

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



DIPARTIMENTO DI STUDI UMANISTICI
CORSO DI DOTTORATO IN MIND, GENDER AND LANGUAGE
XXXIV CICLO

TESI DI DOTTORATO IN
PSICOLOGIA GENERALE

**STRUMENTI DI MISURA INNOVATIVI PER L'ANALISI
DELLE ASIMMETRIE VISUOSPAZIALI**

TUTOR

PROF.RE

Onofrio Gigliotta

CANDIDATA

Federica Somma

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

*Ad Antonio, che corre sulla collina dei ciliegi
dandomi la mano
Ad Orazio, alla sua mente visionaria
che ha sfidato la complessità del mondo*

INDICE

INTRODUZIONE	6
1. CAPITOLO UNO. LE ASIMMETRIE DELL'ATTENZIONE VISUOSPAZIALE	10
1.1 COGNIZIONE ED ATTENZIONE VISUOSPAZIALE.....	11
1.1.1 COGNIZIONE SPAZIALE	11
1.1.2 MECCANISMI DELL'ATTENZIONE VISUOSPAZIALE	14
1.1.3 BASI E RETI NEURALI DELL'ATTENZIONE VISUOSPAZIALE.....	17
1.2 ASIMMETRIE IN ATTENZIONE VISUOSPAZIALE	19
1.2.1 DAL NEGLECT ALLO PSEUDONEGLECT	20
1.2.2 ORIGINE DEI BIAS DI ATTENZIONE SPAZIALE.....	22
1.2.3 STRUMENTI DI VALUTAZIONE E VARIABILITÀ DEL BIAS D'ATTENZIONE SPAZIALE	27
1.3 PSEUDONEGLECT IN ETÀ EVOLUTIVA.....	34
1.3.1 ESPRESSIONE DELL'ASIMMETRIA D'ATTENZIONE SPAZIALE DALL'INFANZIA	35
1.3.2 MISURARE IL BIAS VISUOSPAZIALE IN ETÀ EVOLUTIVA.....	40
1.3.3 DALLA LATERALITÀ ALLE STRATEGIE DI SCANNING VISUOSPAZIALE ..	43
1.3.4 RELAZIONE TRA ASIMMETRIA DELL'ATTENZIONE VISUOSPAZIALE E SPECIFICHE CONDIZIONI PSICO-FISICHE.....	47
2. CAPITOLO DUE. STRUMENTI CLASSICI ED INNOVATIVI PER L'ASSESSMENT DI ABILITÀ VISUOSPAZIALI	52
2.1 AUTOMATIZZAZIONE DEI TEST DI MISURAZIONE DI PROCESSI VISUOSPAZIALI	53
2.1.1 RACCOLTA DATI DIGITALIZZATA E AUTOMATIZZATA: PRO E CONTRO..	53
2.1.1 ALCUNI ESEMPLI.....	55

2.2 E-TAN, IL RITORNO ALLA TANGIBILITÀ E COMPITI VISUOSPAZIALI POTENZIATI	57
2.2.1 REALTÀ AUMENTATA	57
2.2.2 E-TAN, E-BTT E LE COORDINATE SPAZIO-TEMPORALI	60
2.2.3 PRIMI STUDI	64
2.2.4 UNO SGUARDO ALLE STRATEGIE	67
2.3 NUOVI INDICI E NUOVI COMPITI PER E-TAN	71
2.3.1 INDICI E MISURE DEI TEST DI VALUTAZIONE DEI PATTERN DI RICERCA VISIVA	72
2.3.2 DA CARTA E MATITA AL DIGITALE	78
2.3.3 ESTRAZIONE ED USO DI INDICI NELL'E-BTT	82
3. CAPITOLO TRE. ASIMMETRIE VISUOSPAZIALI: STUDI SU CAMPIONI DI ADULTI E BAMBINI	88
3.1 VALUTAZIONE DELLO PSEUDONEGLECT DI GIOVANI ADULTI MEDIANTE STRUMENTI TANGIBILI E DIGITALI	89
3.1.1 SCOPO DELLO STUDIO	89
3.1.2 MATERIALI E METODI	89
3.1.3 PROCEDURA	91
3.1.4 RISULTATI	92
3.1.5 DISCUSSIONI	97
3.2 COME VARIA LO PSEUDONEGLECT AL VARIARE DI SPECIFICHE CONDIZIONI PSICOLOGICHE	98
3.2.1 CONTESTO E SCOPO DELLO STUDIO	98
3.2.2 MATERIALI E METODI	100
3.2.3 PROCEDURA	103
3.2.4 RISULTATI	104
3.2.5 DISCUSSIONI	109

3.3 E-BTT E BAMBINI IN ETÀ SCOLARE: RISULTATI PRELIMINARI.....	112
3.3.1 SCOPI DELLO STUDIO	112
3.3.2 MATERIALI E METODI.....	113
3.3.3 PROCEDURA.....	116
3.3.4 RISULTATI	119
3.3.5 ANALISI QUALITATIVA PRELIMINARE DELLE SEQUENZE E-BTT.....	126
3.3.6 DISCUSSIONI.....	129
CONCLUSIONI	132
BIBLIOGRAFIA	135

INTRODUZIONE

Lo studio della cognizione spaziale nasce dall'interesse per il modo in cui animali ed esseri umani elaborano le informazioni spaziali per acquisire ed integrare concetti spazialmente rilevanti che possono essere utilizzati, in maniera adattiva, per orientarsi nel mondo circostante e risolvere problemi della vita quotidiana. È importante sottolineare che le abilità spaziali sono necessarie all'adattamento nel nostro ambiente ed un prerequisito per l'autonomia e l'integrazione sociale. Queste abilità permettono di interagire con gli oggetti interpretando correttamente a cosa servono o di muoversi in uno spazio in relazione ad un obiettivo specifico.

Il presente lavoro di tesi riguarda un fenomeno particolare della cognizione spaziale conosciuto in letteratura con il termine pseudoneglect, una tipica asimmetria d'attenzione visuospaziale, nonché uno strumento innovativo (E-BTT, Cerrato et al., 2019; 2020) nato per una valutazione ecologica della negligenza spaziale unilaterale (o neglect) e applicato nella presente ricerca per raccogliere dati su asimmetrie spaziali in campioni a sviluppo normotipico. Lo pseudoneglect, o bias d'attenzione visuospaziale, è un fenomeno particolare dell'attenzione visuospaziale che risulta da origini differenti: biologiche, evolutive, motorie e culturali. Riguarda comportamenti automatici a cui non prestiamo molta attenzione, seppur sia molto consistente, tuttavia, comporta una serie di conseguenze sul piano dei processi mentali e delle scelte direzionali che adottiamo nella vita quotidiana.

Basti pensare che se ci chiedono di ricordare i dettagli di una scena visiva osservata in precedenza, è molto probabile che sapremo ricordare meglio quelli presenti sul lato sinistro piuttosto che quelli sul lato destro, oppure che se dobbiamo scegliere un'opera d'arte sceglieremo quella con il lato sinistro attraente rispetto ad una con il lato destro attraente. Questo suggerisce che è importante tener conto di simili processi in diversi campi, non solo nella ricerca psicologica di base, per studiarne le differenti espressioni e variabilità individuali, ma anche nel campo dello studio della memoria, dell'architettura, del marketing e della pubblicità, dello sport, per citarne solo alcuni.

Il primo capitolo della tesi è dedicato ad una sintesi della letteratura riguardo l'attenzione visuospaziale ed in particolare del fenomeno delle asimmetrie nell'orientamento e nella

direzione attenzionale visuospatiale. Questo tipo di attenzione è responsabile dell'orientamento spaziale verso sorgenti di stimolazione in diverse modalità sensoriali. Ai fini della presente tesi verrà descritta principalmente l'attenzione spaziale che sfrutta il canale sensoriale visivo.

Dalla vasta cornice della cognizione spaziale il focus è diretto verso una descrizione del funzionamento, delle caratteristiche e delle basi neurali dell'attenzione visuospatiale, un processo multidimensionale ma le cui dimensioni si integrano a favore dell'adattamento dell'uomo all'ambiente circostante. Segue un approfondimento sul fenomeno dello pseudoneglect, ovvero sulla tendenza dell'individuo a direzionare l'attenzione primariamente verso un lato (spesso il sinistro) del campo visivo-spaziale peripersonale, sulla sua origine, sulle modalità di valutazione di questa lateralizzazione e delle sue diverse manifestazioni, delineandone successivamente il graduale sviluppo in età evolutiva.

Un approfondimento finale è dedicato a gruppi specifici di condizioni, come disturbi dovuti a lesioni cerebrali o del neurosviluppo, caratterizzati da un pattern di direzione dell'attenzione visuospatiale differente dalla media della popolazione a sviluppo normotipico, popolazione in cui, tuttavia, lo pseudoneglect emerge in modo variabile in base ai compiti e agli strumenti di misura utilizzati. Lo pseudoneglect è un fenomeno multidimensionale che sembrerebbe essere influenzato da fattori psicologici specifici, ad esempio, stress e carico cognitivo: la variabilità del fenomeno del bias d'attenzione visuospatiale sarà oggetto delle analisi degli studi effettuati e presentati nell'ultima parte del lavoro.

Il secondo capitolo sintetizza alcuni classici metodi di valutazione delle abilità visuospatiali, in particolare di attenzione visuospatiale, utili a rilevare un bias d'attenzione visuospatiale, nonché della direzione della ricerca visuospatiale, dell'organizzazione della ricerca visuospatiale, e fornisce una panoramica dei benefici della digitalizzazione degli strumenti di valutazione delle abilità cognitivo-spaziali e, soprattutto, delle potenzialità di nuovi strumenti ibridi di valutazione.

Verrà presentato, in particolare, un prototipo sviluppato per potenziare un test per la valutazione di abilità visuospatiali, il Baking Tray Task, che sfrutta le interfacce tangibili, in particolar modo di quelle ideate per la Realtà Aumentata (AR). Questa interfaccia

consiste in un dispositivo che unisce una piattaforma digitale (E-Tan) a oggetti fisici, in grado di aumentare il grado informativo dei comportamenti che avvengono nel mondo reale. In questo modo, chi effettua il test e agisce con oggetti tangibili e fisici, produce automaticamente dati nell'ambiente digitale. Questo tipo di approccio si fonda sul ruolo centrale della manipolazione di oggetti e artefatti, che sono messi a disposizione dell'utente per consentire un ambiente valutativo più ecologico, più partecipato nonché motivante.

Il software E-Tan consente di ottenere le coordinate esatte della posizione spaziale e la sequenza temporale degli oggetti disposti sul piano peripersonale arricchendo le possibilità di analisi dei dati spaziali di compiti come quello dell'E-BTT. La rilevazione dei dati spaziali consente di facilitare il processo di analisi dei comportamenti spaziali, prima di tutto della lateralizzazione e di asimmetrie di esplorazione dello spazio, e in secondo luogo della direzione e sequenza di posizionamenti sullo spazio. E-Tan e il potenziamento dei compiti come l'E-BTT aprono a diverse possibili applicazioni ed analisi: al termine del secondo capitolo verranno menzionate alcune nuove potenzialità dello strumento e dei dati raccolti, ad esempio la creazione di indici specifici per rilevare la qualità delle strategie visuospatiali.

Il terzo capitolo raccoglie una serie di studi svolti con l'obiettivo di esplorare l'orientamento del comportamento di organizzazione spaziale in campioni di individui sani misurato attraverso il compito E-BTT potenziato dal software E-Tan. Il primo scopo è stato quello di comparare la performance di individui sani, adulti e bambini d'età scolare, con campioni di individui con lesioni o a sviluppo atipico che mostrano deficit in abilità visuospatiali, ma anche quello di individuare differenze interindividuali nell'espressione dello pseudoneglect, così come individuare differenze nell'espressione del bias d'attenzione spaziale tra compito E-BTT e compiti classici di valutazione quali bisezione di linee e cancellazione di stimoli.

Il primo studio ha coinvolto un campione di convenienza di studenti universitari ed ha avuto l'obiettivo di analizzare preliminarmente il fenomeno dello pseudoneglect nel compito E-BTT e di comparare quest'ultimo a quello espresso in altri compiti di valutazione di abilità visuospatiali. Il secondo studio è nato in contingenza del lockdown e delle misure restrittive imposte a causa della pandemia da Covid-19, ed ha avuto

l'obiettivo di valutare la variabilità dello pseudoneglect in condizioni psicologiche, come quelle di stress, un fenomeno riportato in letteratura e descritto nel capitolo 1, coinvolgendo il medesimo campione e sfruttando alcuni tra i test utilizzati nel primo studio. Per il terzo studio è stato coinvolto un campione di convenienza di bambini in età scolare a cui è stato somministrato per la prima volta il compito E-BTT, insieme ad altri test di valutazione delle abilità visuospatiali, per ottenere dati preliminari e per comparare l'espressione dello pseudoneglect in campioni di adulti e di bambini.

Tra gli obiettivi della creazione del software E-Tan vi è sicuramente quello di ampliare la quantità di compiti, per promuovere modalità innovative di valutazione in contesti clinici di neuroriabilitazione ma non solo, anche scolastici. Uno strumento di valutazione ibrido e altamente flessibile come quello di E-Tan potrebbe essere adattato alla popolazione in età evolutiva e consentire una valutazione ecologica e "gamificata", ovvero arricchita di elementi caratteristici dei videogame, più attrattiva e motivante per la fascia d'età scolare. La diagnosi psicologica rivolta ai bambini potrebbe essere influenzata positivamente dall'adozione di sistemi tecnologici che rendano la partecipazione alla valutazione più coinvolgente.

- CAPITOLO UNO -

LE ASIMMETRIE DELL'ATTENZIONE

VISUOSPAZIALE

1.1 Cognizione ed attenzione visuospatiale

1.1.1 Cognizione spaziale

La cognizione spaziale si riferisce ad una branca delle scienze cognitive che studia come gli esseri umani e gli animali percepiscono, interpretano, rappresentano mentalmente e interagiscono con le caratteristiche spaziali del loro ambiente. La cognizione spaziale riguarda la percezione, la consapevolezza e l'elaborazione delle informazioni spaziali, nonché la capacità di utilizzare tali informazioni per la rappresentazione e la risoluzione di problemi visuospatiali (Hart & Moore, 1973; Montello, 2001; Newcombe & Huttenlocher, 2006), quindi svolge un ruolo centrale nell'evoluzione, nell'adattamento e nel funzionamento quotidiano dell'uomo. Esplorare efficacemente il mondo visuospatiale è importante per costruire una rappresentazione accurata del nostro ambiente.

Lo spazio si differenzia a seconda che sia personale, ossia relativo al proprio corpo, peripersonale, che si riferisce allo spazio che circonda il corpo e ne definisce il campo di azione (a distanza di braccio), ed extrapersonale, che è quello lontano che riguarda gli stimoli che sono localizzati al di fuori della portata dei nostri arti (Harrison, 2015).

La cognizione visuospatiale coinvolge non una ma molti domini specifici (Montello, 2001) che includono: la percezione visuospatiale, ovvero l'elaborazione ed interpretazione delle informazioni visive sulle posizioni degli oggetti nello spazio; il pensiero spaziale, che riguarda la rappresentazione e manipolazione mentale delle informazioni spaziali; la memoria spaziale, ovvero la codifica, l'archiviazione ed il recupero di informazioni e rappresentazioni spaziali, e la navigazione o capacità di orientarsi nello spazio fisico circostante e di scegliere e monitorare il percorso corretto verso la destinazione.

Il pensiero spaziale è profondamente radicato nelle attività della vita quotidiana e spesso l'essere umano non è pienamente cosciente del suo ruolo. Il concetto di abilità visuospatiali è un termine generico per una costellazione di abilità correlate: professionisti come architetti e ingegneri fanno molto affidamento sulle capacità spaziali, per progettare abitazioni, strutture, ponti e tanto altro. Tuttavia, anche le altre persone utilizzano queste stesse abilità spaziali quando guidano, trovano la loro auto in parcheggi

affollati, preparano le valige per una vacanza o interpretano un semplice grafico a torta. Immaginiamo routine e problemi della vita quotidiana: ricercare oggetti su un grande scaffale; imballare oggetti in scatole durante un trasloco; sistemare oggetti nello zaino o bagagli nel bagagliaio di un'auto e nel sedile posteriore nel modo più efficiente in modo che l'uso dello spazio sia massimizzato; raggiungere un luogo seguendo le indicazioni di una mappa; ecc.

Tutti i compiti comportano complesse sequenze di operazioni: focalizzare l'attenzione su una parte dello scaffale ed iniziare una scansione visiva efficiente per trovare l'oggetto desiderato; scegliere scatole della giusta dimensione per lo spazio a disposizione, orientandole, ruotandole e impilandole; pianificare la disposizione migliore di oggetti in un contenitore in base a forma, grandezza, consistenza; orientarsi nel percorso da un luogo all'altro seguendo le giuste direzioni, e così via. Questi problemi richiedono la comprensione di concetti spaziali come posizione, relazioni spaziali, distanza, direzione, orientamento, quadro di riferimento, ecc. Alcuni compiti possono essere insegnati formalmente, come la lettura della mappa, mentre altri, come allacciare i lacci delle scarpe, vengono appresi in modo informale come parte della vita quotidiana.

Vi è stato un crescente riconoscimento delle abilità spaziali come un aspetto sicuramente importante dell'abilità intellettuale ma che è separabile dall'intelligenza generale. Nel secolo scorso studiosi come Thurstone (1938) ed Eysenck (1986) hanno dimostrato che le abilità spaziali sono distinte dall'abilità verbale, giungendo ad una distinzione tra intelligenza verbale e spaziale e notando che quest'ultima rappresentava una quantità significativa di varianza nei punteggi a grandi batterie di valutazione del funzionamento intellettuale. La distinzione tra questi tipi di intelligenza si ritrova anche nelle più recenti teorie (Gardner, 2011).

In contesti di apprendimento, i processi legati alla cognizione spaziale sono necessari, ad esempio, quando gli studenti utilizzano mappe per apprendere la geografia o per l'apprendimento della matematica, ad esempio del giudizio di grandezza simbolica, per rappresentare mentalmente caratteristiche come la forma, la dimensione, l'orientamento e la posizione sul foglio, per la manipolazione di immagini spaziali essenziale per l'apprendimento della geometria. Anche la capacità di ragionamento analogico (ad esempio, confrontare due o più oggetti e fenomeni per estrarre caratteristiche comuni e

generalizzare alcune conclusioni) dipende dalla capacità di manipolare immagini visive e spaziali. I processi spaziali sono essenziali anche nell'utilizzo di tecnologie digitali; ricerche, infatti, dimostrano quanto la memoria di lavoro visuospatiale sia utile in comportamenti di navigazione multimediale (Kornmann et al., 2016).

La letteratura e le teorie riguardo la cognizione e le abilità visuospatiali sono numerose; tutte però concordano sulla definizione di due principali quadri di riferimento, o *framework*, spaziali che si sviluppano rispettivamente l'uno dopo l'altro fino a integrarsi: Burgess (2006) sulla base di evidenze sperimentali e neurofisiologiche, propone che esistano due tipi di rappresentazioni complementari, egocentriche ed allocentriche, e che la loro interazione sia fondamentale per l'orientamento spaziale e la navigazione. Nella modalità egocentrica le informazioni spaziali si basano sulla posizione dell'individuo nell'ambiente, quindi, sulla relazione soggetto-oggetto, portando alla creazione di rappresentazioni mentali centrate sull'individuo; nella modalità allocentrica, le informazioni spaziali sono codificate in base alla posizione degli oggetti, l'uno rispetto all'altro, indipendentemente dal punto di vista soggettivo. Il quadro di riferimento egocentrico viene aggiornato mentre ci muoviamo nell'ambiente ed è particolarmente importante quando navighiamo nell'ambiente. Il quadro di riferimento allocentrico, invece, è importante per lo sviluppo di mappe cognitive. Mentre si ritiene che la corteccia parietale svolga un ruolo critico nella rete egocentrica, in alcuni studi è stata implicata anche nella rete allocentrica (Burgess, 2008) concludendo che è probabilmente essenziale per l'integrazione di questi due quadri di riferimento.

La stragrande maggioranza delle ricerche sull'apprendimento della navigazione egocentrica e allocentrica è stata condotta con i roditori e molti di questi studi hanno utilizzato adattamenti del compito Morris Water Maze (Morris, 1984). Nella versione tipica di questo paradigma, un roditore è posto in una pozza d'acqua con una piattaforma di fuga nascosta. Variando la presenza e la posizione di segnali extra-labirinto ("distale") o segnali intra-labirinto ("prossimale") rispetto a dove è collocato il roditore nella piscina, i ricercatori possono valutare l'integrità delle diverse strategie di navigazione. Ad esempio, in una versione classica di questo compito, un topo viene posto in una piscina circondata da punti di riferimento distali. Dopo aver appreso la posizione della piattaforma, viene quindi rimesso in piscina in un punto di partenza diverso, rispetto alla piattaforma. Se il ratto esegue lo stesso programma motorio (cioè nuota nella stessa

direzione dal punto di partenza indipendentemente dai punti di riferimento distali), sta usando una strategia di navigazione egocentrica. Se il ratto cambia il suo programma motorio per trovare la piattaforma in base alla collocazione dei segnali distali, sta usando una strategia allocentrica. Studi di ricerca che utilizzano il Morris Water Maze hanno dimostrato un ruolo critico per l'ippocampo nella navigazione allocentrica e un ruolo critico per lo striato dorsale nella navigazione egocentrica.

Ci sarebbe dunque uno sviluppo dalla comprensione egocentrica a quella allocentrica degli ambienti; così come ci sarebbe una transizione dalla conoscenza dello spazio in forma topologica, che comprende le nozioni di vicinanza e lontananza, aperto e chiuso, dentro e fuori, alla forma proiettiva, che indica quei rapporti spaziali che sono in stretta relazione con il punto di vista da cui si osservano gli oggetti e che variano dunque con il variare di questo: davanti, dietro, sinistra, destra, ecc., fino alla forma euclidea, che si riferisce ai rapporti definibili mediante il ricorso alla misura: la lunghezza di un segmento, la misura di una superficie, ecc.; la conoscenza spaziale, inoltre, si baserebbe prima sui punti di riferimento (*landmark-based*), poi sul percorso (*route-based*), con la conoscenza configurazionale (*survey-based*) che emergerebbe come ultima struttura di conoscenza astratta e complessa (Siegel & White, 1975).

1.1.2 Meccanismi dell'attenzione visuospatiale

L'attenzione visuospatiale è il processo cognitivo che permette di orientarsi e mettere a fuoco gli stimoli presentati nel campo visivo (Posner, 1980). L'attenzione visuospatiale non è un processo unitario: orientarsi e focalizzarsi verso stimoli nello spazio implica operazioni elementari come spostare, sostenere e infine disimpegnare l'attenzione da e verso gli oggetti in posizioni specifiche. Queste operazioni, tuttavia, fanno parte del processo adattivo dell'essere umano poiché gli consentono di portare a termine compiti e affrontare con successo un ambiente in continua evoluzione, pur mantenendo i propri obiettivi.

Posner e colleghi eseguirono i primi esperimenti sull'attenzione spaziale attraverso il paradigma dello *spatial cueing*, che misura i tempi di reazione registrati durante lo spostamento dell'attenzione in risposta a differenti condizioni di *cue* (il segnale indizio). Nello specifico, all'inizio l'osservatore mantiene lo sguardo su un punto di fissazione centrale; alla sua destra o sinistra appare uno stimolo target che deve essere comunicato

velocemente ma poco prima della presentazione dello stimolo target, viene presentato un *cue* che indicherà la posizione dello stimolo oppure la posizione opposta. Posner ha dimostrato come i tempi di reazione siano molto più veloci nelle prove dove il target appare nella stessa posizione del *cue*, mentre quelle prove dove il target appare nella posizione opposta al *cue* registrano dei tempi di risposta molto più lenti, producendo un “costo attentivo” maggiore. Posner ha poi dedotto che l’attenzione spaziale si basa su tre distinte operazioni cognitive: 1) disancoraggio dal punto di fissazione, 2) movimento vero e proprio dell’attenzione e, infine, 3) ancoraggio dell’attenzione sulla nuova posizione spaziale. Il modello sembra essere avvalorato da studi neuropsicologici che hanno dimostrato come le tre operazioni appena descritte possano risultare selettivamente compromesse in seguito a lesioni specifiche della corteccia parietale.

Il secondo modello per analizzare l’orientamento dell’attenzione spaziale è stato quello della ricerca visiva (Treisman, 1988) che ha il vantaggio di riprodurre esperimenti molto simili a situazioni della vita quotidiana: vengono presentati ai partecipanti un insieme di oggetti, come lettere, con all’interno un oggetto target e altri non target, i distrattori. Il compito dei partecipanti è quello di indicare se il target è presente o meno nell’insieme. Se lo stimolo è presentato per un tempo sufficientemente lungo e le caratteristiche sono ben discriminabili, il compito risulta facile. Anzi, nel caso di una singola caratteristica, può essere svolto in modo “preattentivo”, cioè senza l’intervento dell’attenzione selettiva; l’attenzione selettiva interviene soltanto quando il bersaglio deve essere selezionato sulla base di una combinazione di caratteristiche. Sulla selezione del segnale si sono alternate due ipotesi, entrambe delle quali prevedono che uno stimolo per essere elaborato deve essere prima selezionato grazie al meccanismo dell’attenzione selettiva: mentre l’ipotesi della selezione precoce sostiene che la selezione delle informazioni avviene prima dell’elaborazione percettiva in modo preattentivo, per cui l’attenzione è come un filtro che scarta le informazioni relative allo stimolo ad eccezione di quelle più elementari processate preattentivamente, l’ipotesi della selezione tardiva ritiene tutte le caratteristiche dello stimolo siano processate preattentivamente e quindi possono essere riconosciute senza l’intervento dell’attenzione selettiva; il filtro attentivo quindi agirebbe solo al momento della selezione della risposta.

Esistono due modi attraverso i quali dirigiamo l’attenzione verso qualcosa: l’attenzione esplicita, o diretta all’obiettivo, si manifesta quando dirigiamo la nostra concentrazione,

occhi e spesso testa e corpo verso uno stimolo (*overt attention*), come quando leggiamo un libro; tuttavia, l'attenzione può anche essere diretta implicitamente (*covert attention*) a un punto nello spazio che non è allineato con la direzione dello sguardo (Itti & Koch, 2001), quindi è guidata dallo stimolo, per esempio quando prestiamo attenzione al suono di un'ambulanza in lontananza. L'attenzione implicita precede i movimenti oculari e durante la fissazione può essere distribuita in più posizioni contemporaneamente; è notevolmente utile per monitorare in modo efficiente la scena visiva e guidare i futuri movimenti oculari. Gli studiosi si sono chiesti se questa forma di attenzione rappresenti una preparazione all'azione che in realtà non viene eseguita. L'attenzione esplicita e implicita, dunque, sono fortemente interconnesse, come dimostrato da molteplici studi psicofisici, fisiologici e di imaging (Itti & Koch, 2001). Sebbene entrambi i meccanismi di attenzione esplicita e implicita siano aspetti interessanti da analizzare, l'attenzione esplicita è facilmente registrabile al giorno d'oggi con i dispositivi di eye tracking che registrano i dati dello sguardo, il che spiega anche perché è stata ampiamente studiata.

L'orientamento attenzionale esplicito può essere esogeno o endogeno. L'orientamento esogeno o *bottom-up*, cioè dal basso verso l'alto, (Yantis, 1996) si riferisce alla rapida attrazione involontaria dell'attenzione da parte di stimoli esterni, come le luci lampeggianti di un'ambulanza. L'orientamento endogeno o *top-down*, cioè dall'alto verso il basso, si riferisce al dispiegamento dell'attenzione visuospatiale basata su un compito, cioè su obiettivi e regole apprese (LaBerge et al., 2000).

L'ultima dimensione riguarda il contesto verso cui stiamo focalizzando l'attenzione: più il contesto è vasto, più la nostra attenzione è estesa. Per esempio, quando osserviamo un paesaggio per la prima volta possiamo essere diretti verso il numero maggiore di elementi di quella scena. Se, al contrario, il focus è molto ristretto, significa che siamo concentrati sui dettagli della scena. Dunque, il focus dell'attenzione spaziale può essere flessibilmente regolato tra attenzione locale, quando si esaminano i dettagli di un oggetto, e attenzione globale quando si colgono le caratteristiche globali dell'ambiente (Navon, 1977). L'interazione dinamica di queste componenti dell'attenzione spaziale contribuisce a interazioni efficienti con il nostro mondo visuospatiale.

I principali processi attentivo-spaziali sono riassunti in tabella 1.

Concetto	Definizione
<i>Orientamento visuospatiale esplicito (overt)</i>	Spostamento dell'attenzione visuospatiale come movimento degli occhi e della testa verso un oggetto di interesse
<i>Orientamento visuospatiale implicito (covert)</i>	Spostamento dell'attenzione visuospatiale senza direzionare lo sguardo verso un oggetto di interesse
<i>Orientamento esogeno (bottom-up)</i>	Attenzione catturata dalle caratteristiche dello stimolo
<i>Orientamento endogeno (top-down)</i>	Uso di regole apprese o esperienza precedente per direzionare l'attenzione visiva
<i>Attenzione locale</i>	Focus attentivo ristretto ad elementi di un oggetto
<i>Attenzione globale</i>	Focus attentivo aperto all'intera configurazione di un oggetto o una scena

Tabella 1 Sintesi dei processi dell'attenzione visuospatiale

1.1.3 Basi e reti neurali dell'attenzione visuospatiale

La cognizione spaziale è composta da un insieme di funzioni mediate e regolate da una complessa rete collocata prevalentemente nell'emisfero destro di regioni cerebrali ampiamente distribuite. Di seguito verrà descritta, in particolare, la struttura ed il funzionamento delle reti di attenzione visuospatiale.

Studi hanno da tempo dimostrato l'esistenza di almeno due sistemi di attenzione visuospatiale, uno posteriore (PAS o *Posterior Attentional System*) specializzato per la selezione della posizione spaziale degli stimoli, e uno anteriore (AAS o *Anterior Attentional System*) specializzato per la selezione di attributi dello stimolo. Le rappresentazioni basate sulla posizione nello spazio dell'oggetto e sull'azione si formano attraverso input provenienti dal flusso dorsale, chiamata anche via del dove, attraverso la corteccia parietale posteriore, mentre le rappresentazioni basate sugli attributi dell'oggetto si formano attraverso il flusso ventrale, o via del cosa, attraverso la corteccia temporale inferiore (Mishkin & Ungerleider, 1982).

Partendo dal principio, dopo che le informazioni visive entrano nella retina, la maggior parte delle informazioni visive viene trasmessa alla corteccia visiva primaria (V1) attraverso il talamo. La corteccia visiva primaria invia gli assoni attraverso aree di elaborazione secondarie e terziarie (ad esempio, V2-V5) dove le cellule rispondono ad aspetti sempre più complessi dell'esperienza visiva e hanno campi recettivi più ampi. L'elaborazione delle informazioni di colore e forma segue un percorso ventrale attraverso le aree V2 e V4. L'area V2 è sintonizzata su semplici attributi dell'esperienza visiva come orientamento, frequenza spaziale e colore, mentre l'area V4 è anche sintonizzata su caratteristiche dell'oggetto di complessità intermedia come le forme geometriche. Questo percorso continua fino alla corteccia temporale inferiore dove vengono realizzati aspetti progressivamente più complessi dell'elaborazione degli oggetti visivi, come la percezione del viso. Dunque, la via ventrale proietta rostralmente attraverso il fascicolo longitudinale inferiore dalla corteccia occipitale ventrale alla corteccia temporale inferiore. Questo sistema codifica le caratteristiche non spaziali degli oggetti rilevanti per la loro identità, ad esempio il colore e la forma. La corteccia temporale inferiore è organizzata sia per la funzione controlaterale che omolaterale, poiché le aree temporali inferiori ricevono un forte input dalla corteccia striata attraverso il corpo calloso che rappresenta il campo visivo omolaterale.

L'elaborazione dal basso verso l'alto delle informazioni di movimento e posizione segue un percorso dorsale attraverso V2 e V3. Il percorso dorsale continua verso la corteccia parietale posteriore dove si realizzano aspetti complessi della percezione dello spazio, come la percezione dei dettagli di una scena come percezione integrata. La via dorsale proietta rostralmente attraverso il fascicolo longitudinale superiore dalla corteccia occipitale dorsale alla corteccia parietale posteriore. La corteccia parietale posteriore in ciascun emisfero è organizzata principalmente per la funzione spaziale controlaterale, sebbene vi sia un ruolo predominante per l'emisfero destro nelle funzioni spaziali del flusso dorsale in generale. Il sistema del flusso dorsale ha stretti legami con il sistema motorio e codifica le posizioni degli oggetti e il loro movimento in termini di come si acquisirebbero o agirebbero su di essi. Queste funzioni del sistema di controllo includono la selezione di informazioni visive per un'elaborazione dettagliata, l'organizzazione di informazioni visive complesse, la mediazione di spostamenti volontari dell'attenzione, l'inibizione di informazioni irrilevanti, la pianificazione di come utilizzare le informazioni

visive per raggiungere obiettivi comportamentali, l'unificazione delle percezioni di stimoli visivi ambigui e la manipolazione o l'aggiornamento informazioni rappresentate nella corteccia posteriore da sistemi bottom-up. Per questo motivo è stato anche definito il flusso del “come” (Goodale & Milner, 1992). La corteccia parietale è fondamentale per la cognizione spaziale e le lesioni parietali causano una varietà di deficit spaziali a seconda della posizione e della lateralità della lesione.

Posner e colleghi sostengono che la funzione di base del PAS è proprio quella di decidere se il fuoco dell'attenzione deve rimanere dove è in quel momento, oppure se deve spostarsi su nuove porzioni dello spazio, mettendo in modo i processi di disancoraggio, spostamento e ancoraggio da Posner descritti (1980). Il disancoraggio e lo spostamento dell'attenzione sono eseguiti, in analogia con i movimenti saccadici, dal collicolo superiore; l'ancoraggio che permette di focalizzare l'attenzione su una nuova porzione di spazio sarebbe eseguito dal pulvinar. A questo punto entra in gioco il sistema ventrale che opera le sue azioni specifiche di analisi degli attributi dello stimolo nuovo.

Un modello diverso è stato proposto da Rizzolatti e colleghi che hanno formulato la teoria premotoria dell'attenzione (Umiltà & Moscovitch, 1994): questa teoria non prevede una funzione attenzionale specifica ma che l'attenzione sarebbe rappresentata dall'insieme di funzioni sensoriali e motorie relative ad una specifica azione non ammettendo una base anatomica separata. In particolare, secondo Rizzolatti e colleghi l'attenzione spaziale sarebbe legata ad attivazione di mappe o rappresentazioni spaziali legate alla preparazione motoria, cioè alla preparazione del comando motorio.

1.2 Asimmetrie in attenzione visuospatiale

Il cervello umano è organizzato in modo asimmetrico ed è caratterizzato da una specializzazione complementare dei due emisferi cerebrali destro e sinistro. Questa specializzazione funzionale emisferica si riferisce, in particolare, alla natura delle informazioni controllate da ciascun emisfero e al modo in cui ogni emisfero le elabora (Corballis, 2012). Studi neuropsicologici e di neuroimaging hanno rivelato che la rappresentazione del linguaggio risiede nell'emisfero sinistro, così come il controllo fine-motorio delle mani. Al contrario, le abilità di attenzione visuospatiale sono controllate in maniera sostanziale dall'emisfero destro, come dimostrato dal fatto che un danno cerebrale all'emisfero destro ha maggiori probabilità di causare negligenza spaziale

unilaterale (Heilman et al., 1980). Sebbene l'origine dei meccanismi alla base della lateralizzazione funzionale sia in gran parte sconosciuta e sebbene questi e la relativa comunicazione interemisferica rimangano oggetto di dibattito, gli studiosi concordano sul fatto che i due emisferi siano in equilibrio tra loro (Karolis et al., 2019). Pertanto, per la maggior parte degli studiosi, l'emisfero sinistro è dominante per il controllo del linguaggio e della prassi, mentre l'emisfero destro è dominante per l'attenzione spaziale.

1.2.1 Dal neglect allo pseudoneglect

È interessante notare che gli esseri umani non prestano ugualmente attenzione al lato sinistro e destro dello spazio che osservano di fronte a loro. Un bias attentivo, il fenomeno dello pseudoneglect, si verifica in condizioni neurologiche tipiche: lo pseudoneglect è un'asimmetria cognitivo-attenzionale verso un lato del campo visivo, solitamente quello sinistro (Bowers & Heilman, 1980; Jewell & McCourt, 2000). Questo fenomeno riflette l'influenza della specializzazione funzionale emisferica sull'attenzione visuospatiale e, più specificamente, la dominanza dell'emisfero destro nell'elaborazione dell'informazione spaziale che si traduce in un bias attentivo a favore del campo visivo sinistro (Corballis, 2012; Kinsbourne, 1970).

La lateralizzazione dell'attenzione visuospatiale è stata spesso associata a lesioni vere e proprie all'emisfero destro, a cui segue un disturbo specifico dell'attenzione spaziale che dà origine alla condizione di negligenza spaziale unilaterale (o neglect): il neglect consiste nella difficoltà o incapacità di percepire ed esplorare lo spazio controlaterale all'emisfero lesionato, non avendo quindi consapevolezza degli stimoli presenti in quella parte di spazio, il che, in caso di lesione destra, induce a ignorare gli stimoli situati nell'emispazio sinistro e a prestare un'eccessiva attenzione agli stimoli a destra (Bartolomeo & Chokron, 2002). Il neglect è classicamente diagnosticato utilizzando un compito di bisezione della linea, in cui ai pazienti viene mostrata una linea orizzontale e viene chiesto di marcare un segno al centro di essa per dividerla in due metà. Invece di segnare il centro, i pazienti con neglect tagliano in due la linea spostandosi molto a destra del centro.

Il neglect ha suscitato un enorme interesse da parte di clinici, neuroscienziati e ricercatori, in quanto le caratteristiche, l'eziologia e le conseguenze della patologia da una parte hanno gettato luce sui substrati neurali relativi all'attenzione spaziale, dall'altra, e di conseguenza, hanno consentito di migliorare le condizioni di disabilità di numerosi

pazienti che soffrono di questo disturbo. Difatti lo studio e la ricerca sul neglect hanno alimentato ulteriori ricerche sulla presunta asimmetria dell'attenzione visuo-spaziale: questo fenomeno può essere spiegato con il modello interpretativo secondo cui l'emisfero destro, e in particolare la parte che coinvolge la corteccia parietale posteriore destra, svolge un ruolo predominante nell'orientamento dell'attenzione visuo-spaziale (Kinsbourne, 1994).

Dunque, anche la popolazione generale mostra asimmetrie dell'attenzione, anche se in una forma molto più sottile. Lungo l'asse orizzontale, la maggior parte delle persone presta un po' più di attenzione alle caratteristiche verso sinistra di uno stimolo rispetto a quelle sulla destra (Gigliotta et al., 2017). Lo pseudoneglect, a differenza della negligenza spaziale vera e propria, non ha gravi conseguenze per la vita quotidiana; tuttavia, la preferenza per uno specifico campo visuospatiale si manifesta in molti modi diversi ed è consistente nei compiti che svolgiamo nello spazio prossimale, nelle scelte direzionali o nelle rappresentazioni di concetti e categorie. Ad esempio, quando le persone rispondono alle scale Likert, il bias d'attenzione visuospatiale può causare una deviazione a sinistra per bilanciare i lati sinistro e destro della scala (Nicholls et al., 2006); in determinate condizioni, gli individui tendono a imbattersi più spesso in oggetti a destra che a sinistra e che il comportamento di urto può essere correlato alla performance di bisezione della linea visuospatiale (Nicholls et al., 2008). Alcuni ricercatori hanno combinato la registrazione del comportamento dello sguardo con un compito di simulazione di guida in condizioni di simmetria spaziale; il compito richiedeva di percorrere una strada a tre corsie diritta senza traffico, cambiando corsia in base alle informazioni fornite da due segnali stradali identici visualizzati contemporaneamente su entrambi i lati sinistro e destro della strada. I partecipanti hanno rivolto la maggior parte della loro attenzione ai segnali a sinistra (Benedetto et al., 2013). Esiste, inoltre, una direzionalità preferenziale quando si rappresentano gruppi sociali nello spazio, con maschi o giovani, sistematicamente posizionati a sinistra di gruppi con qualità meno aggressive, ad esempio donne o anziani (Abele & Wojciszke, 2014). I bias visuospatiali verso sinistra si estendono anche al giudizio percettivo degli oggetti di uso quotidiano: adulti e bambini mostrano una tendenza significativa a scegliere opere d'arte o disegni di carta da parati con un lato sinistro attraente rispetto allo stimolo con un lato destro attraente (Calbi et al., 2019; Rodway et al., 2019). Altre prove indicano che i bias verso sinistra influenzano le

decisioni dei consumatori, ad esempio migliorando la preferenza per le opzioni alimentari sane quando vengono visualizzate a sinistra delle opzioni alimentari non salutari (Romero & Biswas, 2016), o causando un cambiamento nelle scelte alimentari e riducendo le calorie quando il conteggio delle calorie è visualizzato sul lato sinistro dei menù degli alimenti (Dallas et al., 2019).

1.2.2 Origine dei bias di attenzione spaziale

Quali sono le origini del fenomeno dello pseudoneglect? In letteratura sono state proposte diverse spiegazioni per questo bias di attenzione spaziale, che non si escludono ma anzi si completano a vicenda: le differenze interindividuali in termini di consistenza e direzione dello pseudoneglect potrebbero essere spiegate in funzione delle asimmetrie cerebrali e della specializzazione emisferica, di meccanismi evolutivi o dell'esperienza di lettura ed esposizione a routine di esplorazioni visuomotorie secondo la direzionalità del testo scritto.

È interessante notare che i bias spaziali misurati con un compito di bisezione di linea possono essere collegati direttamente ai substrati neurali del controllo dell'attenzione visuospatiale. Nel cervello i processi e le funzioni dell'attenzione visuospatiale, come descritto in precedenza, sono controllati da una rete che comprende più aree nella corteccia frontale e parietale (Corbetta & Shulman, 2002). Ricordiamo che all'interno della rete di attenzione fronto-parietale, ogni emisfero genera pesi attenzionali verso l'emisfero visivo controlaterale (emisfero destro su campo sinistro e viceversa) (Szczepanski et al., 2010) e secondo la teoria della competizione interemisferica di Kinsbourne (1970) i pesi attentivi generati dai due emisferi sono in equilibrio attraverso l'inibizione reciproca in modo tale che l'attenzione visuospatiale possa essere allocata sull'intero campo visivo. La perturbazione dell'equilibrio all'interno della rete di attenzione fronto-parietale può provocare bias nell'attenzione spaziale. Ad esempio, negli adulti sani, quando le aree fronto-parietali in un emisfero sono perturbate dalla stimolazione magnetica transcranica (TMS), l'attenzione spaziale è temporaneamente polarizzata verso il lato dell'interferenza della TMS (Szczepanski & Kastner, 2013). Di conseguenza, il punto medio percepito di una linea divisa in due si sposterà dal punto verticale nello spazio omolaterale. Insieme, questi studi forniscono un robusto modello neurale di controllo dell'attenzione spaziale che può essere collegato a una semplice

misura comportamentale, ovvero la bisezione di linea. Questa spiegazione è stata ulteriormente confermata da uno studio che riporta una relazione significativa tra il grado di lateralizzazione anatomica della rete fronto-parietale e il bias mostrato in un'attività di bisezione di linea (de Schotten et al., 2011).

Come descritto in precedenza, nel cervello umano esistono due sistemi attenzionali distinti sia anatomicamente che funzionalmente: la rete dorsale (DAN) e la rete ventrale (VAN). La DAN è organizzata bilateralmente, comprende il solco intraparietale, il lobulo parietale superiore, i campi oculari frontali e la corteccia prefrontale dorsolaterale. Queste aree sono attive quando l'attenzione è orientata, esplicitamente o meno, nello spazio. La VAN è composta dalla giunzione temporoparietale e dalla corteccia prefrontale ventrolaterale; la VAN è fondamentale per rilevare eventi imprevisti ma rilevanti, inducendo la DAN a riorientare l'attenzione su tali stimoli. Questi network sono collegati e comunicano grazie al fascicolo longitudinale superiore (SLF), costituito da tre rami di sostanza bianca che collegano le due reti (Fig. 1): un ramo ventrale (SLF III), il quale è anatomicamente più grande nell'emisfero destro, un ramo dorsale (SLF I) più simmetrico e un ramo mediale (SLF II) che rappresenta il componente principale del fascicolo longitudinale superiore, che mostra differenze interindividuali e che è fortemente correlato alla quantità individuale dello pseudoneglect nella bisezione di linea, nonché alle differenze nella velocità di individuazione di target nel lato sinistro e nel lato destro. Nel loro studio, Thiebaut de Schotten et al. (2011) hanno riferito che dei tre tratti, SLF II (medio) e SLF III (ventrale) sono lateralmente a destra e il grado di lateralizzazione emisferica è stato associato al grado di specializzazione dell'emisfero destro per l'elaborazione visuospatiale. L'analisi di correlazione ha rivelato che un volume maggiore di SLF II nell'emisfero destro corrispondeva a deviazioni maggiori a sinistra sul compito di bisezione di linea.

Fig. 3 Depiction of a parieto-frontal network for visuospatial attention as described in Thiebaut de Schotten et al. (2011), Fig. 1(b)

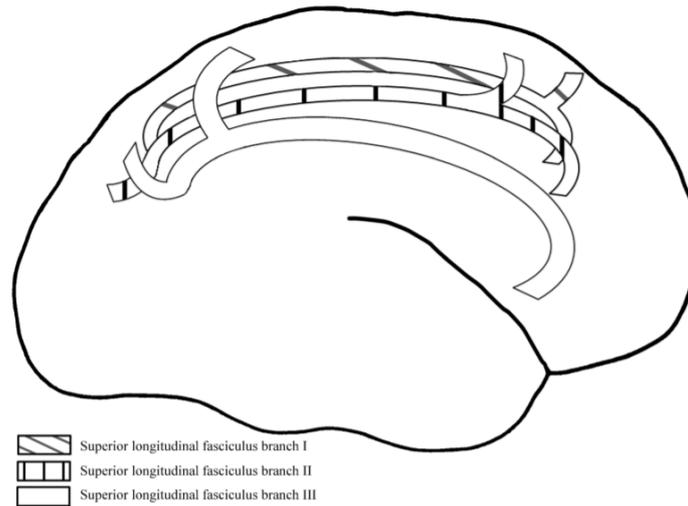


Figura 1 Rappresentazione del network parieto-frontale per l'attenzione visuospatiale. Fonte Brooks et al. (2014)

Gigliotta, Malkinson e altri ricercatori (Gigliotta et al., 2017a) hanno cercato di fare luce sull'organizzazione dei network attenzionali e hanno confrontato un'attività di ricerca visiva, vale a dire un compito di cancellazione di target, presentato su un tablet, in umani e in neurorobot di cui i comportamenti erano controllati da una rete neurale artificiale. Ogni neurorobot era caratterizzato da vincoli di connettività diversi. Tale ricerca ha fatto ulteriore luce su quali sono effettivamente i vincoli di connettività alla base dello pseudoneglect. Innanzitutto, gli autori hanno evidenziato quanto lo pseudoneglect mostrato dal campione di individui umani corrisponda a quello comune del bias verso sinistra, dunque l'esplorazione visiva si dirige principalmente su target posti sul lato sinistro. Alcuni modelli di neurorobot che mostravano un'architettura basata sull'interazione emisferica hanno mostrato comportamenti corrispondenti a quelli dei soggetti umani. Ricordiamo che il concetto di interazione emisferica o inibizione interemisferica, sviluppata da Kinsbourne (1970) presuppone che esista un equilibrio dinamico e asimmetrico tra i circuiti parieto-frontali nei due emisferi, con un'attivazione delle strutture dell'emisfero sinistro che tendono a spostare l'attenzione e il comportamento spaziale verso destra, e un'attivazione opposta delle strutture dell'emisfero destro che contrasta e prevale sull'effetto precedente. Le reti corticali fronto-parietali dei neurorobot erano molto semplificate, tuttavia, una forma di pseudoneglect qualitativamente e quantitativamente simile a quella mostrata dai partecipanti umani è emersa nei neurorobot artificiali, ma solo in quelli che ospitavano

asimmetrie emisferiche di connettività che simulavano quelle che si verificano tipicamente nel cervello umano. Come ulteriore condizione, era necessaria un'influenza eccitatoria generale della VAN sulla DAN ipsilaterale affinché lo pseudoneglect si verificasse nei neurorobot. Questo risultato secondo gli autori suggerisce che l'asimmetria emisferica da sola non è sufficiente per generare un bias verso sinistra, e quindi specifica ulteriormente i probabili vincoli di connessione dello pseudoneglect.

Si sono susseguiti studi sperimentali che mostrano l'attivazione di ulteriori zone cerebrali: recentemente Chen e colleghi (2020) hanno mostrato, attraverso risonanza magnetica funzionale, che lo pseudoneglect è associato a una rete bilaterale, ma dominante a destra, che comprende i solchi intraoccipitale e intraparietale, i campi oculari frontali, tre regioni distinte nella corteccia frontale ventrale (cioè frontale medio, corteccia frontale inferiore e insulare anteriore) e il cervelletto. Inoltre, sono state registrate attivazioni selettive a seconda del compito preso in considerazione.

Anche i movimenti oculari sono implicati nella manifestazione dello pseudoneglect. Gli osservatori si fissano inizialmente al centro dello schermo, dal quale potrebbero, in teoria, muovere gli occhi ovunque. Tuttavia, i partecipanti che intraprendono un semplice compito di ricerca spesso iniziano con una saccade sul lato sinistro del display. Allo stesso modo, quando si guardano immagini di scene del mondo reale, la primissima saccade va più spesso a sinistra che a destra dell'immagine. Saccadi iniziali sul lato sinistro di uno stimolo o più tempo trascorso a ispezionare il lato sinistro potrebbero portare a una sovrarappresentazione delle caratteristiche a sinistra rispetto alle caratteristiche di destra (Nuthmann & Matthias, 2014). Le asimmetrie nei movimenti oculari possono essere determinate da due diversi meccanismi: il primo è legato alle asimmetrie funzionali cerebrali e Nuthmann e Matthias (2014) hanno mostrato che gli osservatori passano più tempo a fissare la sinistra quando guardano le scene per dare giudizi estetici o di memoria. Gli studiosi hanno concluso che i movimenti oculari erano una manifestazione palese di allocazione dell'attenzione, in linea con la ricerca che mostra un legame comune tra la selezione del bersaglio e le saccadi.

Ulteriore supporto per questa spiegazione della lateralità delle asimmetrie visuospatiali proviene anche dall'osservazione di effetti simili in specie non umane, indicando ad origini evolutive comuni della lateralizzazione del cervello per l'attenzione visuospatial.

La teoria evolutiva è stata formulata sulla base di studi come quelli di Diekamp et al. (2005), Guo et al. (2009), Giorgio et al. (2019): verso sinistra, si possono osservare bias simili allo pseudoneglect, ad esempio, nel comportamento di beccata di uccelli addestrati a determinare l'elemento centrale di una fila orizzontale, a determinare la posizione ordinale di un oggetto in una fila, o semplicemente a cercare grano nell'area davanti a loro. Sebbene questa spiegazione sia possibile, si dovrebbe tenere presente che tali inferenze trans-specie devono essere considerate alla luce delle differenze anatomiche e comportamentali tra uccelli e umani.

Un esempio interessante è quello della linea numerica mentale (Rugani et al., 2015): specie non umane e umani sembrano rappresentare numeri tipicamente organizzati lungo una linea orizzontale orientata da sinistra (numeri più piccoli) a destra (numeri più grandi). Nel tempo è stata dimostrata la presenza di una linea numerica mentale anche nei bambini nati da appena un'ora (Giorgio et al., 2019). La direzione dell'attenzione visuospatiale svolge un ruolo precoce nell'apprendimento: i bambini di 7 mesi apprendono facilmente schemi simili a regole quando le sequenze visive sono presentate da sinistra a destra, ma non quando presentate da destra a sinistra, dimostrando come l'orientamento spaziale determina in modo critico l'abilità dei bambini preverbali di percepire e apprendere informazioni ordinate in sequenze visive (Bulf et al., 2017). Queste evidenze mostrano che le asimmetrie sinistra-destra, che non sono ancora influenzate dall'apprendimento culturale e da fattori linguistici, potrebbero avere anche una causa biologica. I dati forniscono anche prove di una linea temporale mentale per la durata dello stimolo dall'età di 5 anni, con la breve durata rappresentata sul lato sinistro dello spazio e la lunga durata sulla destra (Coull et al., 2018).

Tale spiegazione biologica, tuttavia, non spiega le differenze culturali osservate in altri studi; infatti, i bias orizzontali e verticali sono ampiamente suscettibili all'esperienza culturale, in particolare alla direzione della lettura e della scrittura (Chokron & De Agostini, 1995; Fagard & Dahmen, 2003). Ancora più importante, l'influenza della direzione di lettura sugli errori di bisezione è stata osservata non solo negli adulti ma anche nei bambini in età scolare che stanno appena iniziando a leggere e scrivere (Fagard & Dahmen, 2003) e, in parte, anche nei bambini in età prescolare pre-alfabetizzati; ad esempio, è stata dimostrata una maggiore inclinazione a destra nei bambini israeliani (Chokron & De Agostini, 1995). Inoltre, tali influenze si estendono ad altri domini delle

attività dei bambini svolte su piani orizzontali e verticali come il conteggio (Göbel, 2015) e l'ordinamento (McCrink et al., 2014).

Questi risultati potrebbero essere spiegati in termini di immersione culturale, che prevede che, anche prima che i bambini imparino a leggere e scrivere, interiorizzano abitudini spaziali direzionali specifiche dell'ambiente culturale in cui sono cresciuti. Tale interiorizzazione potrebbe derivare dall'apprendimento osservativo e dalle attività svolte in una diade genitore-figlio, che sono spesso strutturate lungo una direzione culturalmente definita. Un'altra possibilità è che il bias visuospatiale derivi dall'esposizione precoce a routine guidate dalla cultura, come osservare gli adulti mentre leggono libri, disegnano immagini e ordinano oggetti nello spazio, il che a sua volta fornisce ai bambini un'esperienza implicita e rilevante che potrebbe modellare la loro direzione di rappresentazione spaziale, a seconda della direzione dominante del loro ambiente culturale (Göbel et al., 2018).

In conclusione, non è ancora chiaro in che misura ciascuno di questi fattori influenzi questi bias attenzionali spaziali.

1.2.3 Strumenti di valutazione e variabilità del bias d'attenzione spaziale

Lo pseudoneglect si presenta come un fenomeno eterogeneo; la sua espressione, ad esempio, dipende dal compito, cioè si esprime in modi diversi a seconda del compito presentato; quindi, può essere analizzato variando le attività richieste (Mitchell et al., 2020). Secondo alcuni ricercatori (Benwell et al., 2013; Thiebaut de Schotten et al., 2011) potrebbero esserci reali differenze nelle prestazioni nella popolazione generale nei compiti di attenzione spaziale, che potrebbero essere dovute da differenze nell'organizzazione, nella lateralizzazione e/o nelle funzioni cerebrali o da differenti strategie utilizzate nei compiti loro somministrati che attivano meccanismi neurali diversi (Chen et al., 2019). Benwell e colleghi (2013) ad esempio propongono che le differenze nei bias attentivi rivelano sottotipi di osservatori, possibilmente guidati da diverse asimmetrie anatomiche e/o funzionali, che portano a diversi modelli comportamentali per i compiti a tempo e altri comportamenti guidati dallo spazio e dallo stimolo presentato. Nel loro studio, infatti, essi riportano effetti differenziali di un compito (*landmark task*) a tempo a seconda del bias iniziale dei partecipanti: partecipanti con un bias iniziale a sinistra hanno mostrato un significativo spostamento verso destra nel corso della sessione

sperimentale, mentre i partecipanti con un bias iniziale a destra si sono spostati verso sinistra.

Come il neglect, lo pseudoneglect è classicamente dimostrato usando la bisezione di linea, indipendentemente dal fatto che gli osservatori dividano manualmente una linea o giudichino il punto medio su una linea pre-bisecata (variante percettiva), come nel classico *landmark task* (Fig. 2).

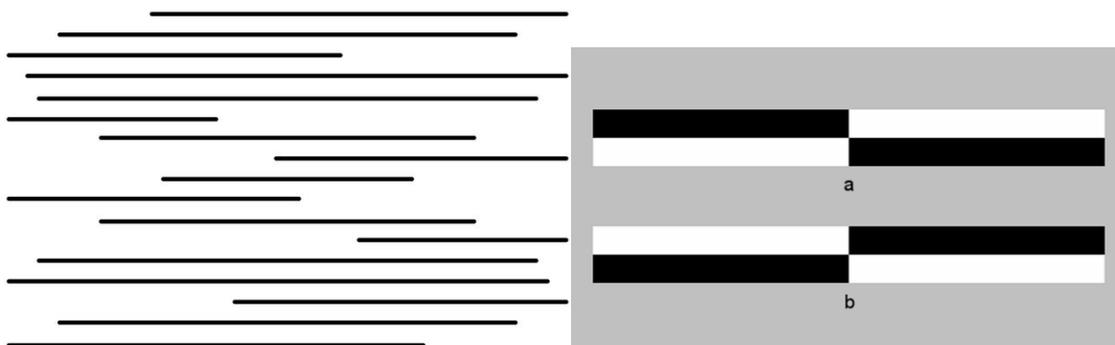


Figura 2 Sulla destra un esempio di compito di bisezione di linee; sulla sinistra un esempio di *landmark task*.

La direzione degli errori di bisezione nello pseudoneglect è determinata da caratteristiche dello stimolo o del compito (es. lunghezza, posizione della linea o le attività richieste), fenomeno osservato anche nei compiti per l'*assessment* del neglect. La maggior parte degli studi sullo pseudoneglect riporta una deviazione delle linee orizzontali lunghe o medie. Tali distorsioni possono indurre a delle ipotesi, che vedrebbero determinate abilità visuospatiali tra cui attenzione, rappresentazione, calcolo del punto medio e intenzione motoria come parte del controllo controlaterale asimmetrico. Jewell e McCourt (2000) hanno revisionato la letteratura sullo pseudoneglect e hanno stabilito che nonostante i risultati dei soggetti sani siano caratterizzati in media da una bisezione significativa a sinistra del centro, ci sono ulteriori studi che riportano prestazioni di individui con deviazioni verso destra dal centro.

Il *greyscales task* o compito di scala di grigi (Nicholls et al., 1999), invece, richiede ai partecipanti di giudicare quale dei due gradienti di luminosità invertiti e speculari da sinistra-destra appare complessivamente più scuro. Per ogni coppia di stimoli, una delle scale di grigi è sfumata dal nero a sinistra al bianco a destra, e l'altra è sfumata nella direzione inversa (Fig. 3). Poiché gli stimoli sono allineati verticalmente, uno sopra l'altro,

le scelte dei partecipanti (in alto contro in basso) sono ortogonali alla direzione dei gradienti di luminosità, riducendo così la potenziale influenza dei bias di risposta. Gli adulti normotipici tendono a scegliere la scala di grigi che è scura sul lato sinistro, anche se entrambe le scale di grigi in una coppia sono sempre identiche nella luminosità. Anche in questo caso gli studiosi hanno spiegato questo bias verso sinistra con l'attivazione preferenziale dell'emisfero destro per l'aspetto spaziale del confronto della luminosità, e che questo induce un bias dell'attenzione controlaterale verso sinistra (Kinsbourne, 1970).

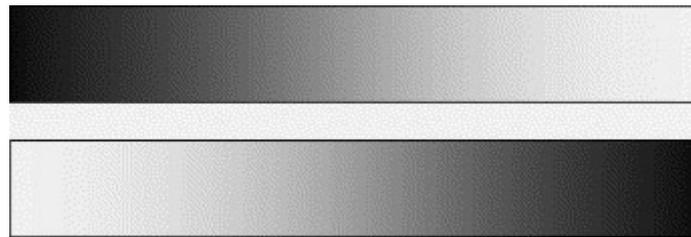


Figura 3 Un esempio di compito di scala di grigi. Fonte Mattingley et al. (2004)

La ricerca visiva è un ulteriore compito utilizzato per misurare le asimmetrie di attenzione spaziale. Nicholls et al. (2014) hanno studiato se lo pseudoneglect può essere osservato per gli array di ricerca visiva. Nel compito i partecipanti cercavano uno stimolo target (triangolo invertito) tra 59 distrattori (triangoli verticali; Fig. 4). L'attività richiede una ricerca di caratteristiche di congiunzione relativa ai tre elementi del triangolo – e quindi comporta una ricerca di tipo *top-down*. L'analisi sia dell'errore che del tempo di reazione ha dimostrato un vantaggio per il rilevamento di target sul lato sinistro e Nicholls et al. (2014) hanno concluso che i dati erano compatibili con un'asimmetria attentiva correlata allo pseudoneglect. Detto questo, dato che gli stimoli sono stati presentati fino a 4000 ms, secondi gli autori i movimenti oculari hanno giocato un ruolo importante nell'asimmetria percettiva.

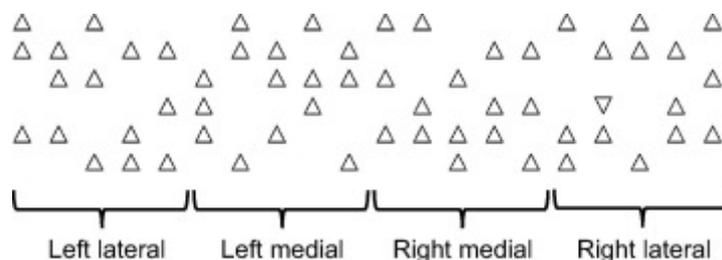


Figura 4: Compito di ricerca visiva. Fonte Nicholls et al. (2017)

Altro compito utilizzato per analizzare il fenomeno dello pseudoneglect è stato quello di cancellazione di stimoli target tra distrattori. Zago e colleghi (2017) hanno somministrato ai partecipanti un test di cancellazione dei simboli (Fig. 5) calcolando per ogni partecipante un indice chiamato poi centro di cancellazione (CoC) che fornisce un valore di bias attentivo: i risultati hanno mostrato un punteggio medio CoC negativo che indica che i partecipanti hanno cancellato più bersagli a sinistra che a destra dello spazio, coerenti con lo pseudoneglect.

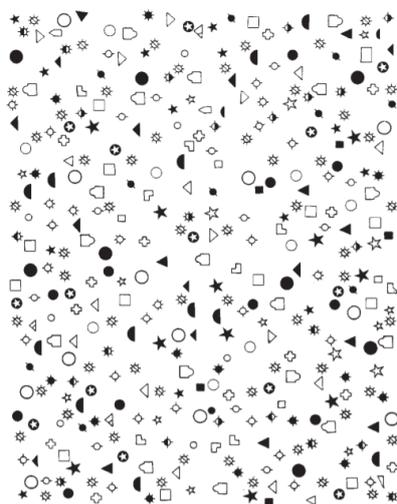


Figura 5 Symbol Cancellation Test. Fonte Lowery et al. (2004)

Anche qui, confrontando la prestazione alla cancellazione con quella al compito di bisezione di linea somministrato nella stessa sessione, ciascuno dei quali mostrava un bias verso sinistra, la correlazione non è risultata significativa.

In un compito di ricerca di stimoli bersaglio da cancellare, occorre prima scegliere una posizione spaziale iniziale nell'ambiente che funga da punto di partenza per la ricerca seriale. L'orientamento dell'attenzione spaziale verso un lato dello spazio per avviare una ricerca, e l'orientamento della ricerca in generale, può influenzare l'organizzazione del comportamento di ricerca. Ad esempio, iniziare la ricerca in corrispondenza o in prossimità di un bordo o angolo percepito dell'ambiente fornisce una base efficace per pianificare e completare un modello di ricerca più organizzato, rispetto a iniziare nel mezzo (Woods et al., 2013). Sebbene l'attenzione spaziale sia stata al centro di molti studi di ricerca visiva, l'influenza dell'orientamento della ricerca sulle prestazioni della ricerca visiva rimane poco esplorata.

Lo pseudoneglect sembra dipendere dall'attenzione basata sia sullo spazio sia su oggetti: i partecipanti dello studio di Orr e Nicholls (2005) hanno effettuato il compito di scale di grigi che sono presentate centrate sulla linea mediana (*baseline*) o spostate con lo stimolo che appariva interamente in ciascuno degli emispazi sinistro e destro. Quando spostate, le coordinate basate sull'oggetto e sullo spazio potevano essere congruenti (l'oggetto che appariva nell'emispazio sinistro era scuro alla sua estremità sinistra) o incongruenti (l'oggetto che appariva nell'emispazio sinistro era scuro alla sua estremità destra). Lo pseudoneglect è stato osservato nella linea di baseline e nella condizione congruente, ma non è emerso alcun bias nella condizione incongruente. Si è concluso che i processi basati sull'oggetto e sullo spazio operano simultaneamente e che, nella condizione incongruente, si sono opposti l'uno all'altro per produrre un bias di risposta complessivo pari a zero.

La componente percettivo-attentiva non spiega da sola come mai il fenomeno dello pseudoneglect si verifica anche solo chiedendo ad un individuo di rappresentare nella propria mente una scena o un'immagine: se chiedessimo ad un abitante della città di Milano di immaginare di trovarsi in Piazza del Duomo e di descrivere i punti di riferimento su ciascun lato da due prospettive di osservazione opposte, è probabile che descriverebbe più dettagli che si trovano sul lato sinistro che dettagli sul lato destro. È ciò che è accaduto nello studio di McGeorge (2007), in cui partecipanti sani di età compresa tra 20 e 86 anni, che vivono a Milano, hanno riportato più punti di riferimento dal lato sinistro che da quello destro, indipendentemente dal punto di vista. Dato che il bias era basato su una rappresentazione mentale visuospatiale, questo suggerisce una forma rappresentazionale di pseudoneglect. Lo pseudoneglect è stato dunque dimostrato anche in assenza di elaborazione visuospatiale diretta, quando a una persona è richiesto di rappresentare mentalmente uno stimolo, un fenomeno che ha preso il nome di pseudoneglect rappresentazionale.

Brooks e colleghi (2014) hanno revisionato gli studi sullo pseudoneglect rappresentazionale: attraverso la review sono state presentate osservazioni empiriche dello pseudoneglect rappresentazionale per mostrare che il fenomeno si verifica in un'ampia varietà di condizioni, ad esempio quando a una persona viene chiesto di rappresentare mentalmente uno stimolo visto in precedenza o nuovo, quando una persona esplora uno stimolo usando solo il tatto, o quando una persona attiva una linea numerica mentale. La "linea numerica mentale" ovvero la rappresentazione e organizzazione dei

numeri nel nostro spazio mentale, come descritto in precedenza, è spesso caratterizzata da numeri inferiori a sinistra e numeri più alti sulla destra. L'effetto denominato SNARC (acronimo di *spatial numerical association of response code*) si verifica sia in forma visiva che in forma rappresentazionale. Numerosi studi in cui si è usato il neuroimaging o la TMS, con pazienti neurologici e soggetti sani hanno dimostrato che i compiti numerici riguardano la parte posteriore aree parietali note per essere coinvolte nella percezione dello spazio e nell'attenzione spaziale. Tali scoperte suggeriscono che la direzione dell'attenzione lungo la linea del numero mentale può utilizzare gli stessi meccanismi coinvolti nell'orientamento dell'attenzione spaziale. L'evidenza più potente di pseudoneglect puramente rappresentazionale sulla linea dei numeri mentale, tuttavia, deriva dalla scoperta che i partecipanti ciechi mostrano gli stessi bias verso sinistra quando bisecano la linea dei numeri mentale; nel caso di partecipanti congenitamente ciechi è impossibile che l'elaborazione visuospatiale precoce abbia contribuito al bias (Cattaneo et al., 2011).

Gli studi e i confronti tra gruppi comportano continue messe in discussione di teorie precedentemente confermate: differenze intra-individuali nelle manifestazioni del bias di attenzione spaziale si potrebbero associare a diversi tipi di elaborazione visuospatiale. Dunque, è rischioso presumere che lo stesso test misuri lo stesso costrutto in soggetti che presentano dei profili cognitivi diversi (Chen et al., 2019). Come se non bastasse, ci sono ulteriori complicazioni dovute alle poche correlazioni esistenti tra i bias misurati con diverse attività.

I dati suggeriscono che lo pseudoneglect può essere più pronunciato per le attività che evocano un maggiore controllo dall'alto verso il basso, *top-down* (Nuthmann e Matthias, 2014). I bias verso sinistra sono forti ma mostrano scarse relazioni tra loro, potrebbero essere considerati diversi in base a diverse modalità percettive (Eardley et al., 2017). Sebbene alcune tendenze legate all'età nel bias percettivo possano essere identificate all'interno di ogni attività, non è possibile trarre conclusioni definitive sugli effetti dell'età e del genere sullo pseudoneglect (Friedrich et al., 2018). Pertanto, il legame che può esistere tra le diverse manifestazioni dello pseudoneglect è una questione ancora dibattuta.

Inoltre, l'evidenza clinica suggerisce processi neurali dissociabili alla base della percezione e dell'attenzione nello spazio vicino e lontano. Lo spazio vicino (peripersonale) è definito come lo spazio a portata di mano ed è strettamente legato alla pianificazione ed esecuzione di movimenti manuali e localizzazione di oggetti, mentre lo spazio lontano (extrapersonale) è definito come lo spazio fuori dalla portata delle braccia e preoccupato della ricerca visiva e dell'oggetto identificazione. Dissociazioni simili sono state osservate in pazienti ma anche in soggetti sani: già Weiss e colleghi (2000) in uno studio sulla tomografia a emissione di positroni (PET), hanno esaminato le prestazioni della bisezione delle linee in soggetti sani e hanno trovato attività neurali distinte a seconda dell'agire nello spazio vicino rispetto all'agire nello spazio lontano. Questi risultati sono in linea con l'ipotesi che il flusso visivo ventrale sia principalmente coinvolto nell'attenzione allo spazio lontano, mentre il flusso visivo dorsale sia coinvolto nell'attenzione allo spazio vicino. Dunque, anche nello pseudoneglect l'effetto della visione a distanza in bisezione di linea attiva meccanismi parietali diversi. Più recentemente alcuni ricercatori (Hartmann et al., 2019), oltre a riportare un sintesi degli studi di valutazione del ruolo della distanza spaziale per l'espressione dello pseudoneglect, confermano l'influenza della distanza spaziale sulle asimmetrie dell'attenzione in individui sani in un compito di esplorazione visiva libera, in particolare un effetto della distanza di osservazione è stato riscontrato da un iniziale comportamento di orientamento verso sinistra e ad un orientamento sempre più verso destra: l'attenzione spaziale è stata diretta relativamente più a sinistra nello spazio vicino rispetto allo spazio lontano.

Una migliore validità convergente e discriminante per i test di misurazione dello pseudoneglect è stata ottenuta da Chen e collaboratori (2019) nel cui studio misure di pseudoneglect si sono rivelate sensibili a determinate manipolazioni sperimentali che sono state applicate in ugual modo in compiti diversi. In particolare, i ricercatori hanno testato gli effetti di diversi livelli *pixel noise* (come un'immagine TV con una ricezione scadente) per impoverire tutti gli stimoli dei compiti di giudizi percettivi (*landmark task*, *greyscales task* e *grating-scales task*) e di due attività di ricerca visiva, dimostrando che lo pseudoneglect misurato con i giudizi percettivi, ma non durante la ricerca visiva, produceva bias che sono stati influenzati in modo simile dal rumore. Chen e colleghi

(2019) concludono che ci sia una forma comune di pseudoneglect percettivo che è diversa da altri tipi di pseudoneglect, che ha a che fare con funzioni esplorative.

1.3 Pseudoneglect in età evolutiva

In età evolutiva, i processi attentivi, l'elaborazione e la cognizione spaziale non sono ancora completamente sviluppati in tutte le loro componenti. L'attenzione visuospatiale e le relative operazioni di disancoraggio, spostamento e ancoraggio consentono ai bambini in via di sviluppo di orientarsi selettivamente verso persone ed eventi chiave e di regolare le loro reazioni emotive alle informazioni sensoriali in arrivo. I risultati in letteratura indicano che queste operazioni si sviluppano presto nella vita e che sono sempre più sotto il controllo del sistema di attenzione anteriore (AAS), consentendo così ai bambini di esercitare un controllo esplicito di fronte alla stimolazione in arrivo. Verso l'ultima parte del primo anno di vita, lo sviluppo della corteccia frontale consente al bambino di esercitare sempre più un controllo volontario sull'orientamento visuospatiale. Prima di questo, l'attenzione del bambino è guidata in gran parte da input esterni, a cui le risposte del sistema di attenzione posteriore (PAS) sono relativamente veloci e automatici.

Le componenti dell'orientamento visivo, presenti nel primo anno di vita, continuano a migliorare in efficienza durante l'infanzia: nello studio di Schul e colleghi (2003) è stata utilizzata una variante del paradigma del *cueing* attentivo di Posner per tracciare lo sviluppo dell'orientamento dell'attenzione visuospatiale durante gli anni dell'età scolare, osservando un significativo aumento correlato all'età nell'accuratezza dei meccanismi di attenzione implicita dai 7 ai 18 anni. L'uso efficiente dell'orientamento attenzionale implicito dipende dall'efficienza di due operazioni consecutive, spostamento del focus dell'attenzione (orientamento) verso un segnale e disancoraggio, se il segnale viene ritenuto non valido, dell'attenzione dal segnale e riorientamento in una nuova posizione in cui appare lo stimolo. Inoltre, le prestazioni erano complessivamente più veloci per gli stimoli sul lato destro, nonché più accurate, quando l'intervallo C-T era di 100 ma non di 800 ms. Secondo gli autori questo modello di asimmetria laterale è coerente con la letteratura che riporta l'emisfero sinistro controllante lo spazio di attenzione destro, mentre l'emisfero destro controlla sia lo spazio di attenzione destro che quello sinistro, risultando in una rilevanza relativamente maggiore per gli stimoli che appaiono a destra

della fissazione; ma anche che la mano destra utilizzata, controllata dall'emisfero sinistro, si occupava più facilmente della metà destra dello spazio. Tuttavia, la dimensione dell'effetto del vantaggio dello spazio attenzionale destro è risultata relativamente piccola, spiegando perché questa asimmetria è stata rivelata solo nelle condizioni del compito più impegnative, cioè quando l'intervallo C-T era breve.

Stesso sviluppo crescente è stato dimostrato studiando assieme 3 funzioni dell'attenzione, il raggiungimento e il mantenimento di uno stato di allerta, l'orientamento e la selezione di eventi sensoriali per l'elaborazione preferita e la regolazione di pensieri e risposte in una modalità diretta all'obiettivo, in bambini dai 6 ai 12 anni con il compito sperimentale *attention network task* (ANT) (Pozuelos et al., 2014).

1.3.1 Espressione dell'asimmetria d'attenzione spaziale dall'infanzia

I bias visuospaziali sono presenti dalla nascita o si sviluppano durante l'infanzia? Come riportato in precedenza, recenti studi in psicologia dello sviluppo hanno scoperto che le associazioni spazio-numeriche sono presenti fin dai primi giorni di vita. de Hevia e colleghi hanno documentato una propensione per i bambini nel primo anno di vita a mappare le grandezze numeriche su un continuum spaziale da sinistra a destra. I bambini di 7 mesi presentano una preferenza per le sequenze numeriche crescenti, solo se gli array sono presentati dal più piccolo a sinistra al più grande a destra (de Hevia et al., 2014). Registrando i movimenti oculari dei bambini di 8-9 mesi, Bulf e colleghi (2016) hanno dimostrato che sono più veloci a occuparsi di un segnale sul lato sinistro dopo la presentazione centrale di un piccolo numero e di un segnale sul lato destro dopo la presentazione centrale di un grande numero, ma questo vantaggio non si estende a un oggetto piccolo rispetto a un oggetto grande, cioè mostrano che i segnali numerici sono fondamentali nell'orientare l'attenzione visiva dei bambini verso una regione periferica dello spazio che è congruente con la posizione relativa del numero su un continuum rappresentativo orientato da sinistra a destra. I bias osservati così presto nell'infanzia sono spontanei, riflettendo le predisposizioni per l'elaborazione lateralizzata della grandezza. Tuttavia, è possibile che a diversi mesi di età i bambini abbiano avuto qualche esperienza spaziale non specifica che potrebbe portare all'assimilazione di un sistema di organizzazione spaziale relativo alla cultura di appartenenza. de Hevia et al. (2017) hanno recentemente scoperto che anche i neonati mostrano un'elaborazione lateralizzata della

grandezza e questa scoperta, che non si esclude a vicenda con una linea numerica mentale derivante da esperienze culturali successive, supporta l'esistenza di una linea numerica mentale negli esseri umani senza precedenti esperienze spaziali.

L'evidenza dell'effetto dell'età sullo pseudoneglect visuospatiale è senza dubbio estesa e può fornire importanti insight sullo sviluppo delle reti attentive lateralizzate. Come riportato per gli adulti, i bias di attenzione spaziale possono essere misurati utilizzando un semplice compito di bisezione di linee. In generale, la letteratura fornisce prove di una distorsione spaziale complessiva verso sinistra anche nei bambini. Bradshaw e colleghi (1987) hanno scoperto che i bambini mancini intorno ai 5 anni di età o meno mostravano un orientamento verso sinistra con la mano sinistra ma un orientamento verso destra con la mano destra mostrando uno "pseudoneglect simmetrico". Anche Dellatolas e colleghi (1996) hanno dimostrato che i bambini di età compresa tra 4 e 5 anni mostrano bias verso destra con la mano destra ma bias verso sinistra con la mano sinistra, ma i bambini di età compresa tra 10 e 12 anni hanno mostrato bias verso sinistra indipendentemente dalla mano; questa è un'osservazione importante che suggerisce il fatto che la maturazione emisferica cambia il modo in cui l'attenzione è diretta a ciascun lato dello spazio, anche se c'è qualche discrepanza su quando questo cambiamento si verifica effettivamente. Allo stesso modo, Failla e colleghi (2003) hanno scoperto che i partecipanti di età compresa tra 5 e 7 anni e tra 60 e 70 anni mostravano prove di un bias simmetrico; i partecipanti di età compresa tra 10 e 12 anni e tra 20 e 30 anni hanno mostrato bias verso sinistra in generale, anche se il bias maggiore è stato dimostrato quando è stata utilizzata la mano sinistra. Invece, Hausmann e colleghi (2003) hanno evidenziato che i partecipanti di età compresa tra 10 e 12 anni mostravano un bias simmetrico di bisezione della linea verso sinistra con la mano sinistra ma verso destra con la mano destra; i partecipanti di età compresa tra 13-15, 18-21 e 24-53 anni dividevano verso sinistra con entrambe le mani, sebbene più fortemente verso sinistra con la mano sinistra rispetto alla mano destra. Esplorare l'effetto dell'età sulle forme visuospatiali di pseudoneglect non è certamente semplice nei bambini, la cui prestazione potrebbe essere influenzata da componenti neurali, motorie e biomeccaniche specifiche.

Gli studi che dimostrano uno pseudoneglect simmetrico dei bambini, spiegano questo modello di performance come dovuto a scarse interazioni emisferiche, legate all'immaturità callosa (mielinizzazione incompleta) nell'infanzia (Hausmann et al., 2003).

Un ulteriore fattore potrebbe essere lo sviluppo tardivo della capacità di attraversare la linea mediana del corpo nelle attività motorie. Quando un bambino divide in due una linea con la mano sinistra, la deviazione si verifica sul lato sinistro, in modo simile agli adulti; quando si usa la mano destra, la risposta devia verso il lato destro. Ciò suggerisce che l'azione motoria e le tendenze spaziali ipsilaterali risultanti a rispondere verso lo stesso lato della mano in movimento sono tra le forze che modulano i bias attenzionali nei bambini in età prescolare. Il passaggio da pseudoneglect simmetrico a pseudoneglect, che si verifica durante sviluppo, sembra riflettere uno sviluppo strutturale e funzionale del corpo calloso lineare fino a metà dei 20 anni. L'apparente incoerenza tra gli studi per quanto riguarda la finestra specifica di età di questo cambiamento, riflette semplicemente che la mielinizzazione callosa, responsabile di questo fenomeno, si verifica gradualmente piuttosto che in modo drastico.

La graduale maturazione del corpo calloso durante l'infanzia, dunque, potrebbe essere una spiegazione per questo fenomeno, come struttura che promuove l'integrazione delle informazioni percettive attraverso gli emisferi cerebrali sinistro e destro; sebbene il numero di fibre callose raggiunga il suo massimo durante la vita uterina, la risonanza magnetica quantitativa (MRI) ha chiaramente dimostrato che l'area callosa medio-sagittale totale aumenta di dimensioni fino all'età di 18 anni, in particolare nelle regioni del tronco e dello splenio, invece le regioni anteriori (rosto e genu) raggiungono le dimensioni degli adulti durante gli anni prescolari, indicando un gradiente antero-posteriore dei cambiamenti di maturazione (Hausmann et al. 2003). È possibile che gli adolescenti producano una bisezione molto rumorosa poiché ci sono molti cambiamenti durante l'adolescenza a livello neurale e strutturale del cervello. Tuttavia, Pulsipher e colleghi (2009) hanno esplorato il volume del corpo calloso nei bambini di età compresa tra 8 e 18 anni, ma non hanno trovato alcuna relazione significativa tra il volume del corpo calloso e la deviazione della mano destra, la deviazione della mano sinistra o differenze tra l'errore direzionale manuale per qualsiasi fascia di età.

Studi sullo sviluppo hanno anche dimostrato che le regioni fronto-parietali destre, cioè il sistema neuronale che sottende all'elaborazione della percezione spaziale, si sviluppano durante la prima infanzia. Ci sono prove che la rete fronto-parietale, che svolge un ruolo cruciale nel controllo volontario della selezione attenzionale, subisce una maturazione significativa nell'infanzia e nell'adolescenza. Ad esempio, in bambini di 4-7 anni, lo

sviluppo della funzione di controllo dell'attenzione selettiva è stato studiato attraverso cambiamenti legati all'età nella connettività funzionale della rete fronto-parietale (Rohr et al., 2017) ed è stato evidenziato un aumento correlato all'età della connettività funzionale tra le aree lungo il solco intraparietale (IPS) e i campi oculari frontali (FEF), che è stato anche correlato alle prestazioni comportamentali. Per quanto riguarda la lateralizzazione cerebrale verso destra per le funzioni visuospatiali, gli studi di *neuroimaging* tendono a indicare un aumento della lateralizzazione verso destra della rete frontale-parietale con l'età durante i compiti di memoria visuospatial e di ricerca visuospatial (Tzourio-Mazoyer et al., 2020).

Anche ricerche più recenti che hanno utilizzato il compito di bisezione di linea manuale o percettivo hanno aggiunto ulteriori evidenze al fenomeno dello pseudoneglect in età evolutiva. Nello studio di Girelli e colleghi (2017) il bias verso sinistra è emerso dall'età di 5 anni nella bisezione della linea, con i bambini più piccoli (3 anni) che mostravano un piccolo bias verso destra; i partecipanti dovevano dividere manualmente, con la mano destra, parole, linee e stringhe di figure di diverse lunghezze stampate su un foglio di carta. Come discusso in precedenza, ciò conferma lo squilibrio di elaborazione che favorisce la componente motoria, specialmente quando viene utilizzata la mano dominante destra. A partire dall'età di cinque anni, tuttavia, le linee tendevano a essere divise in due verso sinistra. Uno studio (Patro et al., 2018) su bambini in età prescolare (di età compresa tra 3 e 6 anni) ha mostrato che i bambini di 6 anni presentavano bias verso sinistra per le linee orizzontali mentre tale distorsione era assente nei bambini in età prescolare. Anche Hoyos e colleghi (2021) hanno evidenziato che i bambini nelle prime classi elementari mostrano un significativo bias verso sinistra, misurato con la versione percettiva di un'attività di bisezione di linea (landmark task), che gradualmente diminuisce con l'avanzare dell'età. Oltre ad aver evidenziato che i bambini nelle prime classi elementari mostrano un significativo bias verso sinistra che gradualmente diminuisce con l'avanzare dell'età, hanno evidenziato che il grado di bias spaziale verso sinistra prediceva prestazioni migliori in un test di denominazione rapido automatizzato (RAN), che è un importante predittore della capacità di lettura. Significativi bias verso sinistra nei primi anni della scuola elementare possono essere dovuti all'esperienza di lettura, riflettendo così un'interazione della rete di attenzione con la rete di lettura in evoluzione.

I cambiamenti nella distorsione direzionale possono essere dovuti a fattori di maturazione biologica ma anche a una maggiore esposizione al materiale scritto. Come descritto in precedenza, da non sottovalutare è il ruolo della cultura e delle routine di lettura e scrittura del contesto. Ricerche precedenti suggeriscono che i bambini nelle culture di lettura sinistra-destra, nel corso degli anni della scuola elementare, sviluppano un bias di orientamento dell'attenzione verso sinistra per alcuni compiti visuospatiali (Chokron & De Agostini, 1995). Al contrario, si riscontra l'effetto opposto per i bambini che imparano l'arabo: leggere da destra a sinistra. Ad esempio, i bambini provenienti da culture di lettura sinistra-destra in genere dimostrano un bias di orientamento verso sinistra sulla bisezione delle righe, e un bias più verso destra è visto per le culture di lettura destra-sinistra. Dopo circa due anni di educazione alla lettura formale (cioè dai 7 anni in su), i bambini avevano una probabilità dell'80% o maggiore di orientarsi verso il lato sinistro rispetto a quello destro della pagina di cancellazione.

Quando sono stati esaminati bambini di età diverse con sistemi di lettura e scrittura orientati in modo diverso (francese vs. ebraico, Chokron & De Agostini, 1995), è stato riscontrato un bias di bisezione modulato dalle abitudini di lettura a partire dall'età di 5 anni (cioè una polarizzazione verso sinistra nei lettori da sinistra a destra e polarizzazione verso destra nei lettori da destra a sinistra). Sembra che questo bias di sinistra diventi più evidente e stabile all'età di 8 anni, quando le abilità di lettura e scrittura dovrebbero essere pienamente acquisite (Chokron e De Agostini, 1995). Nello studio di Girelli e colleghi (2017) solo i bambini di 8 anni hanno mostrato un significativo pseudoneglect per linee e parole. Lo pseudoneglect è emerso gradualmente durante lo sviluppo. In più, mentre i bambini di 3 anni dividevano tutti gli stimoli verso destra, i bambini di 5 anni dividevano in due le linee verso sinistra e le stringhe di parole e figure verso destra come se, a questa età, l'essere stimolo "discreto" fosse la caratteristica più saliente che guida la visuale elaborazione della scansione. È solo quando la lettura e la scrittura sono pienamente acquisite, cioè all'età di otto anni, con le parole che raggiungono lo status di oggetti ortografici, che anche la bisezione delle stringhe delle figure e delle parole diverge.

L'esposizione a routine direzionali legate alle abitudini di scansione dovrebbe aumentare progressivamente con l'acquisizione della lettura e, almeno con la mano dominante, la capacità di attraversare la linea mediana del corpo aumenta insieme all'acquisizione delle capacità di scrittura. Inoltre, prima ancora che i bambini imparino a leggere e scrivere,

interiorizzano specifiche abitudini spaziali direzionali dell'ambiente culturale in cui sono cresciuti (Patro et al., 2016), sia attraverso l'osservazione che attraverso attività svolte con i genitori, ad esempio indicando o ordinare le immagini (McCrink et al., 2014) o tracciare la storia in un libro con il dito (Göbel et al., 2018). Nello studio di McCrink e colleghi (2017) bambini di 2 e 3 anni hanno eseguito un compito di mappatura spaziale in cui dovevano apprendere la posizione di un oggetto nascosto in una matrice verticale e trasporre queste informazioni sulla posizione di 90° in una matrice orizzontale. Durante il training verticale, sono state assegnate a) nessuna etichetta, b) etichette alfabetiche o c) etichette numeriche per ogni potenziale posizione spaziale. I bambini che hanno appreso una posizione verticale senza alcuna informazione aggiuntiva iniziavano semplicemente la loro ricerca con una posizione centrale neutra. Tuttavia, quando sono state aggiunte etichette numeriche durante l'apprendimento verticale, questi bambini piccoli (anche quelli con una scarsa conoscenza della posizione verticale) hanno mostrato una tendenza asimmetrica a posizionare gli stimoli iniziali a sinistra e gli stimoli finali a destra. Anche altri tipi di informazioni ordinali, come le etichette alfabetiche per le posizioni, hanno spostato i bambini verso questa mappatura asimmetrica, ma in questo caso i bambini avevano bisogno di una forte rappresentazione verticale prima della trasposizione. Göbel e colleghi (2018) hanno studiato il ruolo della cultura nel modellare la direzionalità dell'associazione tra numeri e spazio, concentrandosi sul comportamento di conteggio nei bambini di 3-5 anni. Dopo aver osservato la lettura dei libri di fiabe (lettura da sinistra a destra o da destra a sinistra), i bambini cambiano la direzione del conteggio in linea con la direzione della lettura osservata. Le illustrazioni di libri, prevalenti nelle culture dei bambini, mostrano una direzionalità conforme alla direzione della lingua scritta di una cultura. Gli autori propongono che la lettura condivisa dei libri attivi rappresentazioni spazio-temporali dell'ordine nei bambini piccoli, che a loro volta influenzano la loro rappresentazione spaziale dei numeri.

1.3.2 Misurare il bias visuospatiale in età evolutiva

Lo pseudoneglect può manifestarsi in contesti sperimentali classici durante la bisezione delle linee orizzontali, come una piccola deviazione verso sinistra del punto medio soggettivo. Tuttavia, considerando la natura eterogenea di questo bias attentivo visuospatiale, altri ricercatori hanno utilizzato diversi tipi di stimoli per indagare il fenomeno in età evolutiva, considerando la deviazione laterale nell'orientamento

dell'attenzione, il punto d'origine in un compito visuospatiale ma anche la direzionalità. I compiti somministrati sono diversi, come la cancellazione di stimoli (Ickx et al., 2017; Laurent-Vannier et al., 2006; Rinaldi et al., 2020; Woods et al., 2013), il disegno o la riproduzione di oggetti (Hamaoui et al. 2021), il disegno di cerchi e il riempimento di punti (Fagard & Dahmen, 2003). Questi compiti consentono di ottenere più indici ed informazioni sui processi di attenzione visuospatiale in diverse condizioni e sui comportamenti spaziali che ne derivano, oltre ad essere maggiormente legati a comportamenti della vita quotidiana, come la scansione di una scena visiva.

Ad esempio, durante la ricerca di un oggetto target in un ambiente naturalistico (cioè oggetti reali collocati in una stanza) nello studio di Brennan et al. (2017) c'erano differenze nella velocità di individuazione dei bersagli nei campi visivi sinistro e destro. I bambini di sei anni hanno mostrato una tendenza a trovare obiettivi nel campo visivo destro più rapidamente, i bambini più grandi e gli adulti erano abbastanza imparziali, mentre gli adulti più anziani hanno mostrato la tendenza opposta ai bambini piccoli a trovare obiettivi più rapidamente nel campo visivo sinistro. La tendenza dei bambini piccoli a guardare prima a destra piuttosto che a sinistra può riflettere una rete cerebrale di attenzione spaziale sottosviluppata.

Kebbe e Vinter (2013) hanno confrontato la direzionalità del disegno e gli effetti della manualità in diversi gruppi di età (bambini dai 6 ai 10 anni) su un'attività di disegno. È stato chiesto loro di immaginare e riprodurre diversi tipi di oggetti come se fossero posizionati di fronte a loro, in una vista laterale. Gli autori hanno riscontrato un effetto di direzione di lettura e scrittura in tutti, tranne nel gruppo di bambini più giovani. Inoltre, gli effetti di lettura e scrittura erano presenti solo tra i destrimani. Il disegno dei bambini di 6 anni non differiva in funzione della cultura e, a differenza dei bambini più grandi e degli adulti, questi bambini non mostravano alcun bias direzionale sistematico. Un bias direzionale nel disegno di oggetti familiari emerge tra i 6 e gli 8 anni di età sia nei bambini francesi che in quelli siriani e per i disegni prodotti sia con la mano destra che con la mano sinistra. Picard & Zarhbouch (2014) hanno esaminato l'influenza dell'età, della manualità e della direzionalità della lettura e della scrittura sul bias dell'attenzione. Con un compito di disegno di un albero proposto a bambini francesi (5–15 anni) e marocchini (7–11 anni) destrorsi e mancini, gli autori non sono riusciti a osservare alcuna influenza dell'età e della direzionalità della scrittura. Tuttavia, hanno trovato un bias verso sinistra

riguardo alla posizione della figura nello spazio grafico (cioè, raffigurazione della figura più a sinistra dello spazio grafico), per i destrimani. L'assenza di bias nei bambini mancini è comunemente correlata a una lateralizzazione più debole generalmente osservata rispetto ai loro coetanei destrimani. Infatti, i destrimani sono fortemente lateralizzati, mentre i mancini presentano una lateralizzazione emisferica minore, meno asimmetrie cerebrali e un corpo calloso più ampio.

In sintesi, questi studi riportano una forte preferenza da sinistra a destra per i bambini destrimani che aumenta con l'età, mentre i bambini mancini mostrano una minore lateralizzazione; tuttavia, la lateralizzazione dei bambini mancini è ancora un fenomeno poco compreso. Hamaoui e colleghi (2021) hanno recentemente affrontato questo aspetto, oltre all'esplorazione del punto di origine e degli indici di direzionalità, osservando che anche i destrimani hanno mostrato una forte densità nel disegno verso sinistra, mentre i mancini avevano una densità grafica equilibrata.

Gli studi sullo sviluppo sulle asimmetrie spaziali in altre due dimensioni, verticale e radiale sono pochi. Per quanto a nostra conoscenza, ci sono solo dati dalla bisezione della linea verticale e principalmente di bambini in età scolare. I dati riportati sono, tuttavia, incoerenti. Lo studio di Patro e colleghi (2018) è stato progettato per esplorare le prime manifestazioni evolutive delle asimmetrie spaziali nelle dimensioni orizzontale, verticale e radiale. Tali bias spaziali nello spazio 3D sono stati studiati solo negli adulti e non sistematicamente nei bambini più grandi. Pertanto, non esiste una base empirica che serva a rispondere se i bias visuospatiali compaiano in punti simili o diversi nelle traiettorie di sviluppo. Patro e colleghi (2018), hanno studiato i bias spaziali nei bambini in età prescolare con variazioni 3D del classico compito di bisezione della linea orizzontale per la prima volta in tutte e tre le dimensioni. Hanno scoperto che le risposte dei bambini erano sistematicamente distorte nello spazio; il centro della linea orizzontale era fuori posto sul lato sinistro, il centro della linea verticale era fuori posto verso l'alto e il centro della linea radiale era fuori posto in avanti (verso il corpo del bambino). Inoltre, tutti questi bias erano soggetti a cambiamenti evolutivi. Mentre nelle dimensioni orizzontale e verticale i bias sono emersi solo nei bambini più grandi, il bias prossimale nello spazio radiale era più pronunciato nei bambini più piccoli ed è stato attenuato con l'età. Coerentemente con la letteratura per adulti, hanno trovato errori di bisezione verso sinistra e verso l'alto che sono diventati più pronunciati intorno ai 5 o 6 anni di età.

Quindi, nella maggior parte delle ricerche sulla lateralità, le asimmetrie comportamentali in compiti percettivo-manuali, sono interpretate sia in termini di asimmetrie funzionali nella specializzazione emisferica sia in termini di altre fonti, come biomeccanica e tendenze di scansione direzionale culturalmente influenzate.

1.3.3 Dalla lateralità alle strategie di scanning visuospatiale

Pochi studi hanno esplorato le differenze evolutive nell'organizzazione della ricerca spaziale da parte dei bambini in un'attività di cancellazione, riportando un crescente bias verso sinistra in funzione dell'età.

Laurent-Vannier e colleghi (2006) hanno effettuato uno studio per ricavare dati normativi per un compito di cancellazione il Teddy Bear Cancellation Test (TBCT, Fig. 6) e valutare in modo prospettico la frequenza della negligenza spaziale unilaterale nei bambini con lesioni cerebrali acquisite (ABI). Sono state esaminate le seguenti variabili: numero di omissioni (su 15 target), localizzazione delle omissioni e posizione dei primi tre target cancellati. Nel gruppo di controllo le omissioni erano rare e diminuivano con l'età. Con l'avanzare dell'età è stato osservato uno spostamento a sinistra dei primi tre target cancellati. Questa strategia di cancellazione preferenziale da sinistra a destra è stata interpretata come influenzata dalle abitudini di lettura. Lo stesso test è stato utilizzato con 41 bambini con ABI dai 3 agli 8 anni. Nei pazienti e nei controlli, i bambini di età inferiore a sei anni hanno omesso più elementi rispetto ai bambini più grandi. La localizzazione delle omissioni era significativamente distorta a sinistra nei bambini con lesioni del lato destro rispetto ai bambini con lesioni del lato sinistro.

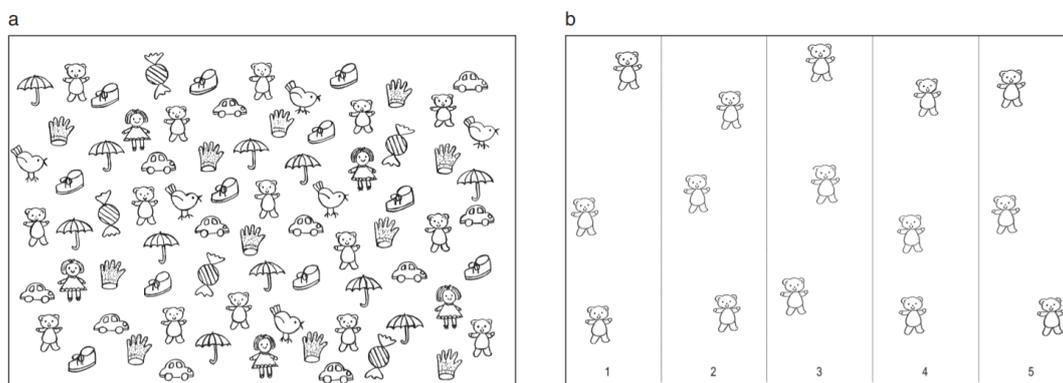


Figura 6 Teddy Bear Cancellation Test. Fonte Laurent-Vannier et al. (2006)

La ricerca di Woods e colleghi (2013) mirava ad indagare lo sviluppo delle capacità di organizzazione della ricerca dalla prima infanzia alla tarda adolescenza e valutare il contributo delle capacità di organizzazione della ricerca dei bambini alle loro prestazioni di ricerca visiva. Inoltre, gli autori hanno indagato il ruolo dell'età e dell'orientamento dell'attenzione visuospatiale legato alla lettura dei bambini sulla ricerca seriale (cioè l'orientamento alla ricerca). Per raggiungere questi obiettivi, a 134 bambini di età compresa tra 2 e 17 anni è stato somministrato un test di cancellazione (Fig. 7) progettato per i bambini. I risultati hanno indicato che all'età di 7 anni, quasi tutti i bambini si orientano verso il quadrante in alto a sinistra quando iniziano la ricerca seriale nella pagina di cancellazione e che l'orientamento alla ricerca dei bambini cambia in modo più significativo tra i 6 ei 7 anni, dopo circa due anni di esposizione all'istruzione formale alla lettura. I risultati dello studio, inoltre, indicano che i bias dell'orientamento dell'attenzione spaziale svolgono un ruolo in un aspetto del comportamento di ricerca visiva.

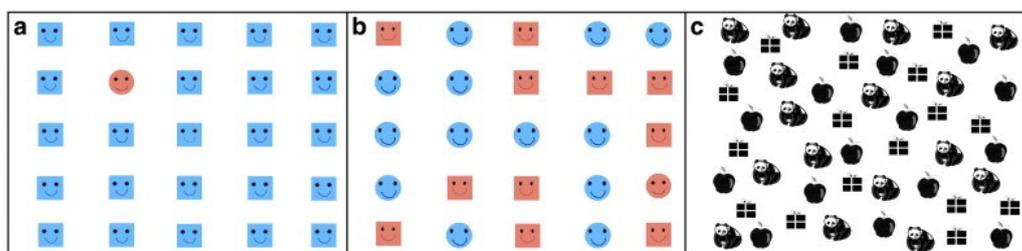


Figura 7 Compiti: a) un esempio di compito di ricerca di stimoli, b) un esempio di compito di ricerca congiunta, c) il test di cancellazione della mela. Fonte Woods et al. (2013)

I risultati, in generale, hanno dimostrato che le capacità di organizzazione della ricerca dei bambini migliorano con l'età. I miglioramenti più evidenti nell'organizzazione della ricerca si sono verificati all'età di dodici anni, dopo quell'età il tasso di miglioramento era incrementale ma non si è stabilizzato completamente nemmeno all'età di diciassette anni, il che è coerente con lo sviluppo delle funzioni esecutive. La ricerca congiunta, in particolare, è soggetta a tassi di fallimento più elevati nei bambini piccoli.

Man mano che i bambini migliorano nella strutturazione della loro ricerca visiva dell'ambiente, prestazioni inferiori legate all'età insieme all'accuratezza della ricerca migliorano. L'orientamento alla ricerca fornisce una base per la pianificazione e l'esecuzione di una ricerca organizzata dell'ambiente. Quando i bambini spostano il loro orientamento nell'angolo in alto a sinistra del display, l'accuratezza della ricerca,

soprattutto congiunta migliora. In figura 8 due esempi di prestazione, più o meno accurata.

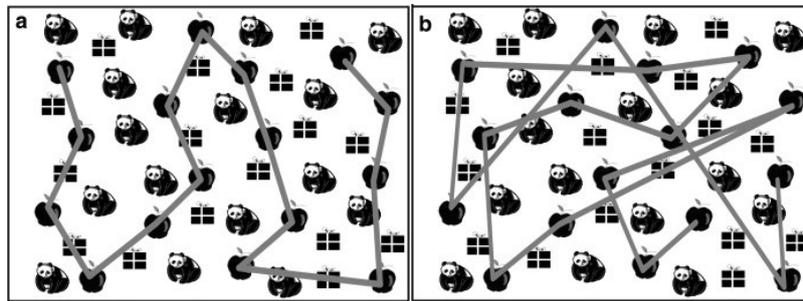
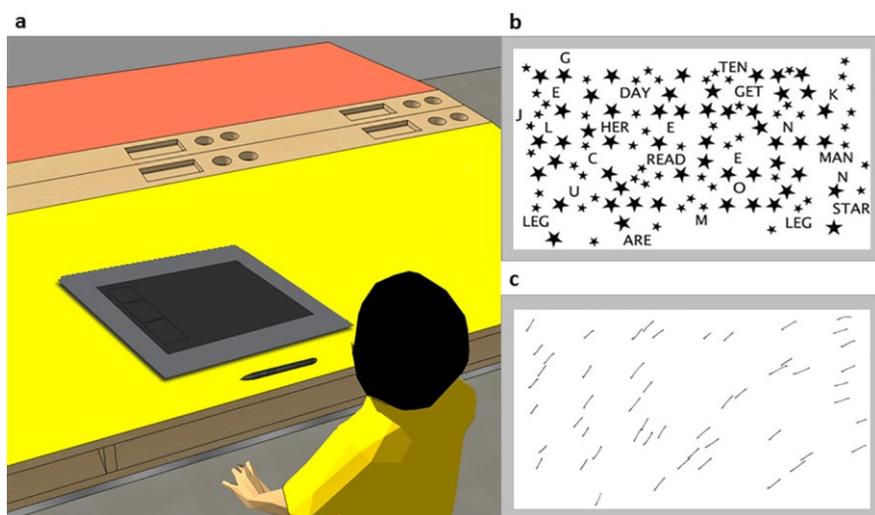


Figura 8 Esempi di prestazioni di ricerca visiva. a) Un esempio di ricerca visiva organizzata con brevi distanze inter-target, senza intersezioni di percorso e best-r alta (età: 13,1); b) un esempio di ricerca visiva disorganizzata con lunghe distanze inter-target, numerose intersezioni e best-r basso (età: 2,46). Fonte Woods et al. (2013)

Nello studio di Rinaldi e colleghi (2020) i bambini dovevano eseguire il compito di cancellazione di stelle su una tavoletta grafica (Fig. 9). Per approfondire il legame tra natura e educazione all'origine di tale bias spaziale, i ricercatori hanno dunque somministrato un compito di cancellazione digitalizzato a bambini occidentali destrimani prima e dopo l'alfabetizzazione (prima della scuola primaria e al secondo anno della scuola primaria). I risultati hanno mostrato uno spostamento progressivo dell'attenzione verso sinistra nella cancellazione del primo target e una preferenza crescente per una ricerca visiva da sinistra a destra dai bambini in età prescolare ai bambini di seconda elementare. Tuttavia, nonostante queste differenze, la distribuzione complessiva dell'attenzione visuospatiale era sbilanciata a sinistra in entrambi i gruppi. Per esplorare il ruolo della manualità nelle asimmetrie visuospatiali, hanno anche testato un gruppo di alunni di seconda elementare mancini. I risultati hanno mostrato un impatto della manualità sulle prestazioni visuospatiali, con un'accentuata ricerca visiva orientata a destra per i bambini mancini, sebbene la distribuzione complessiva dell'attenzione fosse di nuovo influenzata dall'emispazio sinistro. Nonostante l'alfabetizzazione e la manualità influenzassero le prestazioni visuospatiali, la distribuzione delle risorse dell'attenzione era più sbilanciata verso l'emispazio sinistro che verso l'emispazio destro in tutti i bambini. Il bias di rilevamento verso sinistra osservato nel presente studio potrebbe essere correlato alla dominanza di dell'emisfero destro nel controllo dell'attenzione

visuospaziale, che sarebbe già osservabile all'inizio dello sviluppo, ma anche all'esposizione a routine di lettura del contesto. Gli autori inoltre hanno rilevato che, lungo lo spazio verticale, tutti i bambini hanno mostrato una distribuzione complessivamente simile delle risorse di attenzione visuospaziale dato che l'epicentro soggettivo era sbilanciato verso l'alto in tutti i gruppi. I risultati mostrano dunque che il controllo dell'attenzione visuospaziale è mediato da un'interazione dinamica tra fattori biologici (cioè dominanza dell'emisfero destro), biomeccanici (cioè dominanza della mano) e culturali (cioè abitudini di lettura).



*Figura 9 Compito di cancellazione di stelle e un esempio dell'output finale estratto dal software.
Fonte Rinaldi et al. (2020)*

I risultati di Rinaldi e colleghi, in merito alla qualità dell'esplorazione visuomotoria e dell'organizzazione della ricerca nel compito di cancellazione, hanno evidenziato una migliore performance visuospaziale in funzione dell'età, come indicato dal minor numero di omissioni degli stimoli target e dai valori di regolarità più bassi (cioè, scansione più ottimizzata) nei bambini di seconda elementare destrimani rispetto ai bambini in età prescolare destrimani. Tutti i bambini inoltre hanno mostrato una scansione visuomotoria più ottimizzata lungo l'asse verticale rispetto a quello orizzontale.

Molti studi utilizzano la ricerca visiva e i compiti di cancellazione per sondare l'attenzione spaziale ma anche le strategie di organizzazione della ricerca. Sebbene l'attenzione spaziale sia stata al centro di molti studi di ricerca visiva, l'influenza dell'orientamento della ricerca sulle prestazioni della ricerca visiva rimane piuttosto inesplorata. Forse

queste differenze che abbiamo visto nell'orientamento spaziale tra adulti e bambini, soprattutto piccoli, potrebbero comportare differenze nei pattern di visual scanning.

1.3.4 Relazione tra asimmetria dell'attenzione visuospaziale e specifiche condizioni psico-fisiche

In letteratura sono presenti diversi studi che hanno evidenziato la relazione tra variabilità del fenomeno di asimmetria dell'attenzione visuospaziale e condizioni psico-fisiche specifiche già in età evolutiva, come neglect dopo ictus o lesione cerebrale, ma anche disturbi del neurosviluppo, che influenzano sia la consistenza che la direzione del bias.

Nei bambini che hanno subito un danno cerebrale sottili bias lateralizzati nell'attenzione possono essere notevolmente persistenti. È stato evidenziato che i bambini piccoli con lesioni pre- o perinatali all'emisfero destro o sinistro rimuovono preferenzialmente i giocattoli dallo spazio ipsilesionale (Trauner, 2003). Inoltre, contrariamente al modello adulto, il neglect controlaterale è presente fino a sei anni dopo un danno sia a sinistra che a destra. Questo è appunto in contrasto con le osservazioni sugli adulti dopo un ictus, dove spesso si rileva una condizione di neglect controlaterale transitoria che spesso scompare negli adulti con lesione sinistra dopo poche settimane, ma è più probabile che persista negli adulti con lesione destra. Nei bambini con lesioni sinistre e destre ad esordio precoce dello studio di Trauner (2003), la relativa disattenzione all'emispazio controlaterale sembrava persistere, almeno durante gli anni prescolari con differenze qualitative tra i gruppi destri e sinistri che suggerivano un neglect più grave nei bambini con lesioni destre. È possibile che in un periodo di tempo più lungo le differenze tra i gruppi diventino più evidenti.

Questo modello suggerisce che potrebbe esserci una diversa distribuzione dell'attenzione visuospaziale nel cervello in via di sviluppo rispetto al cervello maturo. In uno studio condotto più avanti, differenze tra adulti e bambini con lesioni destre e sinistre sono state evidenziate anche per bambini in età scolare (Thareja et al., 2012): nel compito di cancellazione visiva, i partecipanti con lesione sinistra hanno omissso più stimoli target a destra, ma anche a sinistra, rispetto ai controlli. I bambini con lesioni destre hanno anche prodotto un numero maggiore di omissioni su entrambi i lati sinistro e destro rispetto ai controlli, ma con prestazioni inferiori a sinistra. In un'altra attività di esplorazione manuale, i bambini con lesione sinistra hanno richiesto tempi significativamente più

lunghe per individuare il bersaglio su entrambi i lati del tabellone rispetto ai controlli. I bambini con lesione destra avevano tempi di ricerca significativamente prolungati sul lato sinistro, ma non sul destro, rispetto ai controlli. In entrambi i compiti, i partecipanti con lesione sinistra hanno impiegato strategie di ricerca non sistematiche più spesso dei bambini sia di controllo che con lesione destra. Anche la strategia di ricerca dei bambini con lesione destra tendeva ad essere irregolare rispetto ai controlli, ma solo negli array casuali dei compiti di cancellazione visiva; la struttura degli stimoli target ha migliorato la loro organizzazione.

Questi risultati dimostrano che i bambini con danno cerebrale precoce all'emisfero sinistro mostrano difficoltà bilaterali nelle modalità visive e tattili; un modello che è in contrasto con quello visto negli adulti con danno all'emisfero sinistro. Ciò può derivare da strategie di ricerca disorganizzate o da altri sottili deficit spaziali o attenzionali. I risultati delle prestazioni dei bambini con lesione destra suggeriscono la presenza di neglect controlaterale sia nella modalità visiva che tattile; una scoperta che è simile al neglect nei pazienti adulti con lesioni destre. Il fatto che siano presenti deficit nell'attenzione spaziale e nelle strategie organizzative dopo un danno molto precoce sia a destra che a sinistra amplia la nostra comprensione delle differenze nella lateralizzazione funzionale tra il cervello immaturo e quello maturo. Questi risultati aggiungono anche prove di limitazioni alla plasticità nel cervello in via di sviluppo.

Pertanto, entrambi gli emisferi possono essere critici nello sviluppo di attenzione visuospatiale prima che emerga il tipico modello adulto di dominanza dell'emisfero destro. In generale, una recente review (Hart et al., 2021) sulla letteratura riguardante il neglect unilaterale in bambini con ictus pediatrico, ha evidenziato una mancanza di ricerca di qualità per informare la valutazione e il trattamento. Anche se la letteratura abbraccia decenni, non sono presenti linee guida per la valutazione o il trattamento standardizzati. Simile agli adulti, i test con carta e matita potrebbero essere meno in grado di identificare il neglect rispetto alle valutazioni funzionali. È probabile che ci siano bambini che hanno deficit legati al neglect non rilevati anni dopo le lesioni: c'è un'urgente necessità che i clinici siano indirizzati sul neglect infantile e sulla sua manifestazione, sulle presentazioni cliniche, sulle valutazioni e sui trattamenti.

Ickx e colleghi (2018), dopo aver raccolto dati normativi su bambini a sviluppo tipico nello studio citato in precedenza (Ickx et al., 2017), hanno valutato la prevalenza dei deficit di attenzione visuospaziale nei bambini con paralisi cerebrale spastica unilaterale (USCP), prendendo in considerazione l'emicampo interessato e la localizzazione della lesione cerebrale, con 4 test di attenzione visuospaziale: *Star Cancellation*, copia della figura di Ogden, bisezione della linea e puntamento propriocettivo. I risultati mostrano che la maggioranza (64%) dei bambini con USCP ha presentato un deficit in almeno un test rispetto ai valori di riferimento. Le alterazioni osservate nei bambini con USCP sinistra o destra erano correlate rispettivamente al neglect egocentrico o allocentrico. A seconda del lato della lesione cerebrale, i bambini possono mostrare risposte differenziate legate all'aspetto di lateralizzazione di questi deficit. I risultati attuali gettano nuova luce sull'interpretazione delle disabilità motorie nei bambini con USCP in quanto possono essere influenzate dalla frequente presenza di deficit visuospatiali.

In generale gli autori degli studi sottolineano che potrebbe essere necessario utilizzare molti tipi di test per testare i bambini con danni cerebrali perinatali al fine di sviluppare un profilo completo di specifici deficit attentivi e percettivi. In questo modo, le terapie potrebbero essere personalizzate per mirare a manifestazioni specifiche del deficit. Inoltre, nelle strutture scolastiche potrebbero essere previste considerazioni specifiche sia sugli spazi che sui compiti per accogliere meglio questi bambini. Sono necessari test neurologici sensibili e più specifici per fornire il miglior trattamento riabilitare i deficit di attenzione necessari per ottimizzare le funzioni quotidiane. Una review condotta da Chevignard e colleghi (2012) evidenzia anche che sono necessari più studi che esaminino l'affidabilità e la validità delle scale di valutazione, specialmente per i bambini con lesione cerebrale. Al fine di valutare adeguatamente il funzionamento cognitivo in questa popolazione, si raccomanda una combinazione di misure, compreso l'uso di test neuropsicologici di carta e matita, che rimangono fondamentali, nonché compiti sensibili ai deficit nel funzionamento quotidiano.

La compromissione dell'attenzione lateralizzata è anche una componente dei disturbi dello sviluppo non associati a lesioni cerebrali focali come il disturbo da deficit di attenzione e/o iperattività (DDAI) e dislessia evolutiva (Waldie & Hausmann, 2010). In contrasto con i risultati tipicamente riscontrati con i bambini neurologicamente normotipici, è stata riscontrata una distorsione verso destra nel compito di bisezione di

linee per i bambini con DDAI e dislessici, ma in misura diversa a seconda di quale mano è stata utilizzata per dividere le linee. Secondo i ricercatori, questi risultati suggeriscono un malfunzionamento del corpo calloso e/o della corteccia fronto-parietale destra. Altri studi hanno identificato alterazioni emisferiche che influenzano l'espressione di pseudoneglect nei bambini con DDAI, che dividono le linee significativamente più a destra rispetto ai bambini di controllo, indicando un alterato processo di attenzione spaziale normalmente localizzato al lobo parietale destro (Boles et al., 2009; Rolfe et al., 2008). Esiste anche una notevole letteratura sui disturbi dell'attenzione visuospatiale anche rispetto al disturbo specifico di apprendimento della lettura o dislessia (Hari et al., 2001; Vidyasagar & Pammer, 2010).

Ad esempio, Hari e colleghi (2001) descrivono un "minineglect" dell'emicampo sinistro negli adulti con dislessia, che mostrano deficit nel campo visivo sinistro nei compiti non verbali. Allo stesso modo, Facoetti e colleghi in Italia hanno riportato una distribuzione asimmetrica dell'attenzione spaziale, una lieve disattenzione nell'emicampo visivo sinistro e un'eccessiva distrazione nell'emicampo visivo destro nei bambini con dislessia (Facoetti et al., 2001). È stato ipotizzato che questi risultati possano indicare un alterato funzionamento del lobo parietale destro in individui con dislessia durante l'elaborazione delle informazioni visive (Hari et al., 2001). È stato recentemente osservato che le parole presentate nel campo visivo sinistro di individui con dislessia attirerebbero meno attenzione, poiché i partecipanti allo studio erano più inclini alla distrazione dallo stimolo presentato nel campo visivo controlaterale, a destra (Bradshaw et al., 2020); i risultati dello studio hanno tuttavia sostenuto la teoria di una differenza tra campo visivo destro e sinistro in individui dislessici causata da una minore accuratezza per le parole presentate a sinistra (ovvero, un maggiore costo per l'emicampo visivo sinistro). Questa evidenza è compatibile con la teoria del deficit interemisferico della dislessia, suggerendo una compromissione nel trasferimento delle informazioni visive della parola dall'emisfero destro all'emisfero sinistro durante la lettura.

Secondo Ocklenburg e colleghi (2021) una delle principali sfide per la ricerca sulla lateralità nei prossimi anni sarà capire perché tutti questi disturbi ontogeneticamente diversi mostrano fenotipi in qualche modo simili quando si tratta di asimmetrie emisferiche e identificare il fattore che li collega (se presente fattore esiste). Inoltre, sarebbe interessante studiare e capire se tali asimmetrie alterate nell'attenzione

visuospatiale causino alcuni sintomi di questi disturbi o siano un epifenomeno dato da cambiamenti nei processi neurobiologici implicati in queste patologie, nonché esplorare ulteriori fattori che influenzano sia i modelli di lateralizzazione che i disturbi psichiatrici e del neurosviluppo.

La valutazione dei deficit nei domini del funzionamento cognitivo è fondamentale per guidare gli approcci di intervento. Ad esempio, analizzare e quantificare la dimensione complessiva del bias di attenzione visuospatiale che ci si dovrebbe aspettare nei bambini è stato ed è fondamentale perché i bambini a sviluppo tipico sono spesso usati come gruppo di controllo in esperimenti e studi che indagano distorsioni in gruppi caratterizzati da disturbi dello sviluppo neurologico e disfunzioni dell'attenzione spaziale.

- CAPITOLO DUE -

**STRUMENTI CLASSICI ED INNOVATIVI PER
L'ASSESSMENT DI ABILITÀ VISUOSPAZIALI**

2.1 Automatizzazione dei test di misurazione di abilità visuospatiali

I test neuropsicologici sono utilizzati per un'ampia varietà di scopi tra cui: valutazione delle abilità o disabilità cognitive di base; determinazione di modelli cognitivi associati a disturbi o lesioni cerebrali; esplorazione delle relazioni cervello-comportamento. In particolare, la valutazione delle abilità cognitive rappresenta un tentativo di studiare la cognizione e misurare il comportamento umano ed è una fase importante nel processo di diagnosi e monitoraggio di deficit, disturbi o lesioni cerebrali (Lezak et al., 2004). Il percorso di *assessment* è indispensabile anche nell'ambito dello studio scientifico di base delle funzioni cognitive del cervello, sia in condizioni patologiche che in condizioni normotipiche, per individuarne il funzionamento e il modo in cui questo varia da individuo a individuo, nonché le variabili associate a queste differenze. L'insieme di queste conoscenze, oltre a soddisfare il puro piacere della scoperta, consente di predisporre interventi di potenziamento, abilitativi e/o riabilitativi specifici per particolari condizioni di funzionamento cognitivo, di strutturare percorsi didattici e di istruzione adeguati e adattati alle specifiche esigenze, ma anche di orientare l'individuo nella scelta di un percorso di studi o di una carriera piuttosto che un'altra, o di ottenere una mole di dati sufficiente a sviluppare nuovi sistemi intelligenti di categorizzazione e semplificazione delle procedure di valutazione stesse.

2.1.1 Raccolta dati digitalizzata e automatizzata: pro e contro.

La valutazione cognitiva, così come la riabilitazione, assistita da computer è diventata sempre più comune e la maggior parte dei principali test di valutazione psicologici cartacei sono stati digitalizzati ed automatizzati. Già nel 1986 l'*American Psychological Association* (APA) ha definito i test di valutazione e diagnostici computerizzati importanti per la pratica clinica e di ricerca e ha successivamente distribuito linee delle guida per implementarli e interpretarne i risultati. I vantaggi dell'automazione di una valutazione o di una riabilitazione includono la riduzione dei costi, nonché dello sforzo, del valutatore professionista e del clinico sia nella somministrazione che nelle procedure di scoring dei dati; la valutazione digitalizzata consente inoltre l'eliminazione dei bias del valutatore, ovvero di errori sistematici dovuti alla soggettività, produce un miglioramento dell'affidabilità del test, nonché misurazioni oggettive e accurate dei tempi di risposta. Le valutazioni computerizzate possono implementare test che fanno uso di sistemi

intelligenti e adattivi, che ad esempio adattano le domande e i task alle prestazioni precedenti, e consentire una raccolta di dati che altrimenti richiederebbe una profonda attenzione e dispendio di energie da parte del professionista. D'altra parte, le valutazioni automatizzate sono facilmente somministrabili anche da operatori con poca esperienza.

Un ulteriore aspetto fondamentale della raccolta dati automatizzata è che i grandi numeri di dati raccolti sono essenziali per sviluppare i nuovi modelli di *machine learning*: grandi mole di dati registrabili sui database digitali e condivisi consentono indagini raffinate e ancor più approfondite utilizzando le recenti tecniche di analisi dei dati che si basano sull'intelligenza artificiale (quindi *machine learning*, *deep learning*, *data mining* etc.). Il *machine learning*, o apprendimento automatico, è un approccio computazionale all'intelligenza artificiale che utilizza algoritmi che iterano su set di dati per costruire modelli statistici (Walsh et al., 2019). Il potere dell'apprendimento automatico è la capacità di generalizzare per classificare correttamente i dati, sulla base di modelli costruiti utilizzando i dati di addestramento. In un comune compito di classificazione di dati, al software viene mostrato un insieme di oggetti di addestramento, i dati appunto, ragionevolmente grande, per i quali è nota la proprietà di interesse. Osservando questi dati etichettati, il software "apprende" un modello computazionale. Successivamente, questo modello consente di classificare altri elementi di dati, ovvero assegnare automaticamente le loro etichette. Il processo descritto consente di semplificare e velocizzare le procedure di analisi di grandi quantità di dati nonché di effettuare previsioni sull'appartenenza degli stessi a specifiche classi o gruppi.

I nuovi strumenti di valutazione e diagnostica digitalizzati, tuttavia, non sono esenti da limiti: spesso, a causa della proliferazione di batterie di test digitali, la conseguenza è una scarsità di dati normativi e indici psicometrici standardizzati in base a campioni ampi della popolazione, nonostante questo tipo di test consenta anche una più rapida e semplificata somministrazione. L'assenza di dati sufficienti comporta assenza di uniformità nelle procedure e possibilità di comparazione tra diversi punteggi di gruppi di individui. Sicuramente un altro aspetto limitante è l'assenza della sensibilità del clinico nella raccolta dei dati automatizzata, cioè quella capacità di cogliere variazioni e dettagli di una prestazione da parte di un individuo nell'ambiente fisico caratterizzante la sessione di valutazione, soprattutto quando il campione è a sviluppo atipico e si rientra nel campo della disabilità o dei disturbi cognitivi. Altro elemento problematico è l'assenza

dell'aspetto ecologico dei compiti somministrati, poiché attraverso il digitale viene meno l'aspetto di tangibilità e aggancio al mondo fisico caratteristico dei compiti carta e matita; inoltre, le procedure stesse spesso deviano dalle richieste del mondo reale. I compiti tendono ad essere somministrati uno alla volta e in isolamento dalle altre attività. Inoltre, la struttura dell'ambiente della valutazione elimina tutte o quasi tutte le distrazioni al di fuori delle richieste del test. La validità ecologica è un tema che sta ricevendo una considerazione sempre più importante.

I limiti delle diverse tipologie di somministrazione di strumenti per la valutazione neuropsicologica, ovvero digitale e cartaceo, potrebbero essere superati adottando strumenti di valutazione innovativi, che da un lato offrano la possibilità di superare i limiti sopra descritti ma che dall'altro mantengano i principi psicometrici di affidabilità, validità e standardizzazione che sono il punto forte della valutazione di costrutti neuropsicologici. Una possibilità potrebbe essere l'adozione di strumenti ibridi, che uniscano ambienti tangibili e legati alla realtà dell'individuo ad ambienti digitali di raccolta, elaborazione e analisi dei dati automatizzata.

2.1.2 Alcuni esempi

Come esempio di digitalizzazione e automatizzazione di strumenti di raccolta dei dati relativi alle funzioni cognitive verrà presentato un compito di cancellazione rapida di stimoli, sviluppato per la valutazione di processi come attenzione, ricerca visiva e velocità di reazione visivo-manuale, inoltre una versione digitale del labirinto radiale, che valuta abilità di navigazione visuospatiale.

Gigliotta e colleghi (2017) hanno sviluppato un compito digitale di cancellazione rapida di stimoli e lo hanno somministrato ad un campione di studenti in un esperimento per valutare la direzione della ricerca visiva. Il compito richiede di cancellare il più velocemente possibile, utilizzando una penna stilo, alcuni stimoli target visualizzati su un tablet touch-screen. Ognuna delle 30 prove del compito è avviata dal partecipante toccando un pulsante circolare verde posto al centro dello schermo. Successivamente, viene presentata una serie di cinque target rotondi di colore rosso scuro (raggio di 40 pixel) distribuiti casualmente sull'area di visualizzazione (Fig. 10). Al tocco dei partecipanti, gli stimoli target cancellati cambiano colore in rosso vivo. Gli sviluppatori, per valutare la distorsione laterale, hanno definito il centro del display come 0, in modo

che i valori della coordinata X vadano da -256 pixel, cioè estrema sinistra, a 256 pixel, cioè estrema destra. In secondo luogo, hanno misurato la posizione media sull'asse X del primo stimolo cancellato per ogni prova.

Il compito di cancellazione descritto consente anche di ottenere la coordinata della posizione della selezione all'interno dei cerchi stessi rispetto al loro centro, un indicatore ancor più raffinato del bias di attenzione visuospaziale e della precisione visivo-manuale nella cancellazione rapida.

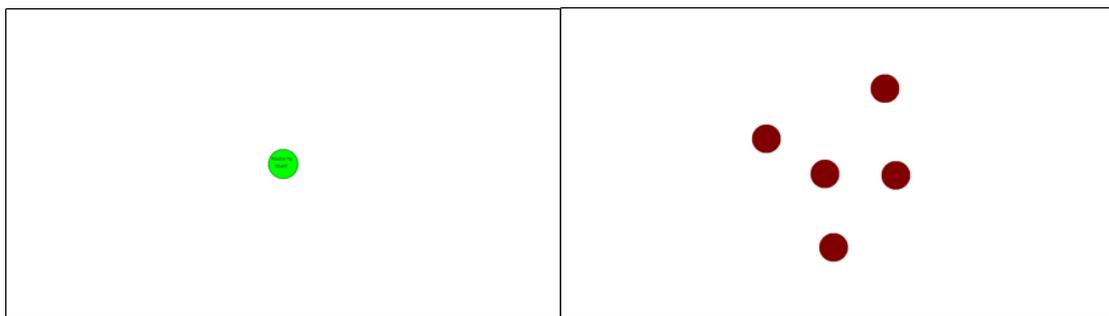


Figura 10 Un trial del compito di cancellazione

Il secondo esempio è il compito del labirinto radiale in versione digitale: il labirinto radiale (RAM) è un compito sviluppato da Olton e Samuelson (1976) e ampiamente utilizzato per valutare dapprima le capacità spaziali dei roditori da laboratorio, e successivamente degli esseri umani, bambini e adulti. Il RAM è uno strumento costituito da un'area centrale da cui si irradiano un numero di bracci identici alla fine di cui c'è una ricompensa nascosta. Nel paradigma di libera scelta, l'istruzione è di raggiungere tutte le ricompense sapendo che per ogni braccio ve n'è una sola. Dunque, chi esegue il compito può mettere in atto strategie algoritmiche scegliendo di visitare una determinata sequenza di bracci, ad esempio bracci adiacenti, opposti o alternati, oppure iniziando sempre dallo stesso braccio (strategia "prassica").

Per distinguere le componenti esplorative da quelle mnesiche, è stato applicato anche un paradigma RAM a scelta forzata (Mandolesi et al., 2009). Il successo nella performance dipende dal ricordare le braccia visitate in una prima fase (piuttosto che mettere in atto particolari schemi di ricerca), enfatizzando così le risorse della memoria di lavoro.

La versione digitale del compito RAM (Fig. 11), sviluppata da Mandolesi e Gigliotta (2021), come nella versione da tavolo consiste di un'area centrale da cui si irradiano otto bracci.

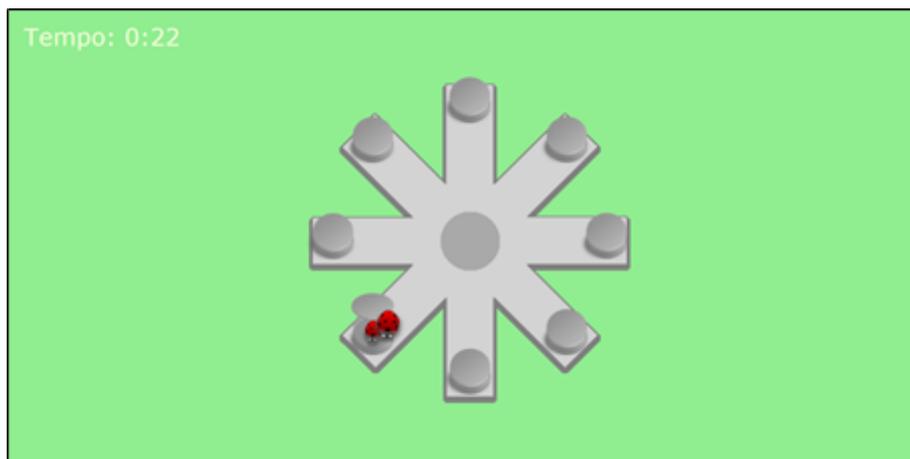


Figura 11 Trial ad 8 bracci del Labirinto Radiale digitale

Così come per il compito di cancellazione, la digitalizzazione del compito RAM permette di raccogliere automaticamente informazioni spaziali precise ed affidabili, in particolare errori e rivisitazioni durante l'esplorazione, coordinate delle posizioni dei bracci visitati e della sequenza, dunque, possibilmente anche traiettorie di esplorazione dei labirinti stessi. Inoltre, è possibile raccogliere informazioni sui tempi di latenza e di esecuzione del compito, per cui il somministratore è molto facilitato sia nella conduzione dell'esperimento che nella successiva elaborazione dei dati.

2.2 E-Tan, il ritorno alla tangibilità e compiti visuospatiali potenziati

2.2.1 Realtà aumentata

Le tecniche di valutazione di abilità visuospatiali includono chiedere ai pazienti o ai partecipanti di eseguire compiti puramente cognitivi come la rotazione mentale, nonché compiti costruttivi che comportano la disposizione di blocchi e pezzi di puzzle in una configurazione target (Disegno coi cubi – WISC). Questi compiti costruttivi hanno il vantaggio di sondare non solo la pura capacità spaziale, ma anche la capacità di percepire, pianificare e agire nel mondo. Testare il comportamento umano implica dare al partecipante l'opportunità di "comportarsi" e misurarlo. Uno strumento di misurazione dovrebbe essere affidabile (ottenendo gli stessi risultati in modo coerente in diverse occasioni) e valido (misurare ciò che dovrebbe misurare). Come anticipato, molti classici test di valutazione cognitiva offrono stimoli molto limitati e bassa validità ecologica (cioè poca rilevanza per il normale comportamento umano quotidiano nel mondo reale).

Negli ultimi anni è emersa la necessità di immaginare interazioni più ricche che vadano oltre lo schermo digitale e che sfruttino al meglio le nostre capacità corporee. Il dibattito nasce dalla convinzione che, piuttosto che spingere gli utenti ad entrare nel mondo virtuale, sarebbe auspicabile aumentare e arricchire il mondo reale con funzionalità digitali, per conservare la ricchezza e l'aspetto "situato" dell'interazione fisica. Nel tentativo di incorporare l'informatica negli ambienti esistenti e nelle pratiche umane per consentire una transizione fluida tra il digitale e il reale, nasce la cosiddetta Realtà Aumentata. Definiamo Realtà Aumentata (AR) un ambiente fisico del mondo reale che è stato potenziato/aumentato aggiungendo ad esso informazioni virtuali (Carmigniani et al., 2011). L'AR, quindi, combina oggetti reali e virtuali e mira a semplificare la vita degli individui integrando informazioni digitali nell'ambiente circostante. L'AR migliora la percezione e l'interazione dell'utente con il mondo reale. Mentre la Realtà Virtuale (VR), immerge completamente l'individuo in un mondo simulato senza restare a contatto con il mondo reale, la tecnologia AR aumenta il senso della realtà sovrapponendo oggetti virtuali e segnali al mondo reale in tempo reale. Non solo, l'AR consente di creare un ponte tra i gesti, le azioni, i movimenti dell'individuo ed il mondo virtuale, così che, ad esempio, ad un input da parte dell'individuo nell'ambiente fisico, corrisponda un output nel mondo virtuale.

Tra i sistemi di Realtà Aumentata si annoverano le Interfacce Utente Tangibili (*Tangible User Interfaces* – TUI) che prevedono l'utilizzo e la manipolazione di oggetti concreti dell'ambiente fisico; più specificamente, usare oggetti fisici per rappresentare e manipolare i dati digitali (Fig. 12). Le TUI consentono agli utenti di interagire con il mondo digitale attraverso la manipolazione di oggetti appartenenti al mondo fisico, e quindi tangibili (Shaer & Hornecker, 2010). Gli oggetti vengono aumentati e resi "intelligenti" attraverso lo sfruttamento delle tecnologie dell'*Internet of Things* (letteralmente "Internet delle cose"; Angelini et al., 2018) come touchscreen, reti e sensori wireless, attuatori e sistemi RFID o NFC. L'interazione con queste interfacce tangibili da parte dell'utente rappresenta l'input che genera una risposta nel mondo virtuale.

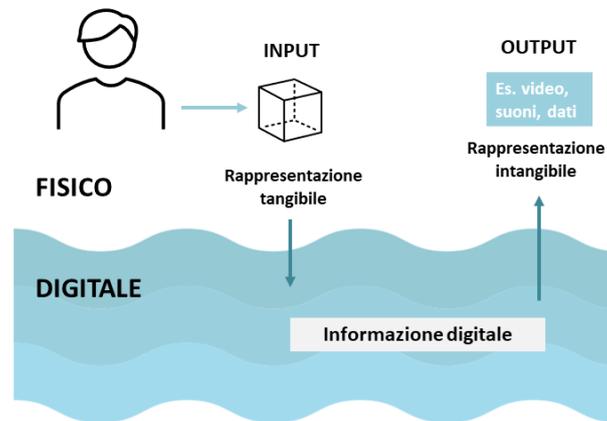


Figura 12 Funzionamento Tangible User Interfaces

Finora, i campi di applicazione delle Interfacce Utente Tangibili sono stati numerosi: esistono TUI dedicate al potenziamento dell'educazione e dell'apprendimento, TUI atte a stimolare il *problem solving* e le abilità di pianificazione, o che consentono di esplorare e manipolare la visualizzazione delle informazioni, ma anche sistemi di programmazione informatica tangibile, sistemi TUI di intrattenimento, gioco ed “*edutainment*” (o intrattenimento educativo), TUI create per l'esecuzione di performance musicali, per la comunicazione sociale e molto altro (Shaer & Hornecker, 2010). Le Interfacce Utente Tangibili hanno espresso il loro potenziale anche nel campo della valutazione e del trattamento cognitivo e psicologico. Un esempio è quello di LogicART, *Logic Abstract Reasoning Test* (Ferrara et al., 2016), un sistema integrato costituito da un insieme di blocchi (i Blocchi Logici aumentati), un dispositivo tablet (la Tavola Logica) e un software specifico (Fig. 13), pensato per valutare e stimolare il ragionamento deduttivo. Lo strumento collega tecnologie intelligenti e materiali fisici, unendo l'approccio manipolativo alle tecnologie touch-screen. I materiali fisici sono i Blocchi Logici largamente utilizzati in ambito educativo, costituiti da un insieme di forme (48 pezzi) che si differenziano per quattro caratteristiche: forma geometrica (triangolare, quadrata, rettangolare e circolare), spessore (spesso e sottile), colore (rosso, giallo e blu) e dimensione (grande e piccolo).

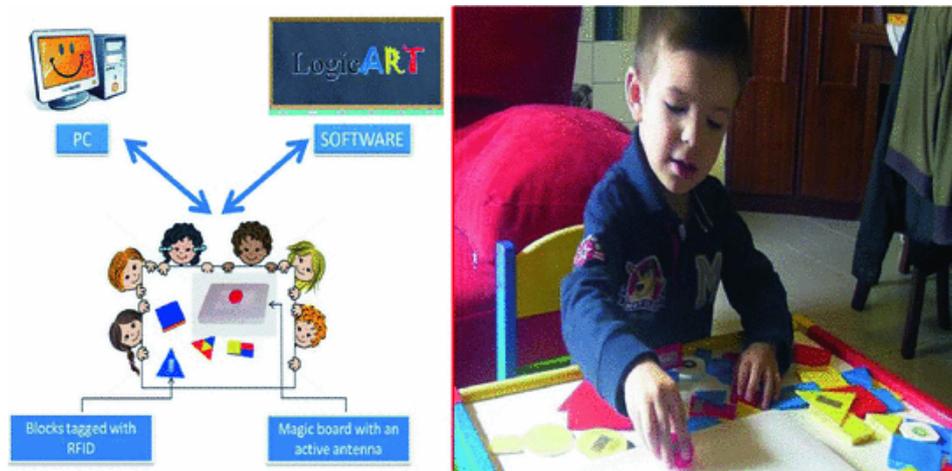


Figura 13 Funzionamento LogicART. Fonte Ferrara et al. (2016)

I Blocchi Logici sono dotati di tag RFID. Questa tecnologia permette ad un PC, con installato il software LogicART, di connettersi con la Tavola Logica che contiene un'antenna nascosta che riconosce ogni blocco, invia un segnale al PC e produce un feedback. Il software LogicART è dedicato a ricevere input dalla Tavola Logica e generare una "azione" (acustica e visiva). Queste azioni rappresentano i feedback diretti che l'utente può ricevere interagendo con il sistema (Lee et al., 2018).

L'interazione con le TUI non si limita quindi ai sensi visivi e uditivi, ma si basa anche sul senso del tatto. Inoltre, le TUI non si limitano alle immagini bidimensionali su uno schermo; l'interazione può diventare tridimensionale. Qual è il vantaggio dell'aspetto "situato" dell'interazione fisica con uno strumento di valutazione o training? L'interazione fisica in sé ma anche la possibilità di raccogliere dati attraverso la manipolazione in modo discreto e senza che il partecipante si accorga di nulla.

2.2.2 E-Tan, E-BTT e le coordinate spazio-temporali

Recentemente Cerrato e colleghi (2019; 2021) hanno sviluppato e implementato uno strumento di valutazione neuropsicologica delle abilità visuospatiali, che ha avuto come obiettivo primo quello di migliorare e rendere più informativo il *Baking Tray Task* (BTT; Tham, 1996). Il prototipo, chiamato E-Token, è una piattaforma hardware-software che, sfruttando la Realtà Aumentata permette la somministrazione di attività volte a valutare le abilità e i comportamenti visuospatiali degli individui nel loro spazio peripersonale. E-

Token è definito uno strumento “ibrido” in quanto integra realtà tangibile e realtà virtuale: lo strumento è composto da una parte hardware, ovvero di una cornice in legno di 60 x 45 cm con 4 tag *ArUco Markers* quadrati applicati agli angoli, una telecamera Webcam Logitech C930e posta perpendicolarmente alla cornice e 16 dischetti da 4 cm ciascuno su cui sono applicati altrettanti tag *ArUco Markers*. L’ambiente digitale è composto dal software E-Tan installato su pc, che rileva e mostra lo scenario ripreso dalla webcam, ovvero la cornice e lo spazio predefinito al suo interno, grazie ai quattro tag quadrati posizionati in ogni angolo; il software, inoltre, rileva la posizione dei dischetti corredati dai tag che sono disposti dalla persona di cui si intende valutare i comportamenti/le abilità visuospaziali all’interno della cornice di legno.

Per elencare e descrivere i dati che il software consente di ottenere, verrà presentato proprio l’esempio del compito *Baking Tray Task* (BTT), di cui Cerrato e colleghi (2019; 2021) hanno realizzato una versione potenziata sfruttando le potenzialità dello strumento E-Token e del software E-Tan.

Tham e collaboratori (1996) hanno ideato il BTT come alternativa ecologica ai classici compiti di carta e matita per la valutazione della eminegligenza spaziale unilaterale o neglect. Come suggerisce il nome, letteralmente “compito della teglia”, il BTT simula una situazione quotidiana e consiste nel disporre 16 oggetti il più uniformemente possibile su una superficie piana e a distanza prossimale dal soggetto. La consegna del compito è la seguente: “posiziona gli oggetti il più simmetricamente possibile come se fossero panini da mettere su una teglia da forno da infornare”. Tutti gli oggetti devono essere utilizzati e ai soggetti viene ricordato qualora ne omettano qualcuno. Dunque, di fronte a uno spazio vuoto da riempire di oggetti, l’individuo deve valutare lo spazio presente davanti a sé, in termini di misura, e costruire un piano di disposizione uniforme. Una disposizione adeguata risulta quando gli oggetti sono separati da distanze omogenee e sono quanto più distribuiti sulla superficie piana. Una disposizione spaziale che non è ben distribuita sullo spazio ma sbilanciata tra destra e sinistra di più di 2 cubi è stata considerata dagli autori patologica e quindi indice di deficit percettivo ed esplorativo spaziale o eminegligenza (Tham, 1996). Più recentemente Facchin e colleghi (2016) hanno ideato una formula per il calcolo del “BTT bias”, ovvero dell’indice di lateralizzazione relativo alla performance:

$$\text{BTT bias } 100 \cdot \frac{ncubidestra - ncubisinistra}{ncubidestra + ncubicentro + ncubisinistra}$$

Se il valore del risultato è negativo, la configurazione finale prevede più oggetti disposti sulla sinistra; al contrario, se il valore è positivo, la maggioranza degli oggetti sarà disposta nella metà destra della superficie. Se, infine, il valore è pari a 0, la configurazione sarà ottimale. Tale indice contiene più informazioni della semplice differenza Destra-Sinistra proposta come scoring del BTT classico.

Il BTT, dunque, indaga abilità visuospaziali, come il giudizio e l'esplorazione spaziale, nello spazio prossimale o peripersonale; è un compito facile e rapido da somministrare, inoltre richiede un carico attentivo relativamente leggero. Grazie alla natura non definita delle disposizioni spaziali degli oggetti, sembrerebbe inoltre essere esente da effetti dovuti alla pratica, che invece influenzano le prestazioni nei test di cancellazione (Tham, 1996). Facchin e colleghi (2016) hanno raccolto i valori normativi del compito BTT per la popolazione italiana, in un campione di 191 soggetti sani con età compresa tra 20 e 89 anni. I risultati hanno mostrato che variabili demografiche quali età, scolarità e genere non hanno influenzato le prestazioni al compito. Il BTT ha inoltre mostrato una buona affidabilità test-retest (Bailey et al., 2004): in soggetti sani, il 90% dei punteggi erano uguali tra prima e seconda somministrazione (sullo stesso lato della tavola), mentre il restante differiva solo per uno o due oggetti.

La versione potenziata del BTT, sviluppata da Cerrato e colleghi e chiamata E-BTT, combina dunque l'ambiente fisico e gli oggetti tangibili del classico BTT con l'ambiente digitale del software E-Tan che supporta interfacce tangibili. L'integrazione tra l'ambiente tangibile e quello digitale avviene tramite i tag applicati ai dischetti da spostare, che il software riceve tramite webcam. Il software scansiona, localizza e registra tutti i movimenti dei dischetti. Questo meccanismo consente una raccolta istantanea dei dati: prima di tutto, sul computer dal quale viene eseguito il software E-Tan, si possono visionare per ciascun soggetto le sessioni effettuate in locale tramite una sequenza cronologica dei fotogrammi (Fig. 14), relativi al posizionamento di ogni singolo dischetto.

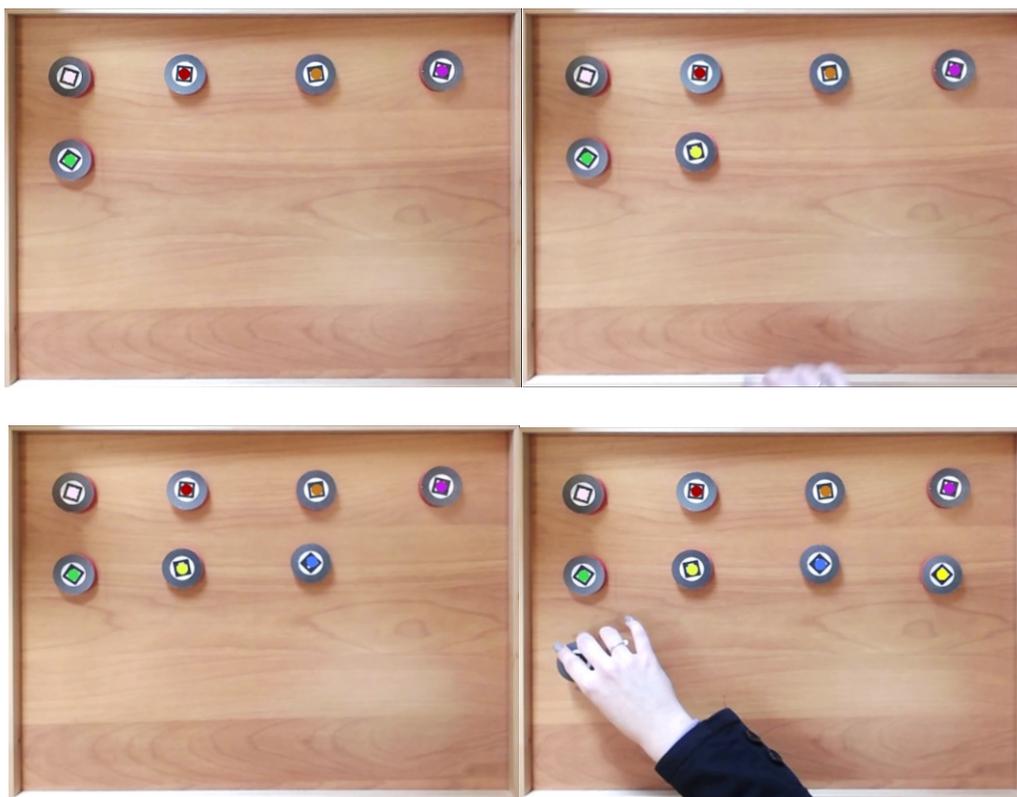


Figura 14: Da sinistra a destra, sequenza di 4 immagini relative a 4 step di posizionamento dei dischetti registrata dal software E-Tan

Inoltre, i parametri che E-Tan rileva e inserisce automaticamente in un database Excel sono:

- Tempo totale di esecuzione impiegato per completare il compito
- Tempo impiegato tra il posizionamento di un dischetto e l'altro
- Coordinate spaziali (X e Y) dei singoli dischetti nel momento in cui ciascuno è posizionato sul piano
- Ordine di disposizione dei dischetti

I dati vengono automaticamente raccolti in un file in formato CSV, che contiene tutte le informazioni relative all'utilizzo del prototipo, come ad esempio l'esaminatore che ha somministrato le prove, la tipologia di attività che è stata somministrata, il codice identificativo del partecipante a cui sono state somministrate le prove, e i dati precedentemente descritti. Il file è scaricabile da un archivio online, accessibile e consultabile da tutti i ricercatori, i valutatori, i clinici e quanti utilizzano il prototipo.

Le informazioni raccolte grazie al nuovo E-BTT, arricchiscono la procedura classica di valutazione, che prevedeva un mero confronto tra numero di oggetti disposti a destra e a sinistra della superficie e osservazioni qualitative fatte dall'esaminatore. Queste nuove caratteristiche consentono non solo di indagare la lateralizzazione spaziale ma, tramite le coordinate spaziali dei dischetti è possibile ricreare una traiettoria spaziale e temporale della disposizione eseguita ed analizzare pattern di esplorazione spaziale in soggetti clinici o sani (Cerrato et al., 2021; Argiuolo & Ponticorvo, 2020), come le strategie utilizzate per pianificare, organizzare e disporre gli elementi su uno spazio peripersonale.

L' E-BTT unito alla piattaforma E-Tan rientra nella categoria dei sistemi di interfacce utente tangibili, costituiti da un sistema integrato di oggetti concreti che i partecipanti possono manipolare; dunque, mantiene il valore ecologico del tradizionale compito di BTT, perché vicino alla realtà che le persone sperimentano quotidianamente, e allo stesso tempo lo potenzia aumentando la sua capacità informativa grazie all'unione del sistema digitale. Una prospettiva più "embodied", incarnata, più legata alla realtà: i processi mentali, anche quelli più di alto livello, sono situati e dipendono dall'esperienza del nostro corpo fisico.

2.2.3 Primi studi

Il primo studio esplorativo è stato condotto su 115 individui sani (61 femmine, età media = 27.2, ds = 8.6, range 19-75; Cerrato et al., 2019). Il primo obiettivo è stato quello di capire se esistessero dei pattern comuni di disposizione dei dischetti, in particolare del primo e dell'ultimo, in una popolazione normotipica. In primo luogo, dunque, è stata eseguita un'analisi dei quadranti, dividendo lo spazio in quattro parti pari (Tab. 2) e sono state studiate le posizioni del primo e dell'ultimo disco: è emersa la preferenza di collocare il primo nel mezzo quadrante superiore e l'ultimo in quello in basso a destra.

	Sinistra	Destra
<i>Spazio superiore</i>	A	B
<i>Spazio inferiore</i>	C	D

Tabella 2 Quattro quadranti ricavati dalla suddivisione del piano

Su 115 partecipanti 93 hanno disposto il loro primo dischetto nella porzione superiore del piano (63 a sinistra e 30 a destra), mentre i restanti 22 hanno cominciato la disposizione dal basso, con una preferenza statisticamente significativa ad iniziare il compito nei quadranti A e B rispetto ad altri ($\chi^2 = 62.77$, gdl = 3, $\chi^2/\text{gdl} = 20.92$, $p < .0001$). Inoltre, 51 persone hanno disposto l'ultimo dischetto in basso a destra, con una preferenza altrettanto statisticamente significativa ($\chi^2 = 41.37$, gdl = 3, $\chi^2/\text{gdl} = 13.79$, $p < .0001$). Infine, analizzando le strategie di inizio-fine disposizione in maniera congiunta, le strategie AD e AC sono quelle prevalenti tra i partecipanti, e tale preferenza risulta statisticamente significativa ($\chi^2 = 35.79$, gdl = 9, $\chi^2/\text{gdl} = 3.98$, $p < .0001$). Dunque, la maggioranza dei partecipanti ha iniziato la disposizione dei dischetti nei quadranti superiori del piano (soprattutto in alto a sinistra – quadrante A) per poi completarla nei quadranti inferiori, con una preferenza di posizionamento dell'ultimo dischetto nei quadranti C e D.

Questo primo studio esplorativo ha dunque fatto emergere l'ipotesi che le suddette strategie di posizionamento di oggetti all'interno dello spazio peripersonale potrebbero essere spiegate alla luce del fenomeno dello pseudoneglect, la tendenza ad orientare l'attenzione visuospaziale prima al lato sinistro per poi spostarsi verso destra, secondo un processo top-down (dall'alto verso il basso). Tale comportamento, culturalmente orientato ed evidente nei compiti di lettura e di identificazione di stimoli target, sarebbe quindi riscontrabile anche in compiti di "costruzione" di configurazioni spaziali come il BTT. I risultati del presente studio hanno condotto il gruppo di ricerca a condurre un ulteriore studio per valutare più approfonditamente il fenomeno dello pseudo-neglect, che verrà descritto più avanti.

Ulteriore obiettivo dei ricercatori è stato quello di comprendere se fosse possibile evidenziare alcune traiettorie comuni di disposizione, attraverso le sedici coppie di coordinate (X e Y) cartesiane. L'ipotesi di base è che l'analisi delle traiettorie possa rendere più informativa la valutazione della performance, in quanto, al di là della configurazione finale, una stessa configurazione può essere ottenuta attraverso diverse strategie o ordini di disposizione. Una prima analisi dei cluster delle traiettorie delle sole coordinate X, effettuata attraverso una mistura di distribuzioni chiamata *Mixture of Generalized Hyperbolic Distributions* (MGHD), ha fatto emergere tre diversi gruppi: un gruppo di individui che partono principalmente da destra e poi andavano a sinistra

secondo un movimento periodico; un gruppo di individui che partono dal lato sinistro e poi si spostano a destra e un gruppo eterogeneo, in cui soggetti hanno iniziato a posizionare i dischetti da più posizioni diverse, senza possibilità di assimilare le traiettorie.

Ad una prima osservazione qualitativa della disposizione dei dischetti sulla superficie, grazie alle immagini delle configurazioni finali e degli step di posizionamento presenti sul software E-Tan, è evidente che esista una disposizione “normativa” o canonica dei dischetti di persone sane che consiste in una configurazione finale di 4 linee da 4 dischetti ciascuna abbastanza distribuite sullo spazio (Fig. 15) ed un ordine sequenziale di posizionamento partendo da diversi punti dello spazio (come evidenziato in precedenza, principalmente in alto a sinistra, coerentemente con la direzione di letto-scrittura del campione esaminato).



Figura 15 Disposizione finale “tipica” E-BTT

Tuttavia, quest’ultima si accompagna ad altri tipi di performance, che risultano in diverse configurazioni (Fig. 16) e diverse strategie di esplorazione e posizionamento dei dischetti.

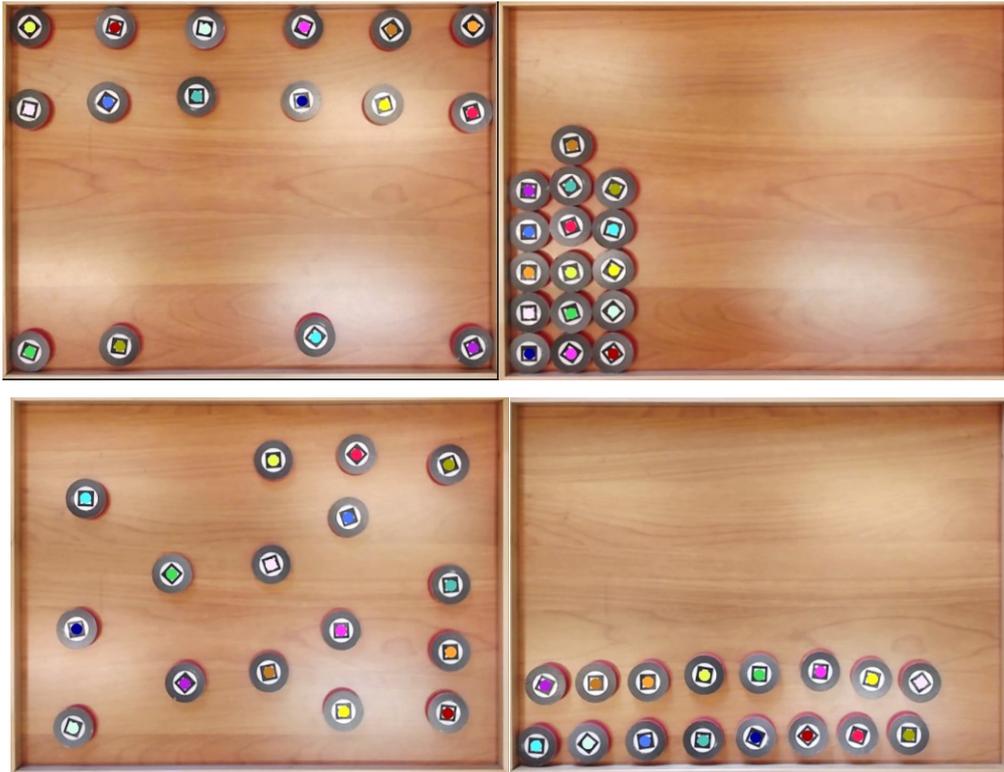


Figura 16 Ulteriori configurazioni finali E-BTT

Ancora, secondo i ricercatori la configurazione finale dei dischetti potrebbe essere analizzata nei termini di area totale della superficie utilizzata, in quanto essa definisce i vertici di un poligono 2D e proprio l'area del poligono rappresenta lo spazio totale utilizzato/esplorato dagli individui durante l'esecuzione dell' E-BTT. L'utilizzo di più o meno spazio durante lo svolgimento del compito può essere utilizzato come un indice delle prestazioni dello spazio. Nello studio di Cerrato e colleghi (2019) viene illustrata la procedura utilizzata per l'analisi dell'area totale coperta, attraverso l'algoritmo Monte Carlo.

Dall'osservazione qualitativa dei diversi pattern di disposizione del compito E-BTT emergono diverse domande di ricerca: come studiare l'uso delle strategie di disposizione di dischetti sullo spazio peripersonale? Quali e quante strategie possono portare ad una configurazione idonea? Quali variabili psicologiche e cognitive entrano in gioco in un compito simile? Quale processo influenza maggiormente l'uso di una o di un altro pattern di disposizione? Cosa è che definisce una prestazione efficiente da una meno efficiente?

2.2.4 Uno sguardo alle strategie

Un grande contributo allo studio della cognizione umana e dei processi di ordine superiore è dato dall'analisi delle strategie di risoluzione di compiti visuospatiali e delle differenze interindividuali: differenze nelle strategie possono essere una fonte di differenze individuali nelle performance, così come il tempo di esecuzione/reazione. È ancora oggetto di ricerca comprendere quanto queste strategie dipendano da altri processi cognitivi (come velocità di elaborazione e funzioni esecutive). In questo modo si continua a sviluppare conoscenza su come le differenze individuali in strategie e altri processi cognitivi spiegano in parte le differenze individuali in compiti cognitivi spaziali.

Il modo in cui gestiamo lo spazio attorno a noi deriva dal modo in cui pensiamo, pianifichiamo e ci comportiamo. Lo spazio è una risorsa che deve essere gestita, come il tempo. La ragione per cui lo spazio può essere usato per semplificare i nostri sforzi cognitivi e fisici è dovuta al modo in cui siamo incorporati nel mondo. Quando cuciniamo, ad esempio, e vogliamo preparare un piatto con del cibo in modo uniforme e piacevole alla vista dobbiamo pianificare prima, a meno che non sia una attività di cui siamo molto pratici. Possiamo risparmiarci molti step risolvendo il problema prima, piuttosto che andando per tentativi ed errori. Lo spazio è sempre presente e la necessità di posizionare oggetti da qualche parte è un fatto costante della vita. Questo fa dello spazio una risorsa inestimabile da usare per facilitare pianificazione e risoluzione dei problemi quotidiani (Kirsh, 1995).

Il livello di organizzazione, pianificazione e tipo di strategie visuospatiali utilizzate varia durante l'infanzia e questi cambiamenti possono fornire alcune informazioni sullo sviluppo delle capacità percettive ed esecutive. Le strategie organizzative, ad esempio, sono significativamente associate all'efficienza della memoria di lavoro: strategie più efficienti sono correlate a recall migliore rispetto a strategie casuali (Akshoomoff & Stiles, 1995). Soprattutto, individui con patologie o deficit del neurosviluppo hanno spesso queste abilità compromesse (insieme ad asimmetrie visuospatiali differenti).

Come sono state studiate le strategie spaziali? Un classico esempio di compito che valuta l'uso di strategie per la sua risoluzione è quello della figura di Ray (*Rey-Osterrieth Complex Figure* – ROCF; Rey, 1941; Osterrieth, 1944), un test percettivo-visivo, utilizzato per l'analisi di competenze visuospatiali, organizzazione percettiva e memoria visiva e di lavoro. Agli individui è mostrata una figura caratterizzata dal fatto di essere

priva di significato in sé, graficamente facile da disegnare e dotata di una struttura complessa, e viene loro chiesto in un primo momento di ricopiarla e, successivamente, di ridisegnarla solo a partire dalla memoria della figura. Inoltre, viene richiesto loro di disegnare la figura utilizzando pastelli di colore diverso per poter registrare l'ordine con cui le varie parti sono riprodotte.

Dall'analisi delle riproduzioni della figura di Rey emergono strategie di riproduzione diverse (Anderson et al., 2001), ad esempio: strategie concettuali che implicano una prima configurazione (come il rettangolo grande) considerata più efficace in quanto l'allineamento è più facile con un'unità strutturale di base e devono essere disegnati meno componenti. I bambini di età pari o inferiore a sette anni hanno difficoltà nell'adottare una prospettiva integrata e una strategia chiara e ciò è coerente con lo scatto di crescita nello sviluppo cerebrale, in particolare per quanto riguarda i lobi frontali. All'età di 9 anni, solo il 24% dei bambini adotta strategie sbagliate con la maggior parte dei bambini che optava per un approccio frammentato o concettuale. Infatti, quasi la metà dei bambini di 9 anni ha utilizzato un approccio parzialmente configurazionale.

Un altro compito che valuta strategie di orientamento e navigazione spaziale nello spazio peripersonale è il problema del commesso viaggiatore (*Traveling Salesperson Problem* o TSP) che si riferisce a un'attività in cui è necessario trovare il percorso più breve da un punto dello spazio all'altro, attraverso più punti distribuiti nello spazio. Il nome nasce proprio dalla sua più tipica rappresentazione: dato un insieme di luoghi, e note le distanze tra ciascuna coppia di questi, è necessario trovare il tragitto di minima distanza che un commesso viaggiatore deve seguire per visitare tutti i luoghi una sola volta e ritornare poi al punto di partenza. Il TSP è uno dei problemi tipicamente studiati in informatica teorica e teoria della complessità computazionale. Molti problemi pratici hanno questa struttura (es. passare un cavo che deve collegare vari punti, etc.). Miyata e colleghi (2014) hanno approfondito il corso evolutivo delle strategie utilizzate per risolvere i TSP esaminando le prestazioni e le strategie di selezione del percorso di bambini (39-70 mesi) e adulti (21-35 anni) su un touch screen. I risultati dello studio hanno mostrato che le prestazioni tendevano a migliorare dai bambini più piccoli a quelli più grandi e dai bambini più grandi agli adulti, con i bambini più grandi che mostravano prestazioni che si avvicinavano a quelle degli adulti in alcune condizioni. Queste tendenze erano più evidenti in termini di tempo di risoluzione, ma anche in numero di movimenti totali e latenza della risposta

iniziale. In particolare, nel compito più semplice (2 obiettivi) la strategia dell'iniziare visitando l'obiettivo più vicino corrispondeva a quella ottimale e, come previsto, bambini più grandi e adulti sceglievano questo percorso più frequentemente del previsto. Nelle forme del test più complesse, in cui erano presenti configurazioni con più punti dello spazio e più distanti tra loro, i dati hanno rivelato tendenze diverse tra bambini e adulti: i bambini hanno usato strategie diverse con la stessa frequenza, mentre gli adulti hanno fatto più frequentemente viaggi di andata e ritorno. Queste tendenze sembrano concordare con la letteratura precedente che suggerisce che gli adulti tendono ad eseguire il compito TSP basandosi sulla percezione della forma complessiva della figura. È interessante notare che ci sono stati casi in cui sia i bambini più piccoli che quelli più grandi hanno visitato l'obiettivo più lontano dalla posizione di partenza a differenza degli adulti e secondo gli autori, una possibile ragione di questa tendenza potrebbe essere che i bambini non sono riusciti a misurare con precisione la distanza relativa dal luogo di partenza a ciascun obiettivo. Potrebbe anche essere possibile che i bambini siano meno attenti al compito in sé rispetto agli adulti. In entrambi i casi, queste tendenze a "iniziare viaggiando dritto" sembrano coerenti con l'idea che i bambini siano meno sensibili alla sequenza di obiettivi da visitare rispetto agli adulti. In generale, gli autori suggeriscono che i partecipanti più anziani sono più efficienti nella selezione di percorsi che consentono di ottimizzare il numero totale di movimenti e il tempo di risoluzione; invece per alcune condizioni in cui la scelta di più strategie non fa differenza in termini di minimizzare la distanza totale di navigazione, adulti e bambini mostrano diversi trend: gli adulti si basano sulla forma generale della figura, mentre i bambini più piccoli danno la priorità a altre strategie come viaggiare dritto avanti prima di essere costretti a cambiare direzione.

Ancora, Clements-Stephens e colleghi (2011) hanno condotto uno studio sulle strategie di organizzazione spaziale in adulti e bambini, che sono stati sottoposti a compiti di riproduzione su layout vuoti di configurazioni di punti sullo spazio, prima monocolori e poi colorati. I ricercatori in particolare si sono focalizzati su come i partecipanti hanno organizzato le informazioni spaziali e come questi schemi organizzativi possono cambiare o svilupparsi nel corso dell'infanzia. Partendo dall'idea che l'approccio configurazionale al processamento delle informazioni spaziali è più efficace perché consente una scorciatoia, riducendo il carico di memoria di lavoro e traendo vantaggio dalle strutture, questo approccio gioca un ruolo chiave nello sviluppo dell'abilità di

organizzare e rappresentare lo spazio. I risultati hanno mostrato che la maggior parte dei bambini ha usato un approccio definito “elemento per elemento” per entrambe le condizioni, a differenza degli adulti che hanno utilizzato due differenti approcci e hanno avuto più successo con la strategia della configurazione. I risultati mostrano che ci sono differenti strategie per organizzare informazioni spaziali che sono evocate in quanto funzione dello spazio e dei suoi contenuti: non c'è uno schema organizzativo che va bene in tutte le situazioni e la qualità e l'utilità delle rappresentazioni potrebbe essere influenzata da quali strategie scegliamo. L'uso di un approccio configurazionale è una scelta naturale delle persone; i bambini sono sensibili alla configurazione ma la loro abilità di utilizzare la configurazione come mezzo per rappresentare le corrispondenze spaziali è in evoluzione lungo l'infanzia. Per comprendere gli schemi organizzativi per i punti spaziali, dobbiamo considerare come l'interazione tra sviluppo, esperienza e le proprietà dello spazio da organizzare potrebbero motivare l'utilizzo di una strategia o l'altra.

2.3 Nuovi indici e nuovi compiti per E-Tan

Il passaggio da test carta e matita a varianti digitalizzate cambia la natura dei dati raccolti: la piattaforma E-Tan consente una raccolta di dati sui processi spaziali attraverso coordinate e sequenze spazio-temporali. Questa possibilità apre le porte a nuovi metodi strutturati di analisi dei dati spazio-temporali attraverso l'uso di indici diversi da quelli finora ricavati. Questi indici sono stati sviluppati appositamente per i dati derivanti dal compito E-BTT, ma se correttamente adattati, potrebbero essere generalizzati a tutte le attività e i compiti visuospatiali che coinvolgono coordinate spaziali. Indici di questo tipo potrebbero potenziare l'informatività di compiti utilizzati nell'ambito della ricerca nella cognizione spaziale.

Quando si diagnostica il neglect, ad esempio, le misure primarie di test come quello di cancellazione sono solitamente la quantità e la posizione spaziale delle omissioni (obiettivi non cancellati). Tuttavia, vi sono prove emergenti che la sindrome del neglect costituisce più che semplici deficit lateralizzati (Ten Brink et al., 2016) e che potrebbero contribuire i deficit della memoria di lavoro spaziale o dell'attenzione sostenuta, per i quali potrebbero essere utili ulteriori indici di prestazioni di cancellazione.

Di seguito verrà descritta una panoramica di compiti di ricerca visiva a cui sono stati applicati alcuni indici informativi della qualità della prestazione complessiva, oltre che indici di valutazione di abilità puramente visuospatiali.

2.3.1 Indici e misure dei test di valutazione dei pattern di ricerca visiva

In un compito di ricerca visiva o cancellazione di stimoli target, come quelli descritti nel capitolo precedente, al partecipante è richiesto di cercare e cancellare stimoli target, ovvero gli obiettivi, che di solito sono posizionati sullo spazio tra gli stimoli distrattori, che devono essere ignorati. Questi compiti di ricerca visuospatiali hanno guadagnato un'immensa popolarità nella neuropsicologia cognitiva e hanno dimostrato il loro valore sia in ambito clinico che di ricerca, per la valutazione dell'attenzione visuospatiali.

Dunque, in aggiunta di parametri di valutazione d'attenzione visuospatiali, che possono essere operazionalizzati in termini di quantità e posizione spaziale delle omissioni, tempi di esecuzione e latenza, ecc. i compiti di ricerca di stimoli target sono stati utilizzati anche per analizzare le strategie di organizzazione della ricerca visiva, ad esempio per esplorare se un danno cerebrale precoce altera le strategie di ricerca nei bambini che hanno avuto un ictus perinatale e se questo contribuisce alla gravità della disattenzione visiva in questi pazienti (Thareja et al., 2012). L'analisi dei parametri di strategie di ricerca è importante, infatti, per chiarire il fenomeno della disorganizzazione nella ricerca visiva associata alla condizione di neglect: sebbene un comportamento di ricerca visiva disorganizzato sia stato dimostrato in adulti con neglect rispetto ai controlli, in termini di omissione di metà dell'array di ricerca, ma anche di pattern di ricerca non strutturati e frequenti rivisitazioni di elementi già cancellati (Ten Brink et al., 2016), i due fenomeni non sono necessariamente associati (Ten Brink et al., 2018) e soprattutto i processi cognitivi associati all'organizzazione della ricerca sono in gran parte ancora poco esplorati e sconosciuti.

Fabius e colleghi (2020) hanno studiato quali componenti della ricerca disorganizzata nei pazienti con neglect visuospatiali siano correlate al deficit di attenzione lateralizzato e quali a una compromissione della memoria di lavoro visuospatiali non lateralizzata. Innanzitutto, hanno analizzato la relazione tra neglect e prestazioni ad un compito di memoria di lavoro visuospatiali per ricavare spiegazioni alternative di una potenziale

relazione tra deficit, poi hanno esplorato la relazione tra neglect, memoria di lavoro visuospatiale e prestazioni di ricerca. In media, i risultati dimostrano che i pazienti con neglect hanno prestazioni in memoria di lavoro visuospatiale inferiori rispetto ai controlli sani e che la compromissione non riflette una compromissione funzionale o cognitiva generale ma una compromissione specifica nell'elaborazione visuospatiale. Successivamente i ricercatori hanno classificato i pazienti con e senza deficit in memoria di lavoro visiva spaziale e hanno dimostrato che le misure dell'organizzazione della ricerca visiva erano più basse nel gruppo di pazienti con deficit: tuttavia, non è ancora chiaro se queste misure siano ancora più influenzate dalla presenza di neglect.

Ten Brink e colleghi (2016) hanno sintetizzato che i parametri ideali per misurare l'organizzazione di una ricerca visiva includono consistenza, distanza e intersezioni:

- La *consistenza* generale del modello di ricerca indica la coerenza della ricerca, ovvero il grado in cui la ricerca è effettuata nella stessa direzione durante l'intero test, ad esempio in colonna dopo colonna o riga dopo riga.
- La *distanza* media tra obiettivi cancellati consecutivi si basa sulla logica che la cancellazione di obiettivi vicini riflette una ricerca efficiente, mentre l'annullamento di bersagli distanti riflette una ricerca inefficiente.
- Infine, il numero di *intersezioni* indica la quantità di incroci con percorsi tra stimoli precedentemente cancellati. Più incroci rifletterebbero una ricerca meno organizzata.

A partire da alcuni compiti di ricerca visiva carta e matita sono stati definiti ed utilizzati alcuni indici da cui è stato possibile ricavare misure di organizzazione dei pattern di ricerca visiva-spaziale. Lo studio di Thareja e colleghi (2012) è stato condotto per determinare se i bambini in età scolare che avevano avuto un ictus perinatale dimostrassero evidenza di neglect spaziale persistente e se tale neglect fosse specifico del dominio visivo o fosse più generalizzato. Sono stati effettuati due studi. Nel primo, a 38 bambini con danni all'emisfero sinistro (LH) o all'emisfero destro (RH) e 50 controlli sono stati assegnati compiti di cancellazione visiva che variavano in due fattori: stimoli target (forma geometrica vs lettera) e array (casuale vs strutturato). Nel secondo studio, è stata valutata il neglect tattile in 41 bambini con danni a LH o RH e 72 controlli utilizzando un'attività di esplorazione manuale con gli occhi bendati. Per lo studio citato

i dati raccolti per ogni condizione di test di ricerca visiva e di esplorazione manuale consistevano in omissioni dei target e omissioni nelle metà sinistra e destra della pagina; tempo dall'inizio a quando i partecipanti indicavano di aver finito durante ogni prova e tre misure della strategia di ricerca (Fig. 17):

- *L'origine della ricerca* è stata definita come la posizione del primo bersaglio cerchiato in ogni prova. I possibili indici erano "sinistra", "destra" e "centro".
- *La progressione della ricerca* è stata definita come la progressione iniziale della ricerca. I possibili indici erano "da sinistra a destra", se i bambini si spostavano verso destra, "da destra a sinistra", se i bambini si spostavano verso sinistra. Se i bambini iniziavano al centro, è stata valutata la direzione in cui si spostavano. Se la progressione del bambino non era valutabile, quindi se i bambini non si orientavano verso sinistra o verso destra, veniva assegnato un "N/S - non classificabile".
- *L'organizzazione durante la ricerca* è stata valutata come "sistematica" se i bambini procedevano in uno schema verticale, orizzontale o in un movimento a spirale, e come "non sistematica" se i bambini procedevano in qualsiasi altro modo. La strategia di ricerca a spirale era considerata sistematica solo se i bambini usavano una strategia dall'esterno all'interno o dall'interno all'esterno e copriva almeno metà della tavola in larghezza e altezza.

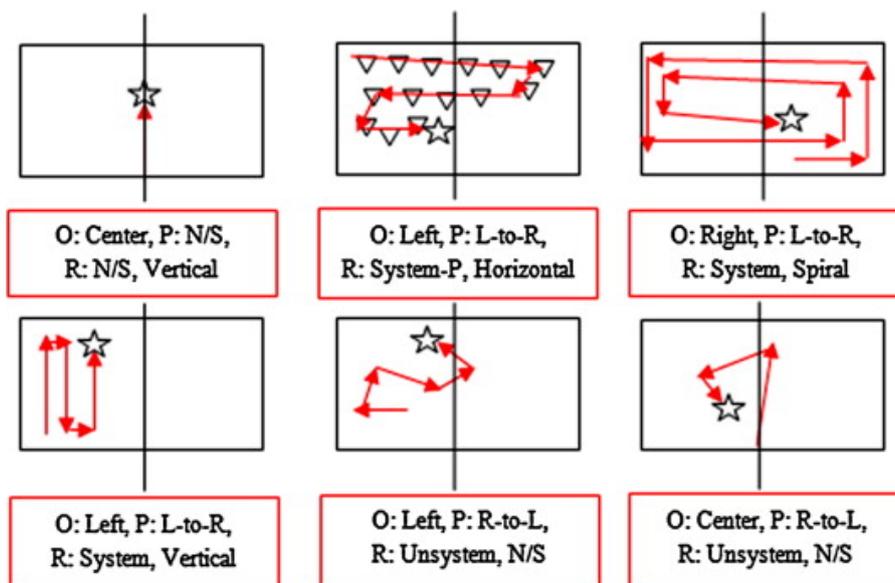


Figura 17: Esempi di strategie di ricerca nell'attività di esplorazione manuale. O, origine; P, Progressione; R, Organizzazione; N/S, non classificabile; Sistema, Sistematico; Unsystem, non sistematico; System-P, Systematic-Patting. Fonte Thareja et al. (2012)

Grazie a questi indici, i ricercatori hanno evidenziato quanto i bambini con lesioni all'emisfero sinistro siano non sistematici nella loro strategia di ricerca rispetto ai controlli, e quanto siano più disorganizzati nelle loro strategie di ricerca anche se confrontati con i bambini con lesione all'emisfero destro. I bambini con lesioni sinistre hanno impiegato strategie di ricerca non sistematiche il 43,4% delle volte; tuttavia, anche i bambini nel gruppo con lesione destra differivano significativamente dai controlli rispetto all'origine della ricerca, più spesso sulla destra, e all'organizzazione, utilizzando strategie di ricerca non sistematiche due volte più spesso dei bambini del gruppo di controllo solo negli array casuali; matrici strutturate di stimoli hanno migliorato la loro organizzazione.

La conoscenza delle associazioni tra misure di organizzazione della ricerca e comuni test neuropsicologici è potenzialmente utile nell'interpretazione della compromissione di processi cognitivi specifici e nell'associazione alla qualità della ricerca visiva. L'analisi di organizzazione e dei pattern di ricerca visiva non sono misure di indagine utili in soli gruppi di pazienti clinici, ma anche nei gruppi di partecipanti sani.

Woods e colleghi (2013), nello studio precedentemente citato di valutazione della ricerca visiva in bambini e adulti sani, hanno raffinato le analisi del compito di cancellazione con indici più specifici. Prima di tutto, tutti gli stimoli del test sono stati identificati da coordinate cartesiane (x, y) per cui l'origine era collocata al centro della pagina. Gli autori hanno ipotizzato che i partecipanti trattassero i singoli target o non target come cifre intere e quindi non si preoccupassero di contrassegnare una parte specifica di uno stimolo. Di conseguenza, nel calcolare le misure esplorative spaziali, hanno rappresentato le posizioni dei segni su stimoli target o non target con le coordinate designate degli stimoli piuttosto che con i punti precisi di contatto della penna. Gli indici di organizzazione della ricerca utilizzati sono stati:

- 1) *Distanza media tra i bersagli.* È stata calcolata la media delle distanze euclidee tra i segni della penna in posizioni sequenzialmente diverse. Una cancellazione ben organizzata è stata identificata con uno spostamento in successione verso i

target più vicini, riducendo così al minimo le distanze tra le marcature. È stata calcolata la distanza media di marcatura per ciascun partecipante piuttosto che la lunghezza totale del percorso di cancellazione perché la somma delle distanze di marcatura inter-stimolo sarebbe influenzata dalla mancata marcatura di uno qualsiasi dei 16 stimoli target.

- 2) *Numero di intersezioni nel percorso di cancellazione.* I percorsi di cancellazione sono stati ricostruiti da fogli cartacei, tracciandoli digitalmente in Microsoft Excel. Una ricerca ben organizzata in genere, secondo gli autori, non comporta rivisitazioni di punti della pagina già contrassegnati. Pertanto, una ricerca ben organizzata riduce al minimo le intersezioni lungo il percorso. Maggiore è l'area della pagina contrassegnata, maggiore è la possibilità che il percorso di cancellazione ricostruito si intersechi, indipendentemente da come i partecipanti siano stati effettivamente organizzati. Di conseguenza, il numero totale di intersezioni è stato diviso per il numero di punti contrassegnati in sequenza.
- 3) *Struttura complessiva del percorso o "best-r".* Per catturare il modello di scansione ortogonale per righe o per colonne, gli autori hanno calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson (r) dalla regressione lineare dei valori x di tutti i punti contrassegnati rispetto all'ordine in cui sono stati contrassegnati. I valori y delle posizioni contrassegnate sono stati analizzati allo stesso modo. Dalle due regressioni lineari calcolate per ciascun partecipante, hanno selezionato quella con il valore r più alto ("migliore") per rappresentare il grado in cui le cancellazioni sono state eseguite ortogonalmente. Ad esempio, iniziando dal lato sinistro della pagina e marcando per colonne progressivamente verso destra si otterrebbe un valore r più alto sulla regressione in coordinata x rispetto a quella in coordinata y , perché l'avanzamento della cancellazione sarebbe coerentemente orizzontale (da sinistra a destra) ma radialmente incoerente. In generale, un approccio altamente organizzato si rifletterebbe in un elevato indice best- r .

I risultati dello studio hanno evidenziato che tutte e tre le misure di organizzazione della ricerca hanno una relazione significativa con l'età. I miglioramenti più evidenti nell'organizzazione della ricerca si sono verificati all'età di dodici anni. Dopo i dodici anni, il tasso di miglioramento era incrementale per distanza, intersezioni e best- r , ma non si stabilizzava completamente nemmeno all'età di diciassette anni, e gli autori hanno

concluso che c'è una relazione tra aumento di qualità della performance di organizzazione della ricerca e sviluppo delle funzioni esecutive di pianificazione, memoria di lavoro e flessibilità mentale. Questi processi sono importanti per spostare l'attenzione spaziale verso nuove posizioni nello spazio (distanza), impedire il ritorno a una posizione precedentemente visitata (distanza, intersezioni, best-r), tenere traccia dei progressi complessivi nello spazio di cancellazione (distanza, intersezioni, best-r), e pianificare un percorso che ricopra tutte le possibili posizioni spaziali (intersezioni, best-r).

Al di là di compiti di cancellazione, recentemente Hamaoui et al. (2021) hanno indagato l'influenza della manualità e del genere sulla direzionalità del disegno e sulle strategie spaziali alla base della riproduzione 2D di un modello 3D per sondare le seguenti asimmetrie grafiche sottostanti nei bambini: (1) bias attenzionali legati alla specializzazione emisferica, attraverso la densità grafica e la direzionalità del disegno; (2) preferenze biomeccaniche relative alla manualità; (3) preferenze estetiche che si sviluppano con l'età. Il compito consiste nella presentazione di un modello 3D che deve essere riprodotto a memoria su un foglio A4. Diverse matite colorate vengono lasciate a disposizione del bambino. Nello stesso momento in cui il bambino disegna, lo sperimentatore trascrive le azioni del bambino su una scheda di valutazione.

Anche nel loro studio, sono misurati indici precisi spaziali e di organizzazione del disegno tra cui:

- *Punto d'origine*: il punto in cui il bambino inizia a disegnare.
- *Asse di progressione*: la direzione della linea dominante, orientata verticalmente o orizzontalmente.
- *Densità degli elementi*: l'area in cui si trovano i diversi elementi del disegno valutando il numero di quadrati occupati su tutta la superficie della pagina (divisi in quadrati di 1 cm per lato). Possiamo osservare una densità destra, sinistra o equilibrata.
- *Ordine di posizionamento*: l'ordine di rappresentazione dei tre piani (A, B e C) rappresenta la strategia di trascrizione. Ad esempio, una strategia BAC rappresenta un disegno in cui il bambino inizia a disegnare la casa (cioè l'elemento principale), seguito dal fiume e finisce disegnando gli alberi (cioè lo sfondo).

- *Disposizione spaziale*: caratterizza l'orientamento del disegno in base a tutti gli elementi, secondo tre categorie, A, B e C. La categoria A è stata definita come quando il fiume è raffigurato sul lato sinistro della casa e/o gli alberi sono sul lato destro (orientamento a sinistra). La categoria B è stata definita come un disegno simmetrico in cui la casa e il fiume sono al centro dell'immagine e gli alberi sono presenti su entrambi i lati della casa. La categoria C è stata definita come quando il fiume è raffigurato sul lato destro della casa e/o gli alberi sono sul lato sinistro (un orientamento del disegno verso destra).

Oltre al fatto che i risultati mostrano che la manualità ha influenzato in modo significativo il punto di partenza della produzione grafica e l'orientamento dei tratti, cioè che la maggior parte dei destrimani ha mostrato una forte preferenza per un punto di origine sinistro e un asse di progressione da sinistra a destra, mentre i mancini hanno preferito un punto di origine destro e un asse di progressione da destra a sinistra, per quanto riguarda le strategie grafiche, la maggior parte dei bambini ha iniziato disegnando la casa, corroborando l'idea generale che i bambini piccoli tendono a iniziare il disegno con la componente principale di una figura. Questa osservazione mostra una buona capacità di distinguere gli elementi essenziali da quelli meno essenziali, cosa che non si osserva nei bambini più piccoli. Questi ultimi prestano uguale attenzione a tutti i dettagli di una scena visiva (elaborazione locale delle informazioni) senza enfatizzare il tema principale (elaborazione globale delle informazioni). L'elaborazione globale e simultanea delle informazioni che caratterizzano la percezione visiva spontanea si sviluppa gradualmente.

2.3.2 Da carta e matita al digitale

Gli indici di prestazione visuospatiale e di organizzazione dei pattern di ricerca visiva sono stati utili per evidenziare prestazioni più o meno efficienti in adulti e bambini, sia clinici che sani. Tuttavia, gli stimoli utilizzati e i dati raccolti dagli studi precedentemente citati non sono digitalizzati e non hanno consentito elaborazioni e una analisi dei dati più precise e raffinate. La raccolta dei dati è stata spesso eseguita utilizzando procedure ad alta intensità di lavoro e non ottimali, ad esempio, l'analisi video *frame-by-frame*, osservando e registrando il modello di ricerca predominante durante un'attività da parte di un osservatore umano, o chiedendo ai pazienti di cambiare il colore della loro matita ogni 10-15 cancellazioni. Un modo più efficiente di analizzare i modelli di ricerca sarebbe

quello di utilizzare un'attività di cancellazione computerizzata, con la quale le posizioni e le sequenze di cancellazione possono essere registrate senza il rischio di errori umani.

Un esempio di strumento sviluppato a partire da una attività di cancellazione, allo scopo di somministrare attività di cancellazione digitale e di calcolare una serie di indici utili per ricercatori e professionisti, è “CancellationTools” (Dalmaijer et al., 2015), un pacchetto che combina somministrazione e analisi di compiti di cancellazione, supportando quasi tutti i tipi di test di cancellazione e producendo quasi tutte le misure di ricerca attualmente disponibili. Il software è progettato per essere il più intuitivo possibile, utilizzando un'interfaccia molto semplice e consentendo agli utenti di personalizzare l'attività di cancellazione. Inoltre, “CancellationTools” supporta l'input touchscreen, che è molto simile alla cancellazione con carta e penna. Il pacchetto è open source ed è disponibile per il download gratuito. Gli stimoli sono cerchi con o senza spazio aperto, e il professionista è libero di scegliere i tipi e il numero di stimoli target e distrattori, il colore di primo piano e di sfondo, il tipo di input (mouse o touchscreen) e se i segni di cancellazione devono essere visibili o meno. Il posizionamento ottimale degli stimoli (ovvero il numero di righe e colonne) viene calcolato automaticamente in base alla risoluzione del display. Il posizionamento degli stimoli target è pseudo-casuale, poiché sono posizionati uniformemente sulla larghezza dello schermo.

Le misure incluse ed estratte dai compiti di cancellazione di “CancellationTools”, sono state suddivise in tre categorie: misure di bias d'attenzione spaziale, dell'organizzazione della ricerca e delle prestazioni generali. Di seguito una sintesi degli indici:

- *Prima marcatura*. La posizione spaziale del primo contrassegno. È disponibile anche una descrizione qualitativa (es. “in alto a sinistra”) del quadrante in cui è avvenuta la prima cancellazione.
- *Omissioni*. Numero totale di omissioni e omissioni per entrambe le metà dell'array di ricerca.
- *Rivisite*. Cancellazione di un obiettivo precedentemente cancellato.
- *Distanza di inter-cancellazione standardizzata*. Distanza media tra le cancellazioni, divisa per la distanza media tra ciascun bersaglio e il bersaglio vicino più vicino. Una distanza bassa deriva dalla cancellazione di obiettivi che sono molto vicini l'uno all'altro e riflette un modello di ricerca organizzato.

- *Centro di cancellazione.* Posizione orizzontale e verticale media di tutti i bersagli cancellati, standardizzata in modo che un valore di -1 corrisponda al bersaglio più a sinistra o in basso e 1 al bersaglio più a destra o in alto.
- *Tempo totale.*
- *Velocità di ricerca.* Media di tutte le distanze tra le cancellazioni divisa per tutti i tempi tra cancellazioni.
- *Qualità della ricerca.* Combina velocità e precisione in un'unica misura, un punteggio elevato riflette una combinazione di un numero elevato di bersagli annullati e un'elevata velocità di annullamento.
- *Intersezioni.* Quantità totale di intersezioni di percorso divisa per la quantità di cancellazioni che non sono rivisitazioni immediate. Un modello di ricerca efficiente include il minor numero possibile di intersezioni.
- *Best R.* Valore assoluto più alto della correlazione di Pearson tra il numero di rango di cancellazione e la posizione di cancellazione orizzontale o verticale, e dovrebbe aumentare con l'efficienza della ricerca. Il modo più efficiente per eseguire un'attività di cancellazione è iniziare la ricerca da un'estremità (es. sinistra) e procedere con la ricerca in una direzione generale (es. destra o in basso), alternando lo spostamento in alto e in basso sulla direzione perpendicolare (ad esempio, verso l'alto e verso il basso, o verso sinistra e verso destra).
- *Angolo standardizzato.* Una misura che può differenziare tra percorsi orizzontali e verticali (associati a una strategia di ricerca ottimale o Best-R), e linee diagonali (associate a una strategia subottimale). Uno dei possibili percorsi di cancellazione che è efficiente, ma può risultare in una Best-R relativamente bassa, è un percorso circolare che inizia negli estremi del compito di cancellazione e si sposta gradualmente verso l'interno, o spirali. Un indice elevato di angolo standardizzato è potenzialmente un'indicazione di un processo di cancellazione efficiente.

Recentemente, Fabius e colleghi (2020) hanno utilizzato “CancellationTools” e quattro diverse misure di organizzazione della ricerca estratte da questo compito: lateralizzazione delle omissioni, numero di rivisitazioni, best-R e tasso di intersezione. L'obiettivo era quello di classificare le prestazioni di 182 pazienti con ictus, con o senza compromissione in memoria di lavoro spaziale, e 65 controlli sani. In media, i pazienti che mostravano anche neglect avevano prestazioni in memoria di lavoro spaziale inferiori rispetto ai

pazienti senza neglect e ai controlli sani. Inoltre, i dati suggerivano che la compromissione della memoria di lavoro spaziale nei pazienti con neglect non riflette una compromissione funzionale o cognitiva generale ma una compromissione specifica nell'elaborazione visuospatiale. Due misure dell'organizzazione della ricerca visiva erano inferiori nel gruppo di pazienti con un deficit di memoria di lavoro spaziale: il numero di rivisitazioni e best-R. Non è ancora chiaro se queste misure siano ancora più colpite in presenza di neglect, tuttavia la ricerca visiva disorganizzata in pazienti con neglect potrebbe essere un segno comune di memoria di lavoro spaziale alterata, mentre la differenza di omissioni lateralizzate è rappresentativa del deficit di attenzione lateralizzato - il sintomo principale di neglect.

Un altro esempio di compito di cancellazione digitalizzato è quello utilizzato nello studio di Rinaldi e colleghi (2020), descritto nel capitolo precedente, i quali hanno somministrato un compito di cancellazione digitalizzato che ha permesso la registrazione di parametri sia cronometrici che spaziali (cioè misurati in coordinate vettoriali x e y) e di una varietà di indici che hanno catturato meglio le prestazioni rispetto alle versioni classiche carta e matita. Fondamentalmente, questi indici sono stati informativi sulle prestazioni visuospatiali complessive, a partire dal punto di partenza della ricerca visiva al percorso di scansione adottato e alla distribuzione complessiva delle risorse attenzionali. La performance al compito di cancellazione è stata analizzata mediante quattro indici:

- *Epicentro soggettivo*. Per ogni stimolo target cancellato, il punto medio del segno è stato calcolato sulle coordinate x e y generate dalla penna mentre segnava il bersaglio. Il punto medio di tutti gli obiettivi contrassegnati (cioè i punti medi di ciascun segno) è stato calcolato per ciascun partecipante e indicato come epicentro soggettivo.
- *Primo segno*. Questo indice si riferisce alla posizione spaziale delle coordinate del punto medio (x , y) del primo segno. Sia per l'epicentro soggettivo che per il primo segno, tutti i valori positivi/negativi si riferiscono allo spostamento destro/sinistro e alto/basso rispetto al centro obiettivo $(0, 0)$. Il centro obiettivo si riferisce alla media delle coordinate spaziali (cioè orizzontale e verticale) dei bersagli da cancellare (cioè non si basa sul centro del foglio).

- *Spostamenti direzionali.* I movimenti all'interno di ciascun asse (cioè orizzontale e verticale) e tra i segni sono stati calcolati come spostamenti da sinistra a destra (o dal basso verso l'alto), come spostamenti da destra a sinistra (o dall'alto verso il basso) o come non movimento. I dati sono stati calcolati dal primo movimento, sottraendo ogni valore di cancellazione dal precedente (cioè partendo dal secondo target cancellato). Un valore positivo (cioè, +1) indica uno spostamento da sinistra a destra o dal basso verso l'alto e un valore negativo (cioè -1) indica uno spostamento nella direzione opposta. I non movimenti all'interno di ciascun asse (cioè $<0,3$ mm) sono stati valutati come neutri (cioè 0).
- *Indice di regolarità.* Questo indice è stato calcolato sulle deviazioni standard di tre obiettivi consecutivi (cioè, punti medi di entrambe le coordinate x e y) ed è stato indicativo del fatto che la scansione visuomotoria dei partecipanti abbia deviato da un percorso ottimizzato attraverso gli obiettivi. Un indice regolare alto indicava uno schema di ricerca in cui venivano cancellati i bersagli distanti invece di quelli prossimali: quindi, più basso era l'indice di regolarità, migliore era l'esplorazione visuomotoria.

L'analisi degli indici descritti ha evidenziato quanto bambini in età prescolare abbiano una tendenza a adottare strategie di scansione meno ottimizzate (cioè, la ricerca di bersagli più distanti a sinistra, considerando la loro propensione per la scansione a partire da destra a sinistra). I risultati hanno anche evidenziato una migliore performance visuospatiale in funzione dell'età, come indicizzato dal minor numero di omissioni e dai valori di regolarità più bassi (cioè, scansione più ottimizzata) nei bambini di seconda elementare destrimani rispetto ai bambini in età prescolare destrimani, in linea con quello riportato da Woods et al. (2013).

2.3.3 Estrazione ed uso di indici nell'E-BTT

La qualità dell'esplorazione e della scansione dello spazio, dunque, viene spesso indagata attraverso compiti di cancellazione selettiva di stimoli e ricerca visiva. Grazie alla possibilità di digitalizzare questi test è stato possibile anche raccogliere in automatico e più velocemente informazioni sulla qualità della performance, che, oltre a considerare errori e omissioni, consideri anche il pattern di scansione e di ricerca visiva eseguito,

spesso su pc o tablet. Partendo dalle coordinate spaziali di ciascun segno e considerando l'ordine di disposizione dal primo all'ultimo, è stato quindi possibile sviluppare degli indici informativi.

L'uso di questi indici di organizzazione di ricerca visiva potrebbe essere un'interessante ispirazione per i dati dell'E-BTT per ottenere una misura rapida di strategie di organizzazione adottate in un compito ecologico di valutazione di abilità visuospatiali. La differenza sostanziale tra un compito come l'E-BTT e un compito di cancellazione o ricerca di stimoli è proprio l'assenza di stimoli target quindi obiettivi predefiniti da discriminare rispetto ai distrattori; il partecipante ha davanti a sé uno spazio vuoto su cui deve organizzare i dischetti, i quali, infatti, possono essere posizionati liberamente sullo spazio, purché si rispetti l'istruzione iniziale, e in qualsiasi sequenza che si preferisca. Questa flessibilità nella disposizione può generare diverse strategie spaziali. Nonostante le notevoli differenze con l'attività di cancellazione, anche il risultato dell'attività E-BTT è costituito da una serie di coordinate e la nuova versione potenziata del compito E-BTT grazie al software E-tan consente l'automatizzazione della raccolta di dati sulle coordinate spaziali degli oggetti posizionati sullo spazio.

Finora la spazialità (in particolare la lateralità) è stata l'unica dimensione indagata, attraverso l'analisi dell'asimmetria destra-sinistra o dello pseudoneglect. Ciò è ovviamente dovuto all'obiettivo originale del compito del BTT, la valutazione della negligenza unilaterale. Tuttavia, estendendo questo orizzonte anche ad altri obiettivi di ricerca, come quello sull'organizzazione e pianificazione dei soggetti con neglect, oppure ad altri gruppi di partecipanti, ad esempio in età evolutiva a sviluppo tipico o atipico, con l'obiettivo di studiare aspetti differenti della cognizione spaziale, sarebbe interessante prestare attenzione anche a questa nuova possibilità di esplorazione.

L'obiettivo è infatti quello di creare indici di organizzazione spaziale, considerando gli indici utilizzati negli studi sui compiti di cancellazione come indicatori di strategie di ricerca visiva. Tali misure ispirate alle nuove informazioni disponibili potrebbero essere accorpate a quelle già utilizzate in passato e sarebbero molto utili per gettare una nuova luce sugli studi sulla cognizione spaziale ma anche per definire cut-off che distinguano tra pazienti e soggetti sani, ma anche chi tra questi ha deficit in funzioni cognitive superiori che potrebbero compromettere l'abilità di organizzazione spaziale, il che

sosterrebbe ulteriormente il lavoro dei clinici. L'identificazione delle strategie di organizzazione spaziale potrebbe dare informazioni sui processi visuospatiali e sull'attenzione dei pazienti con lesioni o disturbi dell'attenzione visuospatiali. È utile valutare l'organizzazione della ricerca durante la valutazione neuropsicologica poiché chi mostra una ricerca disorganizzata potrebbe riscontrare problemi di organizzazione spaziale durante attività di vita quotidiana.

Questo obiettivo ha portato ad un elenco di indici vecchi e nuovi da applicare nella futura ricerca con il compito E-BTT e altre varianti di compiti di valutazione delle abilità visuospatiali. Su questa lista di indici si potrebbe fare una prima classificazione tra indici spaziali e indici di qualità:

- Gli indici spaziali riassumono la posizione in cui sono stati disposti gli oggetti; questi indici sono a loro volta suddivisi in indici di lateralità (se calcolati sulle coordinate X) o indici di verticalità (calcolati sulle coordinate Y). Esempi:
 - *Primo e ultimo quadrante*: lo spazio interno della cornice è virtualmente diviso in quattro parti uguali in base a ciascun asse; quindi, questi indici identificano il quadrante del primo e dell'ultimo dischetto selezionato.
 - *Prima X e prima Y*: Corrisponde alla coordinata X e alla coordinata Y del primo disco posizionato, in cm, che potrebbero essere utili per dare un'idea della prima direzione dell'esplorazione spaziale.
 - *Bias di lateralità o verticalità*: sviluppato da Facchin (2017) corrisponde al rapporto tra la differenza dei dischi sul lato destro-sinistro (o alto-basso) e il loro numero totale, in percentuale.
 - *Centro di massa verticale o orizzontale*: baricentro della distribuzione per avere un'idea di quanto la configurazione complessiva sia spostata a sinistra o a destra, in alto o in basso.
- Gli indici di qualità, invece, informano sul modo in cui sono stati posizionati gli oggetti e quindi sull'organizzazione della sequenza spaziale. Esempi:
 - *Area totale*: area totale esplorata. Lo spazio disponibile all'interno della cornice può essere esplorato in molti modi, ma quanto di questo sia occupato dai sedici dischi potrebbe essere un indice di qualità della prestazione.

- *Tempo totale.* Il tempo di esecuzione è stato calcolato come differenza tra l'ora finale e l'ora di inizio (posizionamento del primo disco).
- *Numero di intersezioni, frequenza di intersezioni, percorso più lungo.* Questi tre indici fanno riferimento allo stesso costrutto, quindi vengono messi insieme. Il numero di intersezioni è la somma di ogni intersezione nella linea immaginaria che collega ogni disco al successivo. La frequenza di intersezioni è calcolata facendo la media del numero di intersezioni (cioè dividendo per 15 segmenti) mentre il percorso più lungo è il numero più alto, per ogni sequenza, di linee senza intersezioni. Questi indici sono stati utilizzati come misura dell'organizzazione della ricerca visiva. Concettualmente, una sequenza di qualità alta non dovrebbe tornare nelle stesse posizioni, ovvero la sequenza non dovrebbe intersecarsi con sé stessa.
- *Velocità globale.* La velocità globale è ovviamente calcolata come rapporto tra distanza esplorata e tempo totale, potrebbe essere utilizzato come indice di disorganizzazione. Praticamente, minore è la velocità, più disorganizzato dovrebbe essere lo schema.
- *Best-R* (e Best-R verticale e Best-R orizzontale). La più alta, in valore assoluto, tra le due correlazioni di Pearson tra le coordinate (X e Y separatamente) e il loro ordine, indice di una sequenza di disposizione sequenziale ortogonale dei dischetti (destra-sinistra o alto-basso).
- *Angolo standardizzato.* Una integrazione alle informazioni fornite dalla Best-R per valutare una disposizione differente da quella destra-sinistra o alto-basso, ad esempio una strategia a spirale. L'angolo tra due punti è calcolato come arcoseno del rapporto tra la distanza verticale (la differenza tra le due Y) tra due punti e la loro distanza euclidea. Quindi ogni angolo viene standardizzato e mediato.

L'applicazione di questi indici dovrebbe portare poi alla valutazione di quali tra questi restituiscano, nel modo più affidabile possibile, le strategie di disposizione degli oggetti. In letteratura, ad esempio, l'utilizzo di indici di qualità dell'organizzazione della ricerca visiva (Rabuffetti et al., 2012; Brink et al., 2016) hanno consentito di comprendere quali individuano meglio la strategia più efficiente. Mentre non si sono osservate differenze per

quanto riguarda la distanza, il numero di intersezioni differiva per tutti i gruppi. La direzione e lo schema della ricerca hanno influenzato la distanza che era più piccola nel caso di un "modello a serpente" in direzione verticale e più grande nel caso di un "modello a dente di sega" in direzione orizzontale. Pertanto, punteggi elevati per la distanza non implicavano necessariamente una ricerca disorganizzata, poiché tutte e quattro le possibili scelte (cioè, direzione orizzontale o verticale e un modello a serpente o a dente di sega) erano strutturate. Tuttavia, la distanza potrebbe comunque dire qualcosa sulla differenza nella scelta del modello e della direzione tra i pazienti colpiti da ictus e i soggetti sani di controllo.

Il percorso di cancellazione più comune scelto dai soggetti sani di controllo nello studio di Rabuffetti e colleghi (2012) era in direzione orizzontale, in quello di Brink e colleghi (2016) era un "modello a serpente" nella direzione verticale e raramente uno schema "a dente di sega" o in direzione orizzontale. I pazienti invece hanno mostrato una varietà di schemi e direzioni, che possono spiegare la distanza media maggiore rispetto al gruppo di controllo sano. Secondo gli autori, una possibile spiegazione per le differenze nella scelta del modello e della direzione di ricerca è che il "modello a serpente" nella direzione verticale, che è stato scelto di più da soggetti sani di controllo, è stato il modello di cancellazione più efficiente in questo tipo di test specifico (ad esempio, obiettivi consecutivi erano i più vicini). È probabile che i pazienti con ictus abbiano maggiori difficoltà nell'ottenere una rapida panoramica corretta in layout spaziali (complessi), ad esempio a causa del rallentamento dell'elaborazione delle informazioni e/o della disfunzione esecutiva, con conseguente difficoltà nella scelta del modello più efficiente.

L'obiettivo per il prossimo futuro è quello di definire quali tra questi indici può sintetizzare meglio il tipo e la qualità della performance al compito E-BTT, sia dal punto di vista di distribuzione spaziale sia da quello dell'organizzazione spaziale, grazie ai nuovi dati raccolti attraverso la piattaforma E-TAN. Le misure sono state incluse poiché coerenti con quanto riportato in letteratura sui compiti di ricerca visiva sullo spazio peripersonale: è chiaro che l'E-BTT è un tipo di compito differente che richiede processi cognitivi e motori diversi per la sua esecuzione ed è necessario effettuare ulteriori raccolte dati e studi per identificare il modo migliore per descrivere tali dati ed elaborarli al fine di produrre nuove conoscenze e semplificare il lavoro di clinici e ricercatori nell'ambito della cognizione spaziale. Chiaramente non ci sono ancora punteggi normativi per le

misure citate per comparare le prestazioni degli individui con lesioni o sani, i valori ricavati sono solo preliminari rispetto alle prestazioni di individui sani e non devono essere considerati come definitivi o direttivi per i clinici.

L'importanza di ottenere automaticamente questi indici spaziali e di qualità risiede nel fatto che consente di ottenere dati quantitativi e precisi sulle misure del neglect in primis, ma anche dati qualitativi che offrono più insight rispetto ai compiti carta e matita. Compiti come quello dell'E-BTT potrebbero estrarre misure interessanti non solo in pazienti con neglect adulti e in età evolutiva, ma anche in altri gruppi di partecipanti, ad esempio con disturbo da deficit di attenzione e/o iperattività o dislessia evolutiva, per i comportamenti spaziali mostrati rispetto al gruppo di controllo e riportati nel capitolo precedente.

L'obiettivo è quello di aprire la raccolta dati con il software E-tan, il compito E-BTT e altre variazioni possibili, in modo da ottenere dati in larga scala sia da pazienti, che da individui sani e stimolare nuove opportunità di ricerca.

- CAPITOLO TRE -

**DIREZIONE E ASIMMETRIE VISUOSPAZIALI: STUDI
SU CAMPIONI DI ADULTI E BAMBINI**

3.1 Valutazione dello pseudoneglect di giovani adulti mediante strumenti tangibili e digitali

3.1.1 Scopo dello studio

Come riportato nell'analisi della letteratura, i test di valutazione nati in ambito clinico allo scopo di rilevare e monitorare i deficit della cognizione spaziale, come la negligenza spaziale unilaterale, sono stati ampiamente utilizzati anche con persone sane, evidenziando quanto il fenomeno dello pseudoneglect, ovvero la tendenza a direzionare l'attenzione verso il campo visivo spaziale sinistro, sia consistente. Il primo studio descritto ha coinvolto un campione di partecipanti sani in sessioni sperimentali di raccolta dati attraverso la somministrazione di diversi compiti di cognizione spaziale, tra cui l'E-BTT attraverso il software E-Tan.

La scelta dei test spaziali utilizzati per il presente studio è stata guidata dalla necessità di comparare la prestazione all'E-BTT con la prestazione ad altri compiti ideati per valutare capacità spaziali presenti in letteratura, come i compiti di cancellazione di stimoli, bisezione di linee, e il labirinto radiale, in questo contesto in versione digitale. Per questo motivo, due domande di ricerca hanno motivato lo studio qui presentato: la prima riguarda la manifestazione dello pseudoneglect nei compiti spaziali menzionati, in quanto in letteratura viene evidenziato un effetto del compito e degli stimoli sul bias di attenzione visuospatiale. La seconda domanda di ricerca riguarda il legame che può sussistere tra le diverse manifestazioni dello pseudoneglect. Ci siamo chiesti in particolare, se sia possibile individuare, attraverso diverse misure di pseudoneglect, dei sottotipi di osservatori.

3.1.2 Materiali e metodi

La raccolta dati del presente studio è stata svolta dal 3 febbraio al 2 marzo 2020. Un campione di convenienza di 93 studenti (77 femmine) dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", destrimani e di età compresa tra 18 e 26 anni (media = 19.7, DS = 1.5), hanno confermato la disponibilità a prendere parte alle sessioni di valutazione. I criteri di inclusione per il reclutamento dei partecipanti comprendevano: dominanza manuale destra, valutata chiedendo ai partecipanti la mano utilizzata per scrivere; visione normale o corretta ed un quoziente intellettuale nella norma, espresso dal punteggio alle

Matrici Progressive Avanzate di Raven. Per quanto riguarda le APM di Raven, il punteggio complessivo dei partecipanti (Media = 9.99, DS = 1.912) non si è discostato da quello del campione normativo italiano ($p = 0.27$). La scelta di coinvolgere esclusivamente destrimani è stata fatta in base all'evidenza, riportata nel primo capitolo, di una maggiore variabilità delle prestazioni nei compiti visuospatiali degli individui mancini e di una diminuzione degli effetti di pseudoneglect.

Il consenso informato scritto è stato ottenuto da tutti i partecipanti. Lo studio è stato approvato dal Comitato etico locale dell'Università di Napoli "Federico II" [numero protocollo: 12/2020] ed è stato condotto in conformità con la Dichiarazione di Helsinki.

Le misure delle abilità descritte sono state ottenute attraverso:

- *Matrici Progressive Avanzate di Raven.* Al fine di ottenere una misura del funzionamento cognitivo dei partecipanti, sono state somministrate le Matrici Progressive Avanzate di Raven (APM; Raven, 1962; validazione italiana a cura di Fabio e Clarotti, 2005). Le matrici progressive di Raven sono utilizzate per misurare l'intelligenza non verbale e "fluida" e richiedono l'analisi diretta, la costruzione e l'integrazione di una serie di concetti visivi. Le domande consistono in disegni geometrici con un pezzo mancante, gradualmente più complessi: l'istruzione è quella di scegliere il pezzo mancante tra otto risposte, disposte sotto l'immagine incompleta. Per il presente studio, è stato somministrato solo il set I (12 domande con 8 possibili risposte).
- *E-BTT.* Il compito E-BTT, che ha consentito una valutazione delle capacità cognitive spaziali utilizzando sia oggetti fisici e tangibili, sia un ambiente digitale al fine di migliorare la capacità informativa del test, è stato somministrato attraverso la piattaforma E-Tan, ed è descritto nel capitolo precedente.
- *Cancellazione di stimoli digitale.* Nel presente studio abbiamo somministrato un compito di cancellazione di stimoli digitale, sviluppato da Gigliotta e colleghi (2017) e descritto nel capitolo precedente, originariamente finalizzato a confrontare le prestazioni tra umani e neuroagenti. Brevemente, ai partecipanti viene richiesto di selezionare 5 cerchi rosso scuro disposti casualmente sullo schermo di un tablet, il più rapidamente per 30 prove consecutive. Ogni prova è preceduta da un cerchio verde situato al centro dello schermo che i partecipanti

devono selezionare per far partire ciascuna prova. Gli stimoli selezionati si colorano di un rosso più luminoso. La cancellazione digitale descritta, dunque è stata utilizzata per valutare la presenza di pseudoneglect in un compito che misura la velocità di reazione visuo-motoria nella selezione di stimoli nello spazio peripersonale.

- *Bisezione di linee digitale.* Il compito di bisezione di linee prevede che al partecipante vengano presentate una serie di linee e gli si chiedi di barrare esattamente il centro dividendo le linee in due uguali metà. Per la presente ricerca il compito di bisezione di linee è stato somministrato in versione digitalizzata. Il compito è stato sviluppato dai ricercatori Gigliotta e Bartolomeo (non pubblicato) ed è composto da 30 prove in ciascuna delle quali è presentata una linea orizzontale, disposta in maniera casuale nello spazio. Le linee variano sia in lunghezza durante i trial, passando da 12 cm a 15 cm e l'ascissa del centro delle linee di 12 cm varia tra i seguenti valori in cm: [-2; -1; -0.5; 0.5; 1; 2]; mentre per linee di 15 cm l'ascissa varia tra: [-1; -0.5; 0.5; 1]. Le ordinate di entrambe assumono i valori: [-3; 0; 3].
- *Labirinto Radiale digitale.* È stato somministrato, infine, un compito digitalizzato del Labirinto Radiale (presentato nel capitolo 2), sviluppato da Mandolesi e Gigliotta (2021) sulla base della precedente versione da tavolo. Come nella versione da tavolo del RAM, nella presente versione digitalizzata, il compito di Labirinto Radiale digitale consiste di un'area centrale da cui si irradiano 8 bracci. L'obiettivo del compito è spostare una coccinella posizionata al centro del labirinto, lungo tutti i bracci per recuperare le altre coccinelle (ricompense) nascoste sotto i vasi alla fine di ogni braccio. Per risolvere il labirinto, possono essere implementate diverse strategie (ad esempio visitare una specifica sequenza di bracci, adiacente, opposta o alternata, ecc.) utilizzando o meno competenze mnesiche a breve termine o competenze di tipo procedurale.

3.1.3 Procedura

Le sessioni di raccolta dati sono state condotte in una sala silenziosa dell'Università Federico II di Napoli in cui era posizionato un tavolo ampio con alcune sedie; sul tavolo era posizionato un computer portatile di fronte allo sperimentatore, un piccolo tablet ed il

kit per la somministrazione del compito E-BTT. Ai partecipanti è stato chiesto di sedersi al tavolo di fronte allo sperimentatore. La procedura ed i test somministrati sono descritti di seguito; il tempo totale medio per la somministrazione di tutti i test è stato di 20 minuti.

La batteria di test è stata somministrata nell'ordine seguente: Matrici Progressive Avanzate (APM) di Raven, E-BTT, cancellazione digitale, bisezione di linea digitale e labirinto radiale digitale. Ciascuno degli ultimi 3 compiti è stato somministrato mediante un software specifico in esecuzione su un tablet da 8"; i compiti su tablet sono stati effettuati dai partecipanti mediante una penna stilo per interagire con lo schermo. I partecipanti erano comodamente seduti in posizione frontale al punto medio sia della cornice del compito E-BTT sia del tablet, che era posto sul tavolo in una posizione in modo da formare un angolo da 30°.

Successivamente alle APM è stato somministrato il compito E-BTT: i partecipanti erano seduti di fronte alla cornice posizionata sul tavolo, i dischetti erano posizionati in pile di quattro davanti alla cornice, dunque vicini al corpo dei partecipanti. L'istruzione alla quale dovevano attenersi i partecipanti era di disporre tutti i 16 dischetti, uno alla volta, sul piano all'interno della cornice nel modo più uniforme possibile, come se fossero biscotti da mettere su una teglia da forno (questa metafora è quella utilizzata nella procedura originale).

Quindi, è stato somministrato il compito di cancellazione di stimoli la cui istruzione era di selezionare dapprima il cerchio verde e successivamente ogni cerchio che sarebbe comparso sullo schermo nel minor tempo possibile. L'istruzione del compito di bisezione di linea, somministrato successivamente, era di selezionare il centro per dividere a metà le linee che sarebbero comparse gradualmente sullo schermo. Infine, è stato somministrato il compito del labirinto radiale in versione digitalizzata ed ai partecipanti è stato chiesto di esplorare tutti i bracci dei labirinti che sarebbero apparsi sullo schermo trascinando la coccinella dal centro per trovare tutte le altre coccinelle poste sotto i barattoli alla fine di ciascun braccio in un tempo massimo di 60 secondi per ciascun labirinto.

3.1.3 Risultati

Le analisi dei dati sono state condotte con il software JASP (JASP team, 2020), un software open source supportato dall'università di Amsterdam. La versione utilizzata qui è la 0.12.2. L'analisi dei cluster è stata eseguita mediante il software R (R Core Team, 2018).

Per rispondere alla prima domanda di ricerca, ovvero se i partecipanti mostrano effettivamente un bias di attenzione visuospatiale rivolto più a sinistra quando iniziano un compito o un trial, abbiamo effettuato le seguenti analisi:

- Per quanto riguarda le Matrici Progressive Avanzate di Raven è stata misurata la lateralizzazione delle risposte errate: ciò significa che qualora la risposta non risultasse corretta, è stato analizzato il lato dell'alternativa scelta, così come in Costa e colleghi (1969). In questo studio i ricercatori hanno utilizzato il test delle matrici di Raven per analizzare le prestazioni dei pazienti con lesione cerebrale, al fine di esplorare un modello di deficit comportamentale associato a negligenza spaziale unilaterale. Secondo gli studiosi, la disposizione spaziale delle alternative di risposta delle matrici di Raven (a sinistra, al centro o a destra della pagina) consente di identificare la preferenza di risposta come un indice comportamentale di neglect. I loro risultati di ricerca hanno mostrato che 27 su 70 pazienti con lesione laterale (principalmente destra) preferivano alternative di risposta dal lato della lesione.

Le otto alternative tra cui ciascun partecipante deve scegliere la risposta corretta sono disposte simmetricamente sui due lati (1, 2, 5 e 6 a destra e le altre quattro a sinistra). Nel nostro studio l'ANOVA univariata a misure ripetute ha rivelato infatti un effetto significativo del lato della scelta, $F(1,92) = 10.688$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.104$. I partecipanti tenderebbero a selezionare un'alternativa (erronea) a sinistra più frequentemente (Media = 1.247, DS = 1.265) rispetto alle alternative poste a destra (Media = 0.774, DS = 1.095).

- Per l'analisi delle prestazioni all'E-BTT, il software E-Tan registra le coordinate spaziali (X-Y) di ogni singolo dischetto posizionato ed altri indici di valutazione della performance fornita, così come descritto nel secondo capitolo. L'output dei dati consiste in un file .csv con le coordinate in pixel (poi normalizzate in centimetri). È stato posto 0 come il centro della cornice (coordinate 0,0) in un sistema di riferimento cartesiano. Ai fini del presente studio, sono prese in considerazione solo le coordinate

dei dischetti sull'asse delle X (destra-sinistra), misurate in centimetri. X negative indicano punti a sinistra del centro della cornice e X positive a destra. In particolare, sono state utilizzate le coordinate del primo dischetto posizionato sulla cornice della superficie e le coordinate di tutti i 16 dischetti per il calcolo del centro di massa della distribuzione dei dischetti (media delle X dei 16 dischetti).

Il test Wilcoxon-Mann-Whitney a due code ha rivelato un effetto significativo, $Z = 704.5$, $p < 0.001$, della X del primo dischetto posizionato, per cui essa è spostata a sinistra e significativamente diversa da 0 (il centro della superficie esplorabile; Media = -16.176 , DS = 17.055). Anche la media delle ascisse di tutti i dischetti risulta spostata verso sinistra ($Z = 1042$, $p < 0.001$; Media = -1.572 ; DS = 3.629), seppur di poco. Infine, il piano di disposizione dei dischetti è stato diviso in 4 quadranti e sono state analizzate le frequenze di disposizione del primo dischetto posizionato (Tab. 4).

	Sinistra	Destra
<i>Porzione superiore</i>	51	2
<i>Porzione inferiore</i>	28	12

Tabella 4. Disposizione del primo dischetto posizionato. La porzione inferiore corrisponde alla parte più vicina ai partecipanti, quella superiore la parte più distante

Su 93 partecipanti, 79 hanno disposto il primo dischetto nella parte sinistra della superficie disponibile (51 nella porzione superiore e 28 in quella inferiore), mentre i restanti 14 hanno posizionato il primo dischetto nella parte destra. L'analisi effettuata del chi quadro di Pearson 1×4 tra le quattro alternative di posizionamento ha portato ai seguenti risultati: $\chi^2 = 58.96$, gdl = 3, $\chi^2 / \text{gdl} = 19.65$, $p < .001$. Dunque, il risultato dimostra una preferenza statisticamente significativa a posizionare il primo dischetto nei quadranti di sinistra.

- Per la cancellazione digitale, come per l'E-BTT, il centro del display aveva coordinate 0,0, per cui le coordinate sull'asse delle X indicavano risposte sulla sinistra, viceversa coordinate positive risposte sulla destra. In particolare, per il compito di cancellazione

è stata calcolata la coordinata esatta (in pixel) del punto toccato dal partecipante per selezionare il primo stimolo di ogni prova. Tali coordinate sono risultate essere significativamente diverse da 0, ovvero il centro, $Z = 867$, $p < 0.01$, e spostate verso sinistra (Media = -42.019 , DS = 71.651).

- Per il compito di bisezione di linee digitale, sono state computate separatamente le coordinate del punto indicato come punto medio (sempre ponendo 0 come il centro e considerando solo l'ascissa) delle linee di 12 e di 15 centimetri, dividendole a loro volta in linee presentate sulla Sinistra (L) o sulla destra (R) dello schermo. In tutte e quattro le combinazioni, le coordinate differivano significativamente dal centro (Tab. 5).

LINEA	Z	GDL	P	MEDIA	DS
<i>12CML</i>	800.5	92	< .001	-0.121	0.405
<i>12CMR</i>	3191	92	< .001	0.054	0.300
<i>15CML</i>	387.5	92	< .001	-0.286	0.308
<i>15CMR</i>	3556	92	< .001	0.189	0.359

Tabella 5 T-test a un campione sullo spostamento della bisezione rispetto al centro per ciascuna linea

Anche se di poco, i partecipanti deviavano la bisezione verso sinistra quando le linee erano presentate sul lato sinistro dello schermo, e a destra quando queste erano presentate sul lato destro dello schermo. È stata quindi condotta una ANOVA 2×2 (lateralizzazione linea: destra o sinistra) \times (lunghezza: 12 o 15 cm) ponendo come variabile dipendente la coordinata X delle risposte dei partecipanti. L'effetto principale del lato è risultato significativo, $F(1,92) = 39.440$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.223$, nella stessa direzione di sopra (Media sinistra: -0.203 , Media destra: 0.122), così come l'interazione lateralizzazione*lunghezza, $F(1,92) = 38.206$, $p < 0.01$ (Fig. 18); mentre non lo è l'effetto principale della lunghezza della linea ($p = 0.501$).

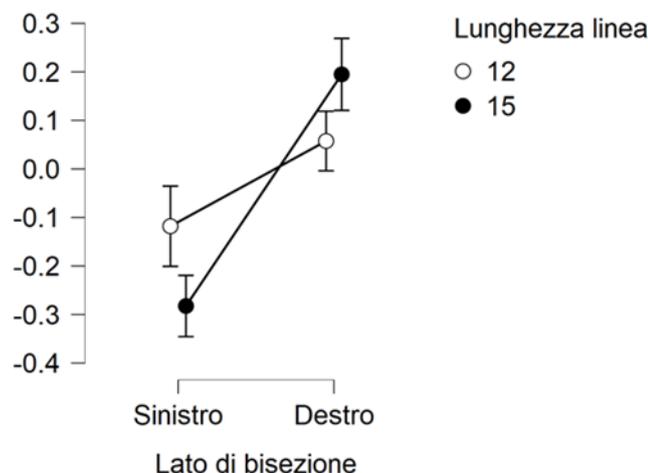


Figura 18 Effetto di interazione tra lateralizzazione della bisezione e lunghezza della linea

Ai confronti post-hoc, tutti i confronti a coppie sono risultati significativi, per cui per le linee più lunghe, il partecipante sembrava deviare di più verso il lato coerente con il lato di presentazione della linea, un effetto meno marcato invece per le linee più corte.

- Anche nel caso del Labirinto Radiale digitale le coordinate (in pixel) prese in considerazione sono quelle sull'asse delle X, ponendo come 0 il centro dello schermo. Per gli scopi di questo studio, inoltre, sono state computate le coordinate del primo braccio esplorato del solo labirinto a otto bracci. A differenza dei risultati degli altri test, troviamo qui una tendenza media verso destra. La media delle ascisse del primo braccio scelto per l'esplorazione tende significativamente verso destra, $Z = 474.5$, $p = 0.002$, Media = 35.247, DS = 109.553.

Per rispondere alla seconda domanda, ovvero se sia possibile trovare una relazione tra espressione dello pseudoneglect nel compito E-BTT e negli altri compiti somministrati e se sia possibile individuare dei gruppi specifici, abbiamo effettuato le seguenti analisi:

- Al fine di verificare una possibile correlazione tra espressione di bias visuospatiale tra diversi compiti somministrati, analisi di correlazione sono state condotte tra coordinate del primo dischetto posizionato del compito E-BTT e i punteggi agli altri test visuospatiali. I risultati mostrano che le coordinate del primo dischetto non risultano essere associate né con il punteggio generale alle matrici di Raven (Correlazione di Pearson, $p = 0.78$), né con gli altri test visuospatiali (cancellazione: $p = 0.384$; bisezione linea 12cm sinistra: $p = 0.098$; bisezione linea 12cm destra, $p =$

0.522; bisezione linea 15 cm sinistra, $p = 0.304$; bisezione linea 15 cm destra, $p = 0.343$; labirinto radiale: $p = 0.842$). Il centro di massa, calcolato come media delle ascisse di tutti i dischetti, correla significativamente con il compito di bisezione di linea, seppure con r basse: per quanto riguarda le linee spostate verso sinistra, a prescindere dalla lunghezza, la correlazione è negativa (12 cm: $r = -0.395$, $p < 0.001$; 15 cm: $r = -0.233$, $p < 0.05$), mentre è positiva per le linee spostate verso destra (12 cm: $r = 0.318$, $p < 0.01$; 15 cm: $r = 0.206$, $p < 0.05$).

- Infine, allo scopo di evidenziare possibili raggruppamenti tra i soggetti si è proceduto ad una analisi dei cluster preliminare dei partecipanti secondo le prestazioni al compito E-BTT (ascissa del primo dischetto e ascissa media di tutti i dischetti), del compito di cancellazione (ascissa media del primo stimolo cancellato), di bisezione di linee (errore di bisezione per linee di 12 e 15 cm posizionate a destra e a sinistra) ed infine l'ascissa del primo braccio esplorato nel compito del labirinto radiale. La clusterizzazione è stata effettuata con il pacchetto NbClust del software R (R Core Team, 2018). Dall'analisi sono emersi 5 cluster con la seguente numerosità: 1(40), 2(44), 3(8), 4(9), 5(1). Nella fase di analisi dei cluster si è proceduto a rivalutare le correlazioni tra variabili. Il cluster 5, essendo composto da una sola unità, non è stato considerato. Nel cluster 1 viene evidenziata una moderata correlazione negativa tra cancellazione e bisezione delle linee di 15 cm posizionate a sinistra ($r = -0.39$, $p = 0.01$) e tra E-BTT e linee di destra di 12 cm ($r = -0.39$, $p = 0.01$). Nel cluster 2 si evidenzia una bassa correlazione negativa tra media delle ascisse dei dischetti dell'E-BTT e bisezione ($r = -0.31$, $p = 0.04$). Nel cluster 3 si evidenzia una forte correlazione positiva tra cancellazione e bisezione linee di 15 cm di sinistra ($r = 0.76$, $p = 0.03$). Nel cluster 4 si evidenzia una correlazione positiva tra E-BTT e bisezione linee di 15 cm di sinistra ($r = 0.67$, $p = 0.048$).

3.1.4 Discussioni

L'obiettivo del presente studio è stato quello di esplorare la presenza di un bias di attenzione visuospatiale descritto in letteratura come pseudoneglect, in un gruppo di 97 studenti universitari, attraverso diversi compiti di valutazione di comportamenti visuospatiale, l'E-BTT ed altri test visuospatiali digitalizzati: cancellazione di stimoli, bisezione di linee e labirinto radiale digitale. Abbiamo evidenziato forme di

pseudoneglect nelle prestazioni all'E-BTT e in tutti i compiti tranne che nel labirinto radiale digitale, probabilmente per la differente natura del compito che richiede di partire da un punto centrale del display e spostarsi in uno degli otto bracci; è probabile che la direzione sia indirizzata più facilmente ad un braccio a destra secondo la direzione di scrittura dei partecipanti. Altro obiettivo è stato quello di esplorare una relazione tra le prestazioni ai diversi test: le correlazioni tra i compiti (quindi relative ai bias visuospatiali) all'interno del gruppo di studenti possono essere considerate trascurabili, così come emerge spesso in letteratura. I bias sono forti ma mostrano scarsa relazione tra di loro, potrebbero essere considerati differenti come nel caso di pseudoneglect registrato in diverse modalità percettive oppure avere delle relazioni non lineari o ancora essere manifestazioni di differenze individuali possibilmente legate a specifiche asimmetrie anatomiche. La clusterizzazione ha fatto emergere dei risultati che potrebbero supportare queste due ultime ipotesi riportando un quadro di legami tra le prestazioni ai compiti visuospatiali più complesso. Studi futuri sono necessari per chiarire meglio il legame sottostante le varie manifestazioni dello pseudoneglect. Un contributo importante può provenire dalla riproduzione artificiale del fenomeno attraverso neurorobot (Gigliotta et al., 2017).

3.2 Come varia lo pseudoneglect al variare di specifiche condizioni psicologiche

3.2.1 Contesto e scopo dello studio

All'inizio del 2020 la malattia da COVID-19 ha causato una pandemia mondiale (OMS, 2020) e l'Italia è stato il primo paese dell'Unione Europea ad esserne drammaticamente colpito, con un rapido e pesante impatto sulla salute pubblica fisica e psicologica. Milioni di persone hanno vissuto un brusco cambiamento nella loro vita, dovuto non solo alla diffusione della malattia ma anche alle misure messe in atto per prevenire il contagio e limitare l'epidemia. Il 9 marzo 2020, il governo italiano ha imposto una quarantena nazionale e diverse conseguenti restrizioni, che si sono concluse il 4 maggio 2020 per alcune attività e il 18 maggio 2020 per altre. Così, il primo cosiddetto *lockdown* italiano è durato 70 giorni.

Brooks e colleghi (2020) hanno esaminato ricerche precedenti sull'impatto psicologico della quarantena sulla salute mentale degli individui e hanno riportato un'elevata prevalenza di sintomi di disagio e disturbo psicologico: in particolare umore basso e irritabilità, ma anche disturbi emotivi, depressione, stress, insonnia, sintomi di disturbo post-traumatico da stress, ecc. Inoltre, hanno scoperto che gli effetti delle misure di sicurezza dovute ad una pandemia possono influenzare non solo lo stato psicologico a breve termine ma anche a lungo termine.

Di conseguenza, le restrizioni potrebbero influenzare lo stato cognitivo ed emotivo legato a diversi ambiti della vita tra gli studenti, inducendo inoltre specifici fattori di stress percepiti legati allo studio accademico, alle relazioni con i colleghi universitari, alle relazioni con i professori, all'isolamento sociale, al rischio di contagio, alle relazioni con i parenti e alla vita sessuale (Zurlo et al., 2020). Inoltre, le restrizioni potrebbero interessare anche l'attività fisica, la socializzazione (eccetto i social media virtuali), una corretta alimentazione e una buona qualità del sonno. È probabile che queste restrizioni si traducano in un aumento dello stress e delle malattie psicologiche nonché nel ricorso a strategie di coping per affrontarle (Brooks et al., 2020; Zurlo et al., 2020).

La teoria transazionale dello stress prevede un'influenza reciproca tra lo stress percepito e le prestazioni cognitive e sottolinea il ruolo chiave svolto dalle differenze individuali, come le strategie di coping, nell'influenzare questa relazione (Davies et al., 2013). Il processo di adattamento individuale a una fonte significativa di stress (come il blocco della pandemia da COVID-19) consiste in valutazioni di controllo primario (cioè possibilità percepite di modificare la situazione per ridurne l'impatto negativo) e controllo secondario (cioè possibilità percepite modificare la valutazione delle circostanze per ottenere un miglioramento positivo). Pertanto, fonti di stress simili possono avere un impatto soggettivo diverso.

Durante il primo *lockdown* italiano, la letteratura sul potenziale impatto della quarantena sulla cognizione spaziale era piuttosto scarsa. Evidenze precedenti suggerivano che i glucocorticoidi che sono correlati alla risposta dell'organismo allo stress (ad esempio cortisolo o corticosterone) potrebbero anche modulare le asimmetrie emisferiche funzionali. Ocklenburg e colleghi (2016) hanno esaminato gli studi sugli esseri umani e sulle specie non umane che studiano la relazione tra stress e lateralità ed hanno indicato

prima di tutto che sia lo stress acuto che quello cronico possono interessare diverse forme di lateralizzazione del cervello umano, spesso (ma non sempre) determinando un maggiore coinvolgimento dell'emisfero destro; inoltre, che la lateralizzazione come forma di architettura funzionale del cervello può anche rappresentare un fattore protettivo contro gli effetti negativi dello stress. Gli animali esposti a stress cronico, ad esempio, mostrano un comportamento esplorativo alterato: ad esempio ratti esposti a stress cronico nella loro prima infanzia mostrano un'atipica asimmetria verso sinistra nel comportamento di svolta (Mundorf et al., 2020). In particolare, lo stress potrebbe svolgere ruoli diversi nelle diverse fasi dello sviluppo: l'esposizione precoce potrebbe portare a cambiamenti strutturali del cervello, mentre l'esposizione successiva potrebbe modulare gli aspetti funzionali (Berretz et al., 2020).

Le misure del bias di direzione spaziale offrono la possibilità di quantificare gli effetti dello stress sulla cognizione spaziale. Un modello di asimmetria di base, evolutivamente conservato, vede l'emisfero destro assumere il controllo delle risposte a cambiamenti nuovi, impreveduti e potenzialmente pericolosi nell'ambiente (Bartolomeo & Malkinson, 2019); un altro modello descritto nel primo capitolo vede l'emisfero destro umano e le reti cerebrali fronto-parietali importanti per l'orientamento e il controllo dell'attenzione spaziale. Una relativa iperattività delle reti di attenzione dell'emisfero destro potrebbe spingere l'attenzione spaziale verso sinistra. Questo stato potrebbe contribuire al bias fisiologico verso sinistra nell'elaborazione spaziale etichettato come pseudoneglect.

L'evidenza sulle asimmetrie strutturali e funzionali del cervello relative alle reti di attenzione e alla risposta allo stress (Ocklenburg et al., 2016), ci hanno portato a ipotizzare una relazione tra stress e pseudoneglect. Poco prima dell'inizio del *lockdown* per il COVID-19, avevamo valutato le prestazioni visuospatiali in un gruppo di studenti universitari italiani, come descritto nello studio precedente. Pertanto, abbiamo avuto l'opportunità di testare le nostre previsioni confrontando le prestazioni degli studenti prima e durante il periodo di *lockdown*. Nello specifico, abbiamo deciso di verificare due ipotesi: (1) un livello di stress più elevato dovrebbe aumentare l'entità dello pseudoneglect e (2) strategie di coping efficaci che potrebbero ridurre l'attivazione dell'emisfero destro dovrebbero riflettersi in uno pseudoneglect di entità inferiore.

3.2.2 Materiali e metodi

Nel mese di febbraio 2020, poco prima del *lockdown* dovuto al COVID-19, abbiamo condotto sessioni di raccolta dati su compiti di cognizione spaziale peri-personale. La raccolta dei dati è terminata il 2 marzo, esattamente 1 settimana prima dell'inizio della quarantena. Abbiamo quindi deciso di effettuare una seconda raccolta dati a distanza con gli stessi partecipanti durante il periodo di quarantena. Nello specifico, la raccolta dati è durata 2 settimane da fine aprile a inizio maggio 2020.

Gli studenti della raccolta dati effettuata prima del *lockdown* sono stati contattati durante la quarantena e 55 studenti su 94 hanno accettato di partecipare alla seconda sessione. 7 partecipanti su 55 sono stati esclusi perché mancini, a causa dell'evidenza di una maggiore variabilità delle prestazioni nei compiti visuospatiali e di una diminuzione degli effetti di pseudoneglect. Un altro partecipante non ha concluso la sessione a causa di problemi tecnici. Il campione finale era composto da 47 studenti destrimani, di età compresa tra 18 e 24 anni ($M = 20$, $DS = 1,33$), 41 femmine e 6 maschi.

Il consenso informato scritto è stato ottenuto da tutti i partecipanti. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico Locale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (numero di protocollo: 12/2020) ed è stato condotto in conformità con la Dichiarazione di Helsinki.

Le misure, oltre ai test neuropsicologici somministrati che comprendevano le Matrici Progressive avanzate di Raven, il compito di cancellazione di stimoli, il compito del labirinto radiale, tutti i descritti nello studio precedente, sono state ottenute attraverso i seguenti questionari:

- *COVID-19 Student Stress Questionnaire* (CSSQ; Zurlo et al., 2020). Il CSSQ è stato sviluppato specificamente per valutare lo stress percepito dagli studenti universitari durante il *lockdown* dovuto alla pandemia di COVID-19. Il CSSQ si compone di 7 item su una scala Likert a 5 punti che va da 0 (“per nulla stressante”) a 4 (“estremamente stressante”). Ai fini della progettazione dello strumento, lo stress percepito è stato reso operativo sulla base di modelli transazionali dello stress. Ogni item è stato sviluppato per coprire ambiti diversi che avrebbero potuto subire variazioni a causa del *lockdown* e, quindi, che potrebbero essere potenzialmente percepiti come fonti di stress (es. rischio di contagio; isolamento sociale; relazione con i parenti; rapporto con i colleghi; rapporto con i professori;

studio accademico; rapporto di coppia, intimità e vita sessuale). La scala fornisce un punteggio di stress globale o *Global Stress* che va da 0 a 28. Il CSSQ è stato sviluppato e testato su un campione di 514 studenti universitari italiani, e si è confermato una misura valida e affidabile. Il *Global Stress* score ha rivelato correlazioni significative, nelle direzioni previste, con misure di Ansia ($r = 0,55$, $p < 0,01$), Depressione ($r = 0,56$, $p < 0,01$) e Somatizzazione ($r = 0,39$, $p < 0,01$), come valutato mediante la *Symptom Checklist-90—Revised* (SCL-90-R; Prunas et al., 2010). Il questionario ha rivelato una consistenza interna soddisfacente (alpha di Cronbach = 0,71).

I risultati dello studio di validazione della scala CSSQ hanno evidenziato la presenza di tre fattori significativi, che gli autori hanno etichettato come: 1) "Relazioni e vita accademica", che comprendeva le quattro voci relative allo stress percepito correlato alle relazioni con i parenti, alle relazioni con i colleghi, alle relazioni con professori e studi accademici; 2) "Isolamento", che comprendeva i due elementi che esploravano lo stress percepito correlato all'isolamento sociale e ai cambiamenti nella vita sessuale dovuti alle misure di contenimento; e 3) "Paura del contagio", che comprendeva l'elemento che valutava lo stress percepito correlato al rischio di infezione. Pertanto, abbiamo deciso di analizzare eventuali relazioni tra l'aumento del bias di attenzione visuo-spaziale sinistro e lo stress misurato attraverso la scala CSSQ.

- *Coping Orientation to Problems Experienced—New Italian Version* (COPE-NIV; Sica et al., 2008). Il questionario COPE-NIV è composto da 60 item su una scala Likert a 5 punti che va da 1 ("di solito non lo faccio affatto") a 4 ("di solito lo faccio molto") suddivisi in cinque sottoscale: "Sostegno sociale" (12 item che coprono strategie incentrate sulla ricerca di supporto per ragioni strumentali o emotive e focalizzazione e sfogo delle emozioni; α di Cronbach = 0,88), "Strategie di evitamento" (16 item che riguardano strategie centrate su distacco, negazione, umorismo, disimpegno da alcol e droghe, disimpegno comportamentale e disimpegno mentale; α di Cronbach = 0,70), "Attitudine positiva" (12 item che riguardano strategie centrate sulla reinterpretazione positiva e coping di contenimento; α di Cronbach = 0,76), "Orientamento al problema" (12 item che riguardano strategie centrate sulla soppressione delle attività di competizione,

pianificazione e coping attivo; α di Cronbach = 0.83) e “Orientamento trascendente” (8 elementi che coprono strategie incentrate sulla ricerca di conforto nelle pratiche religiose e spirituali; α di Cronbach = 0.85).

3.2.3 Procedura

Per la procedura della raccolta dati nella sessione pre-*lockdown* (T1) si rimanda al primo studio descritto.

Dopo circa 2 mesi dall'inizio del *lockdown* (T2) abbiamo contattato i partecipanti alla prima sessione sperimentale e un sottogruppo di 47 studenti ha preso parte alla seconda sessione sperimentale. La procedura è consistita nella somministrazione dei questionari, quindi nella somministrazione da remoto del compito di cancellazione di stimoli e del labirinto radiale digitalizzati ai partecipanti, tramite Microsoft® Teams, una piattaforma unificata di comunicazione e collaborazione che combina chat, teleconferenza, condivisione di contenuti e integrazione delle applicazioni. Ai partecipanti è stato chiesto di compilare i questionari su Microsoft® Forms, un software per la creazione di sondaggi online.

Pochi giorni dopo la compilazione dei questionari, uno sperimentatore ha avviato le sessioni di somministrazione dei test e ha svolto gli incontri online su piattaforma Microsoft® Teams, con ciascuno studente separatamente. Lo sperimentatore, assicurandosi che entrambe le connessioni di rete funzionassero correttamente, ha dapprima spiegato i metodi e le procedure della raccolta dati da remoto. Il software che implementava i compiti spaziali veniva eseguito sul computer dello sperimentatore. Dopo aver fornite le stesse istruzioni dei compiti svolti in sessione pre-*lockdown*, lo sperimentatore ha attivato la modalità di condivisione dello schermo della piattaforma Microsoft® Teams, in modo che i partecipanti avessero il controllo dello schermo dello sperimentatore e potessero svolgere i compiti. Pertanto, c'erano piccole differenze nell'interfaccia utente tra T1 e T2, in particolare perché in T1 è stata utilizzata una penna per eseguire i tocchi sul tablet, in T2 i partecipanti hanno utilizzato un mouse.

In entrambe le sessioni sperimentali sono stati analizzati i seguenti parametri.

Per le APM di Raven, oltre ai punteggi del test, abbiamo ottenuto la misura della preferenza di posizione (Costa et al., 1969), valutando la posizione nello spazio (sinistra

o destra) delle risposte di errore scelte sotto la cifra target di ciascuna matrice. Pertanto, abbiamo calcolato il numero medio di elementi scelti erroneamente per ciascun lato dello spazio, tra le quattro alternative a sinistra e le quattro a destra.

Per il compito di cancellazione, oltre alla posizione media sull'asse x del primo stimolo selezionato per ciascun partecipante (vedi paragrafo precedente, per una descrizione dettagliata della procedura), al fine di valutare potenziali differenze nel bias spaziale prima (T1) e durante (T2) il lockdown, abbiamo calcolato l'incremento della preferenza verso sinistra, nella selezione dei primi stimoli, da T1 a T2.

Per il compito del labirinto radiale, anche qui ci siamo concentrati sulla performance sul labirinto a otto bracci, che ha offerto ai partecipanti il maggior numero di potenziali strategie di esplorazione. Abbiamo valutato le coordinate del primo braccio esplorato per il labirinto a otto bracci, così come la sequenza spaziale dei bracci visitati.

3.2.4 Risultati

L'analisi dei dati è stata eseguita con il software JASP (<https://jasp-stats.org/>), versione 0.12.2.

Per quanto riguarda il compito di cancellazione di stimoli, innanzitutto, abbiamo analizzato una eventuale lateralizzazione del primo stimolo selezionato nel compito di cancellazione: i risultati hanno mostrato una distribuzione a sinistra del primo stimolo annullato sia per T1 (test a due code di Wilcoxon-Mann-Whitney, $Z = -103$, $p < 0,001$; media = -60,1, SD = 62,33) che per T2 (test a due code di Wilcoxon-Mann-Whitney, $Z = -18$, $p < 0,001$; media = -83,46, SD = 49,97), confermando così la precedente tendenza segnalata ad avviare la selezione di stimoli da uno stimolo a sinistra (pseudoneglect) su questo compito.

Quindi, è stata condotta un'ANOVA a misure ripetute sulle coordinate spaziali X del primo stimolo annullato per ogni prova in T1 e T2, per esaminare potenziali variazioni nei modelli di esplorazione spaziale. La variabile indipendente era il tempo del test (T1, T2); la variabile dipendente era la coordinata X (in pixel) del primo stimolo cancellato. La figura 19 mostra che, in media, il primo stimolo annullato a T2 era 23 pixel più a sinistra (media = -83,46 pixel, SD = 49,97) rispetto alla sua posizione al tempo T1 [media

= -60,10, SD = 62,33, $F(1,46) = 6,10$, $p = 0,017$, con un effetto moderato sulla dimensione del campione, $\eta^2 = 0,117$].

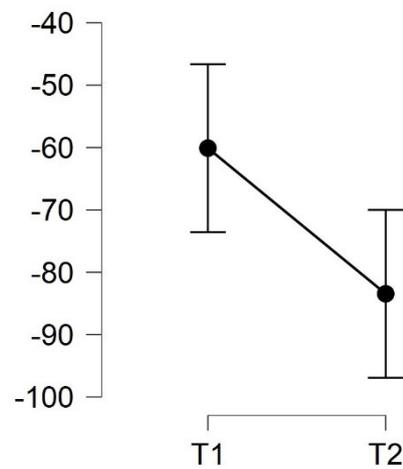


Figura 19 Media dei valori X del primo stimolo cancellato nel compito di cancellazione in T1 e T2. Le barre di errore indicano gli intervalli di confidenza del 95%.

Per valutare ulteriormente la potenziale relazione tra stress e dimensione dello pseudoneglect, abbiamo condotto un'analisi di correlazione di Pearson a due code tra i risultati al CSSQ e l'incremento di pseudoneglect da T1 a T2. L'ipotesi nulla era che le due variabili non fossero correlate nel nostro campione; al contrario, l'ipotesi alternativa era che lo stress e l'entità dello pseudoneglect fossero correlati. I risultati hanno mostrato una correlazione significativa tra la scala CSSQ e l'esplorazione dello spazio più orientata verso sinistra ($r = 0.407$, $p = 0.004$), quindi abbiamo accettato l'ipotesi alternativa e rifiutato quella nulla: in particolare, all'aumentare dei livelli di stress, anche l'esplorazione orientata a sinistra sembra essere accentuata (Fig. 20).

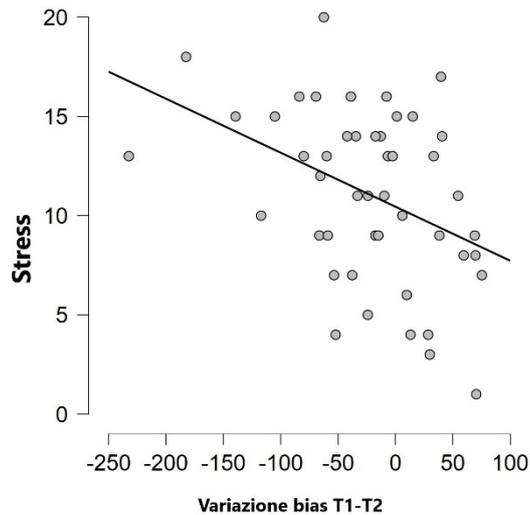


Figura 20 Relazione tra il punteggio globale della scala CSSQ e la variazione del bias verso sinistra nell'attività di cancellazione da T1 a T2.

Una seconda analisi di correlazione di Pearson a due code è stata condotta per esaminare la potenziale relazione tra strategie di coping (valutate attraverso le cinque sottoscale del COPE-NIV) e incremento di pseudoneglect da T1 a T2. I risultati hanno mostrato una correlazione significativa tra 2 su 5 sottoscale del COPE-NIV (Attitudine positiva e Orientamento al problema) e una minore esplorazione dello spazio diretta a sinistra ($r = -0,385$, $p = 0,008$ e $r = -0,308$, $p = 0,037$, rispettivamente; Fig. 21 e 22). Questa correlazione indica che lo pseudoneglect diminuisce con l'aumento delle strategie di coping positive e attive. Invece, nessuna correlazione significativa è risultata tra le altre sottoscale del COPE-NIV, ovvero Supporto sociale ($r = 0,100$, $p = 0,507$), Strategie di evitamento ($r = -0,072$, $p = 0,633$) e Orientamento trascendente ($r = -0,116$, $p = 0,445$).

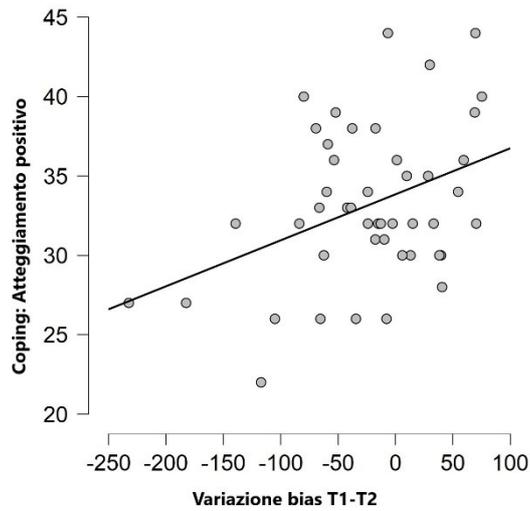


Figura 21 Relazione tra sottoscala Attitudine positiva COPE-NIV e la variazione del bias verso sinistra nell'attività di cancellazione da T1 a T2.

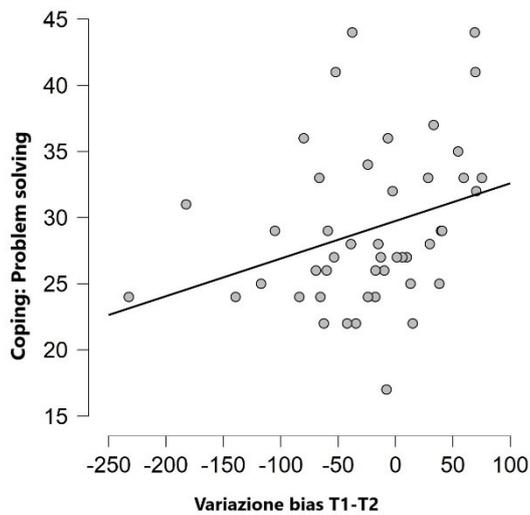


Figura 22 Relazione tra sottoscala Orientamento al problema COPE-NIV e la variazione del bias verso sinistra nell'attività di cancellazione da T1 a T2.

Abbiamo poi esaminato una eventuale lateralizzazione del primo braccio esplorato del labirinto radiale a 8 bracci e verificato la presenza di una variabilità significativa della lateralizzazione tra T1 e T2. Una ANOVA a misure ripetute sulle coordinate x del primo braccio scelto ha indicato che i partecipanti tendevano a iniziare l'esplorazione da un braccio sinistro al T2 (media = -23,04, SD = 112,74), mentre preferivano iniziare da un

braccio destro al T1 [media = 21,62, DS = 110,47, $F(1,46) = 5,31$, $p = 0,03$, $\eta^2 = 0,103$] (Fig. 23).

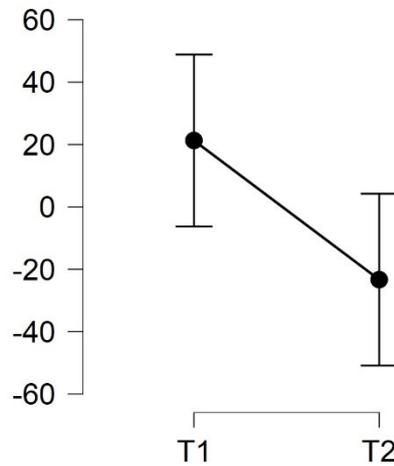


Figura 23 Media dei valori X del primo braccio esplorato sul task RAM digitalizzato a T1 e T2. Le barre di errore indicano gli intervalli di confidenza del 95%.

Quindi, per valutare una potenziale relazione tra stress/coping e la deviazione dell'esplorazione del labirinto sul lato sinistro a T2, abbiamo condotto un'analisi di correlazione di Pearson a due code tra i risultati del CSSQ/COPE-NIV e la variazione di lateralità da T1 a T2. I risultati non mostrano alcuna correlazione significativa della variazione della lateralizzazione, né con il punteggio globale della scala CSSQ ($r = -0,173$, $p = 0,246$) né con i punteggi della sottoscala CSSQ, né con le 5 sottoscale COPE-NIV, come strategie di coping di Attitudine positiva e Orientamento al problema ($r = -0,092$, $p = 0,545$ e $r = -0,019$, $p = 0,899$, rispettivamente).

Per quanto riguarda le Matrici Progressive Avanzate di Raven i partecipanti hanno ottenuto punteggi che si collocano in un intervallo normale sia a T1 (media = 10,085, SD = 1,851) che a T2 (media = 9,745, SD = 1,750). Non c'è stato alcun effetto significativo del tempo di test sull'accuratezza [misure ripetute ANOVA sulle risposte corrette, $F(1,46) = 2,012$, $p = 0,163$]. Per valutare i cambiamenti nella preferenza di posizione per le risposte errate (Costa et al., 1969), abbiamo condotto una ANOVA a misure ripetute 2 (periodo di test: T1, T2) \times 2 (lato errore: destra, sinistra). C'è stato un effetto principale del lato errore: $F(1,46) = 22,41$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,14$, perché i partecipanti hanno mostrato una propensione a scegliere un elemento di sinistra (media = 1,40, SD = 1,30) rispetto a

uno a destra (media = 0,72, SD = 1,01). Il periodo del test si è avvicinato alla significatività ($p = 0,06$), perché i partecipanti tendevano a commettere più errori durante la quarantena (media = 1,17) rispetto a prima (media = 0,96). È importante sottolineare che i due fattori hanno interagito $F(1,46) = 4,91$, $p = 0,032$, $\eta^2 = 0,036$, perché il bias verso sinistra è aumentato durante la quarantena (Fig. 24).

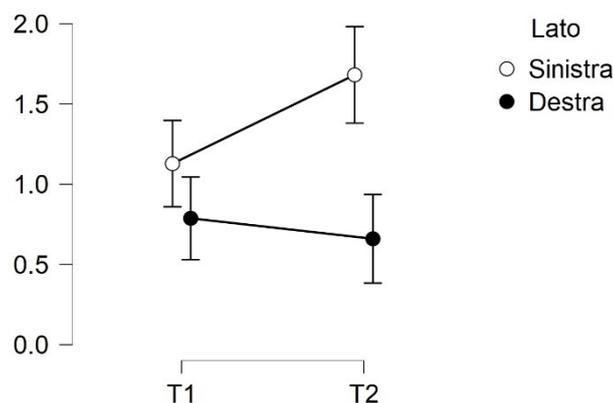


Figura 24 Risposte errate alle APM di Raven da T1 a T2 per i lati destro e sinistro. Le barre di errore indicano gli intervalli di confidenza del 95%.

Infine, per valutare una potenziale relazione tra stress/coping e la deviazione sul lato sinistro degli errori alle APM di Raven al T2, è stata condotta un'analisi di correlazione di Pearson a due code tra i risultati del CSSQ/COPE-NIV e la variazione di lateralità da T1 a T2. I risultati non mostrano alcuna correlazione significativa della variazione della lateralizzazione, né con il punteggio globale della scala CSSQ ($r = -0,017$, $p = 0,910$) né con i punteggi della sottoscala CSSQ, né con le 5 sottoscale COPE-NIV, come strategie di coping di Attitudine positiva e Orientamento al problema ($r = -0,148$, $p = 0,327$ e $r = -0,079$, $p = 0,604$, rispettivamente).

3.2.4 Discussioni

Lo scopo di questa ricerca è stato quello di valutare se le condizioni di stress vissute dagli studenti durante le dure misure di quarantena adottate in Italia durante la pandemia da COVID-19 abbiano avuto qualche influenza sulle prestazioni a compiti di valutazione della cognizione spaziale. I risultati sono stati differenziati.

In particolare, abbiamo riscontrato un significativo spostamento a sinistra in tutti e tre i compiti somministrati dal T1 (pre-*lockdown*) a T2 (dopo circa 2 mesi di quarantena): (1)

compito di cancellazione di stimoli, (2) labirinto radiale e (3) APM di Raven. È importante sottolineare che non ci sono stati cambiamenti nell'accuratezza generale del test delle APM di Raven, un test di intelligenza non verbale generale; l'unico cambiamento correlato al tempo è stato un aumento della distorsione spaziale verso sinistra nella scelta di un elemento di risposta errato. Pertanto, i cambiamenti legati al tempo che abbiamo osservato sembrano essere relativamente specifici per il dominio spaziale. Un potenziale problema potrebbe essere la modalità di risposta utilizzata per l'attività di cancellazione. I partecipanti hanno utilizzato una penna touch al T1 e un mouse da computer al T2. Tuttavia, un simile aumento del bias verso sinistra al T2 si è verificato anche per le matrici di Raven, in cui i partecipanti hanno scelto la risposta verbalmente.

Ci siamo chiesti se questi cambiamenti nella deviazione spaziale fossero davvero legati allo stress indotto dalla quarantena. Le prove a sostegno di questa possibilità provengono (1) dalla correlazione positiva tra lo stress misurato attraverso la scala CSSQ e l'aumento di pseudoneglect durante il lockdown e (2) dalla correlazione negativa che abbiamo osservato tra l'incremento di pseudoneglect e specifiche strategie attive di coping, che rispecchiavano le correlazioni significative tra pseudoneglect e tempo del test sul solo compito di cancellazione di stimoli. Per quel che riguarda gli altri compiti, dovremmo tenere conto delle differenze delle funzioni cognitive su cui si basano e delle diverse misure di stress. Gli individui che sono stati in grado di ricorrere ad atteggiamenti positivi e strategie di coping per la risoluzione dei problemi hanno mostrato un bias verso sinistra minore rispetto a quelli che hanno ottenuto punteggi più alti nello stress percepito.

I nostri risultati sembrano, quindi, abbastanza in linea con la ricerca in letteratura che sottolinea l'impatto dello stress percepito sulle prestazioni cognitive degli individui (Davies et al., 2013). Forniscono inoltre nuove prove a sostegno dell'efficacia dell'adozione di strategie di coping incentrate sull'attività e sulla rivalutazione positiva.

È probabile che le basi neurobiologiche del bias fisiologico verso sinistra (pseudoneglect) si basino sulle asimmetrie emisferiche delle reti di attenzione (Bartolomeo e Malkinson, 2019). Gli spostamenti nella bisezione delle linee dipendono strettamente dall'attività in queste reti fronto-parietali. Ad esempio, l'attività nella rete di attenzione ventrale destra sembra correlare con l'effetto della lunghezza della linea nella pseudoneglect (Benwell et

al., 2013). In uno studio di simulazione, Gigliotta et al. (2017) hanno dimostrato che diversi modelli di asimmetrie nelle reti di attenzione artificiale possono portare a diversi livelli di pseudoneglect nei neuroagenti (robot dotati di un cervello simulato) che svolgono il compito di cancellazione usato nel presente studio.

D'altra parte, abbondanti prove suggeriscono una relazione dei meccanismi legati allo stress con l'emisfero destro (Bartolomeo e Malkinson, 2019). Inoltre, l'esposizione precoce allo stress è stata proposta come determinante delle malattie psichiatriche e dello sviluppo neurologico caratterizzate da asimmetrie cerebrali atipiche (Ocklenburg et al., 2020). Infine, un recente studio sul comportamento di svolta nei ratti ha evidenziato uno spostamento verso sinistra nelle preferenze di svolta in un gruppo di animali esposti a condizioni di stress durante le prime fasi della loro vita rispetto a un gruppo di controllo (Mundorf et al., 2020). Nel tempo, questa modulazione funzionale potrebbe tradursi in cambiamenti plastici strutturali. Le strategie di coping, al contrario, potrebbero essere correlate a una maggiore connettività dell'emisfero sinistro. Santarnecchi e colleghi (2018) hanno trovato una correlazione positiva tra la connettività del giro angolare sinistro e le risposte alla sottoscala "Orientamento al problema" della scala COPE-NIV utilizzata in questo studio.

La relazione specifica che abbiamo trovato tra stress e bias verso sinistra è quindi probabile che dipenda almeno in parte dall'aumento dell'attività indotta dallo stress delle reti di attenzione dell'emisfero destro. L'emisfero destro può anche facilitare le risposte dell'ormone dello stress attraverso l'asse ipotalamo-ipofisi-surrene (Sullivan, 2004), mentre le strutture dell'emisfero sinistro, come la corteccia prefrontale mediale, possono aumentare la resilienza allo stress e controllarne gli effetti sul comportamento sociale (Lee et al., 2015).

Chiaramente ci sono dei limiti del presente studio da considerare: prima di tutto lo studio è stato condotto su un campione di partecipanti relativamente limitato ($N = 47$). Come conseguenza delle rigide misure di contenimento, le condizioni del test da remoto non potevano essere completamente controllate al T2. Inoltre, differenze per quanto riguarda il setting ed il materiale di somministrazione dei compiti devono essere considerate. Nonostante queste limitazioni, i nostri risultati che collegano lo stress e il bias verso sinistra sono stati coerenti in diversi test. Studi sugli animali, così come sui neurorobot

simulati (Gigliotta et al., 2017), potrebbero ulteriormente illuminare i meccanismi che collegano lo stress all'attenzione spaziale.

3.3 E-BTT e bambini in età scolare: risultati preliminari

3.3.1 Scopi dello studio

Questo lavoro, per la prima volta, si concentra sull'espressione della lateralizzazione dell'attenzione visuospatiale e della direzione dell'organizzazione spaziale dei bambini in età scolare nelle prestazioni al compito E-BTT.

I principali obiettivi del presente studio sono stati:

- 1) esplorare le prestazioni spaziali dei bambini dai 6 ai 10 anni al compito E-BTT
- 2) confrontare la loro prestazione con quella del campione di giovani adulti del primo studio citato che mostravano segni di bias spaziale verso sinistra.

A tal fine, prima di somministrare l'E-BTT ai bambini, abbiamo raccolto dati preliminari per adattare le istruzioni del test al campione considerato. Successivamente, abbiamo somministrato il compito E-BTT a bambini in età scolare con sviluppo tipico.

In secondo luogo, ulteriore obiettivo è stato quello di esplorare la direzione dell'attenzione visuospatiale, analizzando l'espressione dello pseudoneglect dei bambini in tre ulteriori compiti che valutano le abilità spaziali: bisezione di linee digitale, cancellazione rapida di stimoli e ricerca di stimoli target.

Successivamente lo scopo è quello di comparare la prestazione all'E-BTT con la prestazione ai compiti citati. Così come nel primo studio effettuato con il campione di adulti, volevamo indagare la manifestazione dello pseudoneglect nei compiti spaziali menzionati, in quanto in letteratura viene evidenziato un effetto del compito e degli stimoli sul bias di attenzione visuospatiale. La seconda domanda di ricerca riguarda il legame che può sussistere tra le diverse manifestazioni dello pseudoneglect.

Sulla base della precedente letteratura sul bias dell'attenzione visuospatiale, ci aspettavamo che i bambini iniziassero spesso l'organizzazione spaziale sul lato sinistro dello spazio già a partire dai 6 anni d'età. Questa distorsione iniziale dovrebbe aumentare con l'età dei bambini; tuttavia, non dovrebbe essere un fenomeno così consistente come negli adulti. Inoltre, se gli effetti dell'orientamento spaziale riflettono i cambiamenti legati

all'apprendimento della lettura, i bambini dovrebbero anche dimostrare una propensione ad orientare inizialmente l'attenzione spaziale al quadrante in alto a sinistra dello spazio nei compiti dell'E-BTT e della ricerca di stimoli target, coerentemente con la tipica posizione di partenza per la lettura, piuttosto che semplicemente orientarsi più a sinistra.

3.3.2 Materiali e metodi

Un piccolo campione di convenienza di bambini in età scolare è stato reclutato da una scuola primaria della città di Piano di Sorrento (Napoli) per il primo studio sull'istruzione del compito E-BTT. Dieci bambini dai 6 ai 10 anni, con visione normale o corretta, sono stati coinvolti seguendo criteri di inclusione: (1) sviluppo cognitivo tipico, espresso da un punteggio superiore al 15° percentile al test delle Matrici Colorare di Raven (CPM - Standardizzazione italiana a cura di Belacchi et al., 2008); (2) nessuna diagnosi clinica di disturbi neurologici, neuropsichiatrici o dello sviluppo neurologico come riportato dai genitori.

Successivamente è stato reclutato un secondo campione di convenienza di bambini provenienti da 16 classi di 2 scuole primarie delle città di Piano di Sorrento e di Sorrento (Napoli), per un totale di 157 bambini dalla prima alla quinta elementare. Per il reclutamento dei partecipanti sono stati presi contatti con i dirigenti scolastici delle scuole e successivamente si sono svolti colloqui per definire obiettivi e modalità della ricerca, prima con i dirigenti e poi con i docenti.

I partecipanti sono stati inclusi nello studio seguendo i criteri di inclusione: (1) sviluppo cognitivo tipico, espresso da un punteggio superiore al 15° percentile al test CPM di Raven; (2) nessuna diagnosi clinica di disturbi neurologici, neuropsichiatrici o dello sviluppo neurologico come riportato dai genitori. Centoquarantotto bambini (72 femmine e 76 maschi di età compresa tra 6 e 11 anni) hanno soddisfatto i criteri di inclusione (Tab. 6). Tutti i partecipanti parlavano italiano come lingua madre, avevano una visione normale o corretta, erano sia destrimani (N = 127) che mancini (N = 21) secondo l'*Edinburgh Inventory Questionnaire* (EI - Oldfield, 1971).

Classe	Range d'età	Femmine	Maschi	Totale
1	6,3;7,2	9	14	22
2	7;8,2	14	13	25

3	8;9,1	8	14	20
4	9,2;10,4	20	19	39
5	10,1;11,2	21	16	37
		72	76	148

Tabella 6 Descrizione campione

Lo studio è stato condotto in accordo con la Dichiarazione di Helsinki e approvato dal Comitato Etico Locale del dipartimento di Studi Umanistici dell'Università degli Studi di Napoli Federico II [numero protocollo: 12/2020]. Il consenso informato scritto è stato ottenuto dai genitori di tutti i partecipanti prima del test.

Le misure sono state ottenute attraverso:

- Questionario sulla manualità: una valutazione quantitativa della manualità è stata ottenuta attraverso l'*Edinburgh Inventory for handedness* (Oldfield, 1971). Un questionario di dieci item progettato per valutare la manualità mediante individuazione della mano preferita per svolgere attività comuni come scrivere e disegnare, lanciare e usare utensili come spazzolino da denti, coltello e cucchiaio. Gli individui mettono 1 o 2 sotto la voce "sinistra" o "destra", indicando la forza della preferenza per ciascuna attività, segnando 2 se l'individuo "non tenterebbe mai di usare l'altra mano a meno che non sia assolutamente costretto a farlo" per la funzione data. Poiché alcune attività richiedono l'uso di entrambe le mani, le istruzioni specificano quale componente riflette la preferenza della mano (ad esempio, nello spazzare, la mano superiore). Un quoziente di lateralità ($LQ = \frac{R - L}{R + L} \times 100$) può essere calcolato, dove un punteggio di 100 indica preferenza manuale destra completa e un punteggio di -100 preferenza manuale sinistra.
- Test di valutazione cognitiva globale: Matrici Colorate Progressive di Raven (CPM - Raven, Raven e Court, 1998; standardizzazione italiana a cura di Belacchi, Scalisi, Cannoni e Cornoldi, 2008). Lo strumento si compone di tre serie (A, AB, B) che richiedono tipi diversi di competenze, via via più complesse. I processi implicati in ciascuna serie sono i seguenti: la serie A richiede capacità d'identificazione, cioè di riconoscimento d'identità attraverso vari indizi quali la forma, il colore, la dimensione ecc.; la serie AB richiede

capacità di cogliere la simmetria, ossia di individuare gli elementi corrispondenti e/o complementari rispetto a un tutto, organizzato secondo configurazioni di tipo gestaltico; la serie B, infine, richiede capacità di pensiero analogico e concettuale, vale a dire la scoperta di relazioni più astratte e formali, secondo una logica di tipo operatorio-deduttivo. Riassumendo, per risolvere la serie A occorrono prevalentemente conoscenze di tipo visuospaziale, per la serie AB capacità di riconoscimento di gestalt e per la serie B processi analogici e di pensiero astratto-proposizionale.

- I compiti E-BTT, bisezione di linee e cancellazione rapida di stimoli sono descritti nel primo studio descritto nel presente capitolo.
- Compito di ricerca di stimoli target. Il compito di ricerca di stimoli target somministrato è stato creato utilizzando il software “CancellationTools” (Dalmaijer et al., 2015). Ai bambini è stato dapprima chiesto di effettuare un pre-test di discriminazione tra due stimoli, un cerchio e un cerchio con uno spazio aperto e successivamente è stato somministrato loro un trial di prova. Il trial di prova consisteva nella cancellazione di cerchi aperti posizionati tra distrattori, ovvero cerchi chiusi, in modo casuale sullo schermo. L’istruzione era la seguente: “Dovrai cancellare tutti i cerchietti aperti che vedi”. A seguire è stato somministrato il trial di ricerca visiva vero e proprio mostrato in Figura 25 con la medesima istruzione. Il numero totale di stimoli target da cancellare era di 30, il numero di distrattori 120. I partecipanti avevano a disposizione 1 minuto per effettuare il compito.

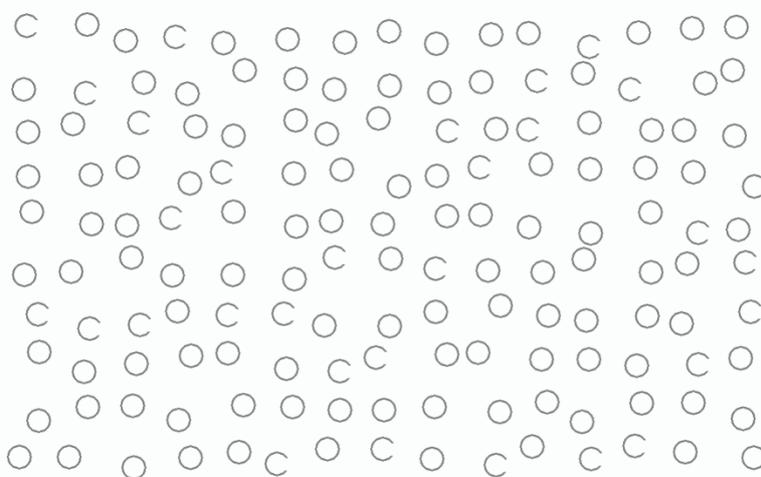


Figura 25 Trial del compito di ricerca visiva di stimoli target (cerchi aperti)

“CancellationTools” fornisce la posizione esatta del primo contrassegno nello spazio standardizzato: il display è misurato in modo che la parte superiore sinistra dell'array di ricerca sia (0,0) e quella inferiore destra (1,1). Queste posizioni standardizzate sono comparabili tra diversi tipi e dimensioni di attività. Ai fini del presente studio, sono state prese in considerazione le coordinate dei primi target selezionati da tutti i partecipanti sull'asse delle X (destra-sinistra) e Y (alto-basso). Considerando che il punto centrale ha un valore di 0,5, $x < 0,5$ indicano punti a sinistra del centro del display, $x > 0,5$ indicano punti a destra del centro del display; così come $y < 0,5$ indicano punti in alto del centro del display, $y > 0,5$ indicano punti in basso dal centro del display.

3.3.3 Procedura

Sia lo studio sull'istruzione che la somministrazione dei compiti si sono svolti in un'aula di ciascuna scuola primaria frequentata dai bambini. Le stanze erano luminose e silenziose, e c'era un tavolo adatto ai bambini, sul quale era posto il materiale per la somministrazione dell'E-BTT. Durante tutta la procedura, nella stanza erano presenti solo un bambino alla volta e uno sperimentatore. I bambini erano seduti su una sedia posta davanti al tavolo su cui era appoggiata la cornice. Il materiale sul tavolo è stato disposto come mostrato nella Figura 26.

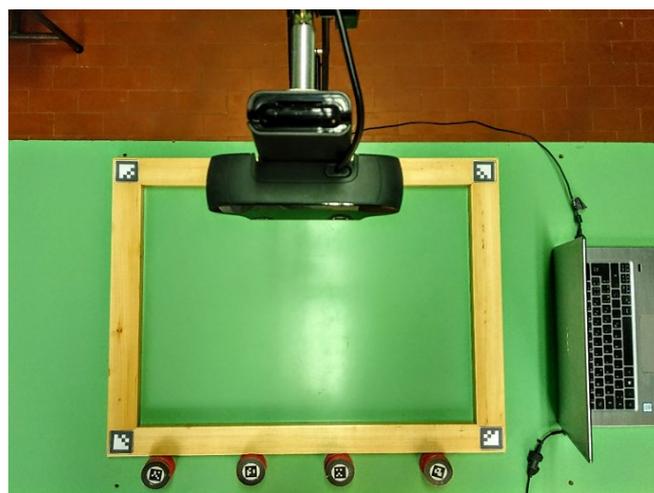




Figura 26 Disposizione materiale per l'esecuzione del compito E-BTT

Istruzione E-BTT. Nello studio pilota, ai bambini sono state date 3 diverse istruzioni in ordine casuale, inclusa l'istruzione originale e altre 2 modificate. L'istruzione originale era: “Per favore, disponi tutti i dischetti, uno alla volta con una mano, sullo spazio all'interno della cornice di legno nel modo più distribuito possibile, come se fossero biscotti da disporre su una teglia. Una volta posizionati, i dischetti non possono essere spostati”. Successivamente, sono state proposte due istruzioni modificate e più semplici poiché i bambini potevano avere difficoltà a comprendere l'espressione “nel modo più distribuito possibile”; quindi un'altra istruzione era: “Per favore, sistema tutti i dischetti, uno alla volta con una mano, sullo spazio all'interno della cornice di legno in modo che siano posizionati su più spazio possibile, come se fossero biscotti da mettere su una teglia. Una volta posizionati, i dischetti non possono essere spostati”; e l'altra era: “Per favore, sistema tutti i dischetti, uno alla volta con una mano, sullo spazio all'interno della cornice di legno in modo che siano il più lontani possibile l'uno dall'altro, come se fossero biscotti da mettere su una teglia. Una volta posizionati, i dischetti non possono essere spostati”.

Le prime due istruzioni non hanno prodotto configurazioni soddisfacenti: i bambini spesso ancoravano i dischi alla cornice, o lateralmente o sopra e sotto, disponendoli in fila uno dietro l'altro. L'istruzione che si è rivelata più adatta, cioè quella che, per la maggior parte dei bambini, ha fatto emergere una configurazione finale di dischetti equidistanti, è stata la terza, che è stata poi ulteriormente modificata come segue: “Ci sono alcuni dischetti davanti a te: per favore, al mio via, sistemali tutti sullo spazio all'interno della cornice di legno il più lontano possibile l'uno dall'altro. Fai finta che siano dei biscotti da mettere su una teglia, uno alla volta con una mano. Una volta posizionati,

i dischetti non possono essere spostati. Te lo ripeto, sistema tutti i dischetti il più lontano possibile l'uno dall'altro.”

L'aggiunta di “al mio via” è motivata dal fatto che molto spesso i bambini hanno agito in modo impulsivo e hanno iniziato molto rapidamente a posizionare i dischi senza attendere la fine dell'istruzione. L'espressione “Disponili il più lontano possibile l'uno dall'altro”, sebbene diversa dall'istruzione originale E-BTT, è il modo più semplice per la maggior parte dei bambini, specialmente nei gruppi di età più giovani, per capire che l'obiettivo è una distribuzione uniforme di oggetti su uno spazio; l'espressione implica ugualmente un obiettivo da rappresentare mentalmente e da raggiungere, quindi una pianificazione e organizzazione visuospatiale, anche se relativamente semplice. Un elemento che si esplicita con questa istruzione è quello di stimare le distanze tra un oggetto e l'altro. L'istruzione viene poi ripetuta alla fine per fare in modo che sia compresa e memorizzata nel miglior modo possibile dai bambini.

Somministrazione E-BTT. Le sessioni sperimentali sono iniziate subito dopo la conclusione dello studio sull'istruzione. L'E-BTT faceva parte di una batteria di valutazione delle abilità visuospatiali somministrata in due diverse sessioni. Nella prima sessione sono state somministrate le CPM di Raven e l'E-BTT. Dopo aver eseguito le CPM di Raven, ai bambini è stato somministrato il compito E-BTT e gli è stato chiesto di farlo una volta con la loro mano dominante e una volta con l'altra.

Prima di dare l'istruzione adattata dell'E-BTT, la procedura prevedeva anche che i bambini effettuassero un breve pre-test: in particolare, veniva chiesto loro di 1) posizionare un disco all'interno della cornice 2) posizionarne un altro vicino al primo e 3) posizionare un terzo lontano dal primo. Questo pre-test è stato condotto per assicurarsi che i bambini comprendessero i concetti spaziali di prossimità o distanza di oggetti da altri oggetti.

Nella seconda sessione sono stati somministrati i compiti nel seguente ordine: bisezione di linee, ricerca di stimoli target e cancellazione rapida di stimoli. Ciascuno dei 3 compiti è stato somministrato mediante un software specifico in esecuzione su un tablet da 10"; i compiti su tablet sono stati effettuati dai partecipanti mediante una penna stilo per interagire con lo schermo. I partecipanti erano comodamente seduti in posizione frontale

al punto medio sia della cornice del compito E-BTT sia del tablet, che era posto sul tavolo in una posizione in modo da formare un angolo da 30°.

3.3.4 Risultati

L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando il software SPSS (IBM Corp., 2017) e il software R (R Core Team, 2018).

Come descritto nel secondo capitolo, la piattaforma software E-Tan registra le coordinate spaziali (X e Y) di ogni singolo dischetto posizionato all'interno della cornice, l'ordine di posizionamento e la durata della performance. L'output dei dati è costituito da un file Excel con le coordinate in pixel (normalizzate in centimetri). Il centro della cornice è stato impostato su coordinate 0,0. Una X negativa indica un punto a sinistra del centro e una x positiva indica un punto a destra, così come una Y negativa indica un punto sotto il centro e una y positiva indica un punto sopra.

Per valutare l'orientamento spaziale iniziale, cioè dove si comincia a disporre gli oggetti nello spazio peripersonale, sono state utilizzate le coordinate del primo disco posizionato sulla superficie; inoltre, come misura del centro della disposizione è stata considerata anche la posizione media orizzontale o verticale di tutti gli oggetti posizionati (media delle X e Y dei 16 dischi). La superficie all'interno della cornice è stata suddivisa in 4 quadranti uguali (in alto a sinistra, in basso a sinistra, in alto a destra, in basso a destra), per valutare il quadrante di orientamento iniziale, questa è la frequenza con cui sono stati utilizzati i 4 quadranti per disporre il primo oggetto.

Le performance dell'E-BTT sono state dapprima analizzate mediante le misure descritte.

Per condurre le seguenti analisi preliminari, 5 bambini sono stati esclusi a causa di errori tecnici dovuti al software E-Tan. Al fine di effettuare confronti con il campione di giovani adulti destrimani, sono stati esclusi anche i partecipanti mancini. Pertanto, le analisi sono state effettuate su un campione finale di 122 bambini (63 maschi).

Per rispondere alla prima domanda di ricerca sull'orientamento visuospatiale dei bambini, ovvero se i partecipanti mostrano effettivamente un bias di attenzione visuospatiale rivolto più a sinistra quando iniziano un compito o un trial, abbiamo effettuato le seguenti analisi:

- Per valutare la direzione dell'orientamento spaziale dei bambini al compito E-BTT, è stata inizialmente analizzata la distribuzione del primo dischetto rispetto ai 4 quadranti. L'analisi della frequenza ha dimostrato che il 37,70% ($n = 46/122$) dei partecipanti ha iniziato a disporre il primo dischetto nel quadrante in basso a sinistra dello spazio. Il successivo quadrante più frequente era quello in alto a sinistra (27,05%; $n = 33/122$). Il quadrante in basso a destra è stato scelto con una frequenza di 25/122 (20,49%) e il quadrante in alto a destra con una frequenza di 18/122 (14,75%). L'analisi del chi quadrato di Pearson tra le quattro alternative di posizionamento ha portato ai seguenti risultati: $\chi^2 = 14.197$, $df = 3$, $\chi^2 / dof = 4.732$, $p = .003$. Quindi, il risultato dimostra una preferenza a posizionare il primo dischetto nel quadrante in basso a sinistra e una frequenza più bassa per quello nella parte in alto a destra dello spazio.

Per quanto riguarda il confronto tra bambini e il campione di giovani adulti rispetto al quadrante del primo disco posizionato, emerge una differenza statisticamente significativa ($\chi^2 = 25.805$, $df = 3$, $p < .001$). Questi dati mostrano che i bambini tendono a posizionare il primo dischetto più in basso e che, anche se prevalente, lo spostamento a sinistra non è così evidente come quello degli adulti, poiché i bambini tendono comunque a spostarsi anche a destra.

Abbiamo quindi condotto un'ANOVA univariata, impostando come variabili indipendenti le coordinate X del primo disco posizionato e la media delle coordinate X, che ha rivelato una differenza significativa per la coordinata X del primo dischetto (Fig. 27) tra adulti ($M = -16.013$, $SE = 1.826$) e bambini ($M = -6.813$, $SE = 1.826$): $F(1.242) = 12.694$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.050$, con un valore della dimensione dell'effetto da basso a medio, come per la media delle coordinate Y del primo dischetto (Fig. 27) : $F(1.242) = 12.905$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.051$ (adulti $M = 4.129$, $SE = 1.479$; bambini $M = -3.385$, $SE = 1.479$).

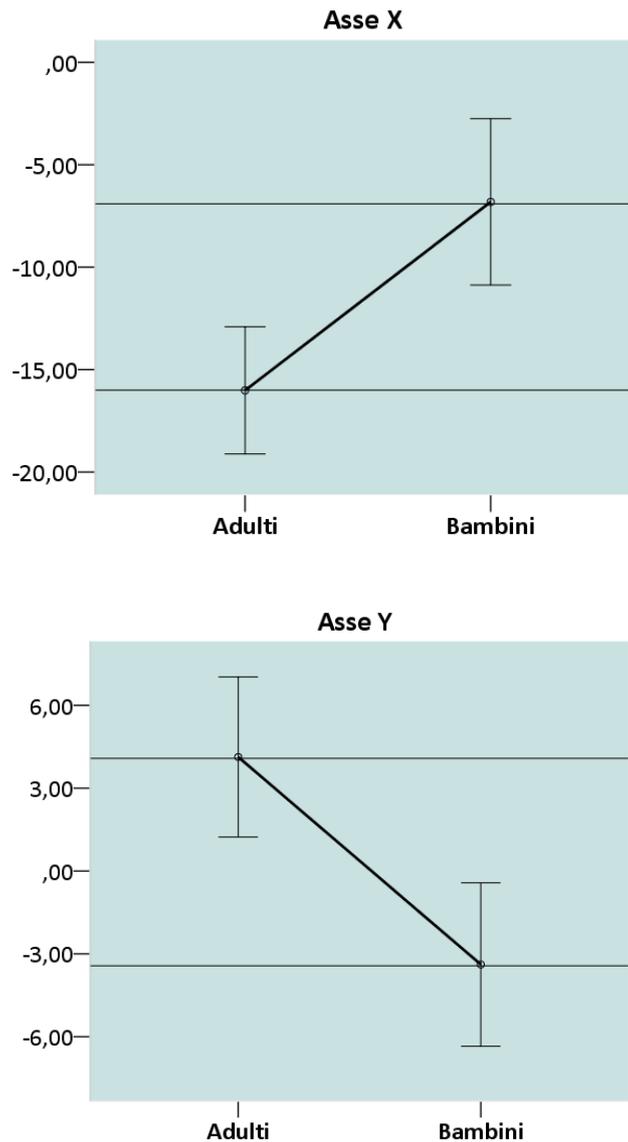


Figura 27 In alto media dei primi dischi coordinata x (cm) di adulti vs bambini; in basso media dei primi dischi coordinata y (cm) di adulti vs bambini.

Inoltre, la posizione orizzontale media di tutti gli oggetti posizionati risulta essere diversa tra i due gruppi ($F(1.242) = 9,116$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,036$) nonostante un basso valore della dimensione dell'effetto, con la media degli adulti ($M = -1,363$, $SE = 0,264$) spostata leggermente più a sinistra dei bambini ($M = -0,234$, $SE = 0,264$). D'altra parte, la posizione verticale media di tutti gli oggetti posizionati non differiva tra i due gruppi ($F(1.242) = ,147$, $p = 0,702$, $\eta^2 = 0,001$).

Pertanto, coerentemente con i risultati dell'analisi dei quadranti, la media delle coordinate dell'asse X dei bambini è spostata verso sinistra dello spazio, ma molto più vicina al centro rispetto a quella degli adulti che è nettamente più a sinistra.

- Analisi preliminare dei cluster. Lo scopo successivo è stato quello di analizzare più precisamente l'orientamento all'attenzione iniziale dei bambini e di evidenziare possibili raggruppamenti tra i soggetti; attraverso una analisi dei cluster, quindi, i partecipanti sono stati raggruppati secondo le coordinate X e Y del primo disco, e sono stati poi confrontati con i gruppi del campione degli adulti, anch'essi basato sulle coordinate X e Y dei primi dischetti. In particolare, ciò che si voleva verificare era la presenza di gruppi di bambini il cui primo dischetto non era estremamente lateralizzato a sinistra o a destra e, in caso affermativo, identificare le localizzazioni spaziali rappresentative di quei gruppi.

È stata condotta un'analisi dei cluster utilizzando l'algoritmo K-means, che richiede di specificare il numero di cluster. Per stimare il numero ottimale di cluster nei nostri dati, abbiamo utilizzato il coefficiente di *silhouette* ed eseguito un'analisi della silhouette tra 2 e 5 numeri di cluster sia per i bambini che per gli adulti. Il miglior punteggio di *silhouette* per il set di dati dei bambini è risultato per un numero di cluster pari a 5 ($si = 0.8$); il miglior punteggio silhouette per il set di dati dell'adulto è risultato per un numero di cluster pari a 4 ($si = 0,86$).

L'analisi dei cluster sul set di dati dei bambini ha identificato i seguenti 5 gruppi di cluster distinti (Fig. 28): dei 122 partecipanti, il 31,97% (cluster 5, $n = 39$) è stato classificato come posizionante il primo dischetto nella porzione in basso a sinistra dello spazio; il 22,13% (cluster 2, $n = 27$) come posizionante il primo dischetto al centro dello spazio, principalmente al centro dell'asse Y, ma anche sopra e sotto il punto 0; il 18,03% (cluster 1, $n = 22$) come posizionante il primo dischetto nella porzione in basso a destra dello spazio; il 17,21% (cluster 3, $n = 21$) come posizionante il primo dischetto nella porzione in alto a destra dello spazio; il 12,30% (cluster 4, $n = 13$) come posizionante il primo dischetto nella parte in alto a sinistra dello spazio. Il cluster 2 rivela un gruppo di bambini che posiziona il primo oggetto nell'area centrale dello spazio.

L'analisi del cluster K-means sul set di dati degli adulti ha identificato 4 cluster distinti (Fig. 28): dei 122 partecipanti, il 59,02% (cluster 1, $n = 72$) ha posizionato il primo dischetto nella porzione di spazio in alto a sinistra; il 25,41% (cluster 4, $n = 31$) ha posizionato il primo dischetto nella porzione in basso a sinistra dello spazio; il 10,66% (cluster 2, $n = 13$) ha posizionato il primo dischetto nella porzione in basso a destra

dello spazio; il 4,92% (cluster 3, n = 6) ha posizionato il primo dischetto nella porzione estrema in alto a destra. Nessun cluster ha rivelato alcun gruppo di adulti che ha posizionato il primo oggetto nell'area centrale dello spazio, a parte il cluster 4 in cui sono presenti pochi outliers.

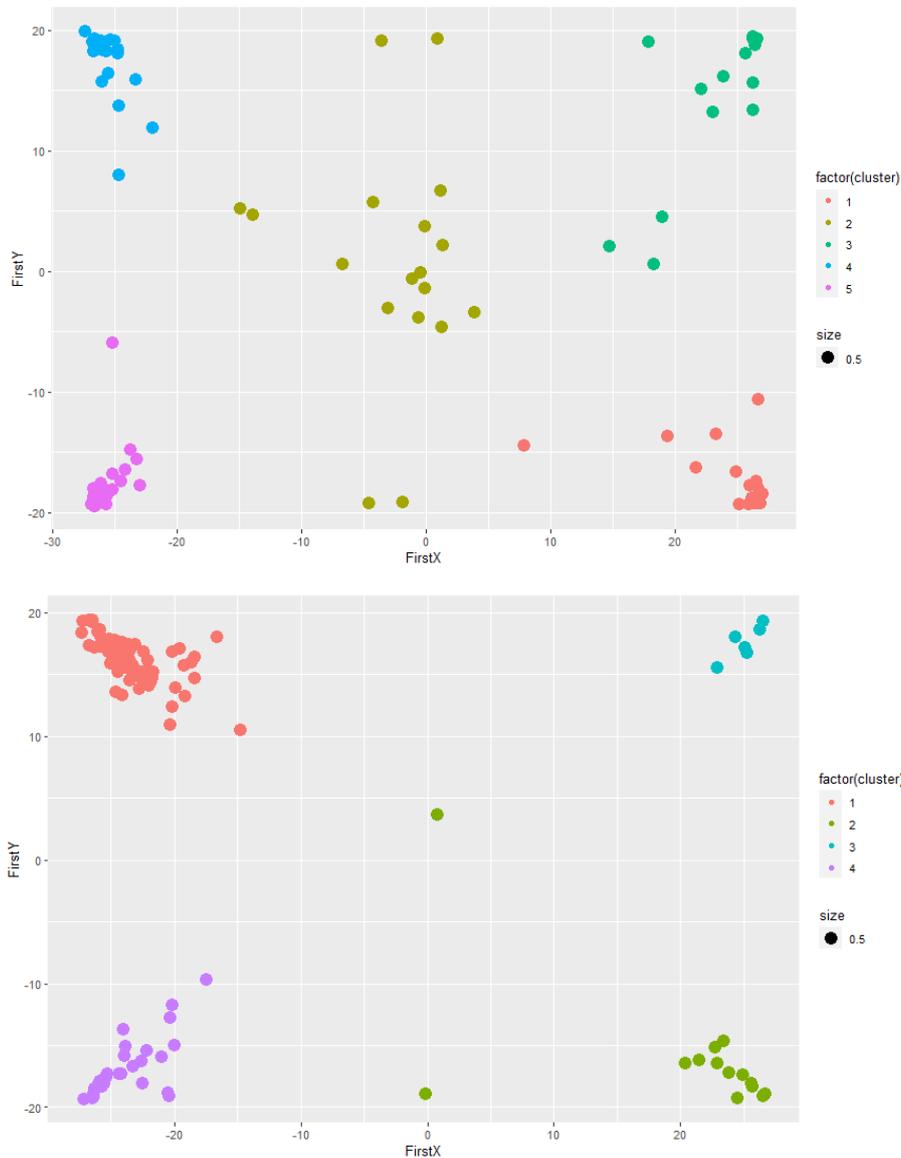


Figura 28 In alto i risultati dell'analisi cluster K-means per bambini; in basso risultati dell'analisi del cluster K-means degli adulti

- Per valutare l'orientamento spaziale iniziale dei bambini nel compito di ricerca visiva di stimoli target, un partecipante è stato escluso dalle analisi per problemi tecnici dovuti al software. Abbiamo prima diviso lo spazio in quattro quadranti uguali e analizzato la distribuzione del quadrante del primo stimolo cancellato. L'analisi della

frequenza ha dimostrato che il 59.50% (n = 72/121) dei partecipanti ha iniziato a cancellare il primo stimolo nel quadrante in alto a sinistra dello spazio. Il successivo quadrante più frequente era quello di stimoli posizionati in alto a destra (19.83%; n = 24/121). Stimoli posizionati nel quadrante in basso a sinistra sono stati scelti con una frequenza del 13.22% (n = 16/121) e stimoli posizionati nel quadrante in basso a destra con una frequenza di 9/121 (7.44%).

L'analisi del chi quadrato di Pearson tra le quattro alternative di posizionamento ha portato ai seguenti risultati: $\chi^2(3) = 80.554$, $\chi^2 / \text{dof} = 26.851$, $p = <.001$. Quindi, il risultato dimostra una preferenza a cancellare stimoli posizionati nel quadrante in alto a sinistra e una frequenza più bassa per quelli nella parte in basso a destra dello spazio. Dunque, il test Wilcoxon-Mann-Whitney a due code ha rivelato un effetto significativo, $Z = 1042$, $p < 0.001$, della X del primo target selezionato (media del campione), per cui essa è spostato a sinistra e significativamente diversa da 0,5 (il centro della superficie esplorabile; Media = 0.297, DS = 0.257) e un effetto significativo, $Z = 688$, $p < 0.001$, della Y del primo target selezionato, per cui essa è spostata in alto e significativamente diversa da 0.5.

Il software “CancellationTools” estrae anche una misura chiamata “centro della cancellazione” (CoC), cioè la posizione orizzontale media di tutti gli stimoli cancellati, standardizzata in modo che un valore di -1 corrisponda più a sinistra e 1 più a destra. Il CoC è una misura della gravità del neglect, poiché cattura un gradiente di attenzione generale piuttosto che una decisione bimodale (cioè, il campo sinistro è o non è compromesso). Oltre al CoC orizzontale, “CancellationTools” fornisce il CoC verticale, dove -1 corrisponde a più in alto e 1 più in basso.

Anche il centro di cancellazione risulta leggermente spostato verso sinistra ($Z = 125$, $p < 0.001$; Media = -0,041; DS = 0,021), seppur non in modo sostanziale.

Abbiamo poi effettuato una correlazione tra età e indici spaziali per verificare una crescita del bias verso sinistra con l'età ma i risultati non mostrano una correlazione significativa con nessuno di questi. Questo indica che non c'è differenza in base all'età ma che il bias è presente tra i più piccoli e i più grandi. Probabilmente vanno considerate più nello specifico variabili intra-età.

- Per effettuare le analisi dei test di bisezione di linee digitale, cancellazione rapida di stimoli il campione è stato ridotto a 114 soggetti poiché questo è il numero di partecipanti di cui si hanno a disposizione i risultati di tutti i test.

Come per l'E-BTT, il centro del display del compito di cancellazione rapida di stimoli aveva coordinate 0,0, per cui le coordinate sull'asse delle X indicavano risposte sulla sinistra, viceversa coordinate positive risposte sulla destra. In particolare, per il compito di cancellazione è stata calcolata la coordinata esatta (in pixel) del punto toccato dal partecipante per selezionare il primo stimolo di ogni prova. Tali coordinate sono risultate essere significativamente diverse da 0, ovvero il centro, $p < 0.01$, e spostate verso sinistra (Media = - 60.08, DS = 76.37).

Il confronto con il campione di adulti del nostro primo studio, effettuato attraverso una ANOVA a una via, non mostra una differenza significativa ($F(1,206) = 2.393$, $p = 0.123$, $\eta^2 = 0.011$) rispetto al lato di inizio della cancellazione medio. In particolare, sia adulti che bambini hanno iniziato la cancellazione mediamente da un target posto sul lato sinistro rispetto al centro dello schermo.

Per il compito di bisezione di linee, sono state computate separatamente le coordinate del punto indicato come punto medio (sempre ponendo 0 come il centro e considerando solo l'ascissa) delle linee di 12 e di 15 centimetri, dividendole a loro volta in linee presentate sulla sinistra (L) o sulla destra (R) dello schermo. In tutte e quattro le combinazioni, le coordinate differivano significativamente dal centro in tutte le linee tranne che in quelle da 12 presentate sulla destra (Tab. 7).

LINEA	Z	GDL	P	MEDIA	DS
12CML	6.192	113	< .001	0.2541	0.04104
12CMR	-0.257	113	0.798	-0.0072	0.02796
15CML	8.270	113	< .001	0.3451	0.04173
15CMR	-4.112	113	< .001	-0.1011	0.02457

Tabella 7 T-test a un campione sullo spostamento della bisezione rispetto al centro per ciascuna linea

Anche se di poco, i bambini tendono in media a deviare la bisezione verso destra quando le linee sono presentate sul lato sinistro dello schermo, e a sinistra quando le linee sono presentate sul lato destro dello schermo, in particolare le linee da 15 cm. Il confronto con il campione di adulti del nostro primo studio, effettuato attraverso una ANOVA a una via, mostra una differenza significativa per le linee di 12 cm presentate sul lato sinistro ($F(1,206) = 39.881, p < 0.001, \eta^2 = 0.162$) ma non per quelle di 12 cm presentate sul lato destro ($F(1,206) = 2.418, p = 0.122, \eta^2 = 0.162$). Una differenza significativa emerge per le linee di 15 cm presentate sul lato sinistro ($F(1,206) = 133.722, p < 0.001, \eta^2 = 0.394$) e sul lato destro ($F(1,206) = 46.525, p < 0.001, \eta^2 = 0.184$). In particolare, rispetto alle linee poste sul lato sinistro i bambini mostrano una tendenza a spostarsi a destra rispetto agli adulti che invece bisecano le linee più a sinistra; invece, rispetto alle linee poste sul lato destro, in particolare più lunghe di 15 cm, i bambini si spostano più a sinistra rispetto agli adulti che invece hanno una tendenza a destra.

Dai risultati emergerebbe una tendenza dei bambini di età scolare opposta da quella degli adulti, cioè di avere un bias rispetto al centro della linea ma più spostato verso il centro dello schermo e non agli estremi corrispondenti ai lati di presentazione della linea sullo schermo come gli adulti.

Per rispondere alla seconda domanda di ricerca, ovvero se esista una relazione tra bias d'attenzione spaziale nel compito E-BTT e altri compiti somministrati, abbiamo effettuato analisi di correlazione con coefficiente R di Pearson che sono state condotte tra coordinate del primo dischetto posizionato del compito E-BTT e i punteggi agli altri test visuospatiali. I risultati mostrano che le coordinate del primo dischetto non risultano essere associate con gli altri test visuospatiali (cancellazione di stimoli: $p = 0.337$; bisezione linea 12cm sinistra: $p = 0.183$; bisezione linea 12cm destra, $p = 0.268$; bisezione linea 15 cm sinistra, $p = 0.060$; bisezione linea 15 cm destra, $p = 0.950$; ricerca visiva di stimoli target: $p = 0.621$).

3.3.5 Analisi qualitativa preliminare delle sequenze E-BTT

Al di là dell'origine della distribuzione di oggetti nello spazio come primo indice di strategia di ricerca, così come descritto nel secondo capitolo, l'elaborazione automatica dei dati del compito E-BTT consente di ottenere dati ulteriori sulla qualità della

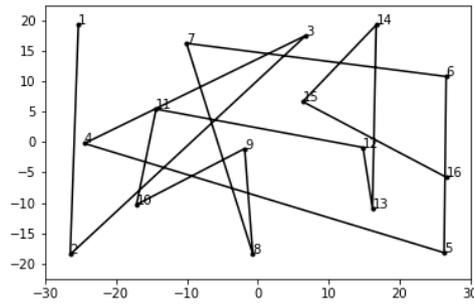


Figura 29 In alto a sinistra un esempio di progressione a dente di sega "da sinistra a destra"; in alto a destra un esempio di progressione a dente di sega "dall'alto verso il basso"; in basso un esempio di progressione casuale/non classificabile

L'organizzazione della disposizione potrebbe essere considerata sistematica e sequenziale se il bambino procede in pattern "a dente di sega" o "a serpente" verticali o orizzontali oppure attraverso una configurazione partendo dai punti di riferimento canonici, come angoli o centro. La strategia di ricerca configurazionale potrebbe essere considerata sistematica solo se il bambino usa la strategia dall'esterno all'interno o dall'interno all'esterno e continua ad utilizzarla in modo coerente durante tutta la performance. Qualsiasi altra strategia di disposizione potrebbe essere considerata non sistematica (Fig. 30).

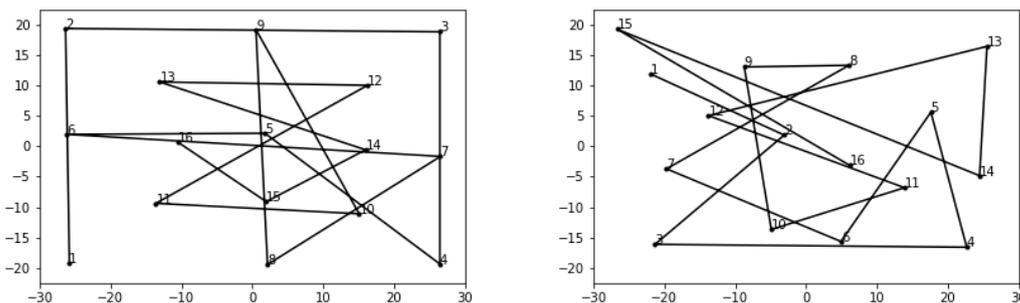


Figura 30 A sinistra un esempio di progressione configurazionale/sistematica coerente; a destra un esempio di progressione non sistematica

Alcuni bambini mostrano una disposizione simile a quella degli adulti "a dente di sega", a prescindere dall'origine o dalla direzione della sequenza di disposizione, in particolare il 16.91% del nostro campione. Di questi, tuttavia, solo il 5.15% distribuisce i dischetti su quanto più spazio possibile della superficie all'interno della cornice.

Molti più bambini sembrano prediligere una disposizione configurazionale come mostrato in figura 31: il 30.88% procede disponendo i dischetti nei punti di riferimento centrali e negli angoli seguendo una strategia più o meno simmetrica rispetto allo spazio a disposizione.

Una percentuale di bambini (26.47%) dispone i dischetti in modalità più o meno casuale, o procedendo per una disposizione punto per punto casualmente distribuito sullo spazio oppure mostrando una distribuzione non coerente con la strategia iniziale che sembrava essere stata scelta, riuscendo ad ottenere una configurazione di punti finale più o meno distribuita. Infine, c'è un gruppo di bambini che mostra una configurazione che non corrisponde a quella richiesta, e ciò può essere attribuito ad una mancata comprensione del compito o ad altre variabili che sarebbe interessante approfondire, o che sono difficili da classificare.

3.3.6 Discussioni

Come previsto, la maggior parte dei bambini ha iniziato l'organizzazione spaziale al compito E-BTT sul lato sinistro dello spazio, in particolare la parte in basso a sinistra dello spazio; tuttavia, il confronto tra i dati di adulti e bambini ha rivelato una differenza significativa, poiché lo spostamento a sinistra dei bambini è stato meno pronunciato di quello degli adulti. I bambini hanno anche iniziato la disposizione dei dischi sul lato destro dello spazio e non hanno dimostrato alcuna propensione ad orientare inizialmente l'attenzione spaziale al quadrante in alto a sinistra dello spazio (la posizione di partenza per la letto-scrittura) tanto quanto gli adulti, piuttosto che semplicemente orientarsi più a sinistra. Questo risultato potrebbe essere spiegato dalle dimensioni della cornice; soprattutto i bambini più piccoli potrebbero avere difficoltà e più resistenza fisica ad esplorare completamente la cornice con le braccia.

Infatti, i risultati del compito di cancellazione di stimoli target eseguito su tablet mostrano, oltre ad una media delle coordinate dell'ascissa X significativamente spostata verso sinistra, una tendenza ad iniziare il compito nel quadrante in alto a sinistra. Anche durante il compito di cancellazione rapida di stimoli, all'inizio dei trial, i bambini si dirigono più spesso ad un target posto sul lato sinistro dello schermo, infatti non risulta una differenza significativa con gli adulti rispetto al lato di inizio della cancellazione medio. In particolare, sia adulti che bambini hanno iniziato la cancellazione mediamente da un

target posto sul lato sinistro rispetto al centro dello schermo. Tuttavia, a differenza di quanto riportato spesso in letteratura, rispetto alla bisezione di linee poste sul lato sinistro i bambini mostrano una tendenza a spostarsi verso il centro del display rispetto agli adulti che invece bisecano le linee più a sinistra soprattutto rispetto alle linee poste sul lato sinistro; invece, rispetto alle linee poste sul lato destro, in particolare quelle più lunghe, i bambini si spostano più a sinistra, quindi sempre più verso il centro del display rispetto agli adulti che invece hanno una tendenza a destra.

Questi risultati possono essere ricondotti allo sviluppo graduale dell'orientamento dell'attenzione visuospatiale durante gli anni dell'età scolare, in cui si osserva un significativo aumento correlato all'età nell'accuratezza dei meccanismi di attenzione implicita dai 7 ai 18 anni (Schul et al., 2003), soprattutto dell'operazione amento in una nuova posizione in cui appare lo stimolo. È possibile che i bambini in età scolare abbiano ancora difficoltà ad integrare lo spostamento dell'attenzione dal punto di fissazione centrale e l'attività di individuazione del centro delle linee, risultando meno accurati e più spostati verso il centro.

L'analisi dei cluster preliminare rispetto alle coordinate del primo dischetto posizionato al compito E-BTT, è stata svolta per capire se, oltre a posizionare i primi dischetti in quadranti specifici, i primi dischetti dei partecipanti fossero estremamente lateralizzati a sinistra o a destra e, in caso contrario, identificare le localizzazioni spaziali rappresentative di quei gruppi. I risultati hanno mostrato che c'è un gruppo di bambini che è più orientato al centro dello spazio, posizionando i primi dischi centralmente, in fondo o in cima all'asse Y. Questa tendenza al centro non era presente nel campione degli adulti.

Ancora una volta, ci aspettavamo che i bambini fossero meno lateralizzati verso il lato sinistro dello spazio rispetto agli adulti, da un lato perché il bias sul lato sinistro aumenta gradualmente durante gli anni della scuola primaria nelle culture occidentali. D'altra parte, è possibile che la tendenza dei bambini a iniziare il compito centralmente rifletta una preferenza per l'utilizzo di punti di riferimento spaziali specifici di uno spazio vuoto (come angoli o punti centrali), che potrebbero sostenere l'orientamento sullo spazio peripersonale, nonché come accade nell'orientamento spaziale extrapersonale basato sul punto di riferimento (Siegel & White, 1975). Sembra che i bambini si siano concentrati

su quei punti piuttosto che sul percorso direzionale di disposizione e sulla configurazione finale dei dischetti. Tuttavia, queste ipotesi verranno successivamente analizzate, ad esempio indagando il modello di disposizione seguito dai bambini, al fine di comprendere la strategia di disposizione attuata e come si sviluppa in base al punto di partenza.

Un altro risultato del nostro studio mostra, non solo che la direzione del bias d'attenzione visuospatiale è variabile tra i test ma anche che non c'è correlazione tra questi, così come dimostrato nel primo studio: come dimostrato in letteratura i bias visuospatiali sono presenti ma mostrano scarsa relazione tra di loro, e di nuovo potrebbero essere considerati differenti in base all'input somministrato, oppure avere delle relazioni non lineari o ancora essere manifestazioni di differenze individuali possibilmente legate a specifiche asimmetrie anatomiche (Benwell et al., 2013).

Chiaramente ci sono dei limiti del presente studio da considerare: prima di tutto lo studio ha coinvolto un campione di partecipanti di convenienza e relativamente limitato; studi successivi dovrebbero raccogliere dati con campioni maggiori. Soprattutto, lo studio coinvolge una fascia d'età che va dai 6 agli 11 anni, quindi sarebbe conveniente aumentare il numero di partecipanti per ciascuna fascia distribuiti in modo omogeneo tra le diverse fasce.

Un secondo limite riguarda la validità interna dello studio in quanto non sappiamo ancora se le variazioni intragruppo nell'espressione del bias di direzione visuospatiale siano date dai compiti in sé o da altre variabili che non abbiamo controllato, quali carico cognitivo, condizioni di stress o altro che potrebbe influenzare i comportamenti visuospatiali. Non sappiamo ad esempio se l'utilizzo di una o l'altra strategia dei pattern di disposizione dipenda dal tipo di funzionamento esecutivo individuale. Ovviamente non possiamo stabilire relazioni causa-effetto ma solo fare ipotesi che potranno essere approfondite in futuro.

Un altro limite è dato dal fatto che le prestazioni potrebbero essere state influenzate da fattori motori e biomeccanici non controllati nel presente studio. Ancora, i test sono stati presentati tutti nello stesso ordine a tutti i partecipanti alla ricerca, che sebbene sia una procedura che esclude il rischio di differenze legate all'ordine casuale di somministrazione, non consente un controllo sugli effetti della sequenza di somministrazione, cioè di interazioni tra le condizioni specifiche dei test.

CONCLUSIONI

I nostri risultati in generale supportano quanto riportato in letteratura sullo pseudoneglect: i partecipanti adulti mostrano in media una preferenza per l'orientamento a sinistra in compiti eseguiti nello spazio peripersonale, che siano compiti digitali o compiti più ecologici come l'E-BTT.

Scrittori e lettori in ebraico in più studi (Chokron & De Agostini, 1995; Fagard & Dahmen, 2003; Girelli et al., 2017; Marinelli et al. 2019) hanno diviso in due le linee in modo più corretto (cioè più vicino al vero centro della linea), il che fornisce una prova di attenuazione del bias dovuto all'interazione tra asimmetrie cerebrali e meccanismi delle abitudini di lettura. Infatti, a differenza degli italiani, nei lettori da destra a sinistra i due meccanismi sono in opposizione: le abitudini di lettura portano l'attenzione spaziale sul lato destro della stringa mentre la specializzazione emisferica porta a sinistra. Questo conflitto potrebbe essere risolto con un compromesso e risultare in una bisezione più accurata. Nel futuro potrebbe essere ulteriormente esplorata la possibilità che la direzione della lettura possa modellare l'esplorazione visuospatiale nello spazio peri-personale del compito E-BTT e far emergere modelli diversi in culture diverse, ad esempio coinvolgendo individui che leggono da destra a sinistra.

Come ipotizzato a seguito del secondo studio, la tendenza a spostarsi a sinistra potrebbe accentuarsi dopo un periodo di stress subito dagli individui: nel futuro potremmo studiare più approfonditamente se e come alcuni compiti specifici che inducono stress correlano con una variazione della performance all'E-BTT. Secondo la letteratura citata si potrebbe ipotizzare che lo stress possa indurre ad esplorare ancora di più la parte sinistra dello spazio. Un'altra possibile ipotesi riportata in letteratura riguarda il carico cognitivo, ovvero lo sforzo che l'esecuzione di un compito specifico impone al sistema cognitivo dell'individuo (Paas et al., 2010). Alcuni ricercatori, in particolare, riportano che risorse attenzionali ridotte a causa dell'aumento del carico cognitivo, attenuano (o addirittura invertono) la manifestazione tipica di pseudoneglect; ad esempio nello studio sperimentale di Ciricugno e colleghi (2021) individui sottoposti a carico cognitivo attraverso un compito di memoria di lavoro uditiva hanno ridotto il tipico bias verso sinistra/verso l'alto al compito di bisezione di linee; una manipolazione del carico

cognitivo potrebbe portare gli individui a disporre sia il primo dischetto sia il baricentro di tutti i dischetti maggiormente nella porzione destra dello spazio.

I partecipanti in età scolare mostrano un bias consistente verso sinistra in alcuni test che richiedono elaborazione rapida come quelli di cancellazione di stimoli e ricerca visiva, una tendenza a sinistra nel compito E-BTT ma una tendenza al centro dello schermo nel compito di bisezione di linee. Dai risultati si potrebbe concludere che lo pseudoneglect emerge gradualmente durante lo sviluppo in relazione a fattori biologici, culturali e fattori biomeccanici. Soprattutto, il nostro studio conferma quanto riportato in letteratura rispetto alla mancanza di relazione tra l'espressione del bias d'attenzione visuospatiale tra i compiti di diversa natura somministrati. Sarebbe interessante indagare la relazione tra la direzione dell'attenzione visuospatiale nello spazio peripersonale del compito E-BTT dei bambini e la direzione in un compito di esplorazione visiva libera che valuta l'orientamento extrapersonale, per verificare la dissociazione tra pseudoneglect a diverse distanze dal corpo riportato in letteratura (Hartmann et al., 2019).

Rispetto alla lateralità della dominanza manuale, come riportato nel primo capitolo, molti degli studi coinvolgono solo soggetti destrimani e pochi anche mancini. Tra i prossimi obiettivi potrebbe esserci quello di indagare come i mancini e la mano usata per eseguire i compiti possono cambiare le performance spaziali, come in Rinaldi e colleghi (2020). Un ulteriore obiettivo è quello di valutare se il punto di partenza dell'organizzazione dell'oggetto influenza il successivo modello di disposizione e confrontare l'organizzazione della disposizione spaziale tra bambini e adulti. L'E-BTT potrebbe essere utilizzato per valutare se iniziare dal lato estremo di uno spazio in un'attività di ricerca visiva fornisce una base per una ricerca più organizzata rispetto all'inizio nel mezzo della pagina, perché diminuisce la probabilità di intersezioni di percorso (Woods et al., 2013).

Il compito E-BTT è stato originariamente sviluppato per valutare e quantificare le asimmetrie nella cognizione spaziale derivanti dalla negligenza spaziale unilaterale (USN) a seguito di lesioni cerebrali. Gli studi citati nel primo capitolo sottolineano che potrebbe essere necessario utilizzare diversi tipi di strumenti di valutazione per testare i bambini con danno cerebrale perinatale al fine di sviluppare un profilo completo di specifici deficit attenzionali e percettivi, così che le terapie possano essere adattate per mirare a deficit specifici. Per valutare adeguatamente il funzionamento cognitivo in

questa popolazione, gli autori raccomandano una combinazione di misure, compreso l'uso di test neuropsicologici carta e matita, che rimangono fondamentali così come compiti sensibili ai deficit nel funzionamento quotidiano. L'E-BTT potrebbe rappresentare un utile strumento ecologico e adatto ai bambini per valutare l'USN in età evolutiva.

Al di là dell'applicazione dell'E-BTT per indagare fenomeni di esplorazione dello spazio e lateralizzazione in contesti clinici o meno, la piattaforma E-Tan potrebbe essere un valido strumento per la creazione di altri compiti di valutazione ma anche di training: la possibilità di ricavare le sequenze spazio-temporali di disposizione degli oggetti potrebbe essere utile per compiti spaziali ecologici di ordinazione di oggetti, di forme e dimensioni diverse, e sequenze sullo spazio o di riproduzione di configurazioni, pensando ad una versione tridimensionale della Figura di Ray (Rey, 1941; Osterrieth, 1944).

Per concludere, l'E-BTT è uno strumento versatile che apre a molte possibilità e potenzialità di ricerca che potrebbero non solo migliorare la nostra comprensione della cognizione spaziale, ma anche avere implicazioni sulla riabilitazione dei pazienti con disturbi delle abilità visuospatiali a vario livello.

BIBLIOGRAFIA

Abele, A. E., & Wojciszke, B. (2014). Chapter Four - Communal and Agentic Content in Social Cognition: A Dual Perspective Model. In J. M. Olson & M. P. Zanna (Eds.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 50, pp. 195–255). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800284-1.00004-7>

Akshoomoff, N. A., & Stiles, J. (1995). Developmental trends in visuospatial analysis and planning: I. Copying a complex figure. *Neuropsychology*, *9*(3), 364–377. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.9.3.364>

Anderson, P., Anderson, V., & Garth, J. (2001). Assessment and development of organizational ability: The Rey complex figure organizational strategy score (RCF-OSS). *The Clinical Neuropsychologist*, *15*(1), 81-94. <https://doi.org/10.1076/clin.15.1.81.1905>

Angelini, L., Mugellini, E., Abou Khaled, O., & Couture, N. (2018). Internet of Tangible Things (IoTT): Challenges and Opportunities for Tangible Interaction with IoT. *Informatics*, *5*(1), 7. <https://doi.org/10.3390/informatics5010007>

Argiuolo, A., & Ponticorvo, M. (2020). *E-TAN platform and E-Baking Tray Task potentialities: New ways to solve old problems*. In O. Gigliotta & M. Ponticorvo (Eds.), *Proceedings of the Second Symposium on Psychology-Based Technologies (PSYCHOBIT 2020)* (Vol. 2730). CEUR Workshop Proceedings.

Bailey, M. J., Riddoch, M. J., & Crome, P. (2004). Test–retest stability of three tests for unilateral visual neglect in patients with stroke: Star Cancellation, Line Bisection, and the Baking Tray Task. *Neuropsychological Rehabilitation*, *14*(4), 403-419. <https://doi.org/10.1080/09602010343000282>

Bartolomeo, P., & Chokron, S. (2002). Orienting of attention in left unilateral neglect. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *26*(2), 217-234. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(01\)00065-3](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(01)00065-3)

Bartolomeo, P., & Seidel Malkinson, T. (2019). Hemispheric lateralization of attention processes in the human brain. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.12.023>

- Belacchi, C., Scalisi, T., Cannoni, E., & Cornoldi, C. (2008). *CPM – Coloured Progressive Matrices. Standardizzazione Italiana. Manuale*. Giunti OS.
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Bremond, R., & Baccino, T. (2013). Leftward attentional bias in a simulated driving task. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *20*, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.07.006>
- Benwell, C. S. Y., Thut, G., Learmonth, G., & Harvey, M. (2013). Spatial attention: Differential shifts in pseudoneglect direction with time-on-task and initial bias support the idea of observer subtypes. *Neuropsychologia*, *51*(13), 2747–2756. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.030>
- Berretz, G., Wolf, O. T., Güntürkün, O., & Ocklenburg, S. (2020). Atypical lateralization in neurodevelopmental and psychiatric disorders: What is the role of stress? *Cortex*, *125*, 215–232. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.12.019>
- Boles, D. B., Adair, L. P., & Joubert, A.-M. (2009). A Preliminary Study of Lateralized Processing in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *The Journal of General Psychology*, *136*(3), 243–260. <https://doi.org/10.3200/GENP.136.3.243-260>
- Bowers, D., & Heilman, K. M. (1980). Pseudoneglect: Effects of hemispace on a tactile line bisection task. *Neuropsychologia*, *18*(4), 491–498. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(80\)90151-7](https://doi.org/10.1016/0028-3932(80)90151-7)
- Bradshaw, A., Bishop, D., & Woodhead, Z. (2020). Testing the interhemispheric deficit theory of dyslexia using the visual half-field technique. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *73*(7), 1004–1016. <https://doi.org/10.1177/1747021819895472>
- Bradshaw, J. L., Nettleton, N. C., Wilson, L. E., & Bradshaw, C. S. (1987). Line bisection by left-handed preschoolers: a phenomenon of symmetrical neglect. *Brain and Cognition*, *6*(4), 377–385. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(87\)90134-5](https://doi.org/10.1016/0278-2626(87)90134-5)
- Brennan, A. A., Bruderer, A. J., Liu-Ambrose, T., Handy, T. C., & Enns, J. T. (2017). Lifespan changes in attention revisited: Everyday visual search. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, *71*(2), 160–171. <https://doi.org/10.1037/cep0000130>

- Brink, A. F. T., Visser-Meily, J. M. A., & Nijboer, T. C. W. (2018). What Does It Take to Search Organized? The Cognitive Correlates of Search Organization During Cancellation After Stroke. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 24(5), 424–436. <https://doi.org/10.1017/S1355617717001254>
- Brooks, J. L., Della Sala, S., & Darling, S. (2014). Representational Pseudoneglect: A Review. *Neuropsychology Review*, 24(2), 148–165. <https://doi.org/10.1007/s11065-013-9245-2>
- Brooks, S. K., Webster, R. K., Smith, L. E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., & Rubin, G. J. (2020). The psychological impact of quarantine and how to reduce it: Rapid review of the evidence. *Lancet (London, England)*, 395(10227), 912–920. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)
- Bulf, H., de Hevia, M. D., & Macchi Cassia, V. (2016). Small on the left, large on the right: Numbers orient visual attention onto space in preverbal infants. *Developmental Science*, 19(3), 394–401. <https://doi.org/10.1111/desc.12315>
- Bulf, H., de Hevia, M. D., Gariboldi, V., & Macchi Cassia, V. (2017). Infants learn better from left to right: A directional bias in infants' sequence learning. *Scientific Reports*, 7(1), 2437. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02466-w>
- Burgess, N. (2006). Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(12), 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.10.005>
- Burgess, N. (2008). Spatial cognition and the brain. In *The year in cognitive neuroscience 2008* (pp. 77–97). Blackwell Publishing.
- Calbi, M., Aldouby, H., Gersht, O., Langiulli, N., Gallese, V., & Umiltà, M. A. (2019). Haptic Aesthetics and Bodily Properties of Ori Gersht's Digital Art: A Behavioral and Eye-Tracking Study. *Frontiers in Psychology*, 10, 2520. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02520>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>

- Cattaneo, Z., Fantino, M., Silvanto, J., Tinti, C., & Vecchi, T. (2011). Blind individuals show pseudoneglect in bisecting numerical intervals. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 1021–1028. <https://doi.org/10.3758/s13414-011-0094-x>
- Cerrato, A., Pacella, D., Palumbo, F., Beauvais, D., Ponticorvo, M., Miglino, O., & Bartolomeo, P. (2021). E-TAN, a technology-enhanced platform with tangible objects for the assessment of visual neglect: A multiple single-case study. *Neuropsychological Rehabilitation*, 31(7), 1130–1144. <https://doi.org/10.1080/09602011.2020.1762671>
- Cerrato, A., Ponticorvo, M., Gigliotta, O., Bartolomeo, P., & Miglino, O. (2019). BTT-SCAN: Uno strumento per la valutazione della negligenza spaziale unilaterale. *Sistemi Intelligenti*, 2/2019. <https://doi.org/10.1422/93573>
- Chen, J., Kaur, J., Abbas, H., Wu, M., Luo, W., Osman, S., & Niemeier, M. (2019). Evidence for a common mechanism of spatial attention and visual awareness: Towards construct validity of pseudoneglect. *PloS one*, 14(3), e0212998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212998>
- Chen, J., Lee, A. C. H., O’Neil, E. B., Abdul-Nabi, M., & Niemeier, M. (2020). Mapping the anatomy of perceptual pseudoneglect. A multivariate approach. *NeuroImage*, 207, 116402. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116402>
- Chevignard, M., Soo, C., Galvin, J., Catroppa, C., & Eren, S. (2012). Ecological assessment of cognitive functions in children with acquired brain injury: A systematic review. *Brain Injury: [BI]*, 26, 1033–1057. <https://doi.org/10.3109/02699052.2012.666366>
- Chokron, S., & De Agostini, M. (1995). Reading habits and line bisection: A developmental approach. *Cognitive Brain Research*, 3(1), 51–58. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00018-6](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00018-6)
- Ciricugno, A., Bartlett, M. L., Gwinn, O. S., Carragher, D. J., & Nicholls, M. E. (2021). The effect of cognitive load on horizontal and vertical spatial asymmetries. *Laterality*, 26(6), 1-19. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2021.1920972>
- Clements-Stephens, A. M., McKell-Jeffers, G. O., Maddux, J. M., & Shelton, A. L. (2011). Strategies for spatial organization in adults and Children. *Visual cognition*, 19(7), 886-909. <https://doi.org/10.1080/13506285.2011.595742>

- Corballis, M. C. (2012). Chapter 6—Lateralization of the human brain. In M. A. Hofman & D. Falk (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 195, pp. 103–121). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53860-4.00006-4>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Costa, L. D., Vaughan Jr, H. G., Horwitz, M., & Ritter, W. (1969). Patterns of behavioral deficit associated with visual spatial neglect. *Cortex*, 5(3), 242–263. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(69\)80033-X](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(69)80033-X)
- Coull, J. T., Johnson, K. A., & Droit-Volet, S. (2018). A Mental Timeline for Duration From the Age of 5 Years Old. *Frontiers in Psychology*, 9, 1155. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01155>
- Dallas, S. K., Liu, P. J., & Ubel, P. A. (2019). Don't Count Calorie Labeling Out: Calorie Counts on the Left Side of Menu Items Lead to Lower Calorie Food Choices. *Journal of Consumer Psychology*, 29(1), 60–69. <https://doi.org/10.1002/jcpy.1053>
- Dalmajer, E. S., Van der Stigchel, S., Nijboer, T. C. W., Cornelissen, T. H. W., & Husain, M. (2015). CancellationTools: All-in-one software for administration and analysis of cancellation tasks. *Behavior Research Methods*, 47(4), 1065–1075. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0522-7>
- Davies, D. R., Matthews, G., Stammers, R. B., & Westerman, S. J. (2013). Human performance: Cognition, stress and individual differences. Psychology Press.
- de Hevia, M. D., Girelli, L., Addabbo, M., & Macchi Cassia, V. (2014). Human infants' preference for left-to-right oriented increasing numerical sequences. *PloS one*, 9(5), e96412.
- Dellatolas, G., Coutin, T., & De Agostini, M. (1996). Bisection and Perception of Horizontal Lines in Normal Children. *Cortex*, 32(4), 705–715. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(96\)80040-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(96)80040-2)

- Diekamp, B., Regolin, L., Güntürkün, O., & Vallortigara, G. (2005). A left-sided visuospatial bias in birds. *Current Biology*, 15(10), R372–R373. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.05.017>
- Eardley, A. F., Darling, S., Dumper, P., Browne, D., & Van Velzen, J. (2017). Related but different: Examining pseudoneglect in audition, touch and vision. *Brain and Cognition*, 113, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.01.011>
- Eysenck, H. J. (1986). Toward a new model of intelligence. *Personality and individual differences*, 7(5), 731-736. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(86\)90044-9](https://doi.org/10.1016/0191-8869(86)90044-9)
- Fabius, J., Ten Brink, A. F., Van der Stigchel, S., & Nijboer, T. C. W. (2020). The relationship between visuospatial neglect, spatial working memory and search behavior. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 42(3), 251–262. <https://doi.org/10.1080/13803395.2019.1707779>
- Facchin, A., Beschin, N., Pisano, A., & Reverberi, C. (2016). Normative data for distal line bisection and baking tray task. *Neurological Sciences*, 37(9), 1531–1536. <https://doi.org/10.1007/s10072-016-2626-6>
- Facoetti, A., Turatto, M., Lorusso, M. L., & Mascetti, G. G. (2001). Orienting of visual attention in dyslexia: Evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Experimental Brain Research*, 138(1), 46–53. <https://doi.org/10.1007/s002210100700>
- Fagard, J., & Dahmen, R. (2003). The effects of reading-writing direction on the asymmetry of space perception and directional tendencies: A comparison between French and Tunisian children. *Laterality*, 8(1), 39–52. <https://doi.org/10.1080/713754473>
- Failla, C. V., Sheppard, D. M., & Bradshaw, J. L. (2003). Age and responding-hand related changes in performance of neurologically normal subjects on the line-bisection and chimeric-faces tasks. *Brain and Cognition*, 52(3), 353–363. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00181-7](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00181-7)
- Ferrara, F., Ponticorvo, M., Di Ferdinando, A., & Miglino, O. (2016). Tangible Interfaces for Cognitive Assessment and Training in Children: LogicART. In V. L. Uskov, R. J. Howlett, & L. C. Jain (Eds.), *Smart Education and e-Learning 2016* (pp. 329–338). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39690-3_29

Friedrich, T. E., Hunter, P. V., & Elias, L. J. (2018). The Trajectory of Pseudoneglect in Adults: A Systematic Review. *Neuropsychology Review*, 28(4), 436–452. <https://doi.org/10.1007/s11065-018-9392-6>

Gardner, H. E. (2011). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Hachette UK.

Gigliotta, O., Seidel Malkinson, T., Miglino, O., & Bartolomeo, P. (2017a). Pseudoneglect in Visual Search: Behavioral Evidence and Connectional Constraints in Simulated Neural Circuitry. *ENeuro*, 4(6), ENEURO.0154-17.2017. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0154-17.2017>

Gigliotta, O., Seidel Malkinson, T., Miglino, O., & Bartolomeo, P. (2017b). Pseudoneglect in Visual Search: Behavioral Evidence and Connectional Constraints in Simulated Neural Circuitry. *ENeuro*, 4(6), ENEURO.0154-17.2017. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0154-17.2017>

Giorgio, E. D., Lunghi, M., Rugani, R., Regolin, L., Barba, B. D., Vallortigara, G., & Simion, F. (2019). A mental number line in human newborns. *Developmental Science*, 22(6), e12801. <https://doi.org/10.1111/desc.12801>

Girelli, L., Marinelli, C. V., Grossi, G., & Arduino, L. S. (2017). Cultural and biological factors modulate spatial biases over development. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 22(6), 725-739. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2017.1279623>

Göbel, S. M. (2015). Up or down? Reading direction influences vertical counting direction in the horizontal plane – a cross-cultural comparison. *Frontiers in Psychology*, 6, 228. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00228>

Göbel, S. M., McCrink, K., Fischer, M. H., & Shaki, S. (2018). Observation of directional storybook reading influences young children's counting direction. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 49–66. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.08.001>

Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)

- Guo, K., Meints, K., Hall, C., Hall, S., & Mills, D. (2009). Left gaze bias in humans, rhesus monkeys and domestic dogs. *Animal Cognition*, *12*(3), 409–418. <https://doi.org/10.1007/s10071-008-0199-3>
- Hamaoui, J., Maumy-Bertrand, M., & Segond, H. (2021). Laterality and visuospatial strategies among young children: A novel 3D-2D transcription task. *Laterality*, 1-35. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2021.1892715>
- Hari, R., Renvall, H., & Tanskanen, T. (2001). Left minineglect in dyslexic adults. *Brain*, *124*(7), 1373–1380. <https://doi.org/10.1093/brain/124.7.1373>
- Harrison, D. W. (2015). Personal, Peripersonal, and Extrapersonal Space. In D. W. Harrison (Ed.), *Brain Asymmetry and Neural Systems: Foundations in Clinical Neuroscience and Neuropsychology* (pp. 461–465). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13069-9_28
- Hart, E., Grattan, E., Woodbury, M., Herbert, T. L., Coker-Bolt, P., & Bonilha, H. (2021). Pediatric unilateral spatial neglect: A systematic review. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, *14*(3), 345–359. <https://doi.org/10.3233/PRM-200779>
- Hart, R. A., & Moore, G. T. (1973). The Development of Spatial Cognition: A Review. In *Image & environment: Cognitive mapping and spatial behavior* (pp. 246–288). AldineTransaction.
- Hartmann, M., Sommer, N. R., Diana, L., Müri, R. M., & Eberhard-Moscicka, A. K. (2019). Further to the right: viewing distance modulates attentional asymmetries ('pseudoneglect') during visual exploration. *Brain and cognition*, *129*, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.11.008>
- Hausmann, M., Waldie, K. E., & Corballis, M. C. (2003). Developmental changes in line bisection: A result of callosal maturation? *Neuropsychology*, *17*(1), 155–160. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.1.155>
- Heilman, K. M., & Van Den Abell, T. (1980). Right hemisphere dominance for attention: the mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology*, *30*(3), 327-327. <https://doi.org/10.1212/WNL.30.3.327>

- Hoyos, P. M., Kim, N. Y., Cheng, D., Finkelston, A., & Kastner, S. (2021). Development of spatial biases in school-aged children. *Developmental Science*, 24(3), e13053. <https://doi.org/10.1111/desc.13053>
- IBM Corp. (2017). Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corporation.
- Ickx, G., Bleyenheuft, Y., & Hatem, S. M. (2017). Development of Visuospatial Attention in Typically Developing Children. *Frontiers in Psychology*, 8, 2064. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02064>
- Ickx, G., Hatem, S. M., Riquelme, I., Friel, K. M., Henne, C., Araneda, R., Gordon, A. M., & Bleyenheuft, Y. (2018). Impairments of Visuospatial Attention in Children with Unilateral Spastic Cerebral Palsy. *Neural Plasticity*, 2018, e1435808. <https://doi.org/10.1155/2018/1435808>
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(3), 194–203. <https://doi.org/10.1038/35058500>
- JASP Team (2020). JASP (Version 0.12.2).
- Jewell, G., & McCourt, M. E. (2000). Pseudoneglect: A review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 93–110. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00045-7)
- Karolis, V. R., Corbetta, M., & Thiebaut de Schotten, M. (2019). The architecture of functional lateralisation and its relationship to callosal connectivity in the human brain. *Nature communications*, 10(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09344-1>
- Kebbe, H., & Vinter, A. (2013). How culture, age, and manual dominance affect directionality in drawing side view objects. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 44(1), 160-172. <https://doi.org/10.1177/0022022111435098>
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, 33, 193–201. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(70\)90132-0](https://doi.org/10.1016/0001-6918(70)90132-0)
- Kinsbourne, M. (1994). Mechanisms of neglect: implications for rehabilitation. *Neuropsychological Rehabilitation*, 4(2), 151-153. <https://doi.org/10.1080/09602019408402274>

- Kirsh, D. (1995). The intelligent use of space. *Artificial intelligence*, 73(1-2), 31-68. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00017-U](https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00017-U)
- Kornmann, J., Kammerer, Y., Anjewierden, A., Zettler, I., Trautwein, U., & Gerjets, P. (2016). How children navigate a multiperspective hypermedia environment: The role of spatial working memory capacity. *Computers in human behavior*, 55, 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.08.054>
- LaBerge, D., Auclair, L., & Sieroff, E. (2000). Preparatory Attention: Experiment and Theory. *Consciousness and Cognition*, 9(3), 396-434. <https://doi.org/10.1006/ccog.1999.0429>
- Laurent-Vannier, A., Chevignard, M., Pradat-Diehl, P., Abada, G., & Agostini, M. D. (2006). Assessment of unilateral spatial neglect in children using the Teddy Bear Cancellation Test. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 48(2), 120-125. <https://doi.org/10.1017/S0012162206000260>
- Lee, E., Hong, J., Park, Y. G., Chae, S., Kim, Y., & Kim, D. (2015). Left brain cortical activity modulates stress effects on social behavior. *Scientific reports*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep13342>
- Lee, K., Jeong, D., Schindler, R. C., & Short, E. J. (2016). SIG-Blocks: Tangible game technology for automated cognitive assessment. *Computers in Human Behavior*, 65, 163-175. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.023>
- Lee, K., Jeong, D., Schindler, R. C., Hlavaty, L. E., Gross, S. I., & Short, E. J. (2018). Interactive Block Games for Assessing Children's Cognitive Skills: Design and Preliminary Evaluation. *Frontiers in Pediatrics*, 6, 111. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00111>
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., & Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press, USA.
- Mandolesi, L., & Gigliotta, O. (2021). La coccinella nel castello. Una versione videogioco del labirinto radiale per lo studio delle abilità spaziali. *Sistemi intelligenti*, 33(3), 527-532. <https://doi.org/10.1422/102555>

- Mandolesi, L., Petrosini, L., Menghini, D., Addona, F., & Vicari, S. (2009). Children's radial arm maze performance as a function of age and sex. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 27(8), 789–797. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2009.08.010>
- Marinelli, C. V., Arduino, L. S., Trinczer, I. L., & Friedmann, N. (2019). How Different Reading Habits Influence Lines, Words and Pseudowords Bisection: Evidence from Italian and Hebrew. *Psychology*, 10(15), 2051-2061. <https://doi.org/10.4236/psych.2019.1015132>
- Mattingley, J. B., Berberovic, N., Corben, L., Slavin, M. J., Nicholls, M. E. R., & Bradshaw, J. L. (2004). The greyscales task: A perceptual measure of attentional bias following unilateral hemispheric damage. *Neuropsychologia*, 42(3), 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.07.007>
- McCrink, K., Shaki, S., & Berkowitz, T. (2014). Culturally driven biases in preschoolers' spatial search strategies for ordinal and non-ordinal dimensions. *Cognitive Development*, 30, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2013.11.002>
- McGeorge, P., Beschin, N., Colnaghi, A., Rusconi, M. L., & Della Sala, S. (2007). A lateralized bias in mental imagery: Evidence for representational pseudoneglect. *Neuroscience Letters*, 421(3), 259–263. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.05.050>
- Mishkin, M., & Ungerleider, L. G. (1982). Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys. *Behavioural Brain Research*, 6(1), 57–77. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(82\)90081-X](https://doi.org/10.1016/0166-4328(82)90081-X)
- Mitchell, A. G., Harris, J. M., Benstock, S. E., & Ales, J. M. (2020). The reliability of pseudoneglect is task dependent. *Neuropsychologia*, 148, 107618. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107618>
- Miyata, H., Watanabe, S., & Minagawa, Y. (2014). Performance of young children on “traveling salesperson” navigation tasks presented on a touch screen. *PloS one*, 9(12), e115292.
- Montello, D. R. (2001). Spatial Cognition. In N. J. Smelser & B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences* (pp. 7–14771).

- Morris, R. (1984). Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat. *Journal of Neuroscience Methods*, *11*(1), 47–60. [https://doi.org/10.1016/0165-0270\(84\)90007-4](https://doi.org/10.1016/0165-0270(84)90007-4)
- Mundorf, A., Matsui, H., Ocklenburg, S., & Freund, N. (2020). Asymmetry of turning behavior in rats is modulated by early life stress. *Behavioural Brain Research*, *393*, 112807. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112807>
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*(3), 353–383. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90012-3)
- Newcombe, N. S., & Huttenlocher, J. (2006). Development of Spatial Cognition. In *Handbook of child psychology: Cognition, perception, and language, Vol. 2, 6th ed* (pp. 734–776). John Wiley & Sons Inc.
- Nicholls, M. E. R., Bradshaw, J. L., & Mattingley, J. B. (1999). Free-viewing perceptual asymmetries for the judgement of brightness, numerosity and size. *Neuropsychologia*, *37*(3), 307–314. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(98\)00074-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(98)00074-8)
- Nicholls, M. E. R., Loftus, A. M., Orr, C. A., & Barre, N. (2008). Rightward collisions and their association with pseudoneglect. *Brain and Cognition*, *68*(2), 166–170. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.04.003>
- Nicholls, M. E. R., Orr, C. A., Okubo, M., & Loftus, A. (2006). Satisfaction Guaranteed: The Effect of Spatial Biases on Responses to Likert Scales. *Psychological Science*, *17*(12), 1027–1028. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01822.x>
- Nuthmann, A., & Matthias, E. (2014). Time course of pseudoneglect in scene viewing. *Cortex*, *52*, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.11.007>
- Ocklenburg, S., Berretz, G., Packheiser, J., & Friedrich, P. (2021). Laterality 2020: Entering the next decade. *Laterality*, *26*(3), 265–297. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2020.1804396>
- Ocklenburg, S., Korte, S. M., Peterburs, J., Wolf, O. T., & Güntürkün, O. (2016). Stress and laterality – The comparative perspective. *Physiology & Behavior*, *164*, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.06.020>

- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Olton, D. S., & Samuelson, R. J. (1976). Remembrance of places passed: Spatial memory in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 2(2), 97–116. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.2.2.97>
- Orr, C. A., & Nicholls, M. E. (2005). The nature and contribution of space-and object-based attentional biases to free-viewing perceptual asymmetries. *Experimental Brain Research*, 162(3), 384-393. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-2196-3>
- Osterrieth, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire. [Test of copying a complex figure; contribution to the study of perception and memory.]. *Archives de Psychologie*, 30, 206–356.
- Paas, F., Van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: New conceptualizations, specifications, and integrated research perspectives. *Educational psychology review*, 22(2), 115-121.
- Patro, K., Nuerk, H. C., & Brugger, P. (2018). Visuospatial biases in preschool children: Evidence from line bisection in three-dimensional space. *Journal of experimental child psychology*, 173, 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.03.002>
- Patro, K., Nuerk, H.-C., & Cress, U. (2016). Mental Number Line in the Preliterate Brain: The Role of Early Directional Experiences. *Child Development Perspectives*, 10(3), 172–177. <https://doi.org/10.1111/cdep.12179>
- Picard, D., & Zarhbouch, B. (2014). Leftward spatial bias in children's drawing placement: Hemispheric activation versus directional hypotheses. *Laterality*, 19(1), 96–112. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2013.777072>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3-25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>

- Pozuelos, J. P., Paz-Alonso, P. M., Castillo, A., Fuentes, L. J., & Rueda, M. R. (2014). Development of attention networks and their interactions in childhood. *Developmental Psychology*, *50*(10), 2405–2415. <https://doi.org/10.1037/a0037469>
- Pulsipher, D. T., Seidenberg, M., & Hermann, B. P. (2009). Corpus Callosum Maturation and Line Bisection Performance in Healthy Children. *Brain Imaging and Behavior*, *3*(4), 307–316. <https://doi.org/10.1007/s11682-009-9073-4>
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. Wien: R Foundation for Statistical Computing,
- Rabuffetti, M., Farina, E., Alberoni, M., Pellegatta, D., Appollonio, I., Affanni, P., ... & Ferrarin, M. (2012). Spatio-temporal features of visual exploration in unilaterally brain-damaged subjects with or without neglect: results from a touchscreen test. *PLoS one*, *7*(2), e31511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031511>
- Raven, J.C., Raven, J.C., Court, J.H. (1962). Advanced progressive matrices. London: HK Lewis.
- Rey, A. (1941). L'examen psychologique dans les cas d'encéphalopathie traumatique. (Les problems.). [The psychological examination in cases of traumatic encephalopathy. Problems.]. *Archives de Psychologie*, *28*, 215–285.
- Rinaldi, L., Di Luca, S., Toneatto, C., & Girelli, L. (2020). The effects of hemispheric dominance, literacy acquisition, and handedness on the development of visuospatial attention: A study in preschoolers and second graders. *Journal of Experimental Child Psychology*, *195*, 104830. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104830>
- Rodway, P., Schepman, A., Crossley, B., & Lee, J. (2019). A leftward perceptual asymmetry when judging the attractiveness of visual patterns. *Laterality*, *24*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2018.1461897>
- Rohr, C. S., Vinette, S. A., Parsons, K. A. L., Cho, I. Y. K., Dimond, D., Benischek, A., Lebel, C., Dewey, D., & Bray, S. (2017). Functional Connectivity of the Dorsal Attention Network Predicts Selective Attention in 4–7 year-old Girls. *Cerebral Cortex*, *27*(9), 4350–4360. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw236>

- Rolfe, M. H. S., Hamm, J. P., & Waldie, K. E. (2008). Differences in paper-and-pencil versus computerized line bisection according to ADHD subtype and hand-use. *Brain and Cognition*, *66*(2), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.007>
- Romero, M., & Biswas, D. (2016). Healthy-Left, Unhealthy-Right: Can Displaying Healthy Items to the Left (versus Right) of Unhealthy Items Nudge Healthier Choices? *Journal of Consumer Research*, *43*(1), 103–112. <https://doi.org/10.1093/jcr/ucw008>
- Rugani, R., Vallortigara, G., Priftis, K., & Regolin, L. (2015). Number-space mapping in the newborn chick resembles humans' mental number line. *Science*, *347*(6221), 534–536. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1379>
- Santaracchi, E., Sprugnoli, G., Tatti, E., Mencarelli, L., Neri, F., Momi, D., Di Lorenzo, G., Pascual-Leone, A., Rossi, S., & Rossi, A. (2018). Brain functional connectivity correlates of coping styles. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *18*(3), 495–508. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0583-7>
- Schul, R., Townsend, J., & Stiles, J. (2003). The development of attentional orienting during the school-age years. *Developmental Science*, *6*(3), 262–272. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00282>
- Shaer, O., & Hornecker, E. (2010). *Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions*. Now Publishers Inc.
- Sica, C., Magni, C., Ghisi, M., Altoè, G., Sighinolfi, C., Chiri, L., & Franceschini, S. (2008). Coping Orientation to the Problems Experiences-new Italian version (COPE-NVI). *Psicoterapia Cognitiva e Comportamentale*, *14*, 27–53.
- Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 10, pp. 9–55). JAI. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(08\)60007-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60007-5)
- Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 10, pp. 9–55). JAI. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(08\)60007-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60007-5)

- Sullivan, R. M. (2004). Hemispheric Asymmetry in Stress Processing in Rat Prefrontal Cortex and the Role of Mesocortical Dopamine. *Stress*, 7(2), 131–143. <https://doi.org/10.1080/102538900410001679310>
- Szczepanski, S. M., & Kastner, S. (2013). Shifting Attentional Priorities: Control of Spatial Attention through Hemispheric Competition. *Journal of Neuroscience*, 33(12), 5411–5421. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4089-12.2013>
- Szczepanski, S. M., Konen, C. S., & Kastner, S. (2010). Mechanisms of Spatial Attention Control in Frontal and Parietal Cortex. *Journal of Neuroscience*, 30(1), 148–160. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3862-09.2010>
- Ten Brink, A. F., Van der Stigchel, S., Visser-Meily, J. M., & Nijboer, T. C. (2016). You never know where you are going until you know where you have been: Disorganized search after stroke. *Journal of Neuropsychology*, 10(2), 256–275. <https://doi.org/10.1111/jnp.12068>
- Tham, K. (1996). The Baking Tray Task: A Test of Spatial Neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6(1), 19–26. <https://doi.org/10.1080/713755496>
- Thareja, T., Ballantyne, A. O., & Trauner, D. A. (2012). Spatial analysis after perinatal stroke: Patterns of neglect and exploration in extra-personal space. *Brain and Cognition*, 79(2), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.009>
- Thiebaut de Schotten, M., Dell’Acqua, F., Forkel, S., Simmons, A., Vergani, F., Murphy, D. G. M., & Catani, M. (2011). A Lateralized Brain Network for Visuo-Spatial Attention. *Nature Precedings*, 1–1. <https://doi.org/10.1038/npre.2011.5549.1>
- Thurstone, L. L. (1938). Primary mental abilities. *Psychometric monographs*, 1, ix + 121.
- Trauner, D. A. (2003). Hemispatial neglect in young children with early unilateral brain damage. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 45(3), 160–166. <https://doi.org/10.1017/S0012162203000318>
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 40(2), 201–237. <https://doi.org/10.1080/02724988843000104>

Tzourio-Mazoyer, N., Zago, L., Cochet, H., & Crivello, F. (2020). Chapter 10—Development of handedness, anatomical and functional brain lateralization. In A. Gallagher, C. Bulteau, D. Cohen, & J. L. Michaud (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 173, pp. 99–105). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64150-2.00011-3>

Umiltà, C., & Moscovitch, M. (1994). *Attention and Performance XV: Conscious and Nonconscious Information Processing*. MIT Press.

Vidyaşagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: A deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(2), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>

Waldie, K. E., & Hausmann, M. (2010). Right fronto-parietal dysfunction in children with ADHD and developmental dyslexia as determined by line bisection judgements. *Neuropsychologia*, *48*(12), 3650–3656. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.08.023>

Walsh, P., Lynch, J., Kelly, B., Palu, C. C., Gigliotta, O., & Di Fuccio, R. (2019). Demonstrating Machine Learning for Cancer Diagnostics. In CERC (pp. 185-194).

Weiss, P. H., Marshall, J. C., Wunderlich, G., Tellmann, L., Halligan, P. W., Freund, H. J., ... & Fink, G. R. (2000). Neural consequences of acting in near versus far space: a physiological basis for clinical dissociations. *Brain*, *123*(12), 2531-2541. <https://doi.org/10.1093/brain/123.12.2531>

Woods, A. J., Göksun, T., Chatterjee, A., Zeloni, S., Mehta, A., & Smith, S. E. (2013). The development of organized visual search. *Acta Psychologica*, *143*(2), 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.03.008>

Yantis, S. (1996). Attentional capture in vision. In *Converging operations in the study of visual selective attention* (pp. 45–76). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10187-002>

Zago, L., Petit, L., Jobard, G., Hay, J., Mazoyer, B., Tzourio-Mazoyer, N., Karnath, H.-O., & Mellet, E. (2017). Pseudoneglect in line bisection judgement is associated with a modulation of right hemispheric spatial attention dominance in right-handers. *Neuropsychologia*, *94*, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.11.024>

Zurlo, M. C., Cattaneo Della Volta, M. F., & Vallone, F. (2020). COVID-19 Student Stress Questionnaire: Development and Validation of a Questionnaire to Evaluate Students' Stressors Related to the Coronavirus Pandemic Lockdown. *Frontiers in Psychology, 11*, 576758. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.576758>