.2	Disegno sperimentale	72

<i>INDICE</i>	3
5.2.3 Procedura	72
5.2.3.1 Risultati	75
6 Conclusioni	77
IV Conclusioni Generali e Studi Futuri	79
Bibliografia	83

Elenco delle figure

2.1	In tabella vengono descritti i punteggi ottenuti dai pazienti con lesione all'emisfero sinistro per ogni funzione cognitiva. Il segno positivo indica un punteggio nella norma. Il segno negativo indica un punteggio al di sotto della norma.	29
2.2	In tabella vengono descritti i punteggi ottenuti dai pazienti con lesione all'emisfero destro per ogni funzione cognitiva. Il segno positivo indica un punteggio nella norma. Il segno negativo indica un punteggio al di sotto della norma.	29
2.3	Grafico della media dei giudizi dei pazienti con lesione all'emisfero destro per ogni condizione sperimentale. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.	33
2.4	Grafico della media dei giudizi dei pazienti con lesione all'emisfero sinistro per ogni condizione sperimentale. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.	34
2.5	Grafico della media dei giudizi dei partecipanti del gruppo di controllo per ogni condizione sperimentale. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.	35

2.6	Grafico dei giudizi per ogni condizione sperimentale del paziente DR. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.	37
2.7	Grafico dei giudizi per ogni condizione sperimentale del paziente TG. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.	37
2.8	Grafico dei giudizi per ogni condizione sperimentale del paziente PG. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.	38
4.1	Posizionamento delle mani nel paradigma sperimentale usato da Dehaene et al., (1993). Riprodotto da: Hubbard et al., 2005.	47
4.2	Grafico dei risultati dei tempi di reazione delle due mani rispetto ai numeri presentati (riprodotto da: Hubbard et al., 2005).	48
5.1	Immagine degli stimoli usati per gli esperimenti con i loro relativi valori del contrasto di Michelson.	65
5.2	Grafico della rappresentazione degli stimoli nel sistema CIELUV.	65
5.3	Tabella con i valori di L^* , u^* e v^* per ogni stimolo.	66
5.4	Disposizione del laboratorio e del partecipante di fronte allo schermo.	67
5.5	Esempio del trial dell'esperimento 1 "Compito Indiretto".	68
5.6	Grafico della differenza media (± 1 errore standard) delle mediane dei TR mano destra - TR mano sinistra funzione dei valori di contrasto di Michelson.	70
5.7	Esempio del trial dell'esperimento 1 "Compito Diretto".	73
5.8	Grafico della differenza media (± 1 errore standard) delle mediane dei TR mano destra - TR mano sinistra in funzione dei valori di contrasto di Michelson.	75

Parte I

Introduzione Generale

In questa tesi verranno descritti gli studi che ho condotto durante i tre anni di dottorato e sui quali il mio interesse si è maggiormente concentrato. Durante questo periodo di dottorato mi sono focalizzata in particolar modo su alcuni aspetti riguardanti i processi sottostanti la percezione e la rappresentazione del colore sia cromatico che acromatico. La percezione e la discriminazione del colore dipendono da vari processi psicofisici e psicometrici. Questi possono essere l'effetto di costanza, l'effetto di contrasto acromatico e cromatico simultaneo, l'effetto dell'eguagliamento acromatico e cromatico. Gli aspetti, in particolare che sono stati indagati in questa tesi sono: la percezione del contrasto e della costanza acromatici e la rappresentazione mentale del contrasto di luminanza cromatico.

La tesi è divisa in due parti. Nella prima parte verranno delineati gli esperimenti che sono andati a studiare i possibili correlati neurologici implicati nel processamento dei fenomeni di costanza e di contrasto acromatici. Ci sono molte teorie a riguardo che tentano di spiegare questi fenomeni. La maggior parte di queste teorie si avvalgono di spiegazioni legate alle caratteristiche dei neuroni presenti nella retina, nel nucleo genicolato laterale e nella corteccia striata (inibizione laterale, filling-in). Queste teorie però non riescono a spiegare completamente questi fenomeni (Agostini & Galmonte, 2002; Cornelissen, Wade, Vladusich, Dougherty, & Wandell, 2006). Uno studio recente (Leonards, Troscianko, Lazeyras, Ibanez, 2005) ha evidenziato mediante risonanza magnetica funzionale che esiste una regione cerebrale diversa da quelle che si attivano per la luminanza e il contrasto (nucleo genicolato laterale e V1) che si attiva in presenza di stimoli che inducono una luminosità apparente (Zavagno, 1996) (nel lobo occipito-temporale e solco collaterale, al confine fra le aree 37 e 19 di Brodman). Inoltre, Agostini e Galmonte (2002) hanno dimostrato come l'effetto di contrasto classico incrementa quando viene inserito nella figura un gradiente che induce una luminosità apparente. Considerando quindi, che sui correlati neurali dei fenomeni di contrasto e costanza ci sono dati discor-

danti, che esiste probabilmente un'area corticale deputata al processamento di condizioni di luminosità apparente e che vi sono condizioni sperimentali che dimostrano il coinvolgimento non solo di fattori locali ma anche globali nei fenomeni di contrasto e di costanza, probabilmente potrebbero esserci delle aree corticali superiori oltre a quelle che compongono la via visiva primaria che hanno un ruolo importante nell'analisi dei fenomeni di contrasto e di costanza acromatici. Scopo della tesi è quello di verificare le basi neuroanatomiche dei fenomeni di contrasto e di costanza acromatici mediante la valutazione di pazienti con cerebrolesione acquisita.

Nella seconda parte sarà descritto uno studio svolto sulla rappresentazione mentale del contrasto di luminanza. Questo studio parte dalla vasta letteratura presente sulla rappresentazione mentale dei numeri. Dehaene, Bossini e Giraux (1993) dimostrarono, attraverso un paradigma in cui i partecipanti dovevano giudicare la parità del numero usando le due mani, che la mano sinistra aveva tempi di reazione (TR) più veloci per i numeri piccoli (da 1 a 4) rispetto alla mano destra, mentre la mano destra aveva TR più rapidi con i numeri grandi (6-9). Da questo conclusero che i numeri hanno una rappresentazione mentale spaziale che segue una linea orientata da sinistra verso destra. Questa associazione tra la grandezza numerica e lo spazio fu chiamato effetto S.N.A.R.C (Spatial Numerical Association of Response Codes). Da questo studio in poi moltissimi studiosi hanno indagato in maniera più precisa quali caratteristiche avesse questo effetto e se fosse specifico solo per i numeri. Studi più recenti (ad es. Gevers, Reynvoet, & Fias, 2003) hanno evidenziato come l'effetto SNARC non sia specifico solamente per i numeri, ma che interessi anche altri concetti non numerici, cioè le lettere dell'alfabeto, i mesi dell'anno, i giorni della settimana, le grandezze geometriche, le note musicali e la luminosità. Alcuni studi hanno dimostrato come ci sia un effetto di congruenza tra la grandezza numerica e la luminosità usando un compito di comparazione (Pinel, Piazza, Le Bihan, & Dehaene, 2004; Cohen Kadosh, Cohen Kadosh, & Henik,

2008; Cohen Kadosh, Cohen Kadosh, Kaas, Henik, & Goebel, 2007; Cohen Kadosh, & Henik, 2006; Gebuis, & van der Smagt, 2011). Da questi studi si deduce come probabilmente non solo per i numeri ma anche per il contrasto di luminanza ci possa essere una rappresentazione spaziale. Nessuno degli studi in letteratura ha indagato l'associazione tra spazio e contrasto di luminanza in maniera diretta usando un compito simile a quello usato per i numeri e nessuno ha mai usato stimoli cromatici, ma solamente acromatici. Il proposito di questa tesi è stato proprio quello di indagare la relazione tra il contrasto di luminanza cromatico e lo spazio in maniera diretta e se questa relazione è simile a quella trovata per i numeri.

Parte II

Le basi neurofisiologiche dei
fenomeni di contrasto e di
costanza acromatici

Introduzione

1.1 I fenomeni di contrasto e di costanza acromatici: definizione e teorie

Negli studi sulla percezione dei colori acromatici ci si riferisce in genere a due contributi del colore di superficie. Il primo attributo sarebbe la bianchezza che sarebbe il modo di apparire superficiale del colore il quale varia lungo un continuum che va dal bianco al nero. Il secondo attributo sarebbe la chiarezza, un attributo dell'intensità della bianchezza, che varia lungo un continuum che va dal chiaro allo scuro e a cui si riferiscono espressioni come "in luce e/ in ombra (Gerbino, 1983)". La difficoltà che interviene nella distinzione tra i vari attributi del colore deriva dall'esistenza di un'unica variabile prossimale che è la luminanza, cioè il valore assoluto della luce che stimola i recettori. Molti studiosi (Katz 1935; Koffka, 1935) hanno tentato di chiarire le relazioni esistenti tra le variabili prossimali e i relativi percettivi, ma ancora questo problema rimane insoluto. In letteratura si trovano spesso i termini chiarezza e bianchezza usati in maniera indistinta. Solitamente però per misurare questi fenomeni viene usata la scala Munsell che è stata progettata e costruita appositamente per rilevare le differenze nella dimensione della bianchezza. In questo nostro studio faremo riferimento alla costanza e al contrasto di bianchezza.

La costanza di bianchezza è il fenomeno percettivo per cui superfici di riflettanza omogenea vengono viste dello stesso colore anche quando cambia l'illuminazione. La superficie bianca del foglio su cui sto scrivendo non cambia di colore neanche quando, al tramonto, la quantità di luce che lo illumina si riduce drasticamente. Quello che vedo, in queste condizioni, non è un foglio grigio, ma un foglio bianco poco illuminato. Ciò cos-

tituisce un problema di indeterminazione percettiva in quanto l'informazione prossimale disponibile al sistema visivo per percepire, da un lato, il colore di superficie e dall'altro, l'illuminazione ambientale, è la stessa e cioè la luminanza che è il risultato del prodotto tra la quantità di luce incidente e la riflettanza delle superfici degli oggetti ambientali.

Nel fenomeno del contrasto di bianchezza, invece, due superfici grigie fisicamente identiche, se poste una su sfondo bianco e l'altra su sfondo nero, acquistano percettivamente una componente antagonista al colore su cui giacciono, cioè quella su sfondo bianco assume una componente nera e quindi il grigio appare più scuro rispetto al grigio sullo sfondo nero. Mentre il grigio su sfondo nero acquisterà una componente bianca e il grigio apparirà più chiaro rispetto a quello posto su sfondo bianco.

Il problema della costanza e del contrasto di bianchezza sono stati studiati in modo sistematico a partire dalla seconda metà del 19° secolo e le teorie più rappresentative dell'epoca sono state proposte da Helmholtz e da Hering.

Helmholtz (1866/1962) attribuiva il fenomeno della costanza a fattori cognitivi come l'apprendimento ed il giudizio. Per Helmholtz la costanza deriva da una inferenza inconscia operata dal sistema visivo sull'intensità dell'illuminazione, che viene poi utilizzata per compensare alle variazioni di luminanza effettivamente registrate, in modo da mantenere invariato il colore di superficie degli oggetti. Helmholtz applicava la stessa teoria anche al contrasto simultaneo. In questa situazione il partecipante percepirebbe il quadrato grigio come immerso in una luce ambientale dello stesso colore della superficie inducente. L'operazione di giudizio inconscio porterebbe a sottrarre al grigio una componente cromatica dello stesso colore della superficie inducente, facendo così comparire il colore complementare. Quindi secondo Helmholtz entrambi i fenomeni di contrasto e di costanza sono di origine centrale e vanno interpretati in termini di inferenza inconscia. Il fenomeno che viene prima sarebbe quello della costanza, in cui viene sottratto dal colore percepito una componente del colore ambientale. Questo meccanismo nel caso

del fenomeno di contrasto sarebbe applicato in maniera erronea portando ad interpretare come luce ambientale la superficie inducente.

Hering (1920), invece, riteneva che i fattori responsabili del fenomeno della costanza fossero di tipo fisiologico, come ad esempio l'adattamento dei recettori retinici e l'inibizione laterale. Secondo lui il fenomeno primario è quello del contrasto che egli riteneva fosse interpretabile in termini fisiologici mediante i processi di inibizione laterale dei recettori. Quando un recettore retinico viene stimolato, i recettori dello stesso tipo accanto a lui sono inibiti. Così, se vengono stimolati i recettori per il rosso, i recettori adiacenti per il rosso risultano inibiti; questo vuol dire, secondo la teoria dei recettori per coppie di colori complementari, che questi recettori inviano gli stessi impulsi che corrispondono alla percezione del verde. Questa è la teoria sull'interpretazione del contrasto che è stata maggiormente accettata. Hering poi attraverso questa teoria passava a spiegare anche il fenomeno della costanza usando un ragionamento inverso rispetto a quello di Helmholtz. Secondo lui la luce ambientale si comporta come luce inducente, e provoca un fenomeno di inibizione laterale sui recettori che ricevono la luce oggettuale, fenomeno che equivale, per puri meccanismi fisiologici, alla sottrazione di una componente cromatica dello stesso colore della luce inducente dalla luce oggettuale. Per esempio: abbiamo un oggetto grigio illuminato da una luce rossa che riflette quindi una luce rossastra. Ma la luce rossa che lo illumina e che è diffusa nell'ambiente, produce un'inibizione laterale per il rosso nei recettori che ricevono la luce riflessa dall'oggetto. La conseguenza sarà una sottrazione di una componente cromatica rossa da questa luce, e quindi una conservazione del colore originale. Questa è la teoria sull'interpretazione del contrasto che è stata maggiormente accettata e che ancora oggi è ritenuta la più accreditata.

In epoca più recente, gli studiosi del fenomeno hanno posto l'accento sui valori di luminanza relativi, anziché su quelli assoluti. Wallach (1948) è probabilmente l'esponente

più rappresentativo di quest'approccio. Il principio proposto dall'autore, noto come «principio dei rapporti di luminanza», è particolarmente importante per la sua semplicità e validità ecologica. Egli aveva posto in una stanza completamente buia quattro proiettori a intensità variabile, ognuno dei quali proiettava un fascio di luce che si distribuiva su di uno schermo. Prima di iniziare l'esperimento veniva fissata la luminanza di due anelli e quella di due dischi. Il compito era quello di aggiustare la luminanza dell'altro anello in modo che la bianchezza dei due dischi fosse identica. I risultati mostravano una corrispondenza tra la bianchezza del disco e il rapporto tra la sua luminanza e quello dell'anello che lo circonda. L'autore spiega la costanza sottolineando che al variare dell'illuminazione variano solo i valori assoluti di luminanza, ma i rapporti di luminanza tra regioni adiacenti nel campo visivo restano costanti. Il sistema visivo, in altre parole, non attribuirebbe la bianchezza delle superfici in base ai valori assoluti di luminanza, ma in base a quelli relativi. Il principio dei rapporti di luminanza, tuttavia, presenta un problema: se il sistema visivo seguisse tale principio in modo preciso la bianchezza rimarrebbe esattamente costante al variare dell'illuminazione, in quanto, i rapporti di luminanza nello stimolo rimarrebbero esattamente uguali. Invece, da studi psicofisici emerge che variando l'illuminazione, la bianchezza delle superfici, pur tendendo a rimanere costante, non resta sempre esattamente la stessa. In alcune condizioni, quindi, il sistema visivo non è guidato esclusivamente dal principio dei rapporti ma sembra servirsi anche di altre informazioni. Secondo alcuni ricercatori (Hering, 1920; Kardos, 1934; MacLeod, 1947; Agostini, & Galmonte, 1997, 2002) un'informazione importante nella percezione dei fenomeni del contrasto e di costanza di bianchezza sarebbe il profilo di luminanza del margine, nel senso che le transizioni graduali segnalerebbero, molto di più di quelle nette, un cambiamento d'illuminazione piuttosto che di riflettanza, con il conseguente effetto di un miglioramento della costanza e del contrasto.

Un modello che interpreta questi due fenomeni ponendo l'accento sulle informazioni

derivanti dai margini è quello di Gilchrist (1988). Questo modello spiega i fenomeni di costanza e di contrasto di bianchezza partendo da una base comune, che sarebbe la percezione dei margini. L'autore definisce la costanza di bianchezza come costanza di tipo I, mentre il contrasto di bianchezza come costanza di tipo II, definita come una perdita di costanza di tipo I. Quindi spiega questi fenomeni come un'unico processo partendo dalla costanza di bianchezza e dove il contrasto di bianchezza sarebbe un errore. Il suo modello computazionale propone che i margini presenti nell'immagine verrebbero prima estratti, poi classificati e infine integrati. Secondo l'autore ci sono due tipi di margini (Gilchrist, 1979), i margini di riflettanza, che indicano una disomogeneità nella riflettanza delle superfici e margini d'illuminazione, che indicano una disomogeneità dell'illuminazione delle superfici. L'integrazione di tutti i margini nella categoria della riflettanza porta a una mappa di tutte le riflettanze, mentre l'integrazione di tutti i margini nella categoria dell'illuminazione permette una mappa della distribuzione spaziale dell'illuminazione. La classificazione dei margini permette di separare l'immagine retinica in due strati sovrapposti, uno che rappresenta i valori di bianchezza e l'altro la distribuzione spaziale dell'illuminazione delle superfici. L'apparato sperimentale usato da Gilchrist per verificare questo modello prevedeva un grande foglio bianco fissato ad una parete di un'alcova. Una sorgente di luce era posta di fronte all'alcova e un foglio di carta nero veniva posto in modo da proiettare un'ombra su circa metà foglio bianco. Sulla parte in ombra viene fissata una scala Munsell. Manipolando leggermente le condizioni di osservazione era possibile modificare la percezione del margine, che poteva essere vista in maniera veridica come margine d'illuminazione (condizione di costanza) o in maniera errata come margine di riflettanza (condizione di contrasto). Quando il margine viene percepito come di riflettanza, i partecipanti fanno un eguagliamento di luminanze (luminance match) e la zona target viene vista come grigia tendente al nero; quando lo stesso margine viene visto come d'illuminazione i partecipanti fanno un eguagliamento

tra i rapporti di luminanza (ratio matching) e la zona target viene vista di colore grigio tendente al bianco. Da questi risultati Gilchrist definì questi due fenomeni come costanza di bianchezza di tipo I e di tipo II. La costanza di tipo I sarebbe la forma tradizionale di costanza di bianchezza cioè costanza rispetto al cambiamento d'illuminazione; in questa situazione i valori delle bianchezze vengono determinati dalla sola integrazione dei margini di riflettanza escludendo quelli d'illuminazione. Quella di tipo II è la costanza rispetto al cambiamento degli sfondi; in questa situazione nel processo di computazione viene dato meno peso al margine che divide lo sfondo bianco da quello nero rispetto a quello dato dai margini locali che delimitano le regioni target dai rispettivi sfondi. Il contrasto simultaneo di bianchezza, dunque rappresenterebbe una perdita della costanza di tipo I.

1.2 Le basi neurofisiologiche dei fenomeni di contrasto e di costanza acromatici.

Le spiegazioni più accreditate dei fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza si basano sulla fisiologia della via visiva primaria.

In particolare la costanza percettiva sarebbe il risultato della modulazione della sensibilità del sistema visivo secondo dei livelli di luminosità e avviene mediante meccanismi adattivi che agiscono a livello dei fotorecettori. I cambiamenti adattivi vantaggiosi per il sistema sarebbero due: un cambiamento nella sensibilità con la variazione dei livelli di luce e uno slittamento nella gamma di operatività che permetta all'intera gamma di risposte di essere usata per ogni gamma di intensità intorno a ciascun livello di adattamento. A livello retinico, sia i coni che i bastoncelli mostrano cambiamenti di sensibilità alla variazione del livello di luce ambientale; solo i coni slittano la loro gamma di risposte con l'adattamento.

Per quanto riguarda invece le basi neurali del contrasto queste dipendono dalla relazione che c'è da una parte tra la luminanza percepita e la luminanza fisica e dall'altra dalla luminanza percepita e la frequenza di scarica dei neuroni retinici. Consideriamo l'esempio classico che mostra l'effetto di contrasto: un cerchio grigio su sfondo bianco appare più scuro dello stesso grigio posto su sfondo nero. L'organizzazione centro-periferia dei campi recettivi delle cellule gangliari e di quelle del nucleo genicolato laterale può spiegare questo effetto in quanto in una cellula con centro-ON, l'aumento della frequenza di scarica rispetto al valore medio si registra in corrispondenza del lato chiaro del bordo, mentre la riduzione della frequenza di scarica si registra in corrispondenza del lato oscuro del bordo.

Sulla base delle caratteristiche fisiologiche del sistema visivo si è sviluppata la teoria dell'inibizione laterale. Secondo questa teoria la percezione del colore deriva da due processi antagonisti che avvengono a livello della retina. Il primo processo sarebbe quello di eccitazione del recettore stimolato dalla luce che lo colpisce. Il secondo sarebbe il processo di inibizione che deriva dai recettori adiacenti. Quando questi processi si annullano a vicenda si ha il fenomeno della costanza. Quando, invece, i target che hanno uguale luminanza evocano diversi livelli di eccitazione, ma i due sfondi evocano diversi livelli di inibizione e quindi il livello di inibizione esercitata dallo sfondo bianco sul target sarebbe maggiore rispetto a quello esercitato dallo sfondo nero. Secondo questa teoria il fenomeno della costanza deriva da quello del contrasto. Facciamo un esempio per capire come questo avvenga: nel caso del contrasto abbiamo due target (T1 e T2) di riflettanza uguale che stanno su sfondi di riflettanza diversi (S.B. e S.N.) sotto condizioni di illuminazione costanti. L'effetto d'inibizione subito da T1 posto su sfondo bianco è maggiore dell'effetto d'inibizione subito da T2 che si trova sullo sfondo nero. Invece nel caso della costanza abbiamo due target di riflettanza identica (T1 e T2) che si trovano su uno sfondo omogeneo (S.O.) ma in condizioni diverse di illuminazione (uno esposto

alla luce diretta e l'altro in ombra). In questo caso l'effetto d'inibizione subito da T1 è tanto più grande rispetto all'effetto d'inibizione subito da T2.

Un'altra teoria che potrebbe spiegare i fenomeni di contrasto e di costanza nella percezione del colore sarebbe quella del filling-in, cioè del riempimento. L'idea di base sarebbe che se non vi sono disomogeneità spaziali sopra soglia non si percepisce alcun cambiamento di colore di superficie e il colore di un'area del campo visivo si determina in corrispondenza di variazioni spaziali sopra soglia. Quindi tutta l'area compresa entro i margini risultati da variazioni localmente sopra soglia appare dello stesso colore, come se venisse riempita di quel colore in modo uniforme. Quindi in assenza di margini non si notano cambiamenti di colore. Pertanto questa teoria si basa principalmente sul fatto che questi fenomeni dipendano dai margini.

Negli ultimi anni con l'introduzione di nuove metodologie strumentali d'indagine dei processi cognitivi alcuni scienziati hanno cercato di dare delle risposte più precise sui correlati neurofisiologici dei fenomeni di contrasto e di costanza.

Rossi e Paradiso (1999) usarono i cambiamenti di luminosità indotti dalla modulazione della luminanza dello sfondo per investigare la rappresentazione della percezione della luminosità. Registrarono le risposte cellulari della corteccia striata, del nucleo genicolato laterale e del tratto ottico di gatti durante la percezione della luminosità. Loro trovarono che le risposte delle cellule nel tratto ottico non erano mai correlate con la luminosità. Solo nella corteccia striata e in una piccola parte del nucleo genicolato laterale i neuroni davano risposte correlate alla luminosità in tutte le condizioni sperimentali. Da questi risultati gli autori conclusero che i neuroni che rispondono esplicitamente alla luminosità si trovano nella corteccia striata.

Perna, Tosetti, Montanaro e Morrone (2005) mostrarono, usando risonanza magnetica funzionale, che due aree associative della via dorsale, la regione caudale del solco intraparietale e nel solco occipitale laterale, rispondono in maniera specifica all'illusione

Craik-O'Brien-Cornsweet. Altre aree visive, includendo la corteccia visiva primaria rispondevano alla localizzazione del bordo dell'illusione, ma in realtà non specificatamente per l'illusione di luminosità. Sembra quindi che ci siano delle aree associative delle vie visive che si attivano per il processamento della luminosità pur non essendoci dei cambiamenti fisici nella luminanza.

Roe, Lu e Hung (2005) riportarono anche loro che nella corteccia visiva delle scimmie ci sono delle cellule che rispondono alla luminanza, mentre i neuroni che rispondono in maniera specifica all'illusione di Cornsweet si trovano prevalentemente in V2. Questi risultati mostrano come nelle scimmie ci sia una divisione tra il processamento del colore e della superficie. Inoltre che il processamento della luminosità avviene secondo un ordine che va dalla V1 alla V2.

Cornelissen Wade, Vladusich, Dougherty, Wandell (2006) cercarono mediante l'uso della risonanza magnetica funzionale di verificare i correlati neurali alla base della teoria del filling-in. Loro trovarono che la percezione della luminosità viene modulata dallo sfondo sottostante più che dalla superficie. Non trovarono però una corrispondenza nella modulazione locale nella corteccia visiva primaria. Inoltre trovarono una forte evidenza del contributo dei bordi locali nelle risposte. Conclusero che le aree V1 e V2 non contengono i meccanismi per il filling-in.

Leonards, Troscianko, Lazeyras, Ibanez (2005) studiarono i fenomeni di luminosità apparente mediante risonanza magnetica funzionale per verificare se vi fossero dei correlati neurali legati a questi fenomeni. Loro trovarono che l'area visiva extra striata è coinvolta nel processamento dei stimoli che inducono una luminosità apparente.

Agostini e Galmonte (2002) hanno dimostrato come ci sono fattori anche globali e non solo locali nel processamento del contrasto di bianchezza. Presentarono un cubo di Necker di colore grigio con gli angoli neri, posto su sfondo bianco e con gli angoli bianchi su sfondo nero. Il compito era quello di fare uno spostamento visivo della

prospettiva del cubo e durante questo spostamento giudicare il grigio del cubo rispetto a una scala Munsell posta di fianco. I partecipanti nella condizione del cubo su sfondo bianco tendevano a giudicare il colore del cubo tendente al bianco (nella condizione classica del contrasto sarebbe stato giudicato tendente al nero), mentre sullo sfondo nero con gli angoli chiari il cubo viene giudicato tendente al nero (nella condizione del contrasto classico sarebbe stato giudicato tendente al bianco).

Visti gli studi descritti lo scopo della presente tesi è quello di verificare se nel procesamiento dei fenomeni di contrasto e di costanza sono coinvolti non solo i neuroni della retina e della via visiva primaria, ma sono coinvolte anche aree associate a quelle visive. Nessun studio prima in letteratura aveva osservato i fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza in pazienti con cerebrolesione acquisita.

Questo è stato fatto mediante la valutazione con gli esperimenti condotti da Agostini e Galmonte (2002) di pazienti con cerebrolesione acquisita (ictus). Agostini e Galmonte hanno verificato come l'effetto di contrasto classico è maggiore quando viene aggiunto un gradiente formato da una croce con i bracci che vanno dal nero al bianco che crea un effetto di luminosità apparente (effetto glow; Zavagno, 1999). In questa situazione nonostante il gradiente usato abbia la stessa luminanza viene percepito come diversamente illuminato. Secondo gli autori il gradiente di luminanza viene percepito come un gradiente d'illuminazione piuttosto che un cambiamento nelle riflettanza della superficie. Ci troviamo dunque in una situazione di contrasto di bianchezza in quando abbiamo un target di colore grigio che si trova o su uno sfondo nero o su uno sfondo bianco, con l'aggiunta della condizione del gradiente di luminanza (percepito come gradiente d'illuminazione) che induce un cambiamento d'illuminazione (quindi situazione di costanza). Margini più gradualmente che netti porterebbero a un miglioramento della percezione del contrasto e della costanza di bianchezza.

Scopo dello studio è quello di replicare questo esperimento nei pazienti con cerebrolesione-

sione acquisita (ictus) per verificare se lesioni cerebrali possono influire nella percezione del contrasto e della costanza di bianchezza.

In base alla letteratura descritta ci aspettiamo di trovare delle differenze nella percezione dell'effetto glow tra i pazienti e i partecipanti sani. Dato che in letteratura tutti gli studi forniscono dati in cui le attivazioni neurali sono in entrambi gli emisferi, non possiamo ipotizzare a priori se ci saranno delle differenze tra i pazienti con lesione all'emisfero sinistro e quelli con lesione all'emisfero destro.

Esperimenti

2.1 METODO

2.1.1 Partecipanti

Hanno partecipato all'esperimento tre gruppi di partecipanti: un gruppo di 6 pazienti con lesione all'emisfero sinistro (età media: 59.5), un gruppo di 6 pazienti con lesione all'emisfero destro (età media: 70.75) e un gruppo di 10 partecipanti sani (età media: 65).

Sede lesione in pazienti con danno emisfero sinistro	Sede lesione in pazienti con danno emisfero destro
Paziente P.M	Paziente S.G.
Vasta lesione ipodensa in sede temporo-parieto-occipitale sinistra ed a livello del mesencefalo a sinistra.	Lesione fronto- temporo-parietale destra.
Paziente A.V.	Paziente L.S.
Occipitale e temporale posteriore sinistra associata a riduzione in ampiezza del corno occipitale del ventricolo laterale omolaterale e degli spazi subaracnoidei periencefalici.	Due aree sottocorticali di sfumata ipodensità in sede corno frontale e corno occipitale del ventricolo laterale di destra.

Sede lesione in pazienti con danno emisfero sinistro	Sede lesione in pazienti con danno emisfero destro
Paziente F.V.	Paziente D.L.
Vasta iperdensità di natura emorragica a livello dei nuclei della base di sinistra. . . ipodensità da riferire ad esiti vascolari in sottocorticale frontale a sinistra a livello del corno anteriore del ventricolo laterale.	Lesione in sede fronto parietale destra.
Paziente M.L.	Paziente C.M.
A sinistra vasta lesione ipodensa, disomogenea, ischemica in sede fronto-temporo-parietale, coinvolgente anche i nuclei della base.	Lesione in sede fronto parietale destra.
Paziente G.B.	Paziente S.M.
In sede frontale e occipitale sinistro.	Lesione in sede frontale destra.
Paziente V.	Paziente T.L.
In sede frontale e parietale sinistro.	Lesione in sede temporo parietale destra.

		Linguaggio	Memoria breve termine	Memoria lungo termine	Attenzione	Funzioni esecutive	Percezione visiva	Funzioni prassiche
Pazienti lesione emisfero sinistro	PM	-	-	-	-	-	+	-
	AV	+	-	-	-	+	+	-
	FV	-	+	-	-	-	+	+
	ML	-	+	+	-	+	+	+
	GB	-	+	-	-	+	+	-
	VR	-	NV	NV	-	NV	+	NV

Figura 2.1: In tabella vengono descritti i punteggi ottenuti dai pazienti con lesione all'emisfero sinistro per ogni funzione cognitiva. Il segno positivo indica un punteggio nella norma. Il segno negativo indica un punteggio al di sotto della norma.

		Linguaggio	Memoria breve termine	Memoria lungo termine	Attenzione	Funzioni esecutive	Percezione Visiva	Funzioni prassiche
Pazienti lesione emisfero destro	SG	+	+	+	-	+	+	-
	LS	+	-	+	+	+	+	+
	DL	+	+	-	+	+	+	+
	CM	+	+	+	-	+	+	-
	SM	+	+	+	+	+	+	+
	TG	+	+	+	+	+	+	-

Figura 2.2: In tabella vengono descritti i punteggi ottenuti dai pazienti con lesione all'emisfero destro per ogni funzione cognitiva. Il segno positivo indica un punteggio nella norma. Il segno negativo indica un punteggio al di sotto della norma.

2.1.2 Apparato e stimoli

Tutti gli stimoli erano mostrati su un monitor (1024 X 768 pixels, 15") connesso a un notebook controllato dal sistema operativo Windows Vista. La luminanza e la cromaticità del monitor sono state controllate. Gli stimoli erano divisi in quattro condizioni:

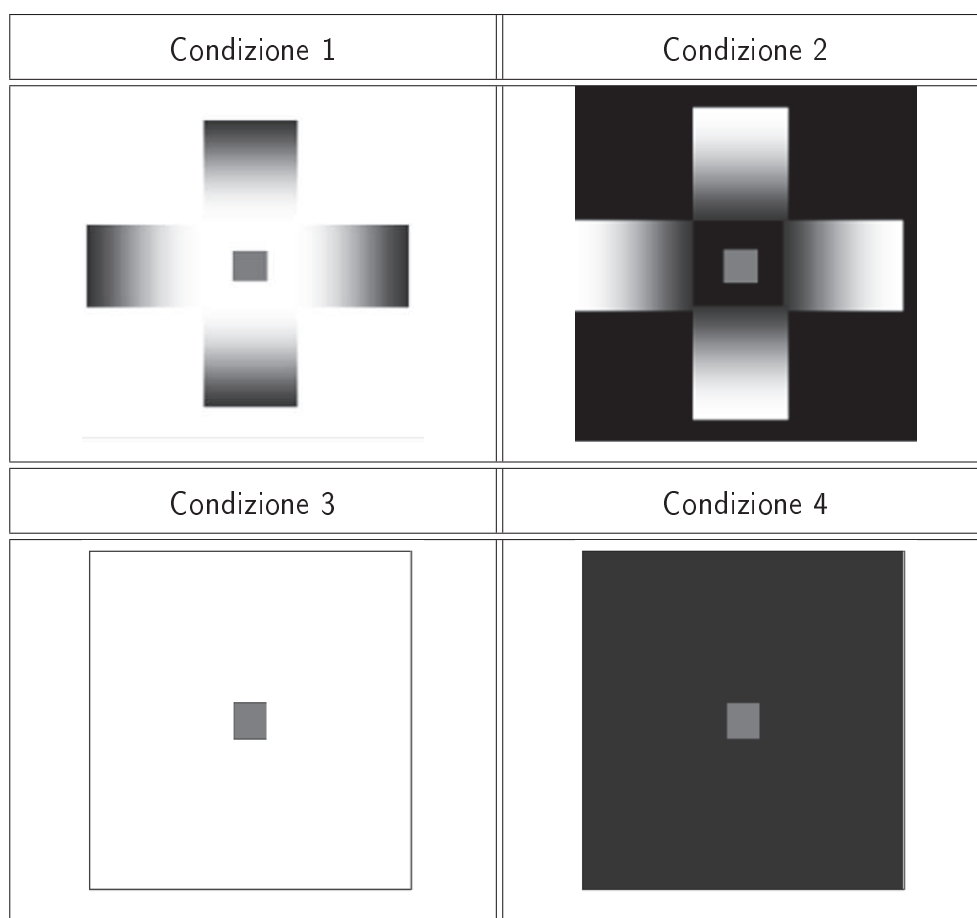
- Condizione 1: una croce composta da un gradiente lineare acromatico dal nero (parte esterna) al bianco (parte interna) posta su uno sfondo bianco. Al centro della croce c'era un quadrato grigio (target) corrispondente a 5.0s/ della scala Munsell.

- Condizione 2: la condizione era inversa a quella 1. La croce era composta da un gradiente acromatico che andava dal bianco (parte esterna) al nero (parte interna) posta su uno sfondo nero. Anche qui c'era il target grigio.

- Condizione 3: questa condizione era quella di controllo della condizione 1. Era composta dal target grigio su sfondo bianco senza gradiente.

- Condizione 4: questa condizione era quella di controllo della condizione 2. Era composta dal target grigio sullo sfondo nero senza gradiente.

In ogni condizione c'era una scala Munsell composta da 15 quadrati che andavano da 2.0 s/ a 9.0 s/. Ogni quadrato era etichettato con una lettera dell'alfabeto che andavano dalla A (2.0 s/) alla Q (9.0 s/ con un incremento costante di 0.5 s/.



2.1.3 Procedure

Gli esperimenti sono stati svolti presso l'ambulatorio di neuropsicologia del reparto di Medicina Riabilitativa dell'Ospedale Maggiore, Azienda Ospedaliera Ospedali Riuniti di Trieste. L'ambulatorio era stato oscurato con delle tende per permettere lo svolgimento delle prove al PC. Tutti i pazienti erano sottoposti, prima delle prove al computer, a una batteria di test sia per la valutazione generale delle loro funzioni cognitive sia per la valutazione specifica delle loro abilità percettive. I test percettivi erano, il Vosp (Objects Decision e Screening), il Poppelreuter-Ghent e il test di Street. In figura 2.1 e 2.2 sono indicati le prestazioni dei pazienti ai test. I partecipanti sani venivano sottoposti agli stessi test per la valutazione delle funzioni percettive a cui venivano sottoposti i pazienti, invece

per quanto riguarda lo screening generale gli veniva somministrato l'MMSE. I partecipanti sani presentavano tutti i punteggi ai test nella norma. I partecipanti erano posizionati davanti al PC a una distanza di 1 m circa. Prima gli veniva chiesto di descrivere i display della condizione 1 e 2 senza scala Munsell e il target centrale. Dopo gli veniva chiesto per ognuna delle condizioni di giudicare il colore del target al centro della croce rispetto alla scala Munsell indicando la lettera posta accanto al colore. I partecipanti avevano la possibilità di indicare anche un valore medio fra due colori della scala vicini.

2.1.4 Risultati

I risultati sono raffigurati nei grafici in figura 2.3, 2.4, 2.5, che mostrano le medie delle risposte dei partecipanti per ogni condizione per ogni gruppo. Le medie delle risposte dei partecipanti sono state analizzate mediante test non parametrico. Le medie in ogni gruppo sono state analizzate mediante test di Wilcoxon. Sono state confrontate le medie osservate per le condizioni sperimentali 1 e 2 con quelle rispettive di controllo 3 e 4. I risultati hanno mostrato nel gruppo di controllo delle differenze significative tra le condizioni di controllo e quelle sperimentali (differenza tra condizione 1 e 3: $Z = -2.482$, $p < .05$; differenza condizione 2 e 4: $Z = -1.962$, $p < .05$). Nel gruppo di pazienti con lesione destra i risultati hanno mostrato delle differenze significative tra le condizioni di controllo e quelle sperimentali (differenza tra condizione 1 e 3: $Z = -2.207$, $p < .05$; differenza condizione 2 e 4: $Z = -2.02$, $p < .05$). Il gruppo invece di pazienti con lesione sinistra non mostra alcuna differenza significativa tra condizioni sperimentali e quelle di controllo (differenza tra condizione 1 e 3: $Z = -0.135$, ns; differenza condizione 2 e 4: $Z = -0.667$, ns). Sono state poi effettuate le analisi per confrontare le medie tra i gruppi per ogni condizione mediante il test di Mann-Whitney. Non è stata trovata nessuna differenza significativa tra il gruppo di pazienti con lesione destra e il gruppo di

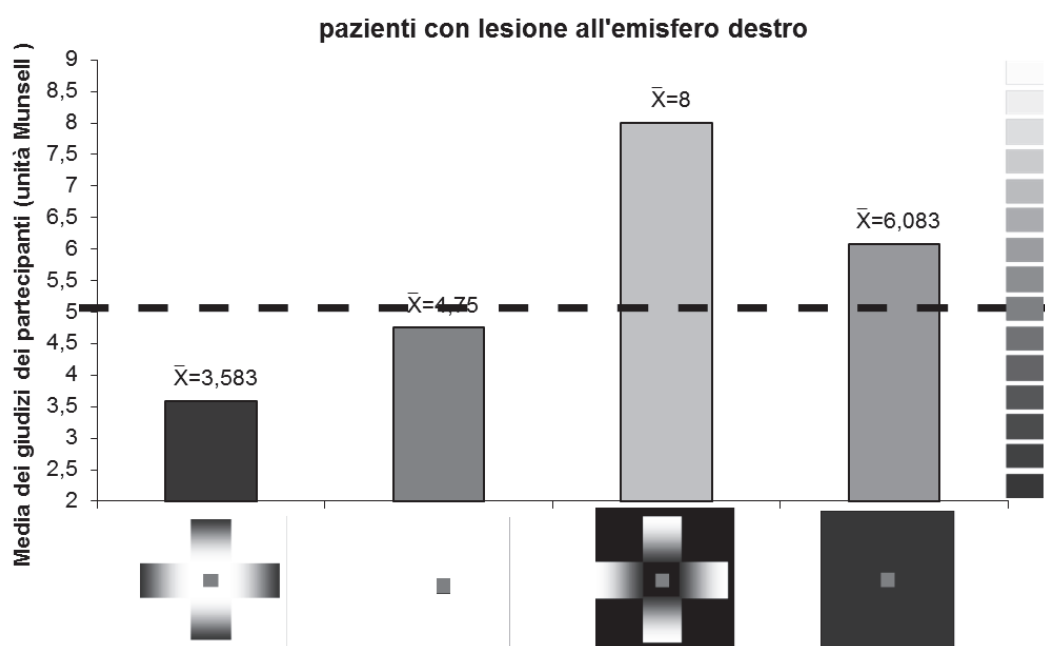


Figura 2.3: Grafico della media dei giudizi dei pazienti con lesione all'emisfero destro per ogni condizione sperimentale. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.

controllo. Mentre il confronto tra il gruppo di controllo e quello dei pazienti con lesione sinistra ha rivelato delle differenze significative nelle condizioni sperimentale 2 e quella di controllo 4 (condizione 2: $U = 8.5$, $p < .05$; condizione 4: $U = 8$, $p < .05$). Il confronto tra il gruppo di pazienti sinistri e il gruppo di pazienti destri ha mostrato una differenza significativa tra la condizione 2 e 4 (condizione 2: $U = 4.5$, $p < .05$; condizione 4: $U = 6$, $p < .05$).

2.2 Ulteriori studi

Per verificare se i risultati ottenuti potevano essere attribuiti a fattori derivanti dall'invecchiamento, considerando che l'età dei pazienti che hanno partecipato allo studio era tra i 50 anni e i 70 anni, sono stati inoltre valutati due pazienti con lesione all'emisfero

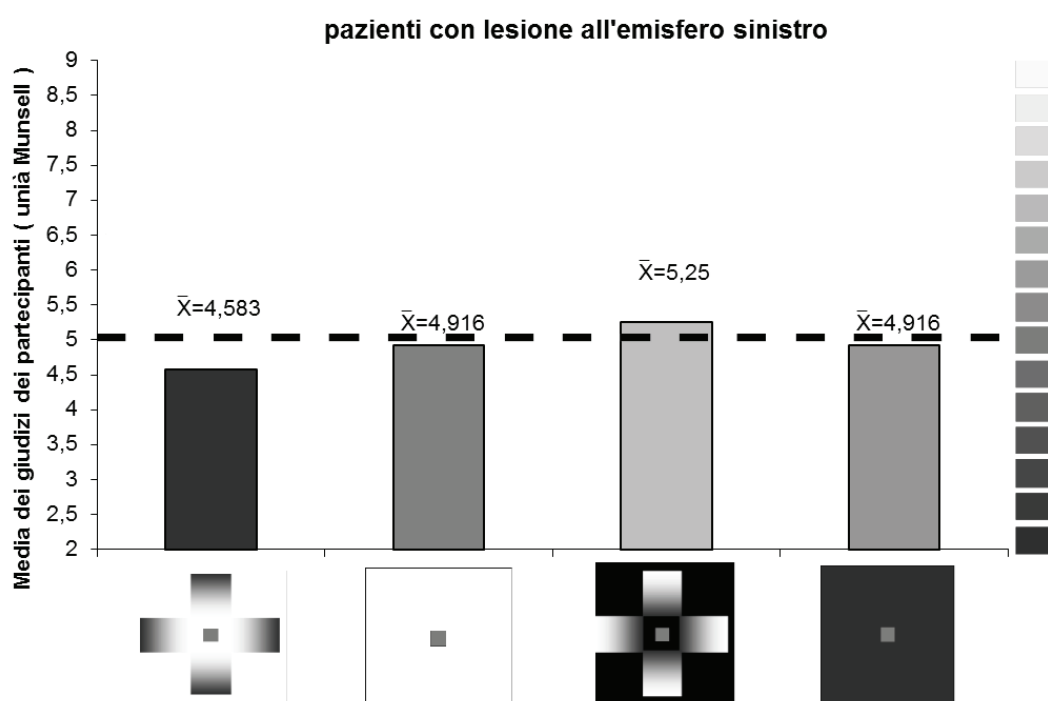


Figura 2.4: Grafico della media dei giudizi dei pazienti con lesione all'emisfero sinistro per ogni condizione sperimentale. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.

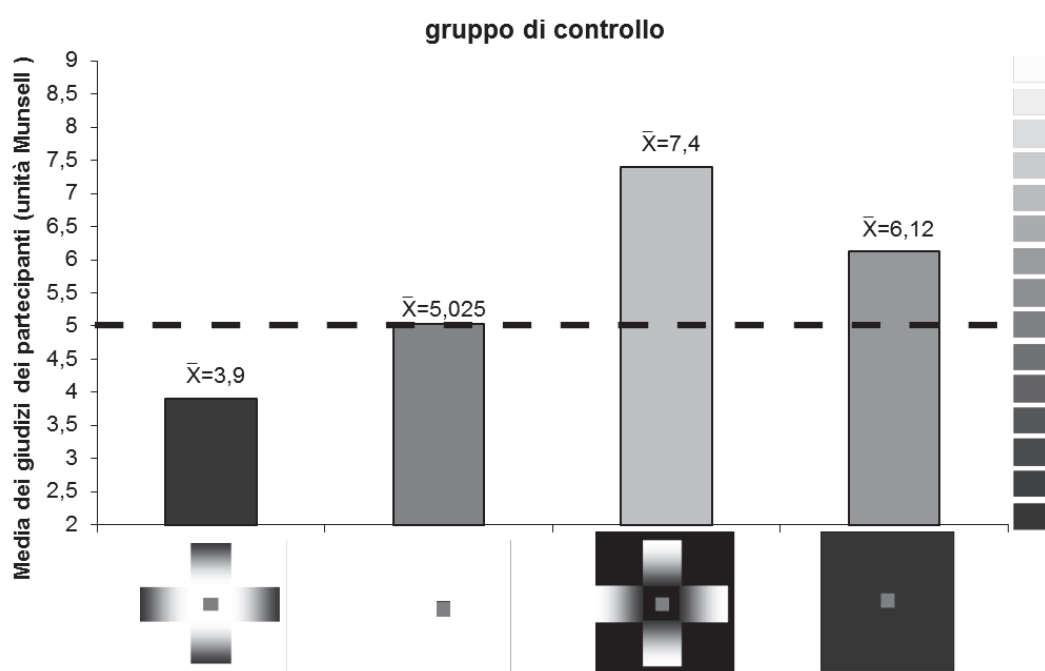


Figura 2.5: Grafico della media dei giudizi dei partecipanti del gruppo di controllo per ogni condizione sperimentale. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.

sinistro più giovani (età media 33 anni). Inoltre, visto che i dati più rilevanti derivano dal gruppo di pazienti sinistri che però avevano delle lesioni prevalentemente posteriori, si è testato un paziente con una lesione solo in sede frontale di 54 anni di età. I pazienti sono stati testati secondo la stessa procedura e con gli stessi test ed esperimenti somministrati ai precedenti gruppi. In figura 2.6 e 2.7 vi sono i grafici che mostrano le medie ottenute per i due pazienti più giovani. I grafici mostrano come questi pazienti non abbiano giudicato il target grigio in maniera differente rispetto al gruppo di pazienti con lesione sinistra più anziani. I dati sono stati analizzati mediante analisi singolo caso con il programma allegato allo studio di Crawford e Garthwaite (2002). I giudizi dati da questi due pazienti sono stati confrontati con la media dei giudizi dai pazienti con lesione sinistra. I risultati non mostrano, in questi pazienti più giovani, una differenza significativa rispetto al gruppo di pazienti con lesione sinistra più anziani. (Paziente DR: condizione 1, $t(5) = -0,03$, ns; condizione 2, $t(5) = 0,17$, ns; condizione 3, $t(5) = 0,337$, ns; condizione 4, $t(5) = 0,6$, ns; Paziente TG: condizione 1, $t(5) = 0,15$, ns; condizione 2, $t(5) = 0,089$, ns; condizione 3, $t(5) = 0,051$, ns; condizione 4, $t(5) = 0,6$, ns). Nel grafico invece in figura 2.8 vi sono le risposte date dal paziente con lesione frontale all'emisfero sinistro. Il grafico mostra come questo paziente abbia giudicato in maniera differente il target grigio rispetto ai pazienti con lesione all'emisfero sinistro precedentemente valutati. I suoi giudizi sono simili a quelli dati dai pazienti con lesione all'emisfero destro e i partecipanti del gruppo di controllo.

I dati sono stati analizzati secondo analisi per caso singolo (Crawford, & Garthwaite, 2002) confrontando i punteggi ottenuti da questo pazienti con il gruppo di pazienti con lesione all'emisfero sinistro. I risultati non mostrano una differenza significativa tra i giudizi dati dal paziente con lesione anteriore sinistra e i pazienti con lesione all'emisfero sinistro (paziente PG: condizione 1, $t(5) = 0,726$, ns; condizione 2, $t(5) = 1,237$, ns; condizione 3, $t(5) = 1,522$, ns, condizione 4, $t(5) = 1,376$, ns).

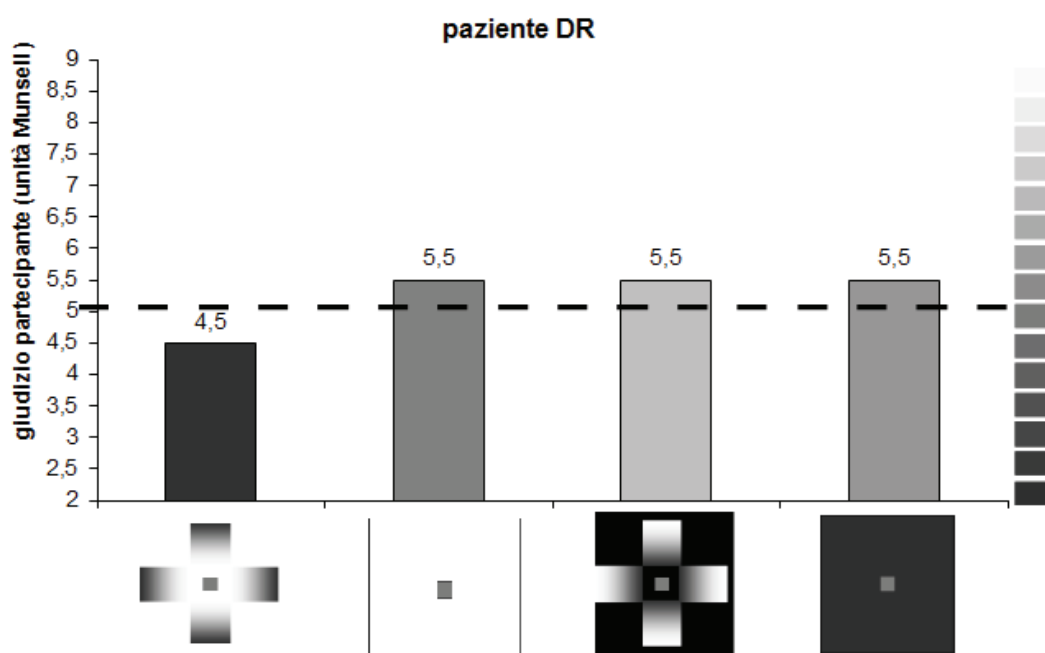


Figura 2.6: Grafico dei giudizi per ogni condizione sperimentale del paziente DR. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.

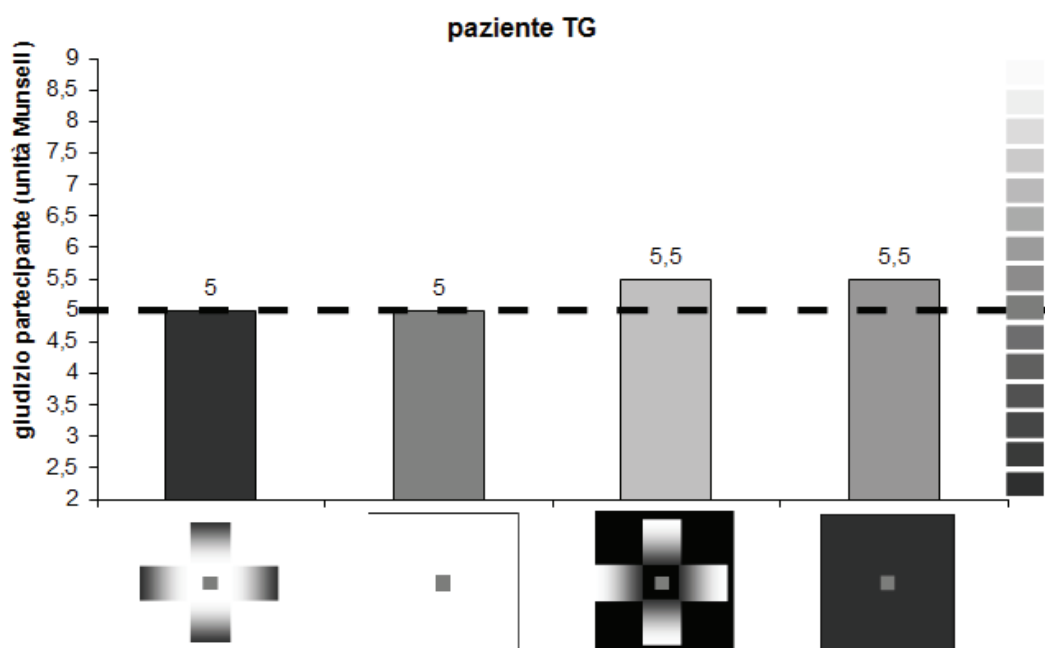


Figura 2.7: Grafico dei giudizi per ogni condizione sperimentale del paziente TG. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.

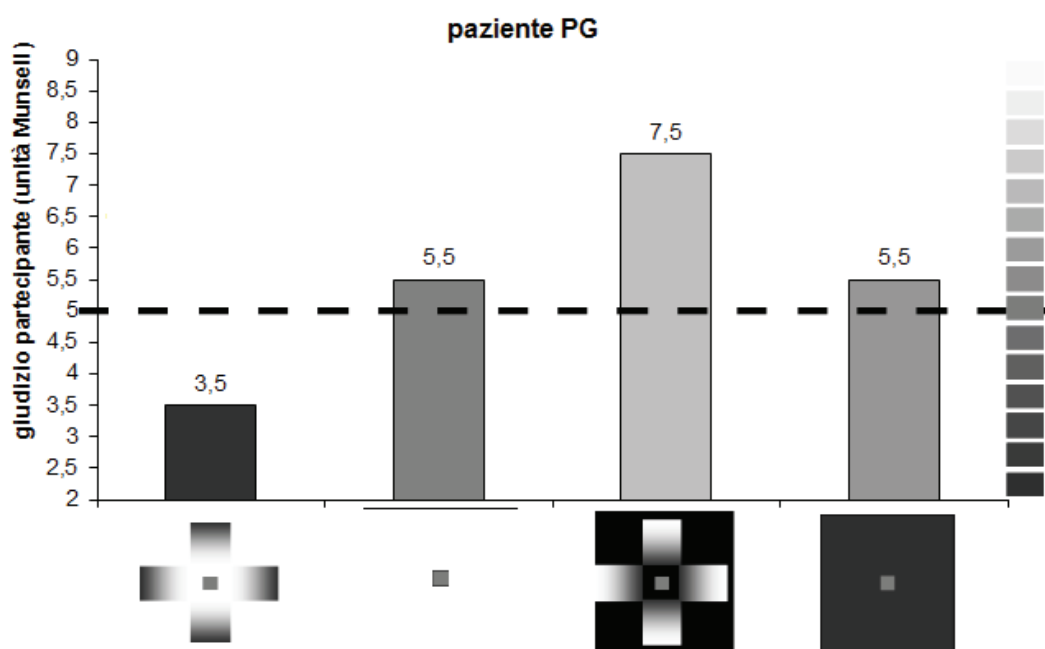


Figura 2.8: Grafico dei giudizi per ogni condizione sperimentale del paziente PG. La linea tratteggiata indica l'unità Munsell del target grigio.

Conclusioni

Abbiamo visto in letteratura che le teorie più accreditate considerano alla base dei fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza solamente il coinvolgimento delle aree della via visiva primaria. Negli ultimi anni però alcuni studi di neuroimaging e di analisi del singolo neurone hanno messo in evidenza che anche altre aree associative visive sono coinvolte nel processamento di questi fenomeni. Scopo, quindi, dello studio era quello di verificare se ci sono delle aree corticali cerebrali, oltre a quelle della via visiva primaria che potevano essere coinvolte nel processamento dell'effetto di contrasto e di costanza di bianchezza. I risultati hanno mostrato come i pazienti con lesione all'emisfero sinistro non mostrano differenze tra le condizioni sperimentali e non sperimentali. Percepiscono il colore del target in maniera veridica, cioè non più chiaro e più scuro a seconda del contrasto con lo sfondo. Inoltre, sia che sia presente il gradiente o che non sia presente, la loro risposta non è significativamente diversa. Loro non vengono influenzati nel giudizio del colore dalla presenza di una zona che induce una luminosità apparente. I pazienti invece con lesione all'emisfero destro e i partecipanti di controllo si comportano come i partecipanti dello studio di Agostini e Galmonte (2002). Nella situazione con gradiente percepiscono il colore molto più chiaro o più scuro, a seconda dello sfondo, rispetto alla situazione senza gradiente. Quindi vengono influenzati dalla presenza del gradiente. Inoltre i pazienti con lesione all'emisfero sinistro di età più giovane, mostrano dei risultati simili a quelli del gruppo di pazienti con lesione all'emisfero sinistro più anziani. Questo ci porta a pensare che probabilmente il fatto che questi pazienti abbiano delle difficoltà nella percezione del fenomeno di contrasto non derivi da fattori attribuibili all'invecchiamento. Anche questi pazienti più giovani non mostrano differenze nella percezione del colore tra la condizione sperimentale con gradiente e la

condizione di controllo senza gradiente. Queste conclusioni richiederanno in futuro ulteriori approfondimenti mediante un ampliamento della numerosità di pazienti più giovani con anche un gruppo di controllo di età comparabile.

In aggiunta è stato testato un paziente con una lesione all'emisfero sinistro in sede frontale. I risultati nel grafico in figura 2.2 mostrano come questo paziente percepisca il colore del target in maniera diversa nella condizione sperimentale rispetto alla condizione di controllo. Sembrerebbe quindi, in accordo agli studi già esistenti in letteratura (Leonards et al., 2005; Perna et al., 2005) che probabilmente le aree maggiormente coinvolte in questi fenomeni potrebbero essere quelle posteriori rispetto a quelle anteriori. Le analisi statistiche non confermano i dati osservati mediante i grafici. Il fatto che non si sia trovata una corrispondenza tra le analisi e i dati osservati nei grafici dovrà essere oggetto di ulteriori approfondimenti per verificare i possibili fattori che conducono a questo risultato. I fattori che potrebbero essere oggetto di ulteriori studi sarebbero il tipo di test statistico (pur essendo studiato per i casi singoli, 4 osservazioni non sono abbastanza anche per test statistico usato in questa ricerca) e la variabilità interna del gruppo di pazienti sinistri. Pertanto dovrebbero essere aumentate le osservazioni per ogni paziente per verificare se dipende dal test statistico.

In conclusione dai dati emerge che vi sia un coinvolgimento maggiore dell'emisfero sinistro nei fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza. La spiegazione potrebbe venire dalla teoria computazionale di Gilchrist e dalla teoria del processamento locale e globale degli emisferi cerebrali. Gilchrist come abbiamo già descritto nelle premesse teoriche affermava che i fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza possono essere spiegati secondo un'unica teoria che considera questi fenomeni derivanti dal processamento dei margini. A seconda di come i margini vengono classificati, o d'illuminazione o di riflettanza, possiamo avere la costanza di I tipo che è quella classica che deriva dalla classificazione dei margini come d'illuminazione, oppure costanza di II tipo che deriva

dalla classificazione dei margini come di riflettanza che sarebbe il contrasto. In base a questa teoria, mentre i pazienti con lesione all'emisfero destro e i partecipanti sani percepiscono i margini come di riflettanza, probabilmente i pazienti con lesione sinistra non percepiscono i margini come di riflettanza ma d'illuminazione portando alla percezione del colore target come quello reale. I pazienti percepirebbero una costanza di I tipo e non una di II tipo come i partecipanti di controllo e i pazienti con lesione all'emisfero destro e secondo i dati ottenuti da Agostini e Galmonte 2002.

Il perché siano i pazienti con lesione sinistra a comportarsi in questo modo potrebbe essere spiegato mediante la teoria del processamento locale e globale (Robertson, & Lamb, 1991). In base a questa teoria l'emisfero sinistro sarebbe prevalentemente coinvolto nel processamento di caratteristiche locali, mentre l'emisfero destro sarebbe più coinvolto nel processamento di caratteristiche globali. Quindi i pazienti con lesione all'emisfero sinistro avrebbero più difficoltà nel processamento locale a vantaggio di un processamento globale mediante l'emisfero destro che sarebbe integro. Essendo ridotto il processamento delle caratteristiche locali, i pazienti con lesione sinistra avrebbero più difficoltà a distinguere i margini locali tra il target grigio e lo sfondo, cioè quelli di riflettanza e quindi a vedere il target grigio con l'aggiunta della componente di sfondo. Quindi l'analisi prevalentemente globale in questi pazienti, che deriverebbe dalla compensazione dell'emisfero destro, non sembra bastare per una corretta percezione del contrasto e della costanza di bianchezza. Pertanto sembra maggiormente coinvolto l'emisfero sinistro e quindi il processamento locale come rilevante nei fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza.

Parte III

La rappresentazione mentale del contrasto di luminanza

Introduzione

4.1 L'effetto SNARC

I numeri non richiamano alla mente soltanto una nozione di quantità, ma anche un senso della loro estensione nello spazio. L'inizio delle ricerche sulla rappresentazione spaziale dei numeri risale al XIX secolo. Nel 1880, Francis Galton chiese a persone non affette da patologie di descrivere come pensavano ai numeri. Alcune di queste persone riferivano di vedere linee di numeri con strane configurazioni che Galton chiamò 'forme dei numeri'. In particolare, non era frequente il riferimento a una linea nella quale i numeri comparivano in un formato continuo e analogico. Questa rappresentazione divenne nota come linea numerica mentale (LNM). Secondo Seron, Pesenti e Noël (1992), circa il 14% degli esseri umani ha un'esperienza consapevole della LNM. Invece la frequenza dell'associazione tra specifici numeri e colori ha una frequenza relativamente alta, in base a quanto è emerso da questi resoconti. L'associazione tra diversi tipi di rappresentazioni (colore, numero, forma, ecc.) è conosciuta come sinestesia. Fra coloro che riferiscono esplicitamente l'uso di rappresentazioni visuospatiali dei numeri ci sono scienziati famosi come Albert Einstein. Il grande fisico sosteneva di non usare il linguaggio nei suoi ragionamenti matematici, ma immagini visive e motorie. Quindi, il cervello ha la tendenza ad associare l'estensione delle quantità numeriche con un'estensione spaziale sotto forma di una LNM (Galton, 1880; Seron et al., 1992). La LNM che ci serve per rappresentare le quantità numeriche consente soltanto una forma molto limitata di intuizione dei numeri positivi e negativi (Fischer, 2003) e le loro relazioni di prossimità. In questa limitazione si può vedere non solo la spiegazione della comprensione intuitiva che abbiamo dei numeri interi, ma anche della nostra totale assenza di intuizione per quel che riguarda ogni altro tipo di

numero, come per esempio le frazioni. Nella matematica moderna i numeri comprendono lo 0, le frazioni, i numeri irrazionali come π e i numeri complessi come $i = \sqrt{-1}$. Ora, tutte queste entità, eccetto forse le frazioni più semplici come $1/2$ o $1/4$, hanno sempre creato enormi difficoltà concettuali ai matematici dei secoli passati e ancora agli studenti di oggi. Probabilmente se tali entità matematiche sono così difficili da accettare per il cervello umano è perché non sono in corrispondenza con alcuna categoria preesistente. I numeri interi entrano naturalmente in risonanza con la rappresentazione mentale innata delle quantità numeriche, e questo fa sì che anche un bambino di sole due settimane di vita possa comprenderli. Gli altri tipi di numeri, al contrario, non entrano in risonanza con la rappresentazione mentale innata delle quantità numeriche. Per comprenderli, dunque, occorre mettere a punto un modello mentale che li renda intuitivi. Il nostro cervello per funzionare in modo intuitivo, ha bisogno di immagini e per quel che riguarda la teoria dei numeri, l'evoluzione ci ha dotato di un'immagine intuitiva degli interi positivi e negativi (Fischer, 2003). L'associazione tra i numeri e spazio è all'origine dell'immagine con cui le quantità numeriche sono rappresentate nel nostro cervello, ossia quella di una LNM. I numeri sembrano essere allineati mentalmente su una LNM ove a ogni posizione, corrisponde una certa quantità o grandezza numerica. In più LNM è orientata nello spazio; il numero 1 si trova all'estrema sinistra mentre i numeri più grandi si estendono verso destra. Deriva che dal 'riflesso' di comprensione della quantità consegue anche un 'riflesso' di orientamento dei numeri nello spazio: i piccoli a sinistra i grandi verso destra.

Dehaene, Bossini e Giraux (1990) rivelarono la prima traccia di questo intimo legame tra i numeri e lo spazio in uno studio di confronto della grandezza numerica. Più analiticamente, si trattava di classificare alcuni numeri come maggiori o minori di 65: c'erano due tasti per rispondere, uno in corrispondenza della mano destra e uno di quella sinistra. I tasti delle risposte erano controbilanciati: un gruppo di soggetti usava la mano destra per rispondere 'maggiore' e la sinistra per rispondere 'minore', mentre

l'altro gruppo aveva ricevuto le istruzioni opposte. Dai risultati emerse che i numeri maggiori di 65 erano più efficacemente elaborati premendo il tasto di destra invece che quello di sinistra; e l'opposto per i numeri minori di 65. Questi dati suggeriscono che il cervello associa spontaneamente i numeri grandi con il lato destro e quelli piccoli con il sinistro.

Bisognava poi vedere se questa associazione fosse automatica oppure no. Per far questo Dehaene, Bossini, Giraux (1993), provarono un compito che non richiedeva l'elaborazione della grandezza dei numeri presentati. Più precisamente, si trattava di decidere se un numero era pari o dispari. Ai partecipanti venivano presentati uno alla volta e al centro di uno schermo i numeri da 1 a 9 (escluso il 5). Il compito consisteva nel premere un pulsante per classificare il numero come pari o dispari. Qui di seguito vi è una immagine a migliore illustrazione di come il partecipante si posizioni durante un compito:



Figura 4.1: Posizionamento delle mani nel paradigma sperimentale usato da Dehaene et al., (1993). Riprodotto da: Hubbard et al., 2005.

Per metà dei partecipanti le risposte ai numeri dispari venivano emesse con la mano sinistra, mentre le risposte ai numeri pari venivano emessi dalla mano destra. Per l'altra metà dei partecipanti la sequenza era invertita. L'analisi dei risultati ha dimostrato che i tempi di reazione in risposta ai numeri piccoli (inferiori al 5) erano più rapidi con la mano

sinistra, mentre i tempi di reazione in risposta ai numeri grandi (superiori al 5) erano più rapidi con la mano destra. Questo effetto fu chiamato da Dehaene (1993) 'effetto SNARC', un acronimo dell'inglese 'Spatial Numerical Association of Responce Codes' o associazione spazio-numerica dei codici di risposta. Qui di seguito viene riportato il grafico rappresentante la differenza dei tempi di reazione tra la mano destra e la mano sinistra. I valori più grandi dello 0 indicano un vantaggio per la mano sinistra, mentre i valori minori dello 0 indicano il vantaggio per la mano destra (si veda Fig. 4.2)

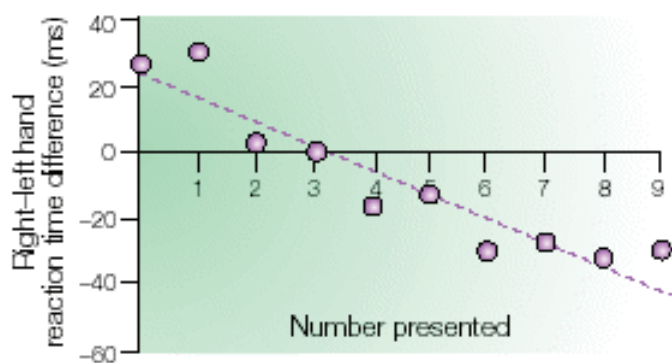


Figura 4.2: Grafico dei risultati dei tempi di reazione delle due mani rispetto ai numeri presentati (riprodotto da: Hubbard et al., 2005).

Dehaene et al. (1993) hanno ulteriormente indagato l'origine dell'orientamento della LNM e l'eventuale influenza di fattori biologici (dominanza manuale) o culturali (direzione della scrittura). Per studiare l'effetto della dominanza manuale, Dehaene et al. (1993) testarono un gruppo di mancini. Dai dati risultò che loro continuavano ad associare i grandi numeri con la destra e i numeri piccoli con la sinistra. In seguito, somministrarono il paradigma classico dello SNARC ad un gruppo di iraniani che studiavano in Francia, i quali avevano imparato a leggere da destra verso sinistra, al contrario di quanto fanno le popolazioni occidentali. Nel complesso, il gruppo di iraniani non mostrava alcuna associazione preferenziale tra numeri e spazio. Tuttavia, individualmente, la direzione dell'associazione variava in funzione dell'esposizione di ciascun studente alla

cultura occidentale. Quelli che erano in Francia da molti anni associavano i numeri piccoli con lo spazio sinistro e i numeri grandi con lo spazio destro, mentre coloro che erano immigrati da poco tempo tendevano ad associare i grandi numeri con lo spazio sinistro e i piccoli con lo spazio destro. Sembra dunque che il senso l'associazione tra numeri e spazio dipenda dalla direzione della scrittura. Dehaene et al. (1993), avevano anche cercato di verificare se l'effetto si verificasse solo in presenza di stimoli numerici o anche in presenza di stimoli di altra natura (lettere dell'alfabeto). I loro risultati non presentavano significatività statistica per questi stimoli e in base a questo definirono lo SNARC come peculiare per i numeri positivi. Altri ricercatori (Fias et al., 1996; Huha, Berch, & Krikorian, 1995) si sono serviti di istruzioni ancora più arbitrarie, come per esempio distinguere cifre che cominciassero oppure no con una vocale, o che avessero o no una forma visiva simmetrica. In tutti i casi il risultato è stato identico: più il numero era grande, più le risposte con la mano destra superavano in velocità quelle con la mano sinistra. Inversamente, più il numero era piccolo, più le risposte a sinistra erano rapide.

In uno studio successivo, Fias et al. (1996) hanno riportato ulteriori evidenze empiriche riguardanti l'effetto SNARC. Lo studio era composto da tre esperimenti. Nel primo i soggetti dovevano, con l'uso di due pulsanti (uno per la mano destra e uno per la sinistra), giudicare se dei numeri presentati al centro dello schermo fossero pari o dispari. Nel secondo esperimento i partecipanti dovevano classificare dei numeri che comparivano al centro di uno schermo, sotto forma di cifra (per esempio 1, 2, 4), associando la parola corrispondente (uno, due, quattro) e dicendo se conteneva oppure no il fonema 'e'. Nel terzo esperimento i partecipanti dovevano verificare se i numeri che comparivano sulla schermata sotto forma di parola (quindi uno, due e quattro) avevano al loro interno il fonema /e/, usando le due mani per rispondere, rispondendo con la mano destra se è presente e con la mano sinistra se è assente e viceversa. L'effetto SNARC si è verificato in tutti e tre gli esperimenti, dimostrando che ogni volta che ci si trova di fronte a un

compito numerico viene attivata automaticamente la grandezza dei numeri presentati. In più si è anche dimostrato attraverso il secondo e il terzo esperimento che l'effetto non decresce con l'esercizio. Sostanzialmente la comparsa del numero al centro dello schermo attiva la rappresentazione della quantità corrispondente sulla LNM. Qui le quantità più piccole sono rappresentate a sinistra (dunque in corrispondenza della mano sinistra) e quelle più grandi sono rappresentate a destra (cioè in corrispondenza della mano destra). Come è noto da tempo (Simon e Rudell, 1967; Simon, 1968; Simon, & Small, 1969; Simon et al, 1970), in base al principio dell'effetto Simon, le risposte sono più rapide quando stimolo e risposta sono sullo stesso lato della linea mediana del corpo rispetto a quando sono su lati opposti. Ovviamente, i numeri non sono grandi o piccoli in assoluto, ma solo relativamente. Perciò 9, per esempio starà a destra della linea se il partecipante sa che i numeri che verranno presentati sono compresi tra 1 e 10, starà invece a sinistra se i numeri sono compresi tra 8 e 20. Il fatto che l'effetto SNARC si manifesti anche se il compito richiesto non ha niente di quantitativo, conferma che esso riflette l'attivazione automatica di una rappresentazione mentale delle grandezze numeriche. Dopo vari studi sono state evidenziate varie proprietà di quest'effetto (Berlucchi et al, 1995; Dehaene et al, 1993). Prima di tutto l'effetto SNARC non dipende dalla grandezza ma dall'intervallo di numeri usato per il compito. Secondo non è la mano con cui si deve dare la risposta ad avere importanza, ma è lo spazio di emissione della risposta. Più precisamente quando il soggetto risponde incrociando le mani è sempre il lato destro che viene associato ai numeri grandi, anche se la risposta ora è data con la mano sinistra.

Recentemente Gevers et al. (2003) hanno condotto uno studio con il paradigma modificato dello SNARC in cui venivano presentate le lettere dell'alfabeto (primo esperimento) e i mesi dell'anno (secondo esperimento). Nel primo esperimento i partecipanti dovevano decidere se delle lettere presentate singolarmente al centro di uno schermo si trovavano prima o dopo la lettera 'O'. Nel secondo esperimento i soggetti dovevano

giudicare se dei mesi dell'anno venivano prima o dopo il mese di luglio. In entrambi i casi l'effetto si è verificato dimostrando che non è specifico per certe nozioni, ma che si verifica in presenza di informazioni che sono semanticamente ordinate e che quindi sono state apprese in modo ordinato.

Un altro studio dello SNARC che conferma l'esistenza della retta numerica immaginaria orientata da sinistra verso destra e quello di Bächtold et al. (1998) che idearono due esperimenti: nel primo i soggetti dovevano, dopo aver visto una retta graduata di 11 centimetri, classificare se i centimetri presentati al centro dello schermo erano maggiori o minori di 6 centimetri (rispondendo con la mano destra se di meno e sinistra se era di più) immaginando la linea graduata precedentemente presentata. Nel secondo esperimento, invece, i soggetti dovevano osservare un orologio analogico con orientamento che andava da destra verso sinistra (in senso circolare). Veniva anche qui mostrato prima l'orologio e poi veniva chiesto ai partecipanti di classificare i numeri presentati sotto forma di ore se erano prima delle 6 o dopo. L'effetto si è verificato nel primo esperimento dimostrando che l'orientamento della LNM è sinistra-destra e che in presenza di un'orientamento inverso vi è difficoltà a rispondere velocemente. Nel secondo esperimento, invece, si è verificato in modo inverso: vi erano risposte più veloci con la mano destra per i numeri (le ore) piccoli e risposte più veloci con la mano sinistra per numeri grandi, quindi l'orientamento della LNM in questo caso sarebbe destra-sinistra. Questa inversione dell'orientamento della LNM potrebbe essere spiegata da un'influenza del tipo di compito richiesto al partecipante sulla sua prestazione e quindi sulla sua rappresentazione mentale dei numeri. Inoltre Rusconi, Kwan, Giordano, Umiltà, Butterworth (2006) hanno dimostrato come la rappresentazione interna della frequenza del suono (altezza) abbia natura spaziale e influisca sulla performance specialmente in partecipanti con educazione musicale. Il compito dei partecipanti era quello di classificare dei toni sia alti che bassi, usando la mano destra e la mano sinistra. Nella prima parte dell'esperimento usavano

la mano destra per i toni bassi e la mano sinistra per i toni alti, nella seconda parte la situazione era invertita. Dai risultati si è visto come per i toni bassi ci fossero tempi di reazione minori con la mano sinistra e per i toni alti, invece, vi erano tempi di reazione minori con la mano destra. La scoperta che il nostro sistema cognitivo si costruisce una mappa spaziale dell'altezza delle note, che a sua volta influenza la performance motoria, anche quando questo attributo percettivo è irrilevante per il compito, suggerisce un interessante analogia tra percezione musicale e conoscenza matematica.

4.2 I modelli teorici che spiegano l'effetto SNARC

Esistono diversi modelli teorici che tentano di spiegare l'associazione tra lo spazio di emissione della risposta e la grandezza numerica (effetto SNARC). Qui di seguito vengono descritti i più importanti.

4.2.1 Triple-Code Model

Dehaene et al. (1993) spiegarono i risultati dello SNARC in termini di una corrispondenza tra la posizione della modalità di risposta e la posizione del rispettivo numero sulla LNM. Secondo l'autore la linea numerica mentale corrisponde a una rappresentazione innata pre-verbale analogica delle quantità numeriche, caratterizzata da relazioni spaziali, lungo un continuo da sinistra a destra (basato su una origine culturale) distribuita come una variabilità scalare (Dehaene, 1997; Dehaene, et al., 1993; Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003).

Secondo il triple-code model (Dehaene, 1992; Dehaene, & Cohen, 1995) i numeri vengono rappresentati mentalmente in tre codici differenti. Il primo codice è la forma visiva araba del numero, nella quale i numeri sono rappresentati come stringhe di numeri su un taccuino visuo-spaziale interno e probabilmente dipendono da strutture ventrali

occipito-parietali. A questo livello la rappresentazione del numero è una lista ordinata di identità numeriche. La seconda categoria di rappresentazione mentale è la struttura verbale della parola, in cui i numeri sono rappresentati come sequenze di parole organizzate sintatticamente. Essa coinvolge le aree del linguaggio perisilviane emisferiche sinistre, il giro angolare e le regioni subcorticali. Il modello assume che né la forma visiva né la struttura verbale del numero contengano alcuna informazione semantica. Il significato dei numeri è rappresentato solamente nella terza categoria del modello, la rappresentazione della grandezza analogica. A questo livello, la quantità o la grandezza associata a un dato numero è recuperata e può essere messa in relazione ad altre quantità numeriche. La linea numerica obbedisce alla legge di Weber, cosicché la rappresentazione dei numeri sempre più grandi diventi estremamente imprecisa. Secondo questo modello il primo passaggio in ogni compito sarebbe la rappresentazione dei numeri all'interno di una rappresentazione appropriata al formato. Dopo di che il modello assume che i numeri possano essere codificati all'interno di qualsiasi codice interno a seconda del tipo di compito. Questa spiega perché l'effetto SNARC avvenga anche nei compiti impliciti, in cui la grandezza numerica non viene elaborata esplicitamente, in quanto l'associazione spazio-numero è altamente automatizzata. Gli autori assumono che la rappresentazione della grandezza avvenga mediante processi diretti di etichettamento. Ad ogni porzione della linea numerica corrispondono una o più etichette come "9", "nove", "circa dieci", e via di seguito, ciascuna appropriata alla quantità a disposizione (Dehaene, & Mehler, 1992). I numeri familiari come "nove", oltre che a rappresentare piccole quantità dovrebbero avere una precisa interna rappresentazione semantica. All'opposto, numeri meno familiari, come "212", hanno una rappresentazione vicina a una più familiare rappresentazione di "200".

Per quanto riguarda la localizzazione cerebrale dei circuiti sottostanti al modello, il triple-code model è stato mappato in entrambi gli emisferi, identificando substrati

neuronalmente per i tre codici di rappresentazione dei numeri.

4.2.2 Il modello “Polarity correspondence”.

Recentemente, Proctor e Cho (2006) hanno proposto una spiegazione alternativa per l'effetto SNARC basata sulla “Polarity correspondence” che contesta l'esistenza di una linea numerica mentale. La teoria della “Polarity correspondence” è basata sulla teoria generale della compatibilità degli effetti e non ritiene che esista una vera e propria linea spazialmente orientata come spiegazione dell'effetto SNARC. Se l'effetto SNARC fosse dovuto a una codifica lungo una dimensione spaziale orientata da sinistra verso destra, nessun effetto SNARC dovrebbe verificarsi nel momento in cui gli effettori di risposta vengono sistemati in una diversa modalità spaziale, ad esempio giù-su. Invece, se l'effetto SNARC fosse dovuto a una corrispondenza tra le polarità della magnitudo (grandi numeri-più; piccoli numeri-meno) e le polarità delle risposte (destra-più; sinistra-meno), allora l'effetto SNARC si dovrebbe verificare anche in compiti in cui gli effettori sono disposti uno sopra l'altro, in quanto la risposta codificata come “su” sarebbe associata alla polarità positiva e l'effettore “giù” come polarità negativa.

Ito e Hatta (2004), hanno ideato un esperimento in cui i partecipanti dovevano eseguire un compito di giudizio di parità i cui effettori erano costituiti da tasti di risposta destra-sinistra oppure su-giù. In entrambe le condizioni, si è manifestato l'effetto SNARC, dimostrando che l'effetto non è dovuto a una rappresentazione del numero che va da sinistra verso destra, ma più semplicemente è dovuta al fatto che venga operata una codifica basata sulla polarità: i grandi numeri vengono codificati con polarità positiva e i numeri piccoli con polarità negativa. Proctor e Cho (2006) affermano che la polarità assegnata a ogni stimolo e a ogni risposta dipende dalla relativa salienza delle loro dimensioni. Non è necessario che esista una somiglianza percettiva o concettuale

tra stimoli e risposte in quanto la categorizzazione polare è sufficiente per produrre una mappatura associativa tra loro. Questa ipotesi si basa quindi sull'attivazione di polarità positive e negative per differenti dimensioni e non è applicabile unicamente all'effetto SNARC, ma anche a differenti situazioni sperimentali non-numeriche. La polarità ("+" o "-") viene assegnata alle differenti dimensioni della situazione sperimentale (esempio, stimoli e risposte) in modo automatico. Quando vengono applicate al dominio del processamento numerico, sia il termine "destra" che il termine "grande" assumono una polarità "+", mentre il termine "sinistra" e "piccolo" assumono una polarità "-". Quando le polarità dello stimolo e della risposta si sovrappongono, viene stabilita una connessione senza tener conto della sovrapposizione percettiva, concettuale o spaziale, migliorando la prestazione. In molti compiti di classificazione binaria, il partecipante codifica le alternative dello stimolo e delle risposte come polarità positiva e polarità negativa, e la selezione della risposta diventa più veloce quando le due polarità corrispondono.

Nonostante la corrispondenza tra polarità offra una parsimoniosa spiegazione per l'effetto SNARC, nuove prove dalla neuropsicologia cognitiva portano a supportare l'esistenza e la rilevanza di una linea numerica mentale per la formazione di un'associazione numerico-spaziale (Zorzi, Priftis, & Umiltà, 2002). Questi autori hanno mostrato che pazienti con eminegligenza spaziale manifestano un deficit specifico nella rappresentazione di queste magnitudo numeriche, che devono perciò essere localizzate nella parte sinistra della linea numerica mentale. Inoltre, Zorzi, Priftis, Meneghello, Marenzi, & Umiltà, (2006), recentemente hanno osservato che questo deficit è specifico per le rappresentazioni della magnitudo del numero e non può essere generalizzata a altre sequenze ordinate come lettere dell'alfabeto o mesi dell'anno.

In conclusione secondo la teoria della corrispondenza polare di Proctor e Cho (2006), l'effetto SNARC non deve essere attribuito a una rappresentazione dei numeri lungo una linea numerica mentale come afferma Dehaene, ma piuttosto sarebbe la conseguenza di

una codifica a due polarità, la codifica di grande come polarità positiva e la codifica di piccolo come polarità negativa.

4.2.3 Modello a due vie di Gevers

Un'ulteriore spiegazione per l'effetto SNARC è stata proposta da Gevers (Gevers, Caessens, & Fias, 2005; Gevers, Ratinckx, De Baene, & Fias, 2006), che hanno sviluppato un modello cognitivo a due vie dell'effetto SNARC. Questa ipotesi descrive come la magnitudo del numero possa influenzare le risposte motorie attraverso diversi livelli di processamento dell'informazione, più precisamente attraverso una via condizionata e una via incondizionata. La via condizionata permette di controllare le risposte motorie, mentre, la via incondizionata controlla l'attivazione delle associazioni pre-esistenti tra stimoli e risposte.

L'associazione tra magnitudo del numero e i codici di risposta osservati negli esperimenti sullo SNARC, anche quando queste associazioni sono irrilevanti per il compito, secondo Gevers et al., (2006) è dovuta ad una attivazione automatica della via incondizionata che agisce in parallelo alla via condizionata. Entrambe le vie di analisi dell'informazione vengono attivate in parallelo fino a quando non viene raggiunta la soglia per la produzione di risposte ed inoltre entrambe possano avere un'influenza sulla velocità e sull'accuratezza della risposta. In compiti incongruenti sia la via condizionata, che quella incondizionata, portano alla stessa associazione tra stimolo e risposta. Questo riduce la latenza di risposta e contribuisce a aumentarne l'accuratezza. Al contrario, nei compiti incongruenti, le due vie, attivano distinte associazioni tra stimolo e risposta. Per questo motivo, nei compiti incongruenti, dove la risposta corretta è attivata dalla via condizionata e la risposta concorrente dalla via incondizionata, i tempi di risposta aumentano e l'accuratezza decresce. Più tempo è necessario per attivare la via condizionata, più

marcata è l'influenza della via incondizionata sulle risposte motorie. Similmente, quando l'attivazione della via incondizionata è abbastanza forte da raggiungere la soglia di risposta, viene emessa una risposta sbagliata.

4.2.4 La teoria della magnitudo : ATOM

Recentemente è stata proposta un' ulteriore spiegazione per l'effetto SNARC che afferma la convergenza delle informazioni spaziali e numeriche in un comune formato di rappresentazione che è connesso con le risposte spaziali. Hubbard et al. (2005) hanno proposto che le interazioni numerico-spaziali siano mediate da circuiti parietali comuni, il cui fine è quello di prestare attenzione al mondo esterno e fornire rappresentazioni interne dei numeri. Da qui si suppone l'esistenza di una rappresentazione della magnitudo nell'area VIP, che è connessa ai neuroni dell'area hLIP, coinvolti negli spostamenti dell'attenzione nel mondo esterno e anche negli spostamenti attentivi lungo la linea numerica mentale. In accordo a questi dati, Walsh (2003) propone un sistema generalizzato della magnitudo per i numeri, lo spazio e il tempo. Il suo modello espande l'applicazione della rappresentazione analogica della grandezze all'informazione spaziale (Walsh, 2003).

A partire da dati raccolti in ambito comportamentale, (Dehaene, Lambertz, & Cohen, 1998), neuropsicologico (Mohl, & Pfurtscheller, 1991) e attraverso la brain-imaging (Harrington, & Haaland, 1999), Vincent Walsh ha postulato l'esistenza di un meccanismo comune di analisi della magnitudo relativa alle informazioni temporali, spaziali e numeriche. Secondo questo modello, tempo, spazio e quantità, possono essere analizzate in due modi: 1) possono essere analizzate separatamente e successivamente comparate grazie alle loro matrici individuali; 2) possono venire analizzate separatamente ma in un formato comune di rappresentazione. L'idea che la corteccia parietale abbia un ruolo chiave nella trasformazione delle proprietà degli oggetti in azione (Milner, & Goodale,

1995), ha fatto ritenere a Walsh che le informazioni temporali, spaziali e numeriche vengono tradotte in coordinate motorie. In altre parole, il fine ultimo del sistema della magnitudo è quello di recuperare informazioni dal mondo esterno per rispondere a domande come “quanto tempo, quanto, quanto a lungo”, da poter in seguito utilizzare per agire nel mondo. Quindi le interazioni tra le analisi di tempo, spazio e numero sono legate dall'influenza che insieme possono esercitare sulla pianificazione e l'esecuzione di obiettivi (movimenti diretti). Il correlato neurale che sembra supportare queste interazioni, risiede nella corteccia parietale inferiore del cervello umano.

Questa teoria si distingue principalmente per 3 aspetti rispetto a quelle già formulate in letteratura. Primo, questi meccanismi rappresentativi si applicano a quelle dimensioni che possono essere interpretate come “più di” e “meno di”, coinvolgendo quindi un'analisi ordinale della magnitudo. Secondo, Walsh propone che questo unico sistema della magnitudo sia presente dalla nascita. Terzo che i sistemi specializzati per l'analisi di tempo, spazio e quantità si sviluppino in realtà da un sistema generalizzato della magnitudo. Questo non significa che un singolo meccanismo debba essere usato per analizzare tipologie differenti di rappresentazione della magnitudo, ma al contrario, che le rappresentazioni che ne risultano da questi sistemi specializzati abbiano un formato comune di rappresentazione. (Cordes, & Gelman, 2005; Gallistel, & Gelman, 2000; Walsh, 2003).

Recenti studi confermano la teoria di Walsh in cui è stato dimostrato che bambini di 6 mesi possono discriminare non solo le quantità discrete, ma anche continue, come spazio (Brannon, Lutz, & Cordes, 2006; Clearfield, & Mix, 2001; Feigenson, Carey, & Spelke, 2002), e tempo (Brannon, Suanda & Libertus, 2007; Clearfield, 2004; vanMarle, & Wynn, 2006). Quindi secondo questa teoria, le rappresentazioni di numero, spazio e tempo sono inizialmente parte di un sistema di grandezza indifferenziato, ma che attraverso lo sviluppo e le interazioni con il mondo esterno, fanno sì che queste rappresentazioni si affinino progressivamente, mantenendo comunque un formato comune di

rappresentazione.

4.3 I numeri e la luminanza: effetto congruenza

Attraverso l'effetto SNARC si è evidenziato che i numeri sono immagazzinati nel nostro cervello secondo una rappresentazione spaziale, cioè una linea mentale che va da sinistra verso destra (Dehaene et al, 1990; Dehane et al., 1993; Galton, 1880; Laudauner, T.K., 1967). I studi in letteratura su questo paradigma, hanno cercato di verificare se anche per altre informazioni ci potesse essere una rappresentazione lineare da sinistra verso destra. Un'altra caratteristica di tipo non numerico che potrebbe avere un'associazione con lo spazio potrebbe essere la luminanza.

E' dimostrato in letteratura che esiste una interferenza tra la luminanza e il valore numerico in compiti di giudizio della grandezza del numero (effetto di congruenza). Pinel, Piazza, Le Bihan, e Dehaene (2004) usando un compito di congruenza (Algom, Dekel, & Pansky, 1996; Henik, & Tzelgov, 1982) manipolarono all'interno degli stessi stimoli varie caratteristiche: la grandezza numerica, la grandezza fisica e la luminanza. Il compito era quello di giudicare ognuna di queste caratteristiche in blocchi separati. I risultati ottenuti mostravano un effetto di congruenza: i partecipanti erano più veloci con grandezze numeriche grandi e chiare e per grandezze numeriche piccole e scure.

Altri studi più recenti hanno dimostrato l'effetto di congruenza tra la grandezza numerica e la luminanza sia a livello comportamentale (Cohen Kadosh, Cohen Kadosh, & Henik, 2008; Cohen Kadosh & Henik, 2006) che a livello neurale attraverso lo studio mediante la risonanza magnetica funzionale (Cohen Kadosh, Cohen Kadosh, & Henik, 2008). Cohen Kadosh & Henik (2006) e Cohen Kadosh et al. (2008) in un compito di comparazione manipolarono la grandezza numerica e la luminanza entro gli stessi stimoli. I partecipanti dovevano decidere quale stimolo era numericamente più grande

o più scuro mentre ignoravano l'altra caratteristica. Cohen Kadosh & Henik (2006) riportarono risposte più veloci a stimoli che erano scuri e numericamente grandi e a stimoli che erano chiari e numericamente piccoli. Questi risultati non erano in accordo con quelli di Pinel et al., (2004) e quelli di Cohen Kadosh et al., (2008); in entrambi questi studi erano riportati tempi di reazione più rapidi per stimoli che erano scuri e numericamente piccoli e per stimoli chiari e numericamente grandi.

Cohen Kadosh, Lammertyn, & Izard (2008), al contrario, hanno ipotizzato che la relazione osservata in questi studi non era tra il numero e la luminanza in se, ma tra il numero e il contrasto di luminanza. Infatti, quando le risposte più veloci erano osservate per numeri grandi e stimoli scuri (Cohen Kadosh, & Henik, 2006) era stato usato uno sfondo chiaro. Al contrario, quando erano state trovati TR più veloci per numeri grandi e stimoli chiari era stato usato uno sfondo scuro (Cohen Kadosh et al., 2008).

In uno studio recente, Gebuis e van der Smagt (2011), hanno confermato che il contrasto di luminanza, più che la luminanza in se, è la caratteristica che dimostra il perché di questi dati contrastanti presenti in letteratura. Loro osservarono che i partecipanti rispondevano più velocemente a stimoli che erano numericamente più grandi e avevano un contrasto di luminanza più grande e a quelli che erano numericamente più piccoli e avevano un contrasto di luminanza più piccolo. Questa relazione tra i numeri e il contrasto di luminanza appare coerente con la rappresentazione della grandezza numerica: la linea numerica mentale (Dehaene et al., 1993).

Quindi, l'effetto di congruenza fra la grandezza numerica e il contrasto di luminanza suggerisce che il contrasto di luminanza potrebbe essere spazialmente rappresentato su una linea mentale. E' stato inoltre dimostrato che c'è una asimmetria percettiva spaziale in compiti che coinvolgono il giudizio della luminosità. Mattingley, Bradshaw, Nettleton, & Bradshaw (1999) usarono delle scale di grigio che avevano un cambiamento incrementale dal nero al bianco e viceversa. Il compito dei partecipanti era quello di comparare

due gradienti di luminosità i cui colori erano identici ma variava solo la direzione del gradiente, cioè in uno la parte più scura era a sinistra e nell'altra a destra. I partecipanti dovevano indicare quale dei due gradienti era il più scuro. I risultati mostravano che i partecipanti sceglievano la scala di grigi che aveva il colore più scuro sulla sinistra nonostante le scale fossero egualmente scure.

Solo due studi hanno testato se vi è una relazione fra il contrasto di luminanza e il lato di esecuzione della risposta. Il primo è stato quello di Cohen Kadosh et al., (2008). Loro non trovarono una associazione fra il contrasto di luminanza e lo spazio di emissione della risposta e invece riportarono solamente un'associazione fra la grandezza numerica e il lato di esecuzione della risposta (effetto SNARC). E' da notare che loro avevano manipolato la grandezza numerica e il contrasto di luminanza entro gli stessi stimoli e i trials erano codificati solo come compatibili e incompatibili.

Il secondo studio di Ren, Nicholls, Ma & Chan (2011) ha dimostrato che esiste una rappresentazione tra lo spazio di emissione della risposta e la luminanza. Il compito che hanno usato era di tipo diretto, cioè chiedevano esplicitamente ai partecipanti di giudicare se il colore dello stimolo presentato era più scuro o più chiaro rispetto a uno di riferimento presentato precedentemente. Quello che hanno trovato è che i partecipanti avevano TR più veloci quando rispondevano a stimoli chiari con la mano sinistra e a stimoli scuri con la mano destra.

In base alle premesse teoriche fino a qui descritte lo scopo di questa tesi era quello di verificare la presenza di una relazione tra il contrasto di luminanza e il lato di esecuzione della risposta. A questo scopo è stato usato un compito simile a quello dello SNARC di tipo indiretto, che non era ancora mai stato usato in nessun altro studio in letteratura. Sono stati usati degli esperimenti in cui solo il contrasto di luminanza è stato manipolato. Inoltre sono stati usati per la prima volta degli stimoli cromatici e non acromatici, come invece erano stati usati da tutti i precedenti studi presenti in letteratura.

Nel primo esperimento il contrasto di illuminanza era irrilevante per la performance del compito (i partecipanti dovevano giudicare se il colore del target era verde o rosso; compito indiretto). Nel secondo esperimento il contrasto di luminanza era rilevante ai fini del compito (i partecipanti dovevano giudicare se il colore era più scuro o più chiaro rispetto a uno stimolo di riferimento che era centrale rispetto alla scala di luminanza creata per l'esperimento; compito diretto).

L'ipotesi che si vuole dimostrare è che il contrasto di luminanza sia rappresentato mentalmente secondo una linea mentale organizzata spazialmente. Considerando che il colore dello sfondo che verrà usato sarà quello nero ci si aspetta che il colore con il contrasto di luminanza più basso sia rappresentato alla sinistra di questa linea e che il colore con il contrasto di luminanza più alto sia rappresentato sulla sinistra di questa linea mentale.

Esperimenti

5.1 Esperimento 1 “ Compito Indiretto”

5.1.1 Metodo

5.1.1.1 Partecipanti

Hanno partecipato all'esperimento 30 studenti della facoltà di Psicologia dell'Università di Trieste: 15 maschi (età media 25.7 anni) e 15 femmine (età media 25.4 anni). Tutti i partecipanti erano destrimani e avevano la vista normale o corretta con gli occhiali o lenti a contatto.

5.1.1.2 Apparato

L'esperimento è stato gestito per mezzo di un computer fisso con sistema operativo Windows XP Professional. Lo schermo usato per la presentazione era un monitor con sistema di calibrazione del colore QUATO IP240ex LED, 24 pollici con risoluzione 1.920 x 1.200 pixel e contrasto 1.000:1. Attorno allo schermo per impedire che la luce derivante dal bordo dello schermo del monitor influenzasse la percezione della luminosità degli stimoli è stata applicata una cornice nera di dieci centimetri. Il software usato per la programmazione e la registrazione dei TR dell'esperimento era E-Prime 1.2 (<http://www.pstnet.com/eprime.cfm>) . I partecipanti osservavano gli stimoli direttamente dallo schermo e rispondevano mediante il tasto A e L posti sulla tastiera del computer. .La distanza dello schermo dal partecipante era di 55 cm. In figura 2.1 viene riportato uno schema illustrativo della sistemazione del laboratorio.

5.1.1.3 Stimoli

Ogni trial era costituito da 2 stimoli : il primo stimolo è una crocetta di fissazione, larga 1 cm e alta 1 cm; di carattere Arial, di colore bianco con dimensione 24 punti. Il secondo stimolo è costituito da un quadrato (12.50 cm x 12.50 cm), di colore rosso o verde. Gli stimoli venivano proiettati su sfondo nero.

Il disegno sperimentale prevedeva che i colori usati venissero denominati in base alla tinta e quindi sono stati preparati due serie di colori massimamente diversi per tinta, ma comparabili per luminanza, 7 rossi e 7 verdi. Poiché lo scopo era di vedere se i TR per denominare le tinte dipendesse dal contrasto di luminanza dei colori osservati, i 7 colori di ogni tinta sono stati generati con luminanze diverse ma uguali per ogni coppia nelle due serie. L'uguaglianza di luminanza, determinata in un primo tempo su base colorimetrica, è stata in seguito corretta soggettivamente mediante il metodo del minimum distinct border (Boynton, 1973), confrontando visivamente i due colori di ogni coppia e modificando la luminanza di uno dei due fino ad ottenere un margine che si percepisse minimamente distinto. Si prepararono quindi i colori descritti in tabella in Figura 5.3, che presenta i dati nel sistema CIELUV 2° [oppure 10°, a seconda delle dimensioni angolari dei colori sulla retina] con un illuminante vicino al D65 (adatto a descrivere i colori con self luminous appearance).

Poi i valori di contrasto di luminanza sono stati calcolati usando la formula del contrasto di Michelson (il rapporto della differenza tra la luminanza di ogni colore e la luminanza dello sfondo ($L^*=2.05$) e la media della luminanza del colore e la luminanza dello sfondo).

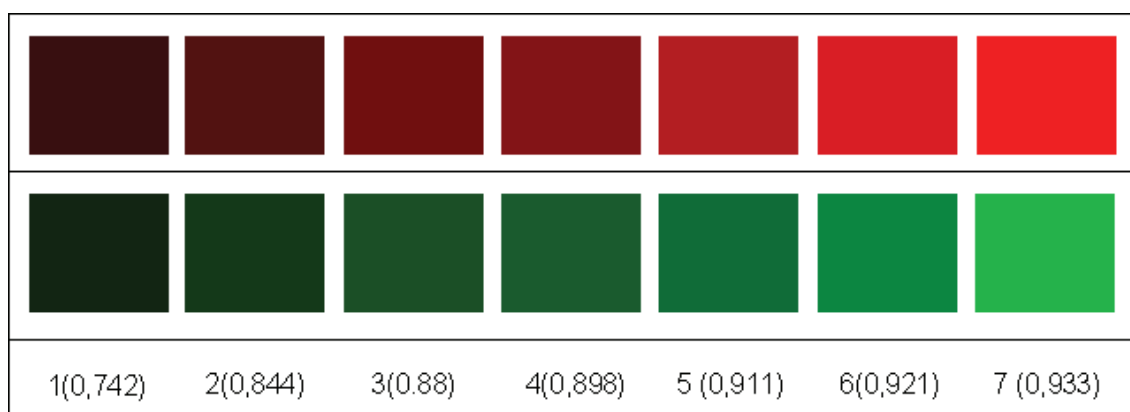


Figura 5.1: Immagine degli stimoli usati per gli esperimenti con i loro relativi valori del contrasto di Michelson.

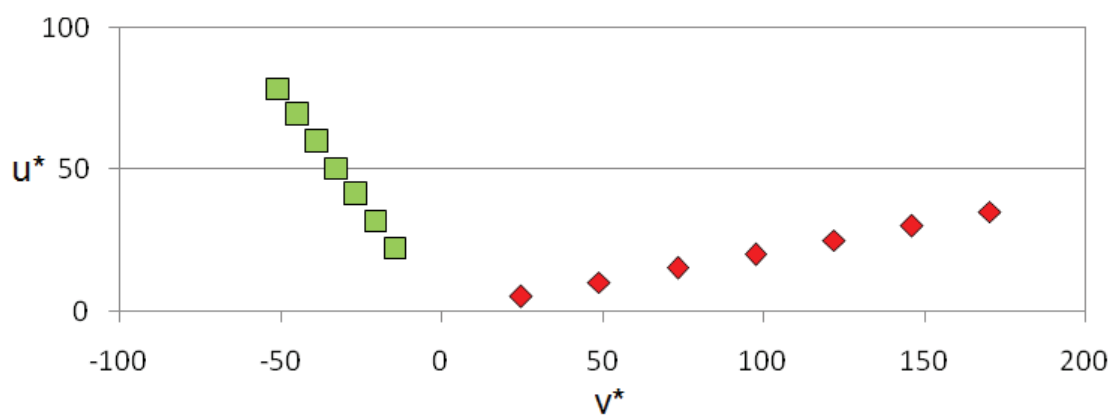


Figura 5.2: Grafico della rappresentazione degli stimoli nel sistema CIELUV.

Colour	L*	reds		greens	
		u*	v*	u*	v*
1	59	170.52	35.08	-50.35	78.68
2	50	146.25	30.09	-44.36	69.32
3	44	121.99	25.1	-38.37	59.95
4	38	97.72	20.11	-32.37	50.59
5	32	73.46	15.11	-26.38	41.22
6	24	49.19	10.12	-20.39	31.86
7	14	24.93	5.13	-14.39	22.49

Figura 5.3: Tabella con i valori di L*, u* e v* per ogni stimolo.

5.1.2 Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale di questo studio era entro i soggetti. La variabile predittore era il livello di contrasto di luminanza. La variabile criterio era la differenza dei tempi di reazione tra la mano destra e la mano sinistra (dTR = mano destra-mano sinistra)

5.1.3 Procedura

Ciascun partecipante sedeva a 57 cm di distanza dal monitor e veniva posto dinanzi alla tastiera in modo che la linea mediana del corpo fosse allineata al centro de monitor e al centro della tastiera. L'esperimento era composto da due prove: entrambe le prove erano costituite da 14 trial di prova, affinché il partecipante potesse capire come si svolgeva il compito; seguito da un secondo blocco costituito da 140 trial sperimentali, in cui ognuno dei 14 stimoli è stato ripetuto per 10 volte.

Qui di seguito viene riportato uno schema illustrativo della sistemazione del laboratorio.

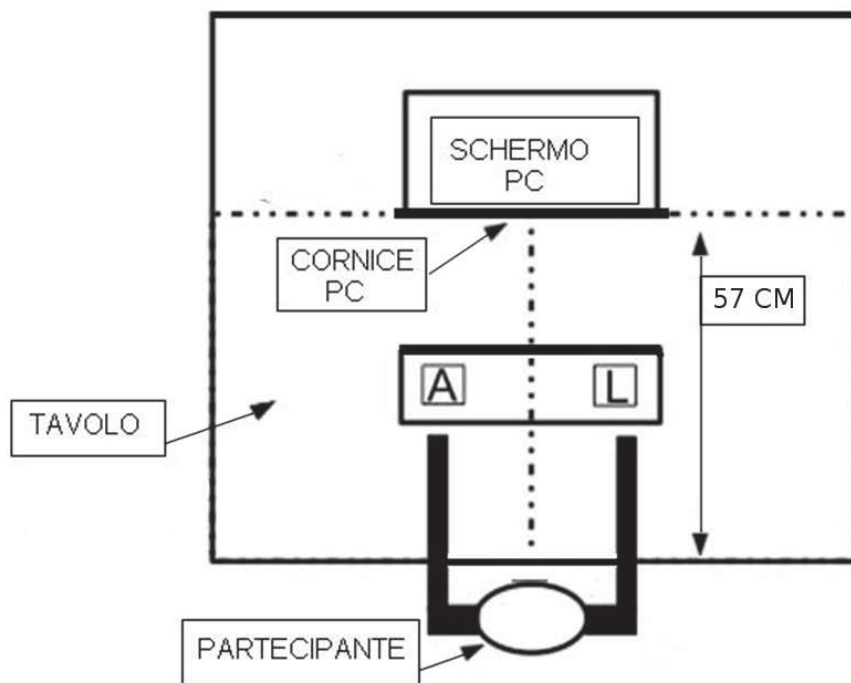


Figura 5.4: Disposizione del laboratorio e del partecipante di fronte allo schermo.

L'esperimento era composto da 3 blocchi di trial: il primo blocco era costituito da 14 trial di prova, affinché il soggetto potesse capire come si svolgeva il compito; il secondo blocco era costituito da 140 trial sperimentali e il terzo blocco dagli ultimi 140 trial sperimentali. In Figura 2.2 vi è l'esempio di un trial dell'esperimento.

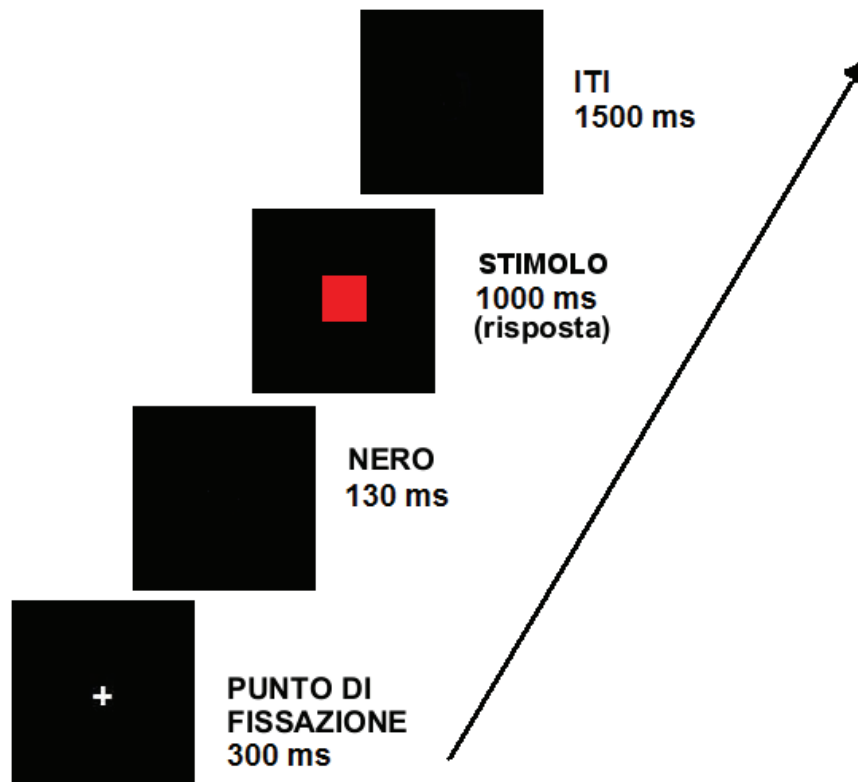


Figura 5.5: Esempio del trial dell'esperimento 1 "Compito Indiretto".

Il partecipante prima di iniziare il compito posizionava l'indice della mano sinistra sul tasto della lettera 'A' e il dito indice della mano destra sul tasto della lettera 'L'. In seguito comparivano sul monitor le istruzioni del compito. Il compito consisteva nel giudicare il colore dello stimolo presentato e categorizzarlo come verde o rosso. La prova prevedeva che al centro dello schermo apparisse, per 300 ms, una crocetta sulla quale il partecipante avrebbe dovuto fissare lo sguardo. Alla comparsa dello stimolo il partecipante doveva premere il tasto "A" o "L", nel modo più accurato e veloce possibile e da quel momento la sequenza di prove avanzava in modo automatico fino alla fine del primo blocco sperimentale. Al termine del primo trial sperimentale e l'inizio del secondo compariva una schermata nera di intervallo, in cui si invitavano i partecipanti a prendere

una breve pausa. La durata totale della prova era di 15 minuti circa. Per metà dei partecipanti il compito, nel primo blocco sperimentale, consisteva nel premere il tasto 'A' se il colore del quadrato era rosso o il tasto 'L' se era verde. Nel secondo blocco sperimentale, i tasti venivano invertiti e quindi, il partecipante doveva premere il tasto "A" se il colore del quadrato era verde e il tasto "L" se era rosso. Questa condizione veniva controbilanciata, pertanto metà dei partecipanti iniziava con la condizione A-L e l'altra metà con quella L-A. Ogni partecipante veniva sottoposto sia all'esperimento 1 "Compito Indiretto" e sia all'esperimento 2 "Compito Diretto", condizione che veniva controbilanciata, pertanto la metà dei partecipanti ha eseguito prima l'Esperimento 1 e poi l'Esperimento 2 e l'altra metà dei partecipanti ha eseguito gli esperimenti in modo inverso.

5.1.4 Risultati

I risultati sono riportati nel grafico 2.3, in cui si è osservata una relazione lineare tra le differenze fra le mediane dei TR della mano destra e della mano sinistra (dTR: mano destra - mano sinistra) in funzione dei livelli del contrasto di luminanza. Le dTR positive indicano una risposta più veloce della mano sinistra mentre le dTR negative indicano una risposta più veloce della mano destra.

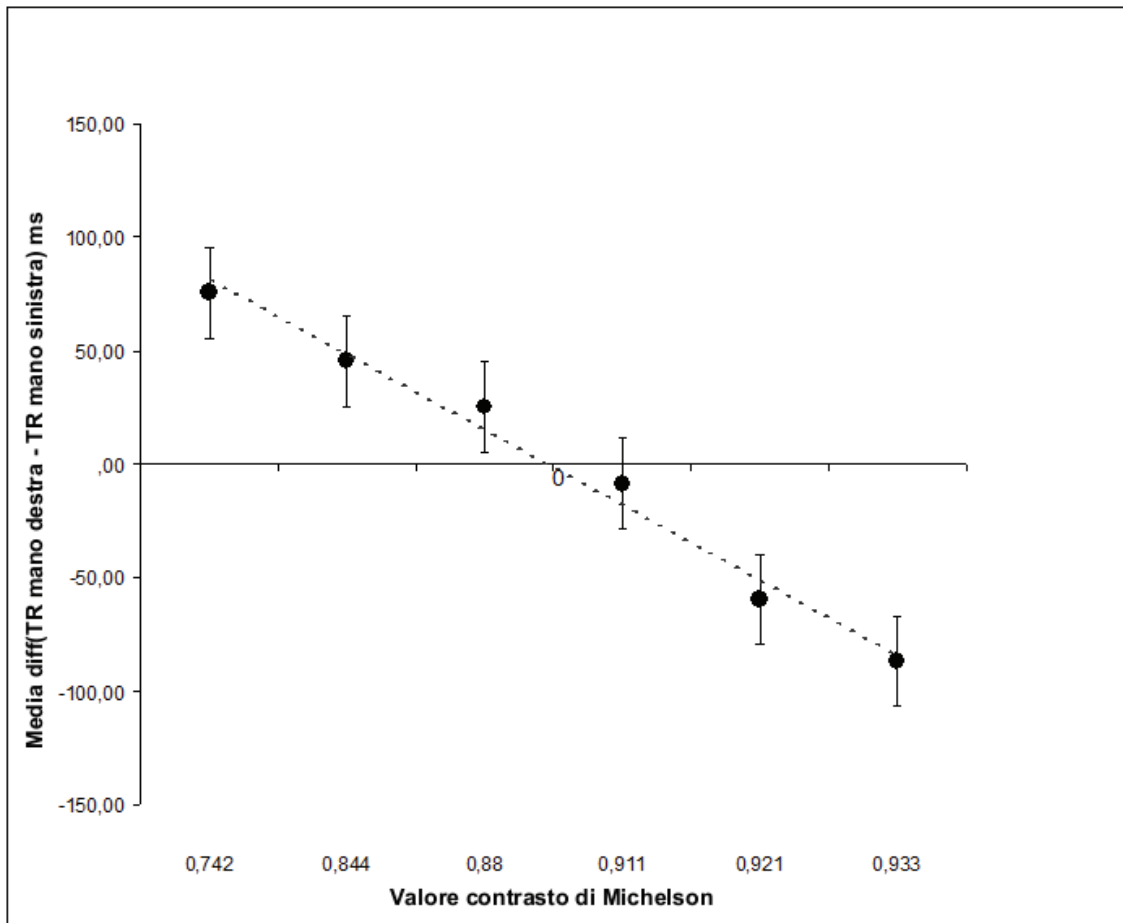


Figura 5.6: Grafico della differenza media (± 1 errore standard) delle mediane dei TR mano destra - TR mano sinistra funzione dei valori di contrasto di Michelson.

Per l'analisi statistica è stato usato il metodo per regressione con misure ripetute (Lorch, & Myers, 1990). Questo metodo è stato usato per la prima volta per l'analisi dell'effetto SNARC da Fias (1996). Secondo Fias, proprio perché l'effetto SNARC proviene da una associazione tra la posizione del numero sulla linea numerica e lo spazio di risposta esso predice una relazione negativa tra la grandezza del numero e la differenza nei TR fra mano destra e mano sinistra. Il modo più semplice per confermare questa relazione statistica è calcolare la differenza dei tempi di reazione in relazione alla grandezza numerica e testare la significatività della pendenza della retta di regressione.

In base a questo metodo, prima di tutto, sono state calcolate le mediane dei TR

di ogni mano separatamente per ogni valore del contrasto di Michelson. Dopo di che è stata calcolata la differenza delle mediane dei TR della mano destra e i TR della mano sinistra per ogni valore del contrasto di Michelson. Infine è stata calcolata, per ogni partecipante, la regressione lineare inserendo come predittore il valore del contrasto di Michelson e come criterio le dTR. Sui beta ottenuti è stato eseguito un t-test per verificare se deviavano significativamente dallo zero.

Il confronto dei beta delle regressioni individuali con lo 0 è risultato significativo $t(29) = 7.771, p < .001$, indicando che vi era una relazione lineare tra la il valore del contrasto di Michelson e lo spazio di emissione delle risposte.

5.2 Esperimento 2 “Compito Diretto”

5.2.1 Metodo

5.2.1.1 Partecipanti

I partecipanti erano gli stessi dell'esperimento 1.

5.2.1.2 Apparato

L'apparato usato era identico a quello dell'esperimento 1.

5.2.1.3 Stimoli

Ogni trial era costituito da 5 stimoli: il primo stimolo era una crocetta di fissazione, larga 1 cm e alta 1 cm; di carattere Arial, di colore bianco con dimensione 24 punti, seguito da un cancelletto largo 1 cm e alto 1 cm; di carattere Arial, di colore bianco con dimensione 24 punti, che indicava la comparsa di un terzo stimolo visivo, lo stimolo di confronto, un quadrato che aveva sempre lo stesso grado di luminosità (grado mediano

di luminosità all'interno del range di luminosità considerate), ma in metà delle prove era di colore rosso e nell'altra metà di colore verde. Lo stimolo successivo, era un punto esclamativo di colore bianco con dimensione 24 punti, che indicava la comparsa dello stimolo target. Infine compariva un quadrato che poteva essere di colore rosso o verde con 6 diversi gradi di luminosità. Dopo compariva una schermata nera di intervallo tra un trial ed un altro della durata di 1.5 sec. I quadrati utilizzati sono gli stessi impiegati nell'esperimento 1 "Compito Indiretto".

5.2.2 Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale era uguale a quello dell'esperimento 1.

5.2.3 Procedura

Il secondo esperimento era composto dallo stesso numero di blocchi e di trial dell'esperimento 1.

Il setting e la sistemazione del partecipante era la medesima dell'esperimento precedentemente descritto. Il secondo esperimento era composto da 2 prove, ciascuna suddivisa in 2 blocchi di trial: ma nel primo blocco era costituito da 24 trial di prova, affinché il partecipante potesse capire come si svolgeva il compito; seguito da un secondo blocco costituito da 120 trial sperimentali. La durata totale della prova era di 25 minuti circa. In Figura mostra la successione degli stimoli all'interno di un trial dell'esperimento 2 "Più o meno luminoso".

Il compito del partecipante era di confrontare lo stimolo target con lo stimolo di confronto e valutare se lo stimolo target aveva una luminosità maggiore, indipendentemente dalla tinta, e rispondere premendo uno dei due pulsanti il più velocemente e accuratamente possibile. Il partecipante prima di iniziare il compito posizionava l'indice della

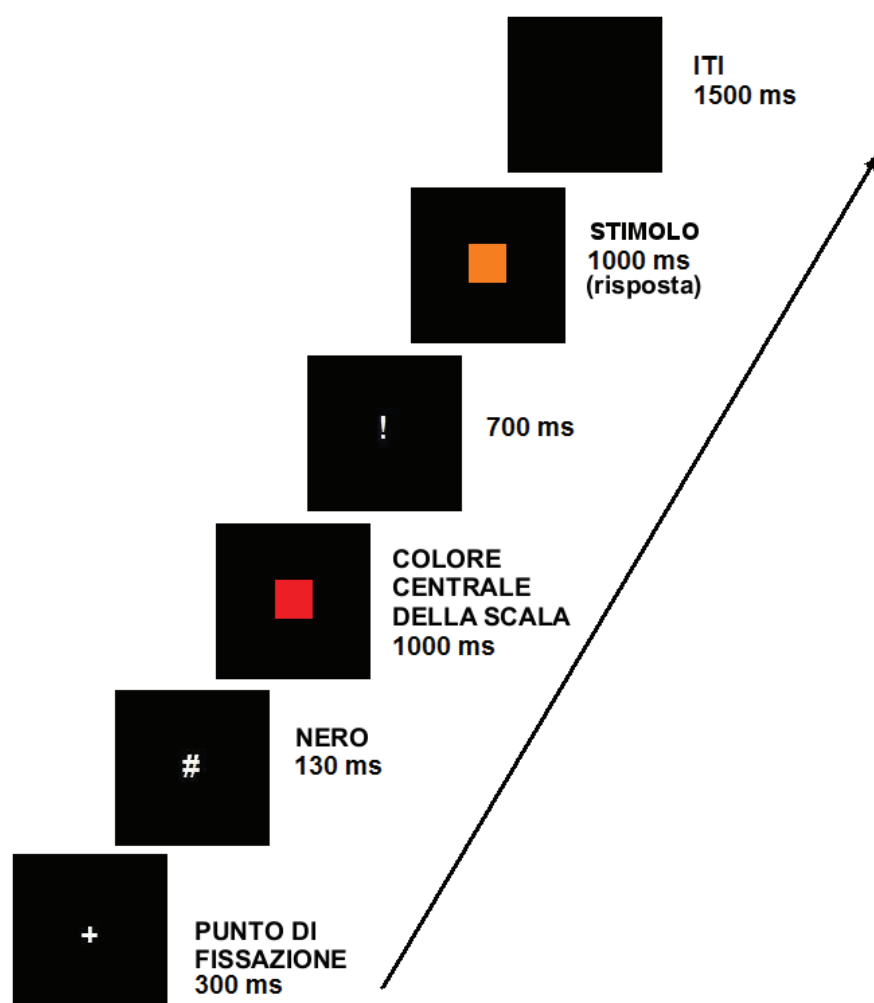


Figura 5.7: Esempio del trial dell'esperimento 1 "Compito Diretto".

mano sinistra sul tasto della lettera 'A' e il dito indice della mano destra sul tasto della lettera 'L'. In seguito venivano presentate sul monitor al partecipante le istruzioni del compito. La prova prevedeva che al centro dello schermo apparisse una crocetta che indicava il punto di fissazione, seguita da un cancelletto che avvisava il partecipante della comparsa del quadrato di confronto. Alla scomparsa di questo primo stimolo colorato, compariva un punto esclamativo che avvisava il partecipante della successiva comparsa del target. Dopo la comparsa dello stimolo target, il partecipante doveva premere il tasto "A" o "L" e da quel momento la sequenza di prove avanzava in modo automatico fino alla fine del primo blocco sperimentale. Tra il primo blocco sperimentale e l'inizio del secondo blocco sperimentale il partecipante poteva fare una pausa. Per metà dei partecipanti il compito, nel primo blocco sperimentale, consisteva nel premere il tasto 'A' se il grado di luminosità dello stimolo target era maggiore rispetto al stimolo di confronto o il tasto 'L' se era minore. Al contrario, nel secondo blocco sperimentale, i tasti venivano invertiti e quindi, il partecipante doveva premere il tasto "A" se la luminosità del secondo stimolo era minore rispetto al primo e il tasto "L" se era maggiore. Il resto della procedura è rimasto invariato rispetto all'esperimento 1 "Compito Indiretto".

Per le restanti condizioni procedurali vedi esperimento 1 "Compito Indiretto".

5.2.3.1 Risultati

La procedura usata per l'analisi dei dati è identica a quella usata nell'esperimento 1.

Il confronto dei beta delle regressioni individuali con lo 0 è risultato significativo $t(29) = 8.595$, $p < .001$, indicando che vi era una relazione lineare tra i valori del contrasto di Michelson e lo spazio di emissione delle risposte. I risultati sono riportati nella Figura 2.5.

Dai dati ottenuti possiamo dedurre che vi è un'associazione tra il contrasto di luminanza e lo spazio. I partecipanti mostrano TR più veloci con la mano sinistra per i valori di contrasto di luminanza più bassi e TR più veloci con la mano destra per i valori di contrasto di luminanza più alti.

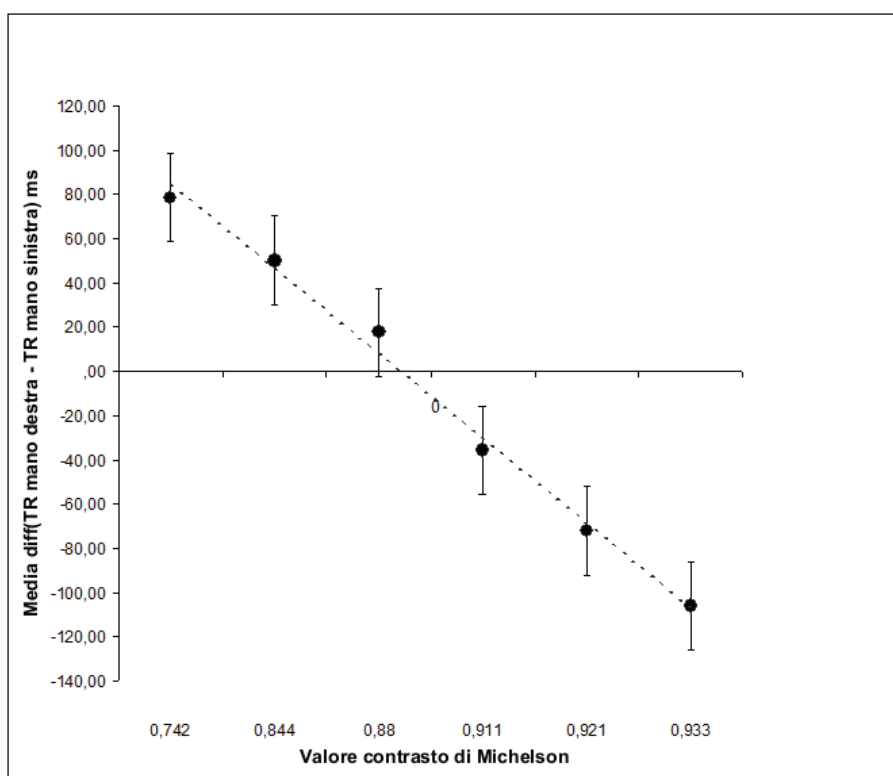


Figura 5.8: Grafico della differenza media (± 1 errore standard) delle mediane dei TR mano destra - TR mano sinistra in funzione dei valori di contrasto di Michelson.

Conclusioni

Lo scopo dello studio era quello di verificare se il contrasto di luminanza è rappresentato spazialmente come una linea mentale orientata da sinistra verso destra. Abbiamo verificato questa ipotesi usando un compito simile a quello dello SNARC, dove i partecipanti dovevano giudicare il contrasto di luminanza indirettamente (compito di discriminazione del colore) e direttamente (discriminazione della luminosità). I partecipanti mostravano un vantaggio della mano sinistra nel rispondere a bassi contrasti di luminanza e un vantaggio della mano destra nel rispondere ad alti valori di contrasto di luminanza (Spatial Luminance contrast Association of Response Codes: effetto SLARC). Questo effetto è stato osservato sia quando il contrasto di luminanza è valutato in maniera indiretta (Esperimento 1 discriminazione del colore) sia quando il contrasto di luminanza è valutato in maniera diretta (Esperimento 2, giudizio della luminosità).

Questa associazione ha le caratteristiche di una linea mentale orientata da sinistra a destra. In questo studio è stata dimostrata l'associazione tra contrasto di luminanza e spazio di emissione di risposta al contrario dello studio di Cohen Kadosh et al. (2008) che non hanno trovato questa associazione ma che avevano riportato solamente una associazione tra la grandezza numerica e il lato di esecuzione della risposta (effetto SNARC). In tutti gli studi precedenti il contrasto di luminanza e la grandezza numerica venivano manipolati nello stesso stimolo. In questo studio è stato manipolato per la prima volta da solo il contrasto di luminanza. Inoltre per la prima volta è stata studiata questa relazione tra spazio e luminanza di contrasto per i colori.

In conclusione, quindi, non solo per i numeri, ma anche per il contrasto di luminanza c'è una rappresentazione spaziale con orientamento da sinistra verso destra, dove i contrasti di luminanza più bassi sono rappresentati a sinistra e progressivamente contrasti

di luminanza più alti sono rappresentati a destra. Questi risultati sono coerenti con l'idea che il contrasto di luminanza ha una rappresentazione simile a quella dei numeri. Probabilmente molti tipi di grandezze potrebbero essere rappresentate spazialmente.

In considerazione dei vari modelli che tentano di spiegare l'effetto SNARC questi dati vanno in supporto di un sistema comune per la magnitudine come propone Walsh con il suo modello dell'ATOM, in quanto probabilmente vi è un sistema che mette in relazione lo spazio con vari tipi di grandezze anche di tipo non numerico. Non tutte le grandezze ovviamente hanno una associazione con lo spazio e il loro orientamento non è sempre sinistra destra (numeri negativi, orologio); questo perché intervengono anche fattori di tipo culturale, cioè come ci vengono presentate a scuola o in altri ambienti. Non possiamo però escludere che questi dati vanno in supporto anche del modello proposto da Proctor e Cho in quanto i valori bassi di contrasto di luminanza potrebbero essere associati al meno e valori di alti di luminanza al più.

Quello che proponiamo qui e che il modello di Walsh ci indica una relazione tra il contrasto di luminanza e lo spazio, ma poi la natura della relazione, cioè la direzione di questa associazione (sinistra vs destra) può essere spiegata dalla teoria di Proctor e Cho. In pratica il contrasto di luminanza presenta una rappresentazione di tipo spaziale, quindi essendo una quantità va ad avvalorare l'ipotesi di un sistema comune della magnitudine. Poi questa rappresentazione ha un orientamento che va da sinistra verso destra (lo stesso sarebbe trovato anche su sfondo chiaro in quanto percettivamente i colori più chiari sembrano più scuri e viceversa) che va ad avvalorare il modello di Proctor e Cho della polarità. Nonostante questi modelli non bisogna dimenticare l'influenza che proviene dall'educazione che ci viene data e dalla cultura in quanto queste associazioni probabilmente sono anche determinate dagli insegnamenti che vengono appresi a scuola.

Parte IV

Conclusioni Generali e Studi Futuri

Gli studi che sono stati presentati in questa tesi avevano un denominatore comune: studiare alcuni aspetti della percezione del colore. In particolare, sono stati indagati due aspetti particolari: le basi neurali dei fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza e la rappresentazione mentale della luminanza di contrasto.

Per quanto riguarda le basi neurofisiologiche dei fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza è stato verificato che probabilmente vi sia un coinvolgimento nel processamento di questi fenomeni da parte di aree corticali superiori. In particolare queste aree sembrano essere localizzate nelle regioni posteriori dell'emisfero sinistro. Inoltre nel processamento di questi fenomeni sembra molto rilevante il processamento dei margini, evidenza che va a corroborare le teorie a sostegno di questo nei fenomeni di contrasto e di costanza. I risultati ottenuti in questi esperimenti necessitano di ulteriori approfondimenti per capire in maniera più precisa quali aree sono coinvolte in questi fenomeni. Sarebbe importante valutare mediante esperimenti mirati, la percezione dei margini, andando ad indagare se i pazienti percepiscono correttamente i margini d'illuminazione o di riflettanza o se ci sono delle differenze a seconda delle aree lesionate. Inoltre, considerando che i gruppi di pazienti hanno mostrato una differenza tra l'emisfero sinistro e l'emisfero destro nella percezione del colore target e le teorie sul diverso ruolo che rivestono questi emisferi nel processamento delle caratteristiche locali e globali, sarebbe interessante anche valutare l'attenzione locale e globale in questi pazienti. Questo potrebbe essere fatto con la somministrazione di un paradigma di Navon (1977).

Un recente studio (Vincent, Baddeley, Correani, Troscianko, & Leonards, 2009) ha dimostrato, mediante l'osservazione dei movimenti oculari di partecipanti che guardavano delle immagini con e senza effetti di luminosità apparente, come i partecipanti sembrano concentrare i loro movimenti saccadici sulle aree più luminose. Quindi sarebbe interessante valutare anche come i pazienti con lesione all'emisfero sinistro e destro guardano gli stimoli e dove maggiormente concentrano i loro movimenti saccadici.

Invece per quanto riguarda la rappresentazione mentale del contrasto di luminanza, abbiamo visto come questa rappresentazione è simile a quella dei numeri cioè una linea mentale con orientamento sinistra-destra, dove a sinistra ci sarebbero le luminanze di contrasto più basse e a destra le luminanze di contrasto più alte. Quindi non solo i numeri ma anche stimoli non numerici, ma che sono indice di una quantità sono rappresentati in maniera spaziale. Un approfondimento di questo studio potrebbe essere la verifica di questo effetto anche per i colori acromatici e anche per altre componenti del colore come il croma.

In conclusione, con questa tesi abbiamo dimostrato l'esistenza di altri fattori coinvolti nella percezione del colore, cioè l'esistenza di altre aree cerebrali, oltre a quelle della via visiva primaria, coinvolte nel processamento dei fenomeni di contrasto e di costanza di bianchezza e l'influenza dello spazio nella rappresentazione del contrasto di luminanza cromatico.

Bibliografia

Agostini T., & Galmonte A. (1997). A new effect of gradient on lightness. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 38 (4), S895.

Agostini, T. & Galmonte, A. (2002). Perceptual organization overcomes the effects of local surround in determining simultaneous lightness contrast. *Psychological Science*, 13 (1), 89-93.

Algom, D., Dekel, A., & Pansky, A. (1996). The perception of number from the separability of the stimulus: The Stroop effect revisited. *Memory & Cognition*, 24(5), 557-572.

Bachtold, D., Baumuller, & M., Brugger, P. (1998). Stimulus-response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 36, 731-735.

Berlucchi, G., Aglioti, S., Marzi, C. A., & Tassinari, G., (1995). Corpus callosum and simple visuomotor integration. *Neuropsychologia*, 33, 923-936.

Boynton R.M.(1973). Implications of the minimally distinct border. *Journal of the optical Society of America*, 63, 1037-1043

Brannon, E.M., & Terrace, H.S. (1998). Ordering of the numerosities 1 to 4 by monkeys. *Science*, 282, 746-749.

Brannon, E.M., Lutz, D., & Cordes, S. (2006). The development of area discrimination and its implications for number representation in infancy. *Developmental Science*, 9 (6), F59-F64.

Brannon E.M., Suanda, U., Libertus, K. 2007. Temporal discrimination increases in precision over development and parallels the development of numerosity discrimination. *Developmental Science* 10, 770-777 .

Clearfield, M.W. & Mix, K.S. (2001). Infant use continuous quantity — not number — to discriminate small visual sets. *Journal of Cognition and Development*, 2(3), 243-260.

Clearfield, M.W. (2004). The role of crawling and walking experience in infant spatial memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 89(3), 214-241.

Cohen Kadosh, R., Cohen Kadosh, K., & Henik, A. (2008). When brightness counts: The neuronal correlate of numerical-luminance interference. *Cerebral Cortex*, 18(2), 337-343.

Cohen Kadosh, R., Cohen Kadosh, K., Kaas, A., Henik, A., & Goebel, R. (2007). Notation-dependent and -independent representations of numbers in the parietal lobes. *Neuron*, 53(2), 307-314.

Cohen Kadosh, R., & Henik, A. (2006). A common representation for semantic and physical properties: A cognitive-anatomical approach. *Experimental Psychology*, 53, 87-94.

Cohen Kadosh, R., Lammertyn, J. & Izard, V. (2008) Are numbers special? An overview of chronometric, neuroimaging, developmental and comparative studies of magnitude representation. *Progress in Neurobiology* 84, 132-147.

Cordes, S., and Gelman, R. (2005). The young numerical mind: What does it count? In. *Campbell, J. (Ed). Handbook of mathematical cognition.* (pp. 128-142).

Cornelissen, F.W., Wade, A.R., Vladusich, T., Dougherty, R.F. & Wandell, B.A. (2006). No Functional Magnetic Resonance Imaging Evidence for Brightness and Color Filling-In In Early Human Visual Cortex. *The Journal of Neuroscience*, 5, 26(14), 3634 –3641.

Crawford, J.R., & Garthwaite, P.H. (2002). Investigation of the single case in

neuropsychology: Confidence limits on the abnormality of test scores and test score differences. *Neuropsychologia*, *40*, 1196-1208.

Dehaene, S., Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neuroscience*, *21*, 355-361.

Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehker, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic affects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 626-641.

Dehaene, S., & Mehler, P. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, *44*, 1-42.

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, *122*, 371-396.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, *1*, 83-120.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: Double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*, *33*, 219-250.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, *20*, 487-506.

Feigenson, L., Carey, S., & Spelke, E.S. (2002). Infants' discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive Psychology*, *44*, 33-66.

Fias, W., Brysbaert, M., Geypens, F., & D'Ydewalle, G. (1996). The importance of magnitude information in numerical processing: evidence from the SNARC effect. *Mathematical Cognition*, *2*(1), 95-110.

Fischer, M.H. (2003). Cognitive representation of negative numbers. *Psychological Science*, *14*, 278-282.

Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*, *21*, 252-256.

- Gallistel, C.R., & Gelman, R. (2000). Non-verbal numerical cognition: from reals to integers. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 59-65.
- Gebuis, T., & van der Smagt, M. J. (2011). Incongruence in number–luminance congruency effects. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 73, 259-265.
- Gerbino, W. (1983). *La percezione*. Ed. Il mulino.
- Gevers, W., Reynvoet, B., & Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition*, 87, B87-B95.
- Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a common processing architecture underlying Simon and SNARC effects. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17, 659-673.
- Gevers, W., Ratinckx, E., De Baene, W., & Fias, W. (2006). Further evidence that the SNARC effect is processed along a dual-route architecture: Evidence from lateralized readiness potential. *Experimental Psychology*, 53, 58-68.
- Gilchrist A.L. (1979). The perception of surface blacks and whites. *Scientific American*, 240, 112-123.
- Gilchrist A.L. (1988). Lightness contrast and failures of constancy: A common explanation. *Perception & Psychophysics*, 43, 415-424.
- Harrington, D. L., & Haaland, K. Y. (1999). Neural underpinnings of temporal processing. *Reviews in the Neuroscience*, 10, 91–116.
- Helmholtz H.V. (1866/1962). Helmholtz's treatise on physiological optics. *New York: Optical Society of America*.
- Henik, A., & Tzelgov, J. (1982). Is three greater than five: The relation between physical and semantic size in comparison tasks. *Memory & Cognition*, 10, 389-395.
- Hering E. (1920) Grundzuge der Lehre vom Lichtsinn. *Berlin: Springer*.
- Hubbard, E.M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Review: Neuroscience*, 6, 435-448.

Huha, E., Berch, D., & Krikorian, R. (1995). Obligatory activation of magnitude information during non numerical judgments of Arabic numerals. *Conferenza della società psicologica americana*, New York, 29 June-2 July.

Ito, Y., & Hatta, T. (2004). Spatial structure of quantitative representation of numbers: Evidence from the SNARC effect. *Memory & Cognition*, 32, 662-673.

Kardos L. (1934). Ding und Schatten. *Leipzig: Barth*.

Katz D. (1935), The world of colour. *Ed. Kegan Paul, London*.

Koffka, K. (1935). Principles of gestalt psychology. *Harcourt and Brace, New York*.

Leonards, U., Troscianko, T., Lazeyras, F., & Ibanez, V. (2005). Cortical distinction between the neural encoding of objects that appear to glow, and those that do not. *Cognitive Brain Research*, 24, 173-176.

Lorch, R.F., Jr., & Myers, J.L. (1990). Regression analyses of repeated measures data in cognitive research: A comparison of three different methods. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 149-157.

Massaro, D. W., & Klitzke, D. (1977). Letters are functional in word identification. *Memory and Cognition*, 5, 292-298.

Macleod R.B. (1947). The effect of «artificial penumbrae» on the brightness of included areas. *Miscellanea Psychologica Albert Michotte. Louvain: Institut Supérieur de Philosophie*, pp. 138-154.

Mattingley, J. B., Bradshaw, J. L., Nettleton, N. C., & Bradshaw, J. A. (1999). Can task specific perceptual bias be distinguished from unilateral neglect? *Neuropsychologia*, 32, 805-817.

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

Mohl, W., & Pfurtscheller, G. (1991). The role of the right parietal region in a movement time estimation task. *NeuroReport*, 2, 309-312.

Navon, D. (1977). Forest before trees: the precedence of global features in word identification. *Cognitive Psychology*, *9*, 353-383.

Perna, A., Tosetti, M., Montanaro, D., & Morrone C. (2005). Neuronal Mechanisms for Illusory Report Brightness Perception in Humans. *Neuron*, *47*, 645–651.

Proctor, R.W., Cho, Y.S.(2006). Polarity correspondence: A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychological Bulletin*, *132*(3), 416-442.

Pinel, P., Piazza, M., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Distributed and overlapping cerebral representations of number, size, and luminance during comparative judgments. *Neuron*, *41*, 983-993.

Ren, P., Nicholls, M.E., Ma, Y., & Chen, L., 2011. Size matters: Non-numerical magnitude affects the spatial coding of response. *PLoS One*, *6*(8).

Rossi, A.F., & Paradiso, M.A. (1999). Neural Correlates of Perceived Brightness in the Retina, Lateral Geniculate Nucleus, and Striate Cortex. *The Journal of Neuroscience*, *19*(14):6145–6156.

Robertson, L.C. & Lamb, M.R. (1991). Neuropsychological contributions to theories of part whole organization. *Cognitive psychology*, *23*, 299-330.

Roe, A.W., Lu, H.D., & Hung, C.P. (2005). Cortical processing of a brightness illusion. *PNAS*, *102* (10), 3869–3874.

Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B., Umiltà, C. A., & Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: the SMARC effect. *Cognition*, *99*, 113–129.

Seron, X., Pesenti, M., Noël, M. P. (1992). Images of numbers, or When 98 is upper left and 6 sky blue. *Cognition*, *44*, 159–196.

Simon, J. R.. (1968). Effect of ear stimulated on RT and movement time. *Journal of Experimental Psychology* *78*, 344-346.

Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology, 51*, 300-304.

Simon, J. R., & Small, A. M. Jr. (1969). Processing auditory information: interference from an irrelevant cue. *Journal of Applied Psychology, 53*, 433-435.

Simon, J. R., & Small, A. M. Jr. (1970). Response interference in an information processing task: sensory versus perceptual factors. *Journal of Experimental Psychology, 77*, 230-237.

VanMarle, K. and Wynn, K. (2006), Six-month-old infants use analog magnitudes to represent duration. *Developmental Science, 9*, F41-F49.

Vincent, B., Baddeley, R., Correani, A. Troscianko, T., & Leonards, U. (2009). Do we look at lights? Using mixture modelling to distinguish between low and high-level factors in natural image viewing. *Visual Cognition, 17* (6/7), 856-879.

Wallach, H. (1948). Brightness constancy and the nature of achromatic colors. *Journal of Experimental Psychology, 38*, 310-324.

Walsh, V. (2003). A theory of magnitude : common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences, 7* (11), 483-488.

Zavagno, D. (1996). Effetto nebbia. *Visual Illusions and Effects a collection. Ed. Guerini, Milano.*

Zatorre, R. J. (1998). Neural specializations for tonal processing. *Annals New York academy of Science, 830*, 116-132.

Zorzi, M., Priftis, K., & Umiltà, C. (2002). Neglect disrupts the mental number line. *Nature, 417*, 138-139.

Zorzi, M., Priftis, K., Meneghello, F., Marensi, R., & Umiltà, C. (2006). The spatial representation of numerical and non-numerical sequences: Evidence from neglect. *Neuropsychologia, 44*, 1061-1067.