

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II**



DIPARTIMENTO DI STUDI UMANISTICI

**CORSO DI DOTTORATO IN MIND, GENDER AND LANGUAGE
XXXV CICLO**

**E-BAKING TRAY TASK: NUOVI INDICI PER ESPORARE LATERALITÀ,
VERTICALITÀ E QUALITÀ NEI COMPITI DI ATTENZIONE VISUO- SPAZIALE**

**E-BAKING TRAY TASK: NEW INDEXES TO EXPLORE LATERALITY,
VERTICALITY AND QUALITY IN VISUO-SPATIAL ATTENTION TASKS**

CANDIDATA

Antonietta Argiuolo

TUTOR INTERNO –

**Università degli Studi di
Napoli “Federico II”**

Prof.ssa Michela Ponticorvo

**TUTOR ESTERO– ICM
(Brain & Spine Institute)**

Sorbonne Université

Prof. Paolo Bartolomeo

**TUTOR AZIENDALE –
SMARTED**

Prof. Raffaele di Fuccio

COORDINATORE Prof. Dario Bacchini

Anno Accademico 2021-2022

Indice

Riassunto	5
Abstract	7
Capitolo 1	9
Cognizione spaziale e suoi disturbi	9
1.1 La Cognizione spaziale.....	9
1.2 L'attenzione visuo-spaziale.....	11
1.2.1 Correlati neurali	13
1.3 I disturbi visuo-spaziali.....	15
1.3.1 La negligenza spaziale unilaterale (neglect)	15
1.3.2 Asimmetrie nell'esplorazione del campo visivo	21
Capitolo 2	25
La valutazione dell'attenzione visuo-spaziale	25
2.1 La valutazione delle abilità visuo-spaziali	25
2.1.1 Batterie	26
2.1.2 Test classici carta e matita	26
2.1.3 Test digitalizzati.....	28
2.2 Realtà virtuale.....	31
2.3 Limiti del digitale e realtà aumentata.....	34
Capitolo 3	37
Il Baking Tray Task e l'E-BTT	37
3.1 Il Baking Tray Task	37
3.2 L'Enhanced Baking Tray Task (E-BTT)	41
Capitolo 4	46
L'analisi dei dati dell'E-BTT: soluzioni innovative sviluppate nel periodo di dottorato.....	46
4.1 Introduzione: dal BTT all'E-BTT.....	46
4.1.1 L'analisi dei dati del BTT	46
4.1.2 Primi studi con l'E-BTT: analisi dei quadranti, clustering e analisi dell'area	46
4.1.3 Valutazione dello pseudoneglect con l'E-BTT	49
4.2 Nuove direzioni sviluppate durante il dottorato: analisi delle distanze e nuovi indici.....	50
4.2.1 Primo studio: Studio esplorativo sull'Analisi delle distanze Euclidee	50
4.2.2 Secondo studio: Nuovi indici per l'E-BTT	61
4.2.3 Terzo studio: Indici di organizzazione.....	78
4.2.4 Quarto studio: confronto adulti-bambini.....	85
4.3 E-TAN ANALYST: Uno strumento per l'analisi dei dati.....	90
Conclusioni e direzioni future	96
Limiti e prospettive future.....	100

Bibliografia.....	103
Appendice A.....	127
Script per il calcolo degli indici	127
Appendice B	143
Altri disturbi visuo-spaziali	143

Riassunto

La seguente Tesi di Dottorato ha come scopo l'analisi dei dati di un compito innovativo, l'Enhanced Baking Tray Task (E-BTT).

L'E-BTT è stato sviluppato recentemente a partire da un semplice compito di valutazione dell'emeinellenza spaziale unilaterale (neglect), il Baking Tray Task (Tham & Tégner, 1996). Il Baking Tray Task, a sua volta, è un compito molto versatile che studia l'attenzione visuo-spaziale, un aspetto della cognizione spaziale.

Partiremo quindi a descrivere la cognizione spaziale normale, ponendo particolare accento all'attenzione visuo-spaziale, ai suoi correlati neurali e ai suoi disturbi. Parleremo di neglect, una sindrome complessa e multifaccettata che è caratterizzata dall'incapacità sistematica di porre attenzione al lato controlaterale rispetto alla lesione cerebrale. Ma l'esplorazione dello spazio peripersonale non è simmetrica: esiste, infatti, lo pseudoneglect, per cui, in diversi compiti neuropsicologici e non, esiste una preferenza verso il lato sinistro dello spazio.

La disciplina che si occupa di valutare le funzioni cognitive è la neuropsicologia, all'intersezione tra psicologia e neuroscienze. Il neuropsicologo può beneficiare di un gran numero di test e strumenti adatti a studiare l'attenzione visuo-spaziale nello spazio vicino, che vengono utilizzati sia in ambito clinico che di ricerca. Questi test possono essere di due tipi: test carta e matita e test digitalizzati. Negli ultimi anni, infatti, si è assistito a una crescente tendenza a utilizzare anche nella pratica clinica di supporti digitali quali smartphone, tablet o PC, e alcuni test sono stati trasposti su queste piattaforme con notevoli vantaggi.

È quello che è successo nella trasformazione da Baking Tray Task (BTT) a Enhanced Baking Tray Task (E-BTT). Il BTT è un compito neuropsicologico ideato e sviluppato per la valutazione del neglect da Tham e Tégner nel 1996. Esso consiste nel disporre sedici cubetti, all'interno di uno spazio predefinito, in maniera più uniforme possibile, in modo da coprire tutto lo spazio stesso. Nell'E-BTT i cubetti diventano interfacce tangibili e, grazie a una piattaforma software, è ora possibile avere a disposizione le coordinate spaziali e temporali di ciascun oggetto.

I nuovi dati disponibili pongono nuove sfide allo sperimentatore che utilizza l'E-BTT. Nel capitolo 4 proporremo quindi nuovi metodi di analisi dei suoi dati spazio-temporali, partendo da due nuove misure basate sulle distanze e arrivando a una serie di indici che possono così riassumere la performance, in termini di lateralità, verticalità e qualità. Questi indici considerano come un'unica sequenza la linea spezzata che unisce la posizione di ciascun dischetto col successivo. Dimosteremo inoltre come alcuni di questi indici misurano l'organizzazione complessiva del

pattern. Ulteriormente, applicati a un campione di bambini in età scolare, gli indici hanno dimostrato che questi sono meno lateralizzati verso la sinistra, impiegano meno tempo a completare il compito e sono meno organizzati degli adulti.

Infine, descriveremo il prototipo di un'applicazione che analizza i dati spaziali dell'E-BTT in maniera automatica, compilata in linguaggio Python. E-TAN ANALYST è stato sviluppato per il sistema operativo Windows ed è in grado di caricare i dati di output di E-TAN in formato .csv e ottenere la rappresentazione grafica delle sedici coordinate e la loro elaborazione sottoforma di indici.

A questo punto, il clinico potrà interpretare l'output del software e utilizzarlo nella formulazione del piano terapeutico, mentre il ricercatore potrà modulare quelle elaborazioni a seconda delle proprie ipotesi di ricerca.

Per concludere, verranno discusse le implicazioni pratiche di questo lavoro di Dottorato e le possibili ricadute future sul lavoro del clinico e dello sperimentatore.

Abstract

The following PhD thesis aims at analysing the data of an innovative task, the Enhanced Baking Tray Task (E-BTT).

The E-BTT was recently developed from a simple unilateral spatial eminegligence (neglect) assessment task, the Baking Tray Task (Tham & Tégner, 1996). The Baking Tray Task, in turn, is a very versatile task that studies visuospatial attention, an aspect of spatial cognition.

We will therefore start by describing normal spatial cognition, with particular emphasis on visuospatial attention, its neural correlates and its disorders. We will discuss neglect, a complex and multifaceted syndrome that is characterised by a systematic inability to pay attention to the contralateral side of the brain lesion. But the exploration of peripersonal space is not symmetrical: there is, in fact, pseudoneglect, whereby, in various neuropsychological and non-neuropsychological tasks, there is a preference for the left side of space.

The discipline concerned with assessing cognitive function is neuropsychology, at the intersection of psychology and neuroscience. The neuropsychologist can benefit from a large number of tests and instruments suitable for studying visuospatial attention in near space, which are used in both clinical and research settings. These tests can be of two types: paper-and-pencil tests and digitalised tests. In recent years, in fact, there has been a growing trend to use digital media such as smartphones, tablets or PCs in clinical practice as well, and some tests have been transposed to these platforms with considerable advantages.

This is what happened in the transformation from Baking Tray Task (BTT) to Enhanced Baking Tray Task (E-BTT). The BTT is a neuropsychological task designed and developed for the assessment of neglect by Tham and Tégner in 1996. It consists of arranging sixteen cubes, within a predefined space, as evenly as possible so that the whole space is covered. In E-BTT, the cubes become tangible interfaces and, thanks to a software platform, it is now possible to have the spatial and temporal coordinates of each object available.

The new data available pose new challenges to the experimenter using E-BTT. In Chapter 4, we will therefore propose new methods of analysing its spatio-temporal data, starting with two new distance-based measures and arriving at a series of indexes that can summarise performance in terms of laterality, verticality and quality. These indexes consider the broken line joining the position of each disk with the next as a single sequence. We will also show how some of these indexes measure the overall organisation of the pattern. Further, applied to a sample of school-age

children, the indexes showed that they are less lateralised to the left, take less time to complete the task and are less organised than adults.

Finally, we will describe the prototype of an application that analyses E-BTT spatial data automatically, compiled in the Python language. E-TAN ANALYST was developed for the Windows operating system and is able to load the E-TAN output data in .csv format and obtain the graphic representation of the sixteen coordinates and their processing in the form of indexes.

At this point, the clinician will be able to interpret the output of the software and use it in the formulation of the treatment plan, while the researcher will be able to modulate those elaborations according to his or her own research hypotheses.

To conclude, the practical implications of this Doctoral work and possible future implications for the work of the clinician and the investigator will be discussed.

Capitolo 1

Cognizione spaziale e suoi disturbi

1.1 La Cognizione spaziale

La **cognizione spaziale** è un aspetto della cognizione umana (Newcombe, 2018) che comprende la percezione, l'elaborazione, la rappresentazione e la ritenzione – nonché le ricadute motorie di questi processi – delle informazioni spaziali provenienti dell'ambiente che ci circonda. È senso comune parlare di “abilità visuo-spaziali” o “cognizione visuo-spaziale”, in quanto le informazioni sensoriali su cui questi processi fanno maggiore riferimento sono le informazioni visive, ma va sottolineato come il cervello integri ed elabori informazioni provenienti da tutti i sensi, compreso il sistema vestibolare. Le informazioni così elaborate sono poi utilizzate come base per la programmazione motoria, consentendo quindi di agire nello spazio.

Ma quale spazio? Il concetto di **spazio** è di solito diviso in tre grandi involucri: uno spazio *personale*, che include il corpo e il cui confine risiede nella pelle; uno spazio *peri-personale*, che si trova al di fuori del corpo ma comunque all'interno dello spazio raggiungibile con il braccio; e uno spazio lontano o *extra-personale*, per indicare tutto ciò che si trova al di là dello spazio raggiungibile. Va ovviamente sottolineato come il confine tra questi tre involucri non sia così netto e la transizione tra l'uno e l'altro sia graduale, non avvenga cioè con un cambio improvviso (Longo & Lourenco, 2006). Infatti, se è vero e accertato che lo spazio vicino e quello lontano vengano codificati da più circuiti cerebrali tra loro indipendenti (Berti & Rizzolatti, 2002), molti studi che prevedono l'utilizzo di oggetti hanno dimostrato come la rappresentazione dello spazio vicino può plasticamente estendersi fino a “inglobare” l'oggetto utilizzato, rendendo più sfumata la transizione da spazio vicino a spazio lontano. L'applicazione di strumenti e oggetti sembra quindi influenzare la percezione dello spazio, come se questi diventassero parte della rappresentazione del corpo (Schettler, Raja, & Anderson, 2019). Analogamente, lo spazio personale può essere modulato da stati ansiosi (de Vignemont & Iannetti, 2015; Sambo & Iannetti, 2013).

La rappresentazione di ciascuno di questi spazi è percepita come unitaria, ma è altresì l'integrazione di due tipi diversi di rappresentazione dello spazio: *egocentriche* ed *allocentriche*. Egocentrici, dal latino *ego* «io», sono quei sistemi di riferimenti al cui centro c'è il corpo del soggetto o parti di esso; allocentriche, invece, sono quelle rappresentazioni in cui gli oggetti sono

messi in riferimento alle loro proprietà spaziali e alle relazioni con gli altri oggetti nello spazio (Vallar & Maravita, 2009; Vallar & Papagno, 2011).

Infatti, siamo in grado di posizionare il nostro corpo nello spazio in una rappresentazione online, cioè continua. Inoltre, grazie all'informazione di come il nostro corpo è posizionato nella rappresentazione spaziale più ampia, è possibile allungarsi per afferrare un oggetto vicino o lontano (programmazione dei movimenti finalizzati), o aggiustare la stessa a seconda delle diverse posizioni del capo o degli occhi. Grazie a questi continui processi complessi di integrazione e rappresentazione, è possibile ricordare la posizione degli oggetti o dei luoghi conosciuti, in modo da poter navigare in essi in maniera efficiente.

Lo studio della cognizione spaziale abbraccia più o meno direttamente lo studio di tutti i processi cognitivi (Waller & Nadel, 2013), per cui si parla di:

- *Percezione spaziale*, fondamentale nella percezione delle distanze, orientamento e proporzioni degli oggetti; si possono distinguere due sistemi: una percezione 3-D dello spazio e una online per il controllo dei movimenti (Loomis & Philbeck, 2008);
- *Consapevolezza spaziale*, si riferisce alla capacità di essere consapevoli dei fenomeni nello spazio circostante (Galland & Grønning, 2019);
- *Attenzione spaziale*, strettamente interconnessa ai due precedenti, in quanto si riferisce alla capacità di mantenere un livello ottimale di attivazione (arousal) e quindi di esercitare controllo su pensieri e azioni (Vallar & Papagno, 2011); processo fondamentale nell'allocare le risorse attentive e quindi percettive a stimoli salienti nello spazio, sia in maniera volontaria (quando si cerca per esempio un oggetto di interesse tra diversi distrattori) che in maniera automatica (quando compare all'improvviso nel campo visivo uno stimolo nuovo);
- *Elaborazione spaziale e pensiero spaziale*. Gli esseri umani sono in grado di “pensare lo spazio” usando i mezzi simbolici di cui è dotata la nostra specie: linguaggio, metafore, analogie, gesti, mappe e immagini mentali (Newcombe, 2018);
- *Rappresentazione* (egocentrica o allocentrica), siamo cioè in grado di integrare ed elaborare le informazioni sensoriali provenienti dallo spazio e di creare rappresentazioni più ampie, siano esse centrate sul corpo o parti di esso oppure centrate sugli oggetti esterni e le loro relazioni spaziali. Le rappresentazioni egocentriche sono quindi usate per la pianificazione di movimenti finalizzati, mentre le rappresentazioni allocentriche sono utili all'identificazione degli stimoli nello spazio e nella navigazione (Vallar & Maravita, 2009);

- *Manipolazione di immagini mentali.* Una volta formate le rappresentazioni dello spazio, è possibile anche agirvi e manipolarle, nonché ruotarle. Questo consente il riconoscimento di oggetti anche in prospettive insolite;
- *Memoria spaziale,* la capacità di immagazzinare e recuperare informazioni spaziali precedentemente apprese, come posizione degli oggetti, del corpo. È fondamentale in quanto permette per esempio di riconoscere landmark spaziali e quindi di orientarsi in posti conosciuti.

Questi processi sono largamente interconnessi tra loro e consentono di poter agire nello spazio circostante, quindi mettendo in atto diversi comportamenti spaziali, quali:

- ⇒ Esplorazione spaziale.
- ⇒ Localizzazione spaziale.
- ⇒ Navigazione spaziale.
- ⇒ Pianificazione spaziale.
- ⇒ Organizzazione spaziale.

Questa immagine della cognizione spaziale come modulare deriva dalle evidenze neuropsicologiche che queste componenti possano essere indipendentemente danneggiate l'una dall'altra: un fenomeno chiamato **dissociazione**. Le dissociazioni possono essere *semplici* o *doppie*: una dissociazione si dice semplice quando in un compito che indaga una funzione specifica (p.e. spazio personale) il paziente ha una performance deficitaria, mentre a un compito che indaga una funzione altra (p.e. l'esplorazione nello spazio extrapersonale) ha performance relativamente conservate o nella norma. Inoltre, ci sono gruppi di pazienti in cui è vero il contrario, per cui si parla di dissociazione doppia (p.e. un gruppo di pazienti ha una performance deficitaria nel compito personale ma non in quello extrapersonale, e un gruppo di pazienti ha una performance speculare).

1.2 L'attenzione visuo-spaziale

Essendo un tema molto vasto e in continuo aggiornamento, per gli scopi della seguente dissertazione ci focalizzeremo da ora in poi sull'**attenzione visuo-spaziale**, in quanto questa abilità è anche il focus degli strumenti descritti successivamente.

L'attenzione visuo-spaziale è la capacità di allocare le risorse cognitive e quindi di processare gli stimoli che si trovano nello spazio, basandosi soprattutto sulle informazioni visive (Posner & Peterson, 1990). È chiaro che riuscire a disancorare l'attenzione da uno stimolo, spostarla verso un

altro e infine ri-ancorarla a quest'ultimo, è un processo fondamentale per la sopravvivenza umana. Usiamo l'attenzione visuo-spaziale quando per esempio attraversiamo la strada e controlliamo che non ci siano auto che sopraggiungano; oppure quando abbiamo il compito di trovare un oggetto all'interno di un cassetto pieno di cianfrusaglie. L'integrità di ciascuno di tali processi permette all'essere umano di portare a termine compiti e di raggiungere i propri obiettivi.

Possiamo quindi dirigere la nostra attenzione verso qualcosa in maniera esplicita (*overt attention*), spostando cioè occhi e testa verso uno stimolo saliente; così come possiamo dirigere la nostra attenzione in maniera implicita (*covert attention*), cioè dirigere il proprio focus attentivo a un punto dello spazio non allineato allo sguardo. Inoltre, alcuni stimoli sono intrinsecamente salienti, cioè spiccano, come un punto rosso tra puntini neri. La salienza dello stimolo dirige la nostra attenzione in maniera automatica (bottom-up; Itti & Koch, 2001) verso di esso, in maniera pre-attentiva. Una seconda forma di attenzione è invece più deliberata e potente e non dipende dallo stimolo, bensì dal compito che stiamo svolgendo (p.e. cercare un amico nella folla). Questo meccanismo top-down dell'attenzione richiede però uno sforzo cognitivo ed è quindi più lento. Entrambi i meccanismi però possono operare in parallelo.

Un metodo relativamente semplice e non invasivo per misurare l'attenzione visuo-spaziale è il *paradigma di Posner* (Posner & Cohen, 1984; Posner, Inhoff, Friedrich, & Cohen, 1987; Posner, Petersen, Fox, & Raichle, 1988), che consiste nel misurare i tempi di reazione ed è per questo chiamato "*cued reaction time*". In questo compito il partecipante deve rispondere, nel tempo minore possibile, premendo un tasto a seconda che un target visivo fosse presentato a destra o a sinistra del campo; il target è preceduto da un "cue", un indizio visivo (p.e. uno stimolo luminoso) che può predire (trial validi) o meno (trial non validi) la corretta posizione del target. In alcuni casi il target non è preceduto da alcun indizio. Posner e colleghi misurarono i tempi di reazione in tutte e tre le condizioni (*cue* valido, *cue* non valido e assenza di *cue*) e hanno dimostrato come nella condizione in cui il cue predice la posizione del target i tempi di reazione sono minori rispetto a quelli nella condizione di cue non valido, quando cioè il cue è presentato in una posizione diversa da quella del target (Posner et al., 1977; 1988). Posner spiegò questo risultato con tre meccanismi o operazioni elementari che il sistema compie nel dirigere l'attenzione verso un target:

- a. Disancorare l'attenzione dal focus corrente;
- b. Spostare effettivamente l'attenzione;
- c. Ancorarsi al nuovo target.

La dimostrazione di questi tre meccanismi distinti risiede nell'evidenza che possano essere lesi in maniera selettiva (Posner et al., 1988).

1.2.1 Correlati neurali

Innanzitutto, è ampiamente noto che esiste una sostanziale lateralità nel cervello umano, poiché l'emisfero destro è dominante per l'attenzione visuo-spaziale (Thiebaut De Schotten et al., 2011) mentre l'emisfero sinistro è dominante per la funzione del linguaggio (Hauser & Andersson, 1994; Knecht et al., 2002; Vallar & Papagno, 2011). Questo non vuol dire che l'emisfero sinistro non sia implicato, almeno in parte, nel dirigere l'attenzione verso il campo controlaterale: un'ipotesi interessante e diffusa prevede che l'emisfero destro controlli per entrambi gli emisferi, mentre l'emisfero sinistro solo per quello controlaterale (Koch et al., 2011; Mesulam, 1981). Le aree coinvolte – in entrambi i lati del cervello – sono molteplici e possono essere suddivise in due importanti reti (Gigliotta, Malkinson, Miglino, & Bartolomeo, 2017; Vossel, Geng & Fink, 2014; vedi fig. 1.1):

- Un **Network Attentivo Dorsale** (DAN), bilaterale: dalla *corteccia visiva occipitale* al *solco intraparietale* (IPS), e da qui al *lobulo parietale superiore* e ai *campi oculari frontali* (FEF); sembra essere responsabile *dell'orientamento* volontario dell'attenzione visuo-spaziale.
- Una **Rete Attenzionale Ventrale** (VAN), destra: dalla *corteccia visiva occipitale* alla *corteccia frontale ventrale* (VFC) e alla *giunzione temporoparietale* (TPJ); localizza nello spazio gli stimoli comportamentali salienti e, attraverso la sua connessione intraemisferica al DAN, il VAN reindirizza l'attenzione verso questi stimoli.

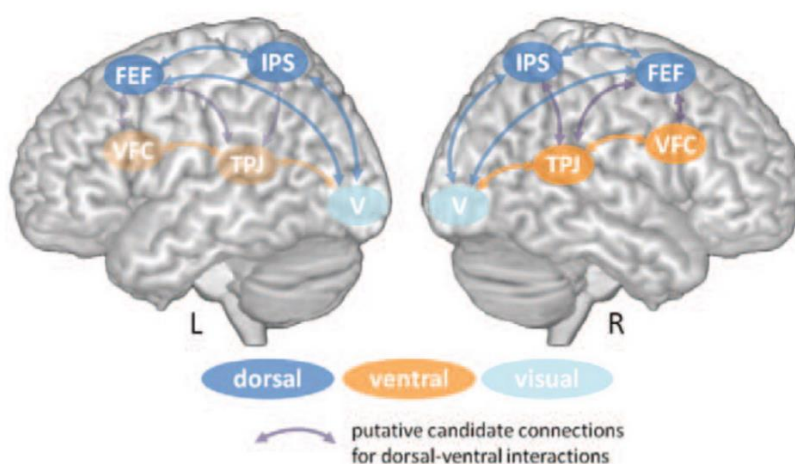


Figura 1.1 Rappresentazione schematica delle componenti del sistema attenzionale dorsale (blu) e ventrale (arancio). Fonte: Vossel et al., 2014.

Queste due reti sono interconnesse attraverso il **fascicolo longitudinale superiore** (SLF; Figura 1.2), un'importante struttura di sostanza bianca, a sua volta divisa in tre rami che variano per

asimmetria (Thiebaut De Schotten et al., 2011): SLF I (dorsale) è distribuito simmetricamente tra gli emisferi sinistro e destro, SLF II (mediano) mostra differenze interindividuali e SLF III (ventrale) è più grande nell'emisfero destro. Il ramo centrale, SLF II, ha mostrato una correlazione con un fenomeno chiamato *pseudoneglect*, definito come la tendenza, nei soggetti sani, a cominciare l'esplorazione dal lato sinistro (Bowers & Heilman, 1980; Gigliotta et al., 2017; Jewell & McCourt, 2000; Somma et al., 2020, 2021; vedi par 1.3.3). Thiebaut De Schotten e colleghi (2011) hanno scoperto, infatti, che volumi di SLF II più grandi nell'emisfero destro erano associati a una maggiore deviazione a sinistra in un compito di bisezione di linee. Non è noto, tuttavia, come l'asimmetria del volume della sostanza bianca nel SLF II possa portare a una diversa esplorazione delle scene visive. Quello che sappiamo è che SLF II collega le regioni parietali del VAN con le regioni prefrontali del DAN (Bernard, Lemée, Ter Minassian, & Menei, 2018) e che la connessione del DAN parietale posteriore al suo omologo dell'emisfero sinistro sembra essere mediata da proiezioni inibitorie localizzate nel corpo calloso posteriore (Koch et al., 2011). Infatti, sembrerebbe proprio questa attività inibitoria inter-emisferica a provocare lo *pseudoneglect* anche in popolazioni di neurorobots (Gigliotta et al., 2017).

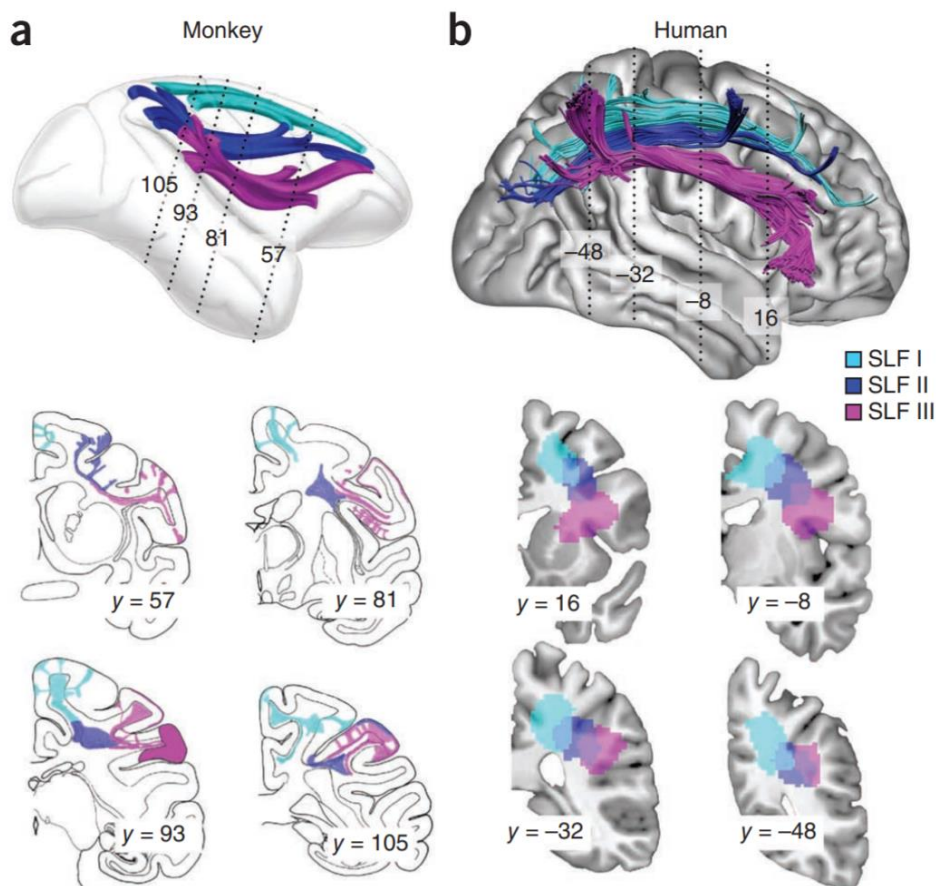


Figura 1.2 I tre rami del Fascicolo Longitudinale Superiore (SLF I, II e III), paragonati nella scimmia (a) e nell'essere umano (b).
Fonte: Thiebaut de Schotten et al., 2011.

Si può concludere quindi che il sistema frontoparietale dorsale media l'allocazione volontaria (top-down) dell'attenzione, mentre il sistema frontoparietale ventrale è coinvolto nella direzione automatica (bottom-up) dell'attenzione a causa di stimoli inaspettati o rilevanti che innescano spostamenti di attenzione (Vossel et al., 2014). Questa dissociazione neuropsicologica tra reti attenzionali automatiche e volontarie, spiega perché, nell'eminegligenza (vedi oltre), l'allocazione volontaria dell'attenzione spaziale è relativamente preservata, rispetto a uno spostamento automatico dell'attenzione danneggiato.

1.3 I disturbi visuo-spaziali

I disturbi visuo-spaziali sono un insieme eterogeneo di disordini prevalentemente associato a lesioni destre, soprattutto posteriori (parieto-temporali).

Il più frequente e sicuramente più invalidante è la negligenza spaziale unilaterale, di cui discuteremo a breve, mentre parleremo di altri disturbi visuo-spaziali in appendice B.

1.3.1 La negligenza spaziale unilaterale (neglect)

La negligenza spaziale unilaterale è un disturbo invalidante caratterizzato dall'incapacità di risposta e orientamento dell'attenzione verso tutto ciò che è situato nell'emicampo dello spazio controlaterale rispetto al lato della lesione cerebrale (Bartolomeo, 2007; Peskine, Urbanski, Pradat-Diehl, Bartolomeo & Azouvi, 2010). Si tratta di solito di lesioni all'emisfero destro (per lo più posteriori), per cui le alterazioni riguardano l'emicampo sinistro. Infatti, è più raro scorgere sintomi di eminegligenza dopo lesione sinistra e in tal caso si tratta di sintomi più lievi (Bartolomeo, 2007; Ten Brink, Verwer, Biesbroek, Visser-Meily & Nijboer, 2017). Difatti, i pazienti sono forzatamente rivolti verso destra, mangiano solo da quella parte del piatto, sembrano non sentire o vedere gli stimoli provenienti da sinistra, hanno difficoltà spesso a vestirsi o a curare quel lato del corpo, tendono a sbattere contro gli ostacoli posti a sinistra, ecc. È quindi evidente come questo possa essere altamente invalidante nei compiti quotidiani come lettura, scrittura, guida e così via.

La negligenza spaziale unilaterale (da ora neglect) è tuttavia una sindrome multiforme che si manifesta con differenti deficit e gravità. Una prima dissociazione è presente tra i tre tipi di spazio: cioè alcuni pazienti presentano, in aggiunta o meno al neglect, difficoltà a esplorare la parte del corpo controlesionale (**negligenza personale** o emisomatoagnosia), quindi non riescono a pettinarsi o truccarsi o lavarsi i denti sul lato sinistro; ancora, alcuni pazienti manifestano problemi simili al neglect nello spazio lontano (**negligenza extrapersonale**). Inoltre, alcuni pazienti possono non

utilizzare gli arti controlesionali, in assenza di paralisi (**negligenza motoria**) oppure presentano difficoltà nella programmazione motoria nella parte negletta dello spazio (**negligenza premotoria o ipocinesia direzionale**).

Un'altra osservazione comune è una dissociazione rispetto ai riferimenti spaziali, per cui allo stesso compito, il paziente può omettere dettagli di ciascun oggetto (coordinate allocentriche) se situate a sinistra, piuttosto che omettere tutto lo spazio di sinistra prendendo come riferimento il proprio corpo (coordinate egocentriche). Inoltre, la negligenza può interessare anche l'immaginazione, più che la percezione dello spazio, un fenomeno chiamato **negligenza immaginativa o rappresentazionale**. Si tratta di pazienti cui viene chiesto di descrivere un luogo conosciuto e tendono a ignorare tutto ciò che nella loro immagine mentale si trova a sinistra, un fenomeno descritto da Bisiach e Luzzatti (1978).

Infine, sempre in riferimento al settore dello spazio, è stato osservato, benché raramente, un neglect per la dimensione verticale o **neglect altitudinale** (Ergun-Marterer, Ergun, Montes, & Order, 2001; Rapcsak, Cimino, & Heilman, 1988).

Va anche tenuto conto che la gravità della negligenza risente di fluttuazioni che dipendono dal tempo trascorso dalla lesione, dal trattamento, ma anche da stanchezza e stato emotivo. Inoltre, soprattutto in sindromi in remissioni o comunque riabilite, i clinici sono particolarmente attenti ad affiancare, ai classici test anche prove che riguardano compiti della vita di tutti i giorni, insieme al racconto del caregiver. Infatti, si osserva spesso una *dissociazione clinico/quotidiano*, per cui le prestazioni ai test sembrano essere vicine alla norma ma nella vita quotidiana sono ancora presenti delle forti difficoltà (Peskin et al., 2010). Questo è stato spesso spiegato con una lesione selettiva dell'orientamento automatico dell'attenzione, a fronte di un orientamento volontario relativamente intatto (Bartolomeo & Chokron, 2002; Siéoff, Chokron, Decaix, & Bartolomeo, 2007).

A questo proposito va aggiunto che si tratta di pazienti per lo più inconsapevoli dei propri deficit, sono cioè convinti che non ci sia nulla che non va anche di fronte alle evidenze portate al clinico: un fenomeno chiamato **anosognosia**. Per esempio, il paziente può dimostrarsi convinto di non sapere il perché si trova in ospedale e tentare di alzarsi anche in presenza di una severa emiplegia; o inventarsi delle *confabulazioni* sul perché si trova lì o sul perché non riesce a fare delle cose. In alcuni casi gravi, si può arrivare a vere e proprie allucinazioni o credenze deliranti riguardo al corpo (**somatoparafrenia**).

In generale, quando due stimoli sono presentati contemporaneamente nei due emicampi visivi, il paziente tende ad estinguerne uno, quello presentato nel lato opposto alla lesione cerebrale;

l'estinzione può avvenire anche in diverse modalità sensoriali (tattile, uditiva, ecc). In altri casi gli stimoli possono venire trasposti nell'altro campo, un fenomeno chiamato **allochiria**. Un esempio di allochiria si ha nella prova dell'orologio, dove il paziente con neglect spesso disegna tutti e dodici i numeri nella metà di destra, lasciando intatta quella di sinistra.

Infine, non percependo tutto ciò che si trova a sinistra, le difficoltà del paziente con neglect si possono riscontrare anche nella lettura, tanto da parlare di **dislessia da neglect**. Si tratta della sistematica omissione delle parole o delle parti della frase che si trovano a sinistra, per cui gli errori sono concentrati solo in questo lato, a differenza degli altri tipi di dislessia acquisita.

1.3.1.1 Correlati neurali

Come abbiamo già accennato, la maggior parte delle lesioni che causano una qualche forma di neglect sono destre; un'altra cosa relativamente certa è il ruolo del lobo parietale destro, in quanto centro di grandi connessioni tra il lobo occipitale, posteriore, dove ha sede la corteccia striata visiva (in cui vengono elaborate le informazioni provenienti dalla retina), il lobo frontale, sede della programmazione motoria e premotoria (e a cui arrivano le informazioni dal lobo parietale) e infine il lobo temporale, dove le caratteristiche semantiche degli oggetti vengono elaborate e attivate.

Data la natura multiforme di questa sindrome, va tenuto conto che spesso i pazienti presentano lesioni corticali e sottocorticali estese, spesso vascolari, che quindi danneggiano diverse funzioni. Aree molto spesso coinvolte sono però il *lobulo parietale inferiore*, la *giunzione temporo-parietale* e in generale della regione *parieto-occipito-temporale* (Peskin et al., 2010; Vallar & Papagno, 2011). Sono rari casi di neglect dopo lesioni di regioni frontali premotorie (Husain & Kennard, 1997), nuclei posteriori del talamo (Watson & Heilman, 1979), gangli della base (Karnath, Himmelbach, & Rorden, 2002) e giro cingolato. Sembra anche coinvolto il giro temporale superiore, stando ad alcuni studi di sovrapposizione delle lesioni di diversi pazienti (Karnath, Ferber & Himmelbach, 2001; Karnath, Berger, Küker, & Rorden, 2004), ma non tutti sono d'accordo sul suo ruolo (Mort et al., 2003; Thiebaut De Schotten et al., 2005; Vallar & Papagno, 2011).

Grazie alle nuove tecnologie di neuroimmagine, è stato possibile stabilire l'importanza dei fasci di sostanza bianca sottocorticali nell'attenzione visuo-spaziale e, quindi, nell'eziologia del neglect. Grazie a tecniche come la risonanza magnetica a tensione di diffusione e la **trattografia** di fibre, è possibile osservare in vivo le connessioni inter e intra emisferiche, sia nella scimmia che nell'uomo. In particolare è stata studiata una parte del fascicolo longitudinale superiore destro (SLF,

vedi par 1.2.1) che collega il lobulo parietale inferiore al giro frontale inferiore e al giro temporale superiore (Catani, Howard, Pajevic & Jones, 2002; Thiebaut De Schotten et al., 2005).

1.3.1.2 Interpretazioni teoriche

I modelli teorici sviluppati dagli autori a partire dagli anni '70 del secolo scorso tentano di rispondere a due domande principali: quali sono le aree cerebrali coinvolte? E perché soprattutto aree dell'emisfero di destra? Hanno cioè tentato di spiegare le *cause* e le *basi neurali* dei deficit visuospatiali e l'asimmetria cerebrale tra essi.

1. Un primo tentativo è dato dalle *ipotesi attenzionali*, che postulano una combinazione di un deficit di *orientamento* dell'attenzione verso il lato controlaterale e un deficit di *disancoraggio* dagli stimoli nel lato destro, verso cui i pazienti sembrano essere magneticamente attratti, come base dei comportamenti tipici dei pazienti con neglect (Vallar & Papagno, 2011). Heilman e colleghi (2000) spiegano le asimmetrie emisferiche ipotizzando che, di base, ciascun emisfero controlli attenzione e intenzione dello spazio controlaterale ma che l'emisfero destro in particolare controlli anche l'emicampo destro. Quindi una lesione sinistra non provocherebbe deficit apprezzabili, in quanto l'emisfero destro riesce a compensare il danneggiamento dell'emisfero sinistro; viceversa, però, una lesione destra provocherebbe grandi deficit proprio perché la parte sinistra non può compensare il ruolo dell'emisfero destro. Leggermente diverso è il modello che propone Kinsbourne (2013) che, invece, è vettoriale: rappresenta cioè le condizioni fisiologiche attraverso due vettori attenzionali, uno, più forte, che origina dall'emisfero sinistro ed è diretto verso destra, e l'altro, speculare, da destra verso sinistra. I due emisferi, inoltre, sono collegati dal corpo calloso e si inibiscono a vicenda. Quindi, dopo una lesione a destra si esacerberebbe una *distorsione attenzionale* verso destra esercitata dal vettore sinistro poiché cesserebbe anche l'azione inibitoria verso questo. Al contrario, una lesione a sinistra intaccherebbe la forza del vettore attenzionale producendo minimi deficit verso destra. Infatti, applicando la stimolazione magnetica transcranica a sinistra sembrerebbero migliorare alcune omissioni a sinistra (Rossi & Rossini, 2004). Un interessante punto di vista è quello di Mesulam (1990), che descrive un circuito nel suo modello attenzionale composto da tre nodi fondamentali: la corteccia parietale posteriore, insieme alla giunzione temporo-parietale, responsabile della rappresentazione dello spazio; la corteccia frontale premotoria (campi oculari frontali) che permette di elaborare i piani motori delle azioni; infine, il giro cingolato, indispensabile per la motivazione. Anche in questo modello viene considerato dominante l'emisfero destro.

2. Dalle prime osservazioni del neglect rappresentazionale (Bisiach & Luzzatti, 1978) che talvolta si presenta in dissociazione con il neglect percettivo, nascono le *ipotesi rappresentazionali*. Secondo queste ultime, l'emisfero destro costruisce una mappa di tutto lo spazio, mentre l'emisfero sinistro solo dello spazio controlaterale; una lesione destra, quindi, danneggia la rappresentazione dello spazio sinistro e l'emisfero sinistro non è in grado di compensare la rappresentazione nello spazio ipsilaterale. Secondo alcune evidenze (Bartolomeo, D'Erme & Gainotti, 1994; Bartolomeo, Bachoud-Lévi, Azouvi & Chokron, 2005) sembrerebbe che il neglect rappresentazionale sia associato a quello percettivo almeno all'inizio, e che poi l'apprendimento di strategie compensative ridurrebbero almeno i sintomi percettivi ma non quelli rappresentazionali. Tuttavia, ciò non vale per tutti i pazienti e sono ancora in dibattito i legami funzionali tra questi due deficit.
3. Infine, Posner e Petersen (1990) misurarono con un paradigma di indicizzazione spaziale due tipi di orientamento dell'attenzione, *endogeno* ed *esogeno*. L'attenzione endogena si attiva in maniera volontaria, quando il paziente sa dove si presenterà uno stimolo, mentre se lo stimolo si presenta in maniera inaspettata, il soggetto deve orientare in maniera automatica la propria attenzione visuo-spaziale, attivandola. Secondo questo modello, quindi, a fronte di un relativo preservamento dell'attenzione endogena, il neglect presenterebbe un danneggiamento dell'attivazione esogena, cioè non riesce a orientare in maniera automatica l'attenzione nel campo controlesionale.

1.3.1.3 Trattamento

Diverse sono state le proposte di trattamento del neglect, con lo scopo di migliorare i deficit attenzionali e sensoriali. Tuttavia, il tema della loro efficacia è molto dibattuto, soprattutto perché è difficile che il recupero pur ottenuto venga mantenuto oltre alla situazione riabilitativa e quindi generalizzato ad altre attività (nella fattispecie, nelle attività di tutti i giorni). Nell'ultima revisione Cochrane (Bowen, Hazelton, Pollock & Lincoln, 2013), infatti, si conclude che è difficile stabilire l'efficacia degli interventi riabilitativi nel ridurre i deficit e aumentare l'indipendenza funzionale. Tuttavia, un effetto minimo è comunque osservato agli indici classici nei test, quindi c'è bisogno di ulteriori studi per dirimere questa questione.

In generale, i trattamenti esistenti si dividono in due grandi tipologie, a seconda del tipo di stimolazione:

- **Top-down:** approcci “dall'alto”, nel senso che stimolano il controllo volontario e le strategie compensatorie per migliorare l'attenzione verso il lato negletto.

- **Bottom-up:** approcci “dal basso”, nel senso che stimolano dalla periferia e non richiedono controllo volontario.

Nel primo gruppo rientra il *visual scanning training*, in cui si incoraggia il paziente a rivolgere volontariamente l’attenzione verso sinistra, utilizzando degli indizi come punti di ancoraggio. Col tempo, gli indizi diventano sempre meno e meno forti, in modo da favorire l’esplorazione visiva volontaria (Gordon et al., 1985; Weinberg et al., 1977).

Gli approcci bottom-up, invece, si concentrano sulle manipolazioni sensoriali e hanno il vantaggio, rispetto alla riabilitazione top-down, di non coinvolgere il paziente e la sua consapevolezza, che, come abbiamo già accennato, è spesso danneggiata. Questi tipi di interventi sembrano essere efficaci grazie al ruolo integrativo tra le diverse modalità sensoriali cui è deputata la corteccia parietale posteriore (Andersen, 1997; Urbanski et al., 2007). Gli interventi bottom-up sono numerosi:

- ⇒ La *stimolazione vestibolare* (Rode, Charles, Perenin, Vighetto, Trillet, & Aimard, 1992; Rubens, 1985) consiste nel versare dell’acqua fredda nell’orecchio sinistro o calda in quello controlaterale, allo scopo di ottenere il *nistagmo*, un movimento rapido coniugato degli occhi verso sinistra e lento verso destra (come quello che accade naturalmente quando inseguiamo uno stimolo con gli occhi e questo scompare dal campo visivo);
- ⇒ Anche la *stimolazione optocinetica* ha come scopo elicitarne un nistagmo, ma lo fa muovendo velocemente gli stimoli sullo sfondo verso sinistra (Kerkhoff, Keller, Ritter & Marquardt, 2006; Pizzamiglio, Frasca, Guariglia, Incoccia & Antonucci, 1990);
- ⇒ Si usa anche la stimolazione dei muscoli del collo e la rotazione del tronco verso sinistra (Karnath, Schenkel & Fischer, 1991);
- ⇒ L’*occlusione oculare*, invece, si propone di ridurre il livello di attivazione dell’emisfero sinistro, che secondo alcune interpretazioni è sbilanciato a causa delle lesioni destre (Beis, André, Baumgarten & Challier, 1999);
- ⇒ Ancora, si stimola l’arto controlesionale o si chiede al paziente di muoverlo in diversi compiti (Halligan, Manning & Marshall, 1991; Robertson & North, 1993);
- ⇒ Infine, un trattamento molto in uso è l’*adattamento prismatico*, in cui si usano delle speciali lenti prismatiche che deviano la luce di pochi gradi verso destra. Una volta indossati, infatti, il sistema rileva questa deviazione e “ricalibra” il progetto motorio tenendo conto della deviazione rispetto alla posizione reale degli oggetti. Questo aggiustamento

permane anche quando gli occhiali vengono tolti e sembra essere d'aiuto a compensare il deficit verso sinistra (Redding & Wallace, 2006; Rossetti et al., 1998).

Altri approcci molto promettenti provengono dalla realtà virtuale (Katz, Ring, Naveh, Kizony, Feintuch & Weiss, 2005) e la stimolazione magnetica/elettrica transcranica (Oliveri & Caltagirone, 2006; Rounis, Yarrow & Rothwell, 2007). Quest'ultima, in generale, sembra migliorare i sintomi del neglect quando viene applicata una stimolazione inibente a sinistra (magnetica o catodica); tuttavia non ci sono dati a sufficienza per giudicarne l'efficacia a breve e lungo termine (Peskin et al., 2010). Una recente review (Riva, Mancuso, Cavedoni & Stramba-Badiale, 2020) ha evidenziato risultati incoraggianti per la riabilitazione basata sulla realtà virtuale nell'ambito visuo-spaziale, sia in condizioni acute che neurodegenerative.

Spesso, infine, i trattamenti neuropsicologici sono associati a quelli farmacologici, in particolare vengono utilizzati agonisti dopaminergici o noradrenergici (Malhotra, Parton, Greenwood & Husain, 2006; Fleet, Valenstein, Watson, Heilman, 1987).

1.3.2 Asimmetrie nell'esplorazione del campo visivo

Come abbiamo già accennato, l'esplorazione del campo visivo non è simmetrica come ci si potrebbe aspettare. Infatti, quando a partecipanti normotipici viene chiesto di indicare il punto medio di una linea essi deviano sistematicamente verso sinistra, un fenomeno che Bowers ed Heilman (1980) chiamarono **pseudoneglect**, siccome si trattava di un errore opposto a quello che compivano i pazienti con neglect (Sampaio & Chokron, 1992). Lo pseudoneglect non è un disturbo, quanto piuttosto un bias attenzionale verso l'emicampo sinistro che si manifesta in diverse situazioni e compiti neuropsicologici (Somma et al., 2020).

Per esempio, partecipanti normali iniziano la loro esplorazione visiva dalla sinistra in compiti neuropsicologici (Somma et al., 2020; 2021) e quando si osservano delle immagini (Calbi, Aldouby, Gersht, Langiulli, Gallese & Umiltà, 2019; Ossandon, Onat & Koenig, 2014) o delle facce (Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, Jones & Harvey, 2005). Infatti, ricerche con immagini di facce chimeriche (cioè formate da metà diverse con emozioni spesso differenti) hanno evidenziato come i giudizi emotivi si basino sulle caratteristiche delle facce di sinistra (Moreno, Borod, Welkowitz & Alpert, 1990) e che il bias è influenzato dalla valenza dell'emozione (Reuter-Lorenz & Davidson, 1981). Così come lo pseudoneglect influenza il giudizio sul punto medio di una linea, sembra anche influenzare le risposte alle scale Likert (Nicholls, Orr, Okubo & Loftus, 2006), molto utilizzate nella ricerca psicologica.

Inoltre, sembra che porre a sinistra opzioni di cibo più salutare porti a una loro maggiore scelta e consumo (Romero & Biswas, 2016). Similmente, porre il conteggio calorico di un'opzione in un menu a sinistra piuttosto che a destra portava a una diminuzione delle calorie di quello che veniva ordinato (Dallas, Liu & Ubel, 2018); gli autori spiegano questo fenomeno adducendo che in una cultura come quella occidentale in cui si legge da sinistra a destra, le calorie poste a sinistra permettono un loro precoce processamento (prima cioè del nome dell'opzione del menu), rendendole così più salienti. Il bias verso sinistra si estende anche al giudizio percettivo di oggetti quotidiani: sia adulti che bambini presentavano un significativo bias nello scegliere lo stimolo (opere d'arte o carta da parati) con un lato sinistro attraente piuttosto che stimoli con il lato destro attraente (Rodway, Schepman, Crossley & Lee, 2019). Dal punto di vista percettivo, i partecipanti tendono a presentare questo bias selezionando stimoli con le caratteristiche salienti a sinistra, con tempi di reazione minori (Nicholls, Bradshaw & Mattingley, 1999).

Ulteriormente, allo scopo di indagare questo bias in un contesto di guida simulata, Benedetto e colleghi (2013) hanno combinato la registrazione dello sguardo con il Lane Change Test (LCT), un compito di simulazione di guida che consiste nel percorrere una strada a tre corsie con segnali sia a destra che a sinistra. Anche in questo caso i partecipanti davano maggiore attenzione ai segnali sulla sinistra.

Nicholls e colleghi (2007) chiesero ai loro partecipanti di camminare lungo uno stretto corridoio e registrarono gli urti, dimostrando che ci si imbatte più sul lato destro che su quello sinistro e che questo comportamento era associato allo pseudoneglect; questa relazione fu poi confermata in uno studio successivo (Nicholls, Loftus, Orr & Barre, 2008). Sbattiamo contro oggetti posti a destra probabilmente per lo stesso motivo per cui i pazienti con neglect si imbattono in ostacoli posti a sinistra: il bias verso sinistra porta a un leggero fenomeno di estinzione verso destra (Nicholls et al., 2007).

È interessante notare che esiste una versione rappresentazionale anche dello pseudoneglect (**pseudoneglect rappresentazionale**), per cui i partecipanti riportavano più landmark di un'immagine mentale posti a sinistra a prescindere dal punto di vista sia in immagini mentali conosciute (Friedman, Mohr & Brugger, 2012; McGeorge, Beschin, Colnaghi, Rusconi, & Della Sala, 2007) sia in foto appena viste (Dickinson & Intraub, 2009). Ancora, si tende a sovrastimare il lato sinistro di una linea mentale formata da lettere, ponendo il centro più a sinistra (Nicholls & Loftus, 2007).

Anche i numeri sembrano essere rappresentati lungo una linea mentale da sinistra a destra, per cui i numeri più piccoli sono rappresentati a sinistra e i numeri più alti sono rappresentati a destra (Brooks, Della Sala & Darling, 2014; Hubbard, Piazza, Pinel & Dehaene, 2005). A riprova che il dominio numerico e quello spaziale sono collegati c'è il cosiddetto effetto *SNARC* (acronimo di *Spatial Numerical Association of Response Code*; Dehaene, Bossini & Giraux, 1993): in un compito di giudizio di parità (il partecipante doveva cioè giudicare se il numero presentato fosse pari o dispari) in cui bisognava rispondere con un tasto a destra (quindi con la mano destra) o a sinistra (quindi con la mano sinistra), è stato scoperto un effetto di interazione tra grandezza del numero e lato della risposta, per cui più era alto il numero più erano veloci le risposte a destra e viceversa (con numeri piccoli le risposte più veloci erano con la mano sinistra). Gli autori interpretarono questo effetto evidenziando come l'informazione circa la grandezza del numero è automaticamente attivata durante il giudizio di parità (Dehaene, Bossini & Giraux, 1993). Anche individui ciechi mostrano un consistente bias verso sinistra alla bisezione di stringhe numeriche (Cattaneo, Fantino, Silvanto, Tinti & Vecchi, 2011). Tali evidenze sembrano dimostrare come l'allocare l'attenzione sulla linea numerica mentale segue gli stessi meccanismi dell'orientamento dell'attenzione spaziale.

Lo pseudoneglect è influenzato da diversi fattori: manualità, età, genere, mano di performance, direzione dello scanning (Jewell & McCourt, 2000) e dallo stato emotivo (Strappini, Galati & Pecchinenda, 2021). In una famosa metanalisi sul compito di bisezione di linea (Jewell & McCourt, 2000) i destrimani erravano verso sinistra più dei mancini; ancora, i partecipanti più giovani presentavano un bias verso sinistra mentre gli anziani tendevano a errare verso destra. Una recente review sistematica mostra però come l'effetto dell'età sullo pseudoneglect non è ancora ben chiaro, in quanto i risultati degli studi esaminati sono contrastanti (Friedrich, Hunter & Elias, 2018). Inoltre, esiste una leggera differenza tra la performance dei maschi e delle femmine: gli uomini, infatti, presentano un bias leggermente maggiore rispetto alle donne (Jewell & McCourt, 2000). Ancora, questo è influenzato sia dalla mano in cui si performa il compito (per cui con la mano sinistra si devia più verso sinistra e con la mano destra si devia più verso destra) che da dove inizia lo scanning (una scansione da sinistra a destra comporta un bias a sinistra e una scansione da destra a sinistra comporta modesti errori verso destra; Jewell & McCourt, 2000).

Le emozioni, inoltre, sembrano modulare lo pseudoneglect, ma la direzione di questo effetto non è ancora chiara: alcuni studi sembrano indicare che le emozioni aumentino il bias verso sinistra (Armaghani, Crucian & Heilman, 2014; Somma et al., 2021), mentre altri riportano effetti opposti

(cioè l'emozione attenua il bias verso sinistra creandone uno verso destra; Cattaneo, Lega, Boehringer, Gallucci, Girelli & Carbon, 2014).

Abbiamo già accennato alle possibili basi neurali dello pseudoneglect (vedi par. 1.2.1), per cui la deviazione verso sinistra è dovuta a una maggiore attivazione dell'emisfero destro (Chen, Lee, O'Neil, Abdul-Nabi & Niemeier, 2020; Kinsbourne, 1970). Tuttavia, un'altra possibile ipotesi molto dibattuta in letteratura è l'origine culturale di questo bias, che deriverebbe cioè dalle diverse abitudini di lettura cui sono abituati i partecipanti (Chokron & De Agostini, 1995; Chokron & Imbert, 1993). In culture che scrivono da destra a sinistra, come nella lingua ebraica o araba, lo pseudoneglect sembra infatti invertirsi a favore di un bias verso destra. Questo può essere spiegato anche dall'influenza della direzione dello scanning visivo, per cui il punto medio al compito di bisezione era influenzato dal punto di inizio della ricerca visiva (Chokron, Bartolomeo, Perenin, Helft & Imbert, 1998), a seconda cioè che si iniziasse da sinistra verso destra o da destra verso sinistra.

Per dirimere la questione, Fagard e Dahmen (2003) hanno studiato l'effetto della direzionalità nella letto-scrittura sull'asimmetria nella percezione spaziale comparando un gruppo di bambini Francesi e Tunisini. Al compito di bisezione, la differenza tra gruppi diventava evidente all'età di 9 anni, per cui i bambini Francesi erravano verso sinistra, mentre gli altri non mostravano alcun bias. Invece, Chokron e De Agostini (1995) trovarono che anche prima della scolarizzazione, bambini Francesi e Israeliani differivano al compito di bisezione di linea, per cui il centro era più spostato a sinistra per i Francesi, e a destra per gli Israeliani.

In conclusione, il dibattito sui meccanismi alla base di questi bias spaziali è ancora aperto.

In questo primo capitolo, abbiamo esplorato il concetto di cognizione spaziale e, in particolare, di attenzione visuo-spaziale. Abbiamo accennato alle sue basi neurali e ai suoi disturbi, tra i quali c'è l'emeagnegligenza spaziale unilaterale. Inoltre, abbiamo appurato come anche l'esplorazione spaziale dei soggetti normotipici non è perfettamente simmetrica e quindi abbiamo trattato del fenomeno dello pseudoneglect, un bias attentivo verso la sinistra.

Nel capitolo due proveremo a passare in rassegna i principali metodi di valutazione dell'attenzione spaziale e dei suoi disturbi, per poi successivamente soffermarci in particolare su uno di questi strumenti.

Capitolo 2

La valutazione dell'attenzione visuo-spaziale

2.1 La valutazione delle abilità visuo-spaziali

Dalle informazioni riportate nel precedente capitolo è possibile evincere quanto le abilità visuo-spaziali siano fondamentali per i processi della vita quotidiana, e quanto il loro danneggiamento possa essere invalidante rispetto alla corretta interazione con lo spazio circostante. Ne consegue che nei casi di difficoltà, in un cui le capacità visuo-spaziali siano danneggiate, è fondamentale poterle *valutare*, cioè stimare il grado di conservazione o danneggiamento rispetto ai diversi aspetti coinvolti.

In ambito di ricerca la valutazione ha lo scopo di formulare modelli cognitivi esplicativi della relazione cervello-comportamento. Questo avanzamento delle conoscenze permetterà la formulazione e la validazione di percorsi abilitativi e riabilitativi focalizzati.

La disciplina che si occupa di studiare le funzioni cognitive e il loro rapporto con il comportamento è la **neuropsicologia** (Beaumont, 2008). Essa propone modelli interpretativi del funzionamento della mente e del suo rapporto con il cervello e nasce all'intersezione tra psicologia e neuroscienze. La neuropsicologia studia infatti le lesioni cerebrali e i deficit ad esse associati e li mette in relazione al fine di rilevarne i correlati neurali.

Per fare ciò il neuropsicologo clinico e sperimentale ha a disposizione una vastissima gamma di strumenti. All'interno di questa dissertazione, i test qui di seguito presentati verranno divisi in tre grandi gruppi: batterie neuropsicologiche, test carta e matita e test digitalizzati. Ci concentreremo nello specifico sull'attenzione visuo-spaziale nello spazio peri-personale. I compiti di cui discuteremo in questo capitolo e nel successivo, sono applicati allo studio delle abilità visuo-spaziali e visuo-costruttive che inevitabilmente si riferiscono allo spazio vicino. Va però ricordato, come abbiamo accennato nel Capitolo 1, che il confine tra spazio vicino e lontano non è marcato in maniera rigida, e che è possibile che questo si estenda fino a "inglobare" strumenti che vengono utilizzati per operare nello spazio lontano (Schettler, Raja, & Anderson, 2019).

2.1.1 Batterie

A scopo diagnostico è uso comune somministrare batterie di valutazione ai pazienti, che includono diverse serie di test che afferiscono allo stesso aspetto neuropsicologico. Com'è possibile immaginare, somministrare più test consente al clinico di avere a disposizione molti più dati, e quindi più informazioni circa i deficit specifici e le dissociazioni presenti. Le batterie di test si caratterizzano per essere *standardizzate*, cioè hanno una modalità predefinita di somministrazione (spesso riguardante anche l'ordine e le tempistiche dei vari sub-test) e quindi richiedono che ad utilizzarle sia personale formato e specializzato. In questo, il neuropsicologo costituisce figura di elezione, soprattutto nella fase di interpretazione dei risultati. Un limite importante delle batterie è che sono spesso lunghe e stancanti per il paziente, soprattutto se allettato.

Batterie specifiche per le abilità spaziali e l'attenzione spaziale sono:

- ✦ *Rivermead Behavioral Inattention Test – RBIT*, (Wilson, Cockburn & Halligan, 1987), è composta da sei sub-test convenzionali e nove comportamentali e richiede relativamente poco tempo di somministrazione (30 minuti).
- ✦ *Semi-Structured Scale for the Functional Evaluation of Hemiinattention in Personal Space* (Zoccolotti, Antonucci & Judica, 1992), in cui al paziente è chiesto di compiere delle semplici azioni con degli oggetti (rasoio, occhiali ecc.) posti davanti a lui allineati con la linea mediana del corpo.
- ✦ *TeRaDiC* (Terapia Razionale dei disturbi costruttivi; Angelini & Grossi, 1993; La Femina et al., 2009), che valuta le abilità visuo-costruttive, cioè le abilità cognitive implicate nel compito di disegno.
- ✦ *Catherine Bergego Scale* (Azouvi et al., 1996; Azouvi, Olivier, De Monety, Samuel, Louis-Dreyfus, & Tesio, 2003), in cui si valutano dieci tipi di attività della vita quotidiana sia chiedendo direttamente al paziente sia al caregiver (così valutando anche l'anosognosia).

2.1.2 Test classici carta e matita

I classici test utilizzati nella valutazione dell'emeinellenza e nella ricerca sull'attenzione visuo-spaziale sono numerosi:

- ✦ *Test di Albert* (Albert, 1973), in cui al paziente è chiesto di barrare, una serie di linee orientate in diverse direzioni (Figura 2.1). Al fine della valutazione, vengono contate tutte le linee ignorate e la loro posizione (colonne a destra, sinistra e centrale).
- ✦ *Test di Cancellazione a singola lettera (Single Letter Cancellation Test, SLCT; Diller, Ben-Yishay, Gertsman, Goodkin, Gordon, & Weinberg, 1974)*, che richiede al paziente di cancellare con un segno tutte le H presenti in una matrice strutturata di lettere. Lo scoring consiste nel contare il numero di target effettivamente cancellati divisi per posizione.

- ✎ *Test di Cancellazione a doppia lettera (Double Letter Cancellation Test; Diller et al., 1974)*, simile al test precedente, ma in questo caso bisogna barrare due lettere: tutte le C e tutte le E. Lo scoring consiste ancora una volta nel contare le risposte corrette divise in destra, sinistra e centro del foglio.
- ✎ *Cancellazione di Stelle (Wilson et al., 1987)*, che consiste nel chiedere di barrare tutte le stelle piccole disegnate su un foglio e commiste a distrattori (stelle grandi, lettere e parole). Il risultato è calcolato sia in base a quante stelle correttamente cancellate sia con un Laterality Index, il rapporto tra stelle cancellate a sinistra sul numero totale di stelle cancellate.
- ✎ *Test delle campanelle (Gauthier, Dehaut & Joanette, 1989)*, in cui al paziente è chiesto di cerchiare tutte le piccole campanelle presenti sul foglio, distinguendole dai numerosi distrattori (Figura 2.1). Il punto di partenza viene segnato, insieme al numero totale di omissioni e la differenza tra le omissioni a sinistra e a destra.
- ✎ *Bisezione di Linee (Schenkenberg, Bradford & Ajax, 1980)*, che richiede di indicare il punto mediano di alcuni segmenti. Viene calcolata la deviazione in millimetri dal vero centro; una deviazione media maggiore di 6 millimetri è considerata segno di eminegligenza.
- ✎ *Figura complessa di Rey (Rey, 1959)*, in cui è chiesto di copiare o disegnare a memoria una figura complessa. Ognuno dei diciotto elementi che compongono il disegno viene valutato con uno o due punti in base alla posizione e alla forma.
- ✎ *Test del disegno dell'orologio (Ishiai, Sugishita, Ichikawa, Gono & Watabiki, 1993)*, che consiste nel disegnare un orologio a partire da un disco di otto centimetri. Il punteggio viene attribuito in base al corretto piazzamento dei numeri.
- ✎ *Matrici colorate progressive di Raven (Raven, 1965)*, in cui bisogna completare delle immagini incomplete con una tra otto alternative. Vengono contate le risposte corrette; in aggiunta, alcuni autori hanno anche considerato la lateralità degli errori (Costa, Vaughan, Horwitz, & Ritter 1969; Somma et al., 2020, 2021).
- ✎ *Test di Corsi (Corsi, 1973; Kessels, Van Zandvoort, Postma, Kappelle & De Haan, 2000)*, che valuta la memoria spaziale. Lo sperimentatore/neuropsicologo tocca nove blocchi in un ordine predefinito e al paziente/partecipante è chiesto di replicarne la sequenza (Figura 2.1). Il numero di blocchi toccati aumenta ogni due prove e il punteggio finale o span di memoria è assegnato in base alla sequenza più lunga ricordata correttamente.
- ✎ *Test del pettine e del rasoio (Beschlin & Robertson, 1997)*, in cui viene chiesto di utilizzare tre oggetti di uso comune (pettine, rasoio, cipria) per trenta secondi ciascuno. Vengono registrati quanti movimenti vengono effettuati con ciascun oggetto a destra e a sinistra.

🖨️ **Baking Tray Task** (Tham & Tégnier, 1996), un compito ecologico che richiede al paziente di sistemare dei cubetti, all'interno di una tavola di 75x100 cm “come se fossero dei panetti su una teglia da forno”. Viene calcolata la differenza tra cubetti sistemati a destra e quelli sistemati a sinistra; uno sbilanciamento di più di due cubetti è considerato sintomo di neglect.



Figura 2.1 Esempi di test classici per l'attenzione visuo-spaziale. Test di Albert (sinistra; Fonte: Albert, 1973), Test delle campane (centro; Fonte: Gauthier et al., 1989), Test di Corsi (destra; Fonte: Kessels et al., 2000).

2.1.3 Test digitalizzati

La maggior parte dei reattivi neuropsicologici che abbiamo descritto fino ad ora ha due caratteristiche principali: è stata ampiamente utilizzata e quindi si dispone di dati normativi solidi e per essere somministrati richiedono una semplice strumentazione quale un foglio e una matita.

Negli ultimi decenni si è assistito a una crescente tendenza a sviluppare e quindi utilizzare strumenti digitalizzati di assessment. Questo si è osservato nella digitalizzazione di test già validati grazie a supporti quali tablet, PC e smartphone. I vantaggi di questa trasformazione sono numerosi, come per esempio la facilità di utilizzo e la maneggevolezza che caratterizza i dispositivi mobili, nonché la possibilità di adattamento a diversi tipi di utenza (per esempio, con i bambini). Inoltre, i dispositivi digitali minimizzano l'errore umano sia nella raccolta dei dati (cioè registrando automaticamente i dati) che nella somministrazione dei compiti, in quanto una procedura automatizzata consente di garantire la standardizzazione delle prove. È inoltre possibile raccogliere nuovi tipi di dati, come i tempi di reazione inter-stimolo o le coordinate spaziali delle risposte (vedi E-BTT, Capitolo 3), dando la possibilità ai ricercatori di stimolare nuove domande di ricerca e nuovi punti di vista sulla comprensione della realtà.

I test digitalizzati sono quindi una valida alternativa ai test carta-e-matita. Alcuni esempi sono:

■ *CancellationTools* (Dalmaijer, Van der Stigchel, Nijboer, Cornelissen & Husain, 2015), un software open-source che permette da una parte di somministrare un compito di cancellazione di C (Figura 2.2) e dall'altra quello di ricavare in automatico le analisi dei dati raccolti. L'utente può modificare il numero di target e di distrattori, nonché il colore dello sfondo, il tipo di input (con mouse o con touchscreen) e se rendere le cancellazioni visibili o meno. È anche possibile importare e salvare i compiti così personalizzati per somministrazioni future. La vera novità di questo strumento, però, consiste nell'implementazione di diverse misure per analizzare i dati così raccolti (vedi Capitolo 4). *CancellationTools* è realizzato in linguaggio Python ed è disponibile solo per Windows.

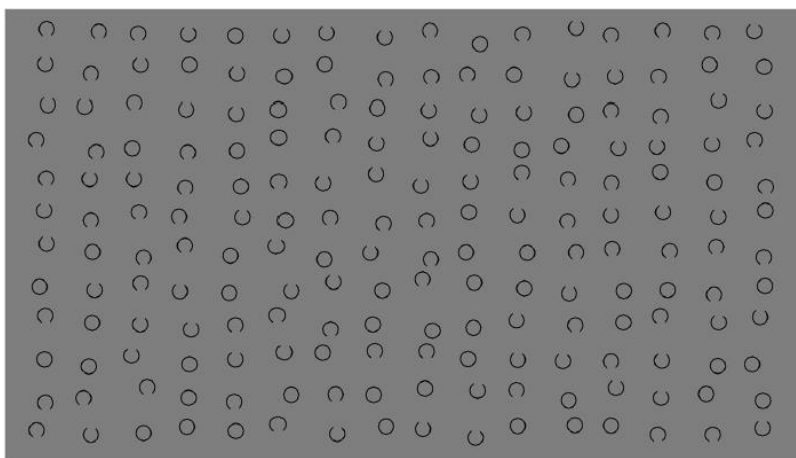


Figura 2.2 Una schermata del compito di cancellazione di C di *CancellationTools* (Fonte: Dalmaijer et al., 2015).

■ *Computer-Assisted Cancellation Test System (CACTS)* (Wang, Huang, & Huang, 2006), un programma per studiare le strategie di ricerca visiva in bambini. Esso è implementato su tablet connesso a PC e richiede al partecipante di cancellare dei simboli in un compito di cancellazione, con il supporto di una penna touchscreen. È possibile far variare i tipi di stimoli (simboli o radicali della lingua Cinese, Figura 2.3) e tipo di matrice (strutturata o randomica). Anche in questo caso il sistema calcola automaticamente diverse misure (tra cui la distanza tra due cancellazioni consecutive), ma il software non è disponibile per il download.

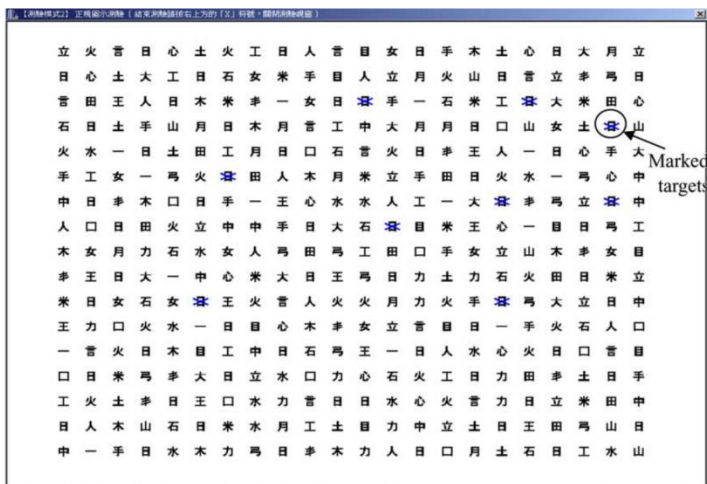


Figura 2.3 Una schermata del compito di cancellazione di CACTS (Fonte: Wang et al., 2006).

- *eCorsi* (Brunetti, Del Gatto & Delogu, 2014), la versione per tablet del test dei blocchi di Corsi. In questo caso, però, i diversi blocchi vengono brevemente illuminati in sequenza e il partecipante deve riprodurla subito dopo, toccandoli col dito. Sono registrati i tempi di reazione, oltre alle risposte corrette e allo span visuo-spaziale. È possibile inoltre personalizzare l'intervallo tra uno stimolo (il blocco che viene illuminato) e l'altro, il feedback a schermo che viene rimandato al partecipante e le sequenze proposte.
- *Computerized Table Setting Test* (CTST; Chung et al., 2016), un compito ideato per tablet touchscreen in cui al paziente viene chiesto di disporre 12 piatti su di un tavolo trascinandoli col dito (Figura 2.4). Il sistema calcola tre parametri: la deviazione orizzontale dalla linea mediana, la tendenza a selezionare i piatti sulla destra e il tempo totale di esecuzione.

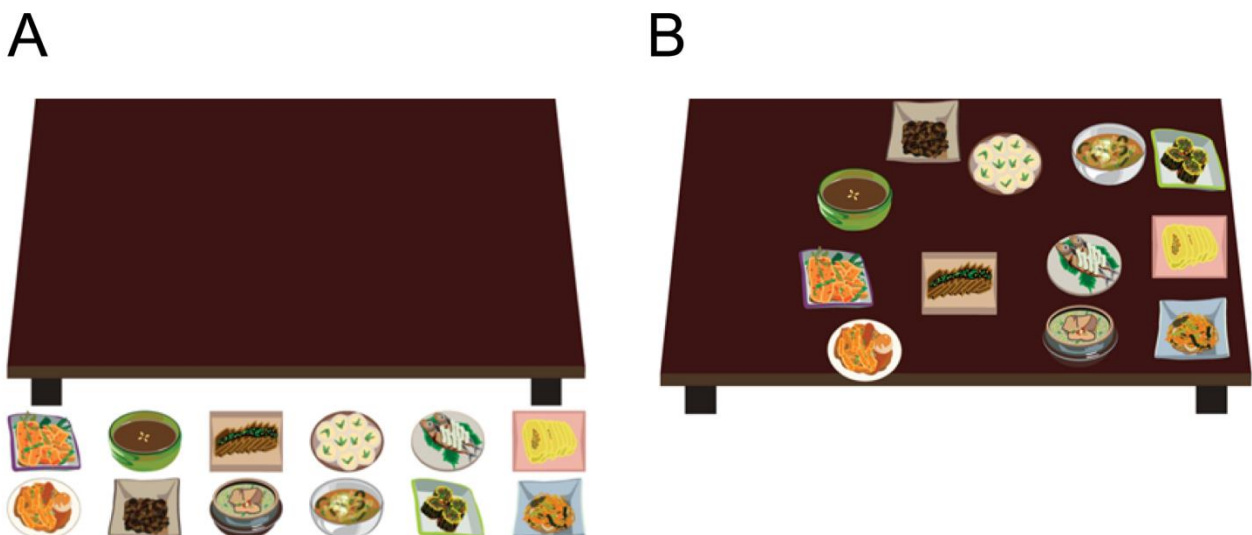


Figura 2.4 Due schermate del CTST (Fonte: Chung et al., 2016).

- *Enhanced Baking Tray Task* (E-BTT; Cerrato, Ponticorvo, Gigliotta, Bartolomeo & Miglino, 2019a), la versione migliorata grazie alla tecnologia del Baking Tray Task (Tham

& Tégner, 1996). Anziché cubetti, utilizza dei dischetti di legno e una cornice più piccola ma il principio è lo stesso: sistemare i dischetti all'interno della cornice come se fossero “dei biscotti da infornare” (Somma et al., 2020). L'innovazione è resa possibile grazie alla piattaforma software, E-TAN games, che consente alla telecamera posta perpendicolarmente al piano di rilevare la posizione dei dischetti e l'area disponibile. Si hanno quindi a disposizione delle coordinate ordinate che possono essere ulteriormente analizzate (Vedi Capitolo 3-4).

2.2 Realtà virtuale

Un discorso a parte può essere fatto per la *realtà virtuale*, che negli ultimi decenni è stata sempre più utilizzata sia in ambito di valutazione che in ambito riabilitativo (lo abbiamo accennato nel Capitolo 1). Il grande vantaggio della realtà virtuale è che permette al partecipante/paziente di interagire con ambienti simili a quelli reali – quindi più ecologici – in una situazione controllata dallo sperimentatore/neuropsicologo. Inoltre, questo tipo di tecnologia immerge l'utente in situazioni ricche, multimodali e interattive che possono essere più coinvolgenti dei classici test (Pedroli, Serino, Cipresso, Pallavicini & Riva, 2015; Tsirlin, Dupierrix, Chokron, Coquillart & Ohlmann, 2009). Va aggiunto che nella realtà virtuale è possibile ricreare situazioni complesse o troppo pericolose che nel mondo reale sarebbero difficili da ricreare (p.e. esplorare una città o salire su un grattacielo). Grazie a questa tecnologia, è possibile “portare” virtualmente l'utente o il paziente “fuori” dalla stanza di sperimentazione o d'ospedale.

Un esempio di batteria di test somministrato attraverso strumentazione di realtà virtuale è la VR-DiSTRO (Batteria di test diagnostici in VR; Fordell, Bodin, Bucht & Malm, 2011). Come suggerisce dal nome, la VR-DiSTRO nasce per uso clinico, come batteria per la valutazione e lo screening del neglect e include quattro sub-test:

☑ VR-Star Cancellation Test (VR-SCT), un compito di cancellazione di stelle per la scansione visiva; esso richiedeva al paziente di toccare, con una penna robotica, tutte le stelle.

☑ VR-Line Bisection (VR-LB), un compito di bisezione di linee per valutare il giudizio spaziale; consisteva nel chiedere al paziente di indicare, sempre con la penna robotica, il punto medio di tre linee orizzontali da 20 cm.

☑ VR-Visual Extinction (VR-EXT), un compito di estinzione visiva per distinguere tra fattori attentivi e sensoriali; in questo degli stimoli rappresentati da dei

cerchietti bianchi su sfondo blu erano presentati a destra, sinistra o bilateralmente e il paziente doveva premere la freccia sulla tastiera a seconda di dove vedeva gli stimoli visivi.

☑ VR-Baking Tray Task (VR-BTT), il compito Baking Tray Task (Tham & Tegnér, 1996) adattato per la realtà virtuale come misura funzionale del giudizio spaziale. Nel VR-BTT (Figura 2.5) i cubetti erano visualizzati sullo schermo in una colonna nella parte destra della teglia e il compito del paziente era quello di distribuirli, muovendo la penna robotica, all'interno di essa.

Nel loro esperimento, Fordell e colleghi (2011) hanno sottoposto 31 pazienti con ictus alla VR-DiSTRO e alla Rivermead Behavioral Inattention Test, usata come criterio di neglect. 9 pazienti su 31 mostravano segni di neglect secondo quest'ultima. La VR-DiSTRO si dimostrò essere altamente sensibile e specifica nel suo punteggio totale; in particolare i sub-test di VR-BTT e VR-EXT avevano la maggiore correlazione con la BIT, così come un'alta sensibilità e specificità. L'usabilità della VR-DiSTRO fu valutata con un questionario costruito ad hoc e la maggior parte dei pazienti (77%) riportò che la batteria era facile da capire. Presi insieme, questi dati dimostrano come questo metodo con realtà virtuale potesse essere molto utile e potesse identificare correttamente pazienti con neglect tra pazienti con ictus. Il tempo di somministrazione della batteria, assicurano gli autori, è massimo quindici minuti.



Figura 2.5 Il VR-BTT (Fonte: Fordell et al., 2011).

In ambito di ricerca, invece, la realtà virtuale è stata ampiamente utilizzata per studiare la navigazione spaziale, cioè l'abilità di farci strada tra i posti che conosciamo nell'ambiente circostante. Come già detto, questo tipo di ricerca ha tratto vantaggio dall'utilizzo della realtà

virtuale, che ha permesso ai ricercatori di immergere i partecipanti in ambienti complessi in cui navigare (Diersch & Wolbers, 2019). È stato quindi possibile riportare in ambienti virtuali paradigmi di ricerca come quello di integrazione di strade (*route integration paradigm*, Figura 2.6), in cui i partecipanti erano guidati dapprima su due strade sconosciute e successivamente su una terza strada, che collegava le prime due (Ishikawa & Montello, 2006).

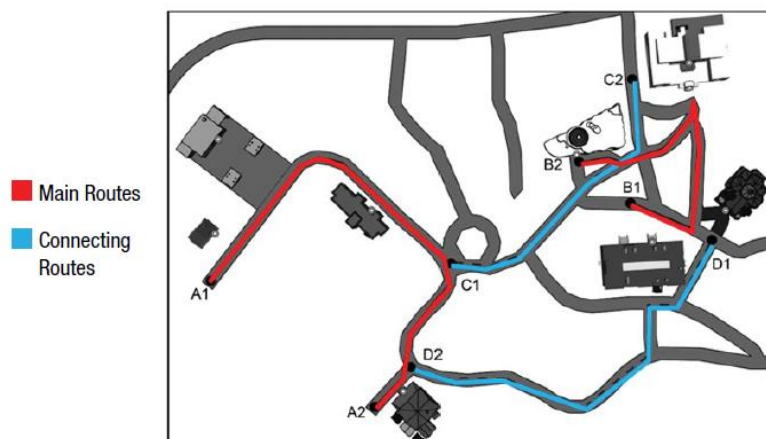


Figura 2.6 Il route integration paradigm (Fonte: Weisberg & Newcombe, 2018).

Weisberg e colleghi (2013) riportarono questo paradigma in un ambiente virtuale per studiare le differenze individuali nella navigazione. Nell'apprendere dei nuovi percorsi, infatti, ci sono persone che imparano in fretta e costruiscono mappe cognitive efficienti e altre che invece sembrano far molta fatica. Questo, secondo i ricercatori, è spiegato dal fatto che esistono differenze individuali nella capacità di costruire mappe cognitive, nelle capacità spaziali e anche nella personalità (Weisberg & Newcombe, 2018). Nel compito di integrazione di strade virtuale (chiamato *Virtual Spatial Intelligence and Learning Center Test of Navigation – Virtual Silcton*), i partecipanti dovevano imparare due strade in due aree separate dello stesso ambiente virtuale, camminando lungo una strada indicata da frecce. Lungo ciascuna strada erano presenti degli edifici, per cui i partecipanti dovevano memorizzare il loro nome e la loro posizione. La navigazione avveniva attraverso le frecce della tastiera e il mouse per guardarsi intorno (Weisberg & Newcombe, 2016). Successivamente, i partecipanti dovevano navigare lungo due strade che collegavano le prime due. Alla fine, completavano due compiti di navigazione: in uno venivano riportati alla posizione di ciascun edificio e dovevano puntare verso gli altri; nell'altro invece dovevano trascinare e rilasciare le immagini degli edifici nella mappa per ricreare la configurazione. Era così possibile distinguere edifici che erano visitati tra loro direttamente perché erano sulla stessa strada iniziale (*within route*) e edifici che non erano visitati tra loro direttamente (*between route*). Da un'analisi dei cluster basata su questi due tipi di errori sono emersi tre gruppi:

⇒ *Integratori*, coloro che performavano bene sia nei giudizi within che in quelli between

⇒ *Non-integratori*, che performavano bene ai giudizi within ma male a quelli between

⇒ *Navigatori imprecisi*, che performavano male ad entrambi i giudizi.

In uno degli studi sull'argomento (Weisberg & Newcombe, 2016), i navigatori imprecisi avevano minore working memory spaziale e verbale, cosa che poteva spiegare la loro difficoltà nel costruire rappresentazioni complesse. Interessante fu anche che l'incentivo economico, considerato nel terzo studio, non cambiasse la distribuzione delle performance, per cui l'imprecisione rimaneva tale anche con un incentivo economico sull'accuratezza.

2.3 Limiti del digitale e realtà aumentata

Se la digitalizzazione comporta innumerevoli vantaggi nella raccolta dati, alcuni limiti sono da evidenziare. Innanzitutto, la mancanza di indici standardizzati e dati normativi a causa della natura innovativa e recente della digitalizzazione. In secondo luogo, è utile considerare che attraverso il digitale viene meno la componente fisica e tangibile presente invece nei compiti classici, con evidente ricaduta sulla **validità ecologica** del test stesso. La validità ecologica di un test concerne la capacità del test stesso di generalizzare i propri risultati a situazioni che sono diverse da quelle cliniche o sperimentali (Lewkowicz, 2001). Valutare la validità ecologica dei test neuropsicologici è diventato sempre più importante per le sue implicazioni nella ricerca e nella riabilitazione (Chaytor & Schmitter-Edgecombe, 2003).

Un modo possibile per superare questo limite e aumentare la validità ecologica è la progettazione di strumenti ibridi, che uniscano cioè elementi tangibili e legati alla realtà dell'individuo ed elementi digitali che permettano l'automatizzazione della raccolta ed elaborazione dei dati. È quello che si propone di fare la **realtà aumentata** (AR). Se nella realtà virtuale gli utenti sono immersi in un mondo totalmente nuovo, nella realtà aumentata il mondo reale è migliorato (aumentato) con elementi virtuali/digitali (Carmigniani, Furht, Anisetti, Ceravolo, Damiani & Ivkovic, 2011). L'AR è interattiva, facendo da ponte tra oggetti digitali e reali.

Un'applicazione della AR è rappresentata dalle **Interfacce Utente Tangibili (Tangible User Interfaces – TUI)**, dove gli utenti dispongono e muovono gli oggetti fisici per accedere e cambiare le informazioni digitali (Ishii & Ullmer, 1997). Le TUI permettono di interagire col mondo digitale manipolando oggetti nel mondo reale e quindi “fisici”, tangibili. Questi vengono “aumentati” con l'ausilio di dispositivi intelligenti quali touchscreen o tag RFID/NFC. L'utente interagisce con

questi oggetti e questa interazione fa da input per il mondo digitale, che ne registra la risposta in maniera automatica.

Ad oggi le TUI sono state applicate in innumerevoli ambiti: nell'apprendimento, nella pianificazione e nel problem solving, nella visualizzazione dell'informazione, nella programmazione tangibile, nell'intrattenimento e nell'edutainment (intrattenimento educativo) e così via (Shaer & Hornecker, 2010). Un esempio applicativo recente è LogicART (*Logic Abstract Reasoning Test*), un sistema integrato per la valutazione e training del ragionamento deduttivo in bambini (Ferrara, Ponticorvo, Di Ferdinando & Miglino, 2016), che consiste in una serie di blocchi (Blocchi Logici Aumentati), un tablet (Logic Table) e un software specifico. Gli oggetti tangibili sono costituiti da 48 pezzi che si differenziano per forma, spessore, colore e dimensione (Figura 2.7). Ogni oggetto è equipaggiato con un tag RFID che viene riconosciuto dal tablet, il quale fornisce un feedback all'utente. L'attività proposta è quella di completare una serie di sequenze logiche formate da quattro elementi, uno dei quali ignoto. Gli esercizi di LogicART sono strutturati come gioco tra due giocatori, un agente artificiale e l'utente. Il primo presenta gli stimoli (istruzioni, sequenza logica e feedback) mentre il secondo può rispondere e continuare il gioco apponendo uno dei blocchi sul tablet.

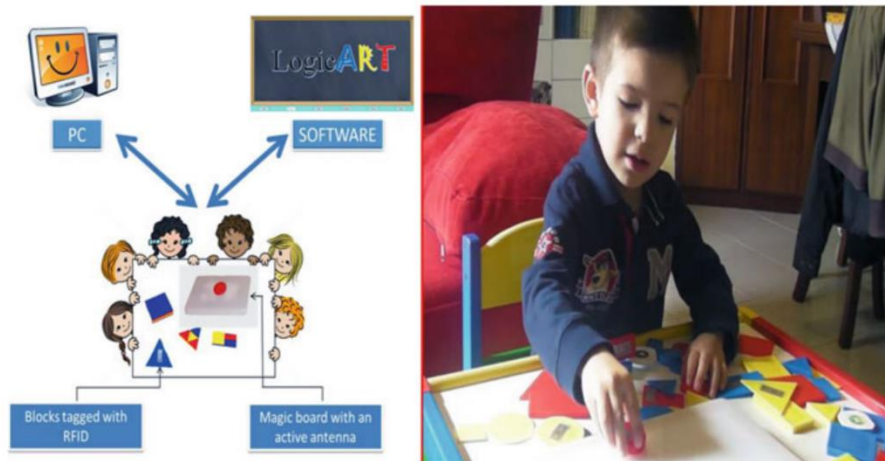


Figura 2.7 Rappresentazione funzionale di LogicART (sulla sinistra) e un bambino che gioca con i blocchi e la tavoletta (sulla destra) (Fonte: Ferrara et al., 2016).

Il punto di forza delle TUI consiste nel non limitarsi a utilizzare i sensi dell'udito e della vista, ma anche quello del tatto. L'interazione fisica e situata costituisce il vantaggio portante, accompagnato dalla possibilità di raccogliere dati in maniera discreta.

In questo capitolo abbiamo passato in rassegna alcuni metodi di valutazione dell'attenzione visuo-spaziale, ponendo particolare attenzione ai test innovativi e alle nuove applicazioni in realtà virtuale e aumentata.

Nel prossimo capitolo ci soffermeremo su uno di questi test, il Baking Tray Task e sulla sua digitalizzazione, l'Enhanced Baking Tray Task.

Capitolo 3

Il Baking Tray Task e l'E-BTT

3.1 Il Baking Tray Task

Nel capitolo precedente abbiamo descritto alcuni dei più diffusi strumenti di valutazione neuropsicologica dell'attenzione visuo-spaziale. In questo capitolo ci focalizzeremo su uno di essi, il **Baking Tray Task** (Tham & Tégnier, 1996). Si tratta di un *compito ecologico* sviluppato da Tham e Tégnier come alternativa ai classici test carta-e-matita e consiste nel disporre, all'interno di una tavola di 100x75 cm, 16 cubetti come se fossero dei “panini” (traduzione italiana del termine inglese “buns”) da disporre su una placca da forno. Il Baking Tray Task (Figura 3.1) si è dimostrato un compito semplice, veloce ma sensibile da poter utilizzare facilmente sia a scopi diagnostici che a scopi di ricerca.



Figura 3.1 Un paziente che esegue il BTT. (Fonte: Appelros et al., 2004).

Tham e Tégnier somministrarono inizialmente il Baking Tray Task (BTT) ad un campione di 52 pazienti con danno cerebrale (24 con danno sinistro e 28 con danno destro) e 30 soggetti di controllo. La “teglia” era costituita da una tavola nera con un bordo di 3.5 cm e una serie di cubetti di 3.5 cm di lato disposti in una scatola di fronte al partecipante. A questi era detto di distribuire i cubetti il più possibile all'interno della tavola, come se fossero dei “panini” che dovessero essere infornati. Non veniva posto alcun limite di tempo, ma i cubetti dovevano essere utilizzati interamente. Lo scoring consisteva nel contare il numero di cubetti in ciascuna metà della teglia.

Tham e Tégner stabilirono come cut-off la peggior performance di un soggetto di controllo: su 30 controlli, 28 distribuirono equamente i 16 cubetti nelle due metà (8 per lato), mentre 2 disposero 7 cubetti da un lato e il resto dall'altro. Per questo motivo, una distribuzione più sbilanciata di 7/9 (e quindi una differenza destra-sinistra maggiore di 2) è considerata anomala (Bailey, Riddoch & Crome, 2000). Tham e colleghi (2001) hanno inoltre distinto tre livelli di danneggiamento: *lieve*, se il partecipante distribuisce 5 blocchi a destra e 7 a sinistra; *moderato*, tra 1 e 4 blocchi sulla sinistra e *severo*, quando il partecipante non posiziona nessun blocco a sinistra.

Abbiamo già accennato al fatto che i test classici carta e matita sono ampiamente utilizzati e validati; tuttavia, possono dirsi limitati in termini di validità ecologica (Cerrato et al., 2020). Ciò significa che sono difficilmente generalizzabili ai contesti di vita quotidiana del partecipante, in quanto si riferiscono a situazioni artificiose e artificiali (p.e. barrage di linee). Il BTT in questo senso supera questo limite ed è perciò definito ecologico: si riferisce a un'azione della vita quotidiana come disporre dei panetti su una teglia da forno. Non va sottovalutato nemmeno il fattore tangibilità in quanto il BTT richiede di afferrare fisicamente i cubetti e disporli all'interno di uno spazio.

Infatti, è comune per i pazienti con neglect cronico ottenere dei buoni punteggi ai test clinici ma continuare ad avere gravi problemi nelle attività quotidiane così come riportato dal caregiver o dall'osservazione clinica. Questo è probabilmente dovuto all'utilizzo di strategie compensatorie che possono mascherare le reali difficoltà del paziente (Takamura et al., 2016). Questa dissociazione automatico/volontario può essere superata dai cosiddetti compiti ecologici, quale per esempio può essere il BTT.

Il BTT è molto facile e comodo da amministrare e richiede relativamente poco sforzo cognitivo, per cui non stanca il paziente. Inoltre, sembra essere in grado di rilevare pazienti con neglect moderato a severo, mentre altri test possono rivelare falsi negativi (Tham & Tegnér, 1996). Gli autori testarono anche una versione che prevedeva una dimensione inferiore della "teglia" e scoprirono che era sensibile quasi quanto la versione più larga, e in aggiunta una superficie minore rende lo strumento più maneggevole da usare. Grazie al fatto che non esistono configurazioni predefinite e corrette, il BTT è probabilmente non affetto da effetti dovuti alla pratica e response set. Lo stesso non può dirsi per compiti di cancellazione o bisezione, in cui il paziente può "apprendere" dove si trovano gli stimoli target.

Facchin e colleghi (2016) hanno rilevato che la performance BTT non sembra essere associata a variabili demografiche (età, genere e istruzione), mentre Tham e Tegnér riportano che il BTT non

è associato ad altri compiti visuo-spaziali, come la cancellazione o la bisezione (1996), suggerendo che ciascun compito si riferisce a un diverso aspetto neuropsicologico. Inoltre, il BTT ha una buona affidabilità test-retest (Bailey, Riddoch & Crome, 2004; Facchin, Beschin, Pisano & Reverberi, 2016).

Il BTT è stato ampiamente utilizzato in letteratura come misura di eminegligenza o criterio diagnostico (Andersson, Kamwendo, Seiger & Appelros, 2006; Appelros, Karlsson, Seiger & Nydevik, 2002; Appelros, Karlsson, Seiger & Nydevik, 2003; Bailey et al., 2000; Broeren, Samuelsson, Stibrant-Sunnerhagen, Blomstrand & Rydmark, 2007; Dawson & Thornton, 2003; Erez, Soroker & Katz, 2018; Facchin, Beschin, & Daini, 2017; Ferber & Karnath, 1999; Ferber & Karnath, 2001; Harding & Riddoch, 2009; Himmelbach & Karnath, 2003; Johannsen, Ackermann & Karnath, 2003; Johannsen, Broets, Naegele & Karnath, 2006; Karnath, Johannsen, Broetz & Küker, 2005; Karnath, Zimmer & Lewald, 2002; Rengachary, He, Shulman & Corbetta, 2011; Sapir, Kaplan, He & Corbetta, 2007; Tham, Ginsburg, Fisher & Tegnér, 2001; Tham & Tegnér, 1997), soprattutto in combinazione con altri test.

Per esempio, Bailey e colleghi (2000) applicarono una batteria di test molto eterogenea ad un ampio campione di pazienti con ictus, che comprendeva:

- Il test di cancellazione di stelle;
- Bisezione di linee;
- Copia di una margherita (Copy-a-daisy task)
- Baking Tray Task;
- Disegno dell'orologio
- Compito motorio esplorativo (Exploratory Motor Task)
- Personal Neglect Test

Gli autori giustificarono la scelta di utilizzare diversi compiti per valutare il neglect al fine di controllare per eventuali doppie dissociazioni nella modalità peripersonale. Per il BTT, era segnato il numero di cubetti in ciascuna metà della tavola (più piccola rispetto a quella originale) e il numero di cubetti disposti a sinistra in rapporto ai totali (un indice chiamato BTT ratio). Tra i partecipanti al gruppo di controllo nessuno disponeva i cubetti in una distribuzione più asimmetrica di 7:9, per cui una differenza destra-sinistra maggiore di 2 veniva considerata anomala. La sensibilità relativa del BTT, calcolata come rapporto dei veri positivi (pazienti con neglect rilevati dal test) sui totali, era del 66.7%, minore rispetto alla Cancellazione di stelle o alla bisezione di linee. Alcuni pazienti riportarono difficoltà a comprendere cosa bisognasse fare in questo compito

specifico, soprattutto pazienti maschi; probabilmente perché avevano meno dimistichetta con la preparazione di dolci e quindi col concetto di “infornare”. In questo studio il BTT correlava con la cancellazione di stelle e la bisezione di linee. Gli autori conclusero che l’eminegligenza non è una singola entità e che per questo erano necessarie diverse rilevazioni, suggerendo l’uso addizionale del BTT nella situazione clinica.

Invece, in Tham e Tegnér (1997), un anno dopo aver ideato il BTT, lo utilizzarono in uno studio sul video feedback. Lo scopo era quello di paragonare due tecniche nel dare ai pazienti il feedback sul loro comportamento eminegligente durante un compito, appunto il BTT. A un gruppo di pazienti veniva dato attraverso una procedura video, cioè veniva data loro la possibilità di rivedere la loro performance attraverso uno schermo; dopodiché il terapeuta la commentava e proponeva possibili strategie compensatorie. A un secondo gruppo, invece, era somministrata una procedura feedback verbale e visiva. Le due procedure erano molto simili ma differivano nel fatto che al primo gruppo era presentato, nel lato destro dello schermo, l’intero video della performance al BTT. Tre ore dopo questo training, i pazienti venivano testati con quattro diversi test per il neglect per valutarne gli effetti. I test utilizzati erano: Cancellazione di Linee, Copia di Figure, Bisezione di Linee e BTT. I risultati mostrarono come nel gruppo con video feedback la performance al BTT migliorava significativamente. Tuttavia, agli altri test non fu osservata generalizzazione del training.

Fordell e colleghi (2011) crearono una versione in realtà virtuale del BTT (VR-BTT), dove i cubetti erano visualizzati sullo schermo e mossi da una penna robotica. I risultati evidenziarono come il VR-BTT aveva un’alta sensibilità e specificità nell’individuare i pazienti con neglect, valutati con la BIT.

Il BTT è stato anche utilizzato come misura di attenzione visiva (Rasquin, Welter & van Heugten, 2013) in uno studio riguardante il corso del funzionamento cognitivo nella fase acuta dopo l’ictus (4 mesi). Al momento delle dimissioni dal centro di riabilitazione, infatti, i pazienti mostravano un miglioramento significativo rispetto alla baseline nell’attenzione visiva, rispetto alle funzioni esecutive che non miglioravano.

In uno studio su caso singolo riguardo gli effetti dell’attivazione dell’arto controlaterale come riabilitazione dell’eminegligenza, il BTT era l’unico test a mantenere i miglioramenti dovuti al training anche alla fine del trattamento (Robertson, Hogg & McMillan, 1998).

Inoltre, Wilson e Manly (2003) utilizzarono il BTT come strumento per aumentare la consapevolezza delle difficoltà di attenzione sostenuta e spaziali della paziente, attraverso una serie di indizi, esterni od interni. La performance al BTT dipendeva dalla natura dell’indizio; se era

assente, il bias verso destra rimaneva prominente. Il cue esterno e internamente generato riduceva questo bias, facendo posizionare più buns a sinistra.

È anche vero che usare un test basato sui tempi di reazione (come per esempio il paradigma di Posner) sembra essere più efficiente ed accurato nel valutare il neglect (sia in fase acuta che in fase cronica) rispetto ai test clinici (Rengachary, d'Avossa, Sapir, Shulman, & Corbetta, 2009). Nell'assessment diagnostico del neglect, è comunque preferibile l'uso di diversi test, compresi quelli ecologici, piuttosto che l'uso di un singolo test (Esposito, Shekhtman & Chen, 2021).

In conclusione, il Baking Tray Task si è rivelato molto utile e versatile nella pratica clinica come strumento diagnostico.

3.2 L'Enhanced Baking Tray Task (E-BTT)

Di recente, il Baking Tray Task è stato oggetto di potenziamento tecnologico da parte del gruppo di ricerca del Natural and Artificial Cognition Laboratory "Orazio Miglino" dell'Università Federico II di Napoli (Cerrato et al., 2019a; Cerrato, Ponticorvo, Gigliotta, Bartolomeo & Miglino, 2019b; Cerrato et al., 2020). Lo scopo dei ricercatori era quello di sviluppare una versione tecnologicamente migliorata del test di Tham e Tégner, *l'Enhanced Baking Tray Task* (E-BTT), che permettesse innanzitutto l'automaticizzazione della raccolta di dati spazio-temporali e, in potenza, di fornire supporto al valutatore in termini di interpretazione degli stessi. Grazie allo sviluppo di una piattaforma software, E-TAN, è stato possibile rendere i cubetti interfacce tangibili, cioè oggetti manipolabili che permettono di interagire con un sistema informatico (Cerrato, Siano & De Marco, 2018). Il nuovo apparato, nella sua ultima versione, è quindi composto da:

- **16 dischetti di 4-5 cm** di diametro, in legno. I dischetti sostituiscono i cubetti per una serie di motivi. Innanzitutto, per evitare fenomeni di aggregazione e di ancoraggio (i partecipanti cioè potevano formare delle configurazioni tridimensionali costruite con i cubetti), ma soprattutto per incrementare la precisione della rilevazione da parte della webcam, migliore con oggetti piatti. Inoltre, la forma rotonda si adatta maggiormente alla traduzione italiana utilizzata di "buns" (cioè "biscotti").



Figura 3.2 I dischetti dell'apparato E-BTT con i tag ArUco Markers.

- Una **cornice di legno modulare e componibile** di 60x45 cm, al posto della tavola utilizzata da Tham e Tegnér (1996). Questa è considerata ovviamente una soluzione più pratica e trasportabile, da poter costruire praticamente ovunque.



Figura 3.3 La cornice di legno modulare.

- **4 quadratini di legno** da incastrare negli angoli della cornice e su cui sono apposti altrettanti **tag ArUco Markers** (Garrido-Jurado, Muñoz-Salinas, Madrid-Cuevas & Marín-Jiménez, 2014). Questi sono posti anche sui sedici dischetti. Gli ArUco Markers sono formati da quadratini bianchi e neri che contengono una matrice binaria che consiste nel loro ID; la parte nera rappresenta gli “0”, mentre i quadratini bianchi rappresentano gli “1”. Il bordo nero permette la rilevazione e la codifica binaria permette l’identificazione del tag (Cerrato et al., 2018).



Figura 3.4 La cornice di legno con i tag agli angoli, così come mostrata nella calibrazione della piattaforma.

- Una **webcam Logitech C930e** posta perpendicolarmente sopra al tavolo, fissata a quest'ultimo con l'apposito braccio metallico.



Figura 3.5 La webcam Logitech C930e.

- **E-TAN**, la parte software dell'E-BTT. Si tratta di una piattaforma molto versatile sviluppata ad hoc per l'E-BTT ma che in potenza può essere applicata a diversi compiti visuo-spaziali. Essa permette l'uso delle interfacce tangibili e registra le coordinate spaziali (X e Y) di ciascun dischetto, calibrando l'area disponibile grazie ai tag posti agli angoli della cornice. La schermata principale mostra la superficie disponibile dal punto di vista del partecipante, il nome dell'agente e i differenti step per ciascuna sessione. Ogni step corrisponde a un rilevamento dei tag, che appaiono nella schermata con un puntino colorato. Da qui è possibile ricostruire visivamente la sequenza di posizionamento dal primo all'ultimo dischetto. Il software è poi collegato a un database su cloud, **e-tan games**, che organizza le informazioni registrate in un file .csv. Esse sono:

- Nome della sessione e numero di ID. È possibile quindi attribuire un codice univoco a ogni sessione e salvarne più di una per lo stesso partecipante;
- Tipo di compito;
- Grandezza dell'area disponibile in altezza e larghezza;
- Orario di inizio e orario di fine della sessione;
- Coordinate di ciascun widget e loro temporizzazione. È possibile così ricostruirne la sequenza di posizionamento.

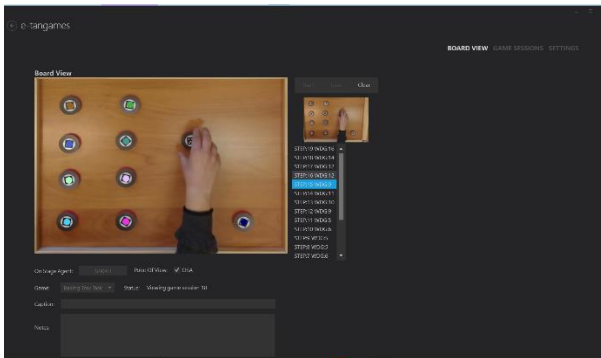


Figura 3.6 La schermata principale di E-TAN.

La consegna e la procedura di somministrazione sono del tutto simili al classico BTT: viene quindi chiesto al partecipante di distribuire il più possibile i dischetti “come se fossero dei biscotti da infornare”. Essi potevano prendere i dischetti uno per volta, con una mano sola, e una volta posizionati non era possibile più muoverli.

Questa versione potenziata del BTT è quindi uno strumento “ibrido” perché unisce la tangibilità degli oggetti usati per il compito e l'ambiente digitale di una piattaforma software, E-TAN. Il ponte tra il tangibile e il digitale è rappresentato dai tag posti su ogni dischetto, che vengono rilevati dalla telecamera posta sulla tavola ed elaborati dal software. Questo registra una sequenza di fotogrammi relativi al posizionamento dei dischetti all'interno dell'area delimitata dalla cornice (Figura 3.6).

È ora possibile non solo contare il numero di dischetti posti a destra o a sinistra, come nel classico BTT, ma si hanno ora a disposizione una serie di informazioni in più rispetto a prima: le coordinate spaziali e l'ordine di posizionamento (Argiuolo & Ponticorvo, 2020). Questo consente di considerare non solo la lateralizzazione, ma anche la sequenza spazio-temporale della disposizione che permette di analizzare la strategia che ha seguito l'agente nel disporre i dischetti.

L'E-BTT è quindi a tutti gli effetti un sistema a interfacce utente tangibili (vedi Paragrafo 2.3) e mantiene il fattore ecologico ed “embodied”, incarnato, del classico BTT, ma vi aggiunge il fattore digitale, permettendo l'automatizzazione della raccolta dati.

In questo capitolo abbiamo analizzato nel particolare un test per l'assessment del neglect, il Baking Tray Task, e la sua versione migliorata grazie alle interfacce tangibili, l'E-BTT.

Nel prossimo capitolo passeremo in rassegna le diverse tecniche di analisi dei dati applicate all'E-BTT finora e ne proporremo di nuove.

Capitolo 4

L'analisi dei dati dell'E-BTT: soluzioni innovative sviluppate nel periodo di dottorato

4.1 Introduzione: dal BTT all'E-BTT

4.1.1 L'analisi dei dati del BTT

Abbiamo già accennato a come venivano analizzati i dati del BTT classico. In breve, si effettua il conteggio dei cubetti nelle due metà dello spazio, eseguendo una sottrazione tra cubetti posizionati sulla destra e quelli sulla sinistra. Una differenza maggiore di 2 cubetti è considerata segnale di eminegligenza (Tham e Tegnér, 1996; Bailey, Riddoch & Crome, 2000).

Più recentemente, Facchin e colleghi (2016) hanno trasformato il punteggio grezzo del BTT in un **laterality bias** usando la seguente formula:

$$BTT\ bias\ (\%) = 100 \times \frac{Right - Left}{Right + Center + Left}$$

Questo tipo di approccio esprime la lateralizzazione in termini di percentuale ed è più efficiente dell'originale differenza destra-sinistra (Facchin et al., 2016). Se si ottiene un valore positivo, più cubi sono stati disposti sulla destra; al contrario, con un risultato negativo, si indica una configurazione più sbilanciata verso sinistra. Inoltre gli autori hanno stabilito dei cut-off: -12.5% per la sinistra e 18.7% per la destra.

4.1.2 Primi studi con l'E-BTT: analisi dei quadranti, clustering e analisi dell'area

Una prima versione dell'E-BTT (conosciuta come BTT-SCAN) è stata dapprima applicata allo studio delle preferenze della disposizione degli oggetti nello spazio peri-personale (Cerrato et al., 2019a). Lo spazio disponibile è stato quindi diviso in quattro quadranti ed è stato analizzato il posizionamento del primo e dell'ultimo oggetto, cioè come era iniziata e finita l'esplorazione spaziale.

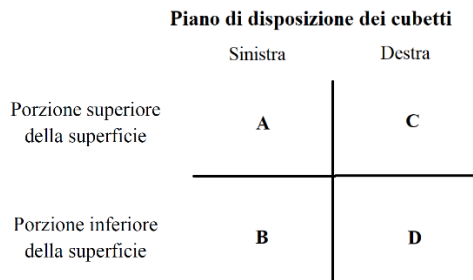


Figura 4.1 La divisione in quadranti (Fonte: Cerrato et al., 2019°)

Sono state quindi analizzate le preferenze di disposizione di 50 partecipanti sani (25 femmine), studenti universitari, di età compresa tra i 19 e i 47 anni. Per quanto riguarda il primo oggetto, in 43 lo hanno disposto nella parte superiore (quadrante A = 19, quadrante C = 24) e l'analisi con Chi quadro di Pearson dimostra una tendenza statisticamente significativa ($p < 0.05$) a iniziare l'esplorazione spaziale dal piano superiore.

In merito al sedicesimo oggetto, invece, più della metà del campione (26 partecipanti) lo ha disposto in basso a destra. Ancora, il Chi quadro di Pearson rivela una preferenza significativa ($p < 0.05$) a finire l'esplorazione in basso a destra (quadrante D). Combinando questi due risultati, sono stati analizzate le strategie di inizio-fine ed è emerso che la strategia AD (inizio nel quadrante A e fine nel quadrante D) e CD (inizio nel quadrante C e fine nel quadrante D) sono quelle preferite dal campione, anche se questa preferenza non è statisticamente significativa ($p > 0.05$).

Il clustering è una tecnica statistica che permette di identificare gruppi di dati all'interno di una nuvola di punti multidimensionali basati su alcune misure di somiglianza (Omran, Engelbrecht & Salman, 2007). Uno degli algoritmi più utilizzati per il clustering è *l'algoritmo K-means* (MacQueen, 1967), che permette di individuare K gruppi omogenei all'interno dei dati, con K stabilito a priori, minimizzando la distanza tra i punti di uno stesso cluster.

Applicando questo algoritmo alle coordinate del primo oggetto e impostando $K = 4$ è stato ottenuto il risultato in figura 4.2 (Cerrato et al., 2019°).

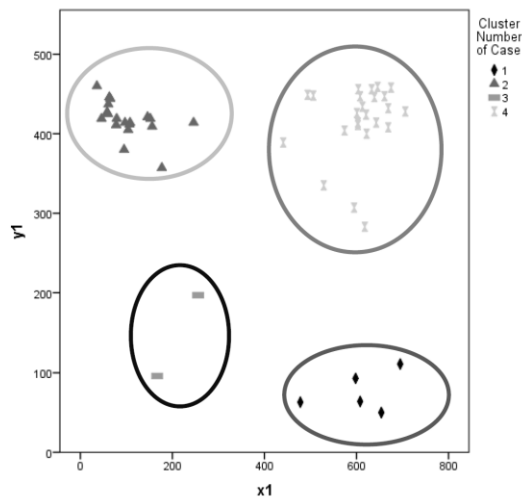


Figura 4.2 Grafico della clusterizzazione tramite K-means con K=4 (Fonte: Cerrato et al., 2019°)

In un altro studio, Palumbo e colleghi (2019) considerarono come un'unica traiettoria la sequenza delle sedici coordinate X e vi applicarono un modello misto di data clustering (MGHD – Mixture of Generalized Hyperbolic Distributions) per individuare gruppi omogenei di comportamento. I risultati hanno mostrato l'emergere di tre gruppi: il primo composto da chi iniziava da diverse posizioni e non seguiva alcun piano; il secondo gruppo composto da coloro che iniziavano a destra ma andavano a sinistra in un movimento ritmico; infine, il terzo gruppo era composto da chi iniziava dal lato sinistro (Figura 4.3).

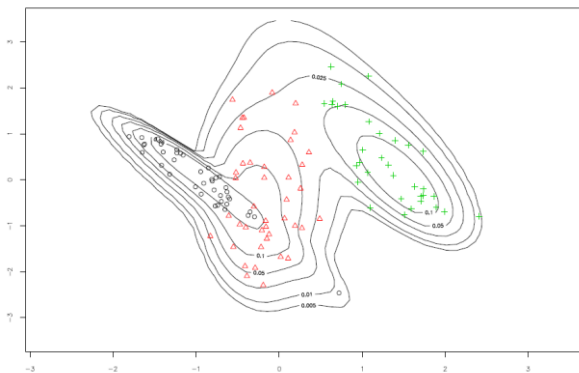


Figura 4.3 I tre gruppi emersi nella clusterizzazione delle traiettorie (Fonte: Palumbo et al., 2019)

Cerrato e colleghi svilupparono infine un nuovo metodo di analisi della performance dei partecipanti, basandosi sull'uso del poligono convesso descritto dagli oggetti all'interno della cornice (Cerrato et al., 2020). Questo procedimento dà una stima della porzione dello spazio davvero elaborata da ciascun partecipante durante il compito. Il principio di questa analisi è molto semplice: la configurazione spaziale finale dei dischetti viene considerata come i vertici di un poligono 2D. L'area di questo poligono, quindi, rappresenta lo spazio totale usato dal partecipante o

dal paziente durante il compito e può essere considerato come indice della superficie totale esplorata. Il calcolo dell'area è stato portato avanti con l'algoritmo di integrazione di Monte Carlo (per maggiori dettagli, fare riferimento a Cerrato et al., 2020), che calcola i punti che “cadono” nella regione del poligono convesso a partire da una serie di N punti generata randomicamente.

Questa misura può efficacemente discriminare tra pazienti con neglect e pazienti senza neglect (Cerrato et al., 2020).

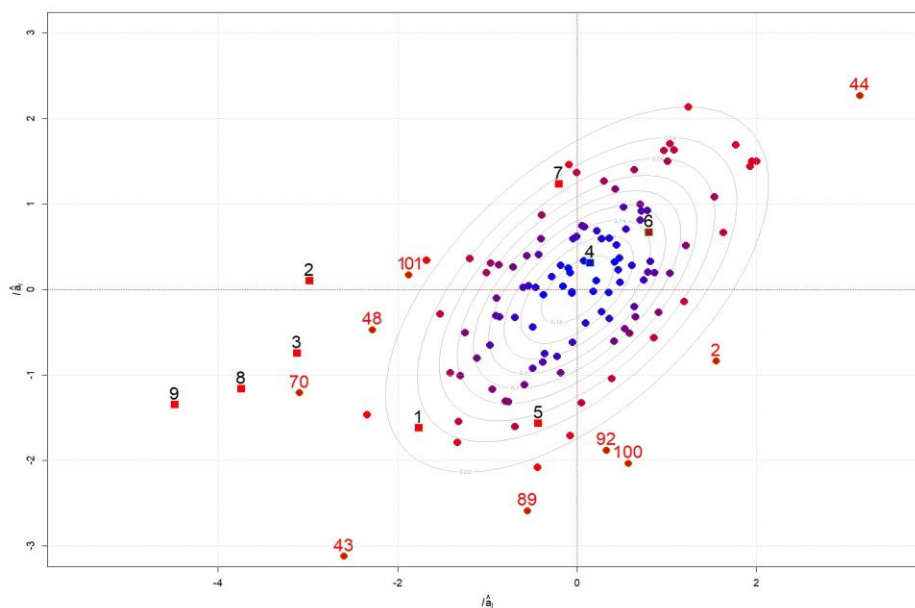


Figura 4.4 Joint plot della trasformazione logit standardizzata dell'area destra e sinistra. In nero ci sono i nove pazienti con danno destro; in rosso i soggetti sani di controllo. (Fonte: Cerrato et al., 2020).

4.1.3 Valutazione dello pseudoneglect con l'E-BTT

Con lo scopo di valutare lo pseudoneglect (vedi Capitolo 1), Somma e colleghi (2020) hanno utilizzato l'E-BTT e altri compiti visuo-spaziali in un campione di studenti universitari. Lo scopo dei ricercatori era duplice: stabilire da una parte l'esistenza di una deviazione verso sinistra in tali compiti, dall'altra stabilire se sussistono legami di alcun genere tra le diverse manifestazioni di questo fenomeno.

97 studenti (77 femmine) destrimani, di età compresa tra 18 e 26 anni (media = 19.7, DS = 1.5), hanno partecipato a questo studio. Sono state rilevate le seguenti misure:

- *Matrici Progressive Avanzate di Raven, set I (Raven, 1962).*
- *E-BTT.*
- *Cancellazione digitale.*
- *Bisezione di linee digitale.*

- *Labirinto Radiale digitale* (Mandolesi & Gigliotta, 2021). Questo compito consiste nel cercare, all'interno di un labirinto costituito da diversi bracci, delle ricompense trascinando una coccinella dal centro verso gli estremi di ciascun braccio.

Dell'E-BTT, in particolare, sono state considerati la coordinata X del primo dischetto e il *centro di massa*, cioè la media di tutte le coordinate X. I risultati hanno evidenziato un bias verso sinistra in entrambe, nonché al compito di cancellazione e di bisezione di linee (quando le linee erano presentate a sinistra) e persino nelle risposte errate delle Matrici Progressive.

Inoltre, la coordinata X del primo dischetto non risulta essere associata con gli altri compiti ($p > 0.05$), mentre il centro di massa lo è solo col compito di bisezione (si evidenzia una correlazione negativa con le linee spostate verso sinistra e positiva per le linee spostate a destra).

4.2 Nuove direzioni sviluppate durante il dottorato: analisi delle distanze e nuovi indici

Il miglioramento tecnologico dell'E-BTT implica l'avere a disposizione nuovi tipi di dati. Non più solo frequenze, bensì coordinate spaziali e il loro ordine. Questo chiaramente comporta che i tradizionali metodi di analisi dei dati (differenza destra-sinistra, laterality bias) diventino obsoleti o comunque non sfruttino appieno le potenzialità date dall'applicazione della piattaforma E-TAN al compito BTT.

Perciò, in questa seconda parte del capitolo affronteremo il nostro lavoro di dottorato, che si concentra sulle nuove direzioni di analisi dei dati dell'E-BTT a partire dall'analisi delle distanze Euclidee per arrivare ai nuovi indici proposti per questo nuovo compito.

4.2.1 Primo studio: Studio esplorativo sull'Analisi delle distanze Euclidee

I metodi di analisi dei dati spazio-temporali dell'E-BTT finora utilizzati si sono concentrati sull'inizio/fine della sequenza (analisi dei quadranti), sull'individuare gruppi omogenei (Cluster) o sullo spazio occupato dall'intero poligono delimitato dai dischetti (Area). Insomma, questi risultati preliminari non hanno tenuto conto dell'intera sequenza dei dischetti in termini di posizione, forma e ordine. Dato che stiamo parlando di spazio, ciascuna sequenza può essere descritta non solo dalla posizione dei suoi punti, ma dalla forma della configurazione finale e dalla sequenza in cui ciascun punto ha seguito il precedente. Per esempio, due configurazioni finali simili possono differire in termini di ordine di posizionamento dei dischetti, pur avendo la stessa forma. Per poter quindi

distinguere rigorosamente tutti questi casi, una possibilità è quella di utilizzare una qualche misura di distanza, ponendo le coordinate dei dischetti come strumenti per i paragoni.

Ci si è quindi proposto di analizzare le sequenze di posizionamento dei dischi attraverso una misura di distanza, poiché potesse dare l'idea dello spazio tra ciascun punto della sequenza o ancora meglio tra due sequenze distinte. Alla fine, è stata scelta come misura di distanza la distanza Euclidea, in quanto ampiamente utilizzata in letteratura (Madhulatha, 2012). La distanza Euclidea tra due punti si calcola con la radice quadrata della somma dei quadrati delle differenze tra coordinate corrispondenti. Quindi dati due punti $A(x_A; y_A)$ e $B(x_B; y_B)$, la distanza AB è calcolata come

$$AB = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}.$$

Obiettivi. Le coordinate di ciascun dischetto sono state collegate a quelle del successivo con una linea spezzata e questa sequenza è stata ulteriormente analizzata. Questo significa analizzare la configurazione non solo nella sua somiglianza con quelle degli altri partecipanti, ma anche in termini di qualità e organizzazione dell'esplorazione stessa. I nostri obiettivi erano di ottenere due tipi di informazione: da una parte identificare strategie comuni in partecipanti sani; d'altra parte, studiare la qualità della sequenza spaziale attraverso indici di distanza.

Misure. Per questi scopi, sono state considerate due tipi di misure:

- *Between Distance (BD):* la somma delle distanze tra un dischetto di ciascun partecipante e il disco corrispondente di un altro partecipante.

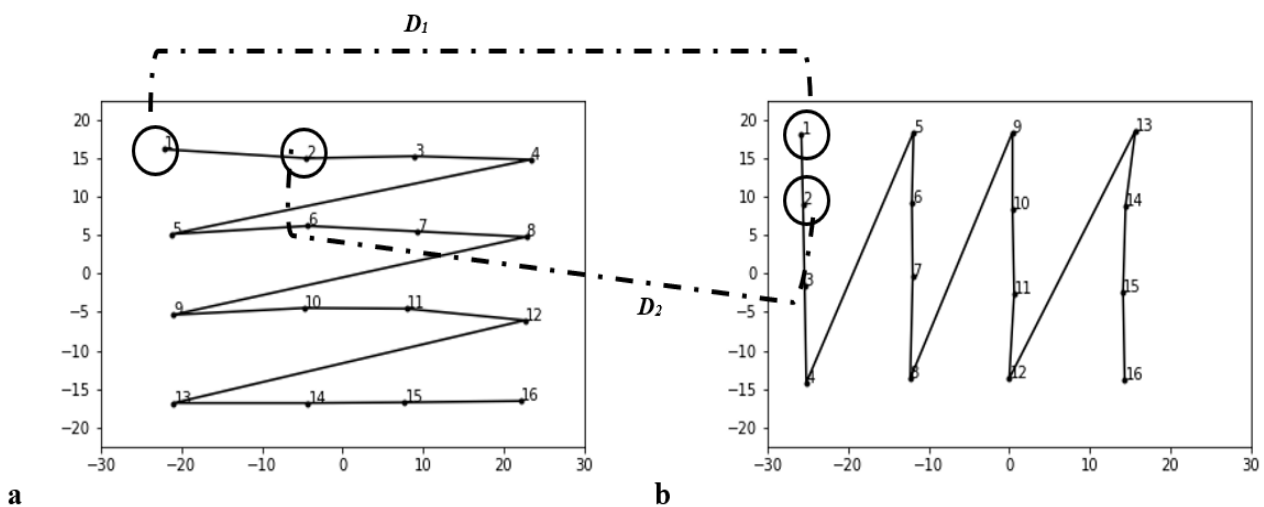


Figura 4.5 Illustrazione grafica del calcolo delle Between Distance. La distanza tra due dischi corrispondenti era misurata attraverso la formula della distanza Euclidea. La somma dei sedici confronti costituisce la BD di quel confronto.

- *Within Distance (WD)*: distanza tra un dischetto e il prossimo all'interno della stessa sequenza.

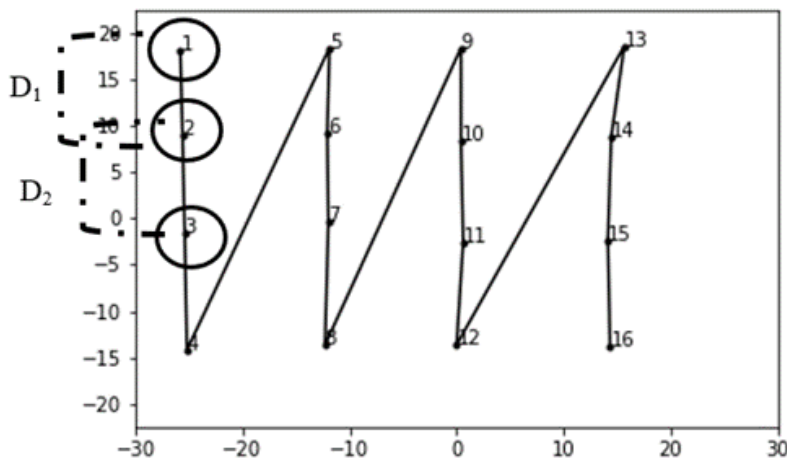


Figura 4.6 Rappresentazione grafica del calcolo delle WD. La distanza Euclidea tra ciascun dischetto e il successivo veniva poi sommata.

Partecipanti. Queste misure sono state applicate al campione di 97 sequenze precedentemente pubblicato in Somma e colleghi (2020) e descritto nel paragrafo 4.1.3.

Analisi dei dati. L'output della piattaforma E-TAN è un file .csv che contiene informazioni circa la sessione e le coordinate dei dischetti, in pixel. I dati sono stati quindi trasformati cambiando il sistema di riferimento cosicché lo 0 corrispondesse al centro dell'area interna disponibile. Infine, le coordinate sono state trasformate da pixel a centimetri, per cui l'asse delle X misurava da -30 a +30 cm, mentre l'asse delle Y andava da -22.5 cm a +22.5 cm. Questo pre-trattamento dei dati rimane costante anche nei prossimi studi.

Le BD sono state calcolate per ogni possibile combinazione delle 97 sequenze, creando così una matrice simmetrica di confronti tra i diversi partecipanti. A questo punto, ci siamo chiesti se questo confronto tra due sequenze potesse in qualche modo aiutarci a discriminare tra sequenze simili e sequenze molto differenti. Questo è evidente dalla figura 4.7, dove sono illustrate quattro sequenze: le prime due hanno una BD molto bassa e le due in basso hanno una BD molto alta. A una BD bassa corrispondono quindi due sequenze molto simili tra loro, mentre a una BD alta corrispondono due sequenze molto diverse per disposizione spaziale, forma e ordine. Si può quindi concludere che le BD effettivamente discriminano tra configurazioni simili e differenti in base alla distanza fisica tra i loro dischetti.

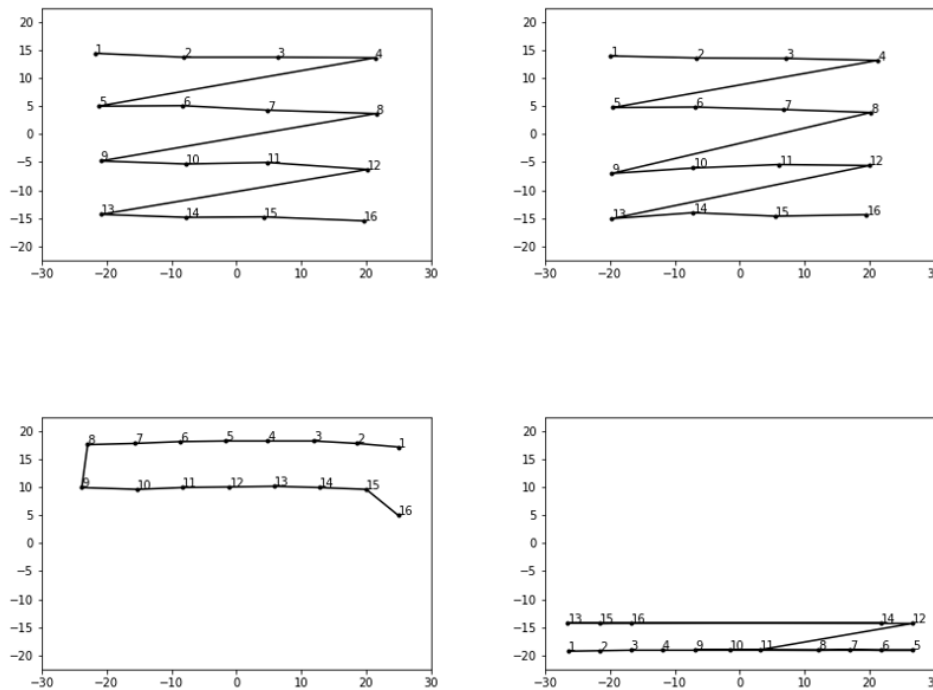


Figura 4.7 Paragone grafico di quattro sequenze esempio. Le due in alto hanno una BD molto bassa; le due in basso hanno una BD molto alta.

A questo punto, è stata stabilita una sorta di soglia che potesse discriminare tra sequenze simili e quindi possa essere usata per raggrupparle. La soglia scelta è stata il primo decile (274.34 cm) e quindi, in base a questa:

- per ciascun partecipante sono stati identificati tutti i paragoni più bassi della soglia;
- per questo sottogruppo di sequenze è stata poi compilata la matrice con le BD per ogni combinazione possibile;
- per lo stesso gruppo, non era possibile che la BD fosse più alta della soglia. Questo significa che se una sequenza aveva una bassa distanza da un'altra del gruppo, ma punteggi alti con gli altri membri, la sequenza veniva scartata. Se in dubbio, veniva paragonata la media della BD di quel gruppo con quella sequenza (e quindi escludendo le altre con punteggi alti) o senza di essa (quindi non cambiando nulla). Ovviamente, erano preferite medie più basse;
- un gruppo era considerato tale se composto da almeno tre elementi.

Se le BD sono in qualche modo un paragone tra due configurazioni, le Within Distance sono, invece un singolo punteggio esaustivo, dato dalla somma delle distanze tra ciascun disco e quello successivo. Mentre analizzavamo le configurazioni e come raggrupparle, è sembrato ci fosse qualche differenza tra partecipanti che disponevano i dischi in una distanza omogenea e coloro che decidevano di posizionarli a distanze maggiori. In altre parole, avere in mente un chiaro piano

d'azione su come posizionare ciascun dischetto (o costruirlo durante il compito) dovrebbe risultare nel posizionare i dischetti in un modo omogeneo in termini di distanza fra di loro. Così, è stato ipotizzato che le WD potesse essere considerato un indice di regolarità e quindi di organizzazione.

Inoltre, Mark e colleghi (2004) svilupparono un indice simile in un compito di cancellazione, partendo dall'osservazione che il neglect è generalmente accompagnato da una cancellazione disordinata, oltre che dall'omissione dei target a sinistra. La *marking distance* era infatti calcolata come la distanza Euclidea tra un target cancellato e il successivo. Gli autori usarono questo indice come una misura della qualità dell'organizzazione del path di cancellazione.

Ci siamo quindi chiesti se le WD potessero fungere da indice di organizzazione anche nelle sequenze dell'E-BTT. Quindi, abbiamo deciso di dividere il campione di 97 sequenze che avevamo a disposizione basandosi sull'organizzazione complessiva soggettiva, studiando cioè i plot e categorizzandoli uno per uno seguendo questi criteri:

- Una sequenza era considerata *organizzata* se una strategia è stata usata durante tutta la sequenza stessa (O);
- Una sequenza era considerata *disorganizzata* se era stata usata una strategia ma poi è stata cambiata a un certo punto o nessuna strategia è stata usata (o più di due sono state usate infruttuosamente; D);
- Questo a prescindere dalla quantità di spazio usato, poichè la (dis)organizzazione voleva essere considerata un costrutto differente da quello dello spazio usato.

Risultati. La distribuzione delle BD è descritta nella tabella 4.1.

	BD
Media	390.15
DS	95.47
Min	21.6
Max	693.28

Tabella 4.1 Descrittive della distribuzione delle BD.

Dal procedimento descritto nello scorso paragrafo, sono emersi undici gruppi di strategie. Messe insieme, spiegano 63 su 97 sequenze. Segue quindi una breve descrizione di ciascuno di questi undici gruppi.

- A. *Gruppo A* ($N=13$). Include tutte le sequenze che iniziano in alto a sinistra e procedono verso destra in un movimento regolare dall'alto verso il basso (Figura 4.8).

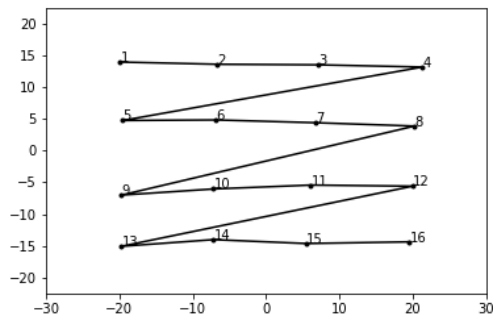


Figura 4.8 Un esempio di plot del gruppo A (ss23).

- B. *Gruppo B* ($N=15$). Ha la stessa forma del Gruppo A, un dente di sega, ma ruotato e ribaltato. Nonostante comincino dallo stesso punto (in alto a sinistra), i partecipanti vanno verso il basso in un movimento progressivo verso destra (Figura 4.9).

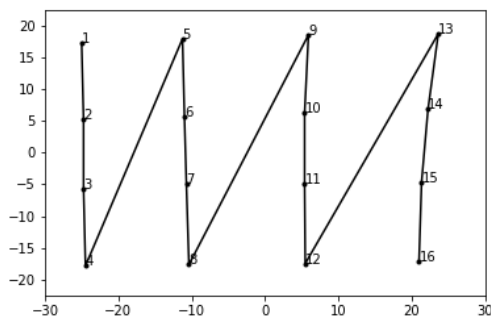


Figura 4.9 Un esempio di plot del gruppo B (ss34).

- C. *Gruppo C* ($N=5$). I componenti di questo gruppo sono la rotazione a 180° gradi del gruppo B. Essi dispongono il primo dischetto in basso a destra e gli altri con un movimento che va verso l'alto e verso sinistra (Figura 4.10).

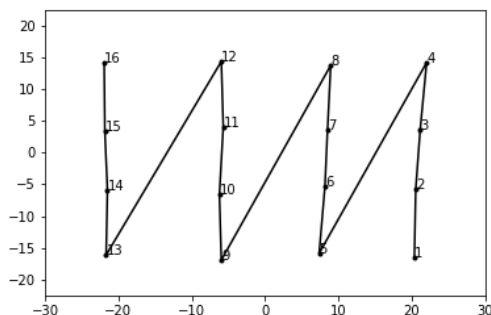


Figura 4.10 Un esempio di plot del gruppo C (ss97).

- D. *Gruppo D* ($N=4$). Questi soggetti cominciano nell'angolo in basso a sinistra e procedono, con un movimento regolare, verso l'alto e a destra, risultando in una configurazione che è la rotazione a 180° del gruppo A (Figura 4.11).

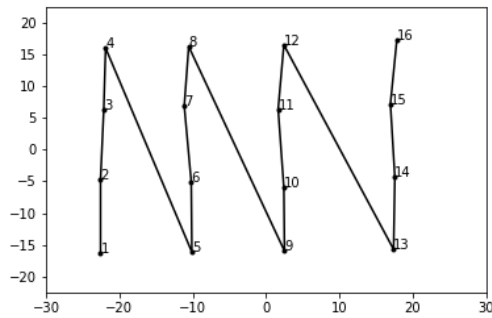


Figura 4.11 Un esempio di plot del gruppo D (ss21).

E. Gruppo E ($N=3$). Include dei partecipanti che iniziano in basso a sinistra e rimangono ancorati al lato basso della cornice, non sfruttando tutto lo spazio possibile (Figura 4.12).

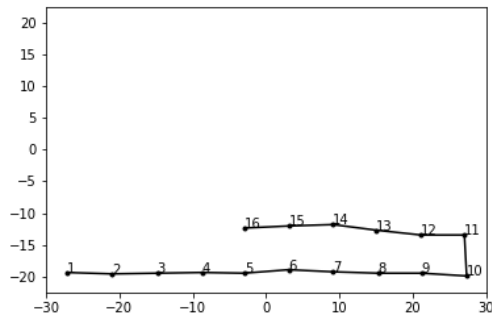


Figura 4.12 Un esempio di plot del gruppo E (ss17).

F. Gruppo F ($N=4$). In questo caso, i primi quattro dischetti sono posizionati in alto cominciando dall'angolo sinistro; i successivi quattro, d'altra parte, sono posizionati in basso nello stesso ordine (come a formare una Z) e il resto vengono posti nella parte centrale (Figura 4.13).

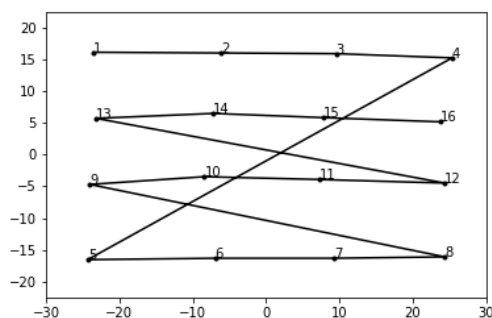


Figura 4.13 Un esempio di plot del gruppo F (ss44).

G. Gruppo G ($N=3$). Come nei gruppi A, B, F, questi partecipanti iniziano in alto a sinistra e continuano verso destra, ma al contrario degli altri gruppi, metà sono posizionati nella prima riga e il resto in una seconda immediatamente sotto, quindi occupando solo un quarto dell'area disponibile (Figura 4.14).

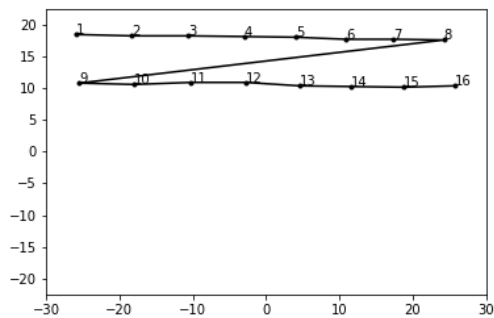


Figura 4.14 Un esempio di plot del gruppo G (ss10).

H. Gruppo H ($N=3$). Come nel gruppo E, questi partecipanti cominciano in basso a sinistra e procedono verso destra, ma questi occupano tutto lo spazio disponibile procedendo “a gradini” (non a dente di sega, Figura 4.15).

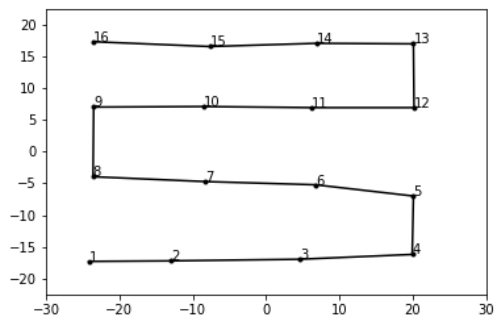


Figura 4.15 Un esempio di plot del gruppo H (ss77).

I. Gruppo I ($N=3$). In questo caso, la sequenza è praticamente un misto tra il gruppo D e il gruppo H; i partecipanti iniziano con i primi quattro dischetti nella parte in basso a sinistra e procedendo verso destra, ma poi cambiano strategia procedendo verso l'alto (Figura 4.16).

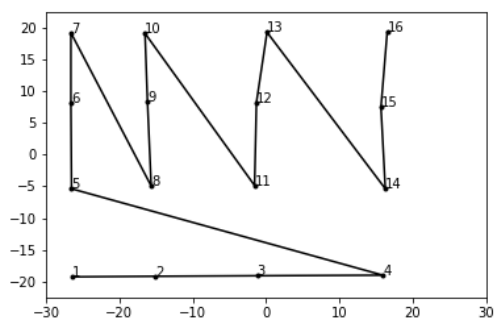


Figura 4.16 Un esempio di plot del gruppo I (ss50).

J. Gruppo J ($N=5$). Come nel gruppo A, i partecipanti del gruppo J cominciano in alto a sinistra e descrivono un dente di sega procedendo verso il basso. In questo caso, però, la gestione dello spazio è diversa, in quanto il numero di dischetti per riga è differente (cioè 5, 4, 4, 3 e non 4 per riga; Figura 4.17).

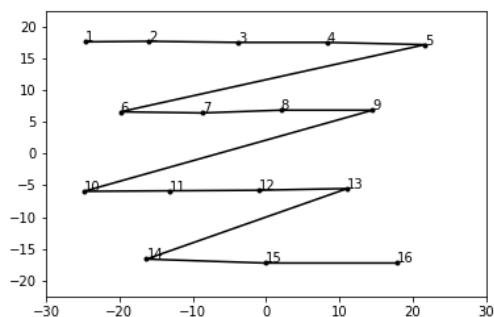


Figura 4.17 Un esempio di plot del gruppo J (ss64).

K. Gruppo K ($N=5$). Come nel gruppo H, il gruppo K inizia in basso a sinistra e dispone i primi dischi da sinistra a destra, ma in questo caso si usa molto meno spazio utilizzando solo due righe per posizionare tutti i dischetti.

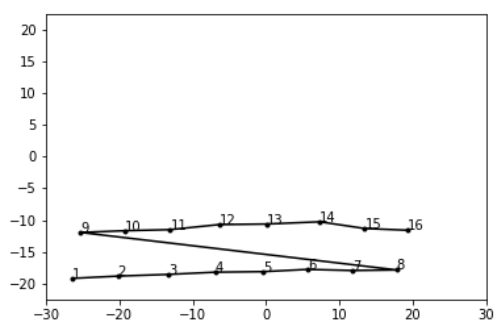


Figura 4.18 Un esempio di plot del gruppo K (ss33).

Le caratteristiche di ciascun gruppo (direzione, uso dello spazio, punto di partenza e di fine) sono riassunti nella tabella 4.2.

Gruppo	Direzione	Uso dello spazio	Punto di inizio	Punto di fine
A	Da in alto a sinistra a destra; procedendo verso il basso	(quasi) tutto lo spazio disponibile	Alto a sinistra	Basso a destra
B	Da in alto a sinistra verso il basso; procedendo verso destra	(quasi) tutto lo spazio disponibile	Alto a sinistra	Basso a destra
C	Da in basso a destra verso l'alto; procedendo verso sinistra	(quasi) tutto lo spazio disponibile	Basso a destra	Alto a sinistra
D	Da in basso a sinistra verso l'alto; procedendo verso destra	(quasi) tutto lo spazio disponibile	Basso a sinistra	Alto a destra
E	Da in basso a sinistra seguendo il contorno della cornice	1/3 dello spazio disponibile	Basso a sinistra	Destra, un po' più su

F	Da in alto a sinistra verso destra; poi in basso a sinistra verso destra (come una Z); poi riempiendo il centro	(quasi) tutto lo spazio disponibile	Alto a sinistra	Sinistra
G	Da in alto a sinistra verso destra; su due righe	1/3 dello spazio disponibile	Alto a sinistra	Destra, un po' più in basso
H	Da in basso a sinistra verso destra, procedendo "a gradini"	(quasi) tutto lo spazio disponibile	Basso a sinistra	Alto a sinistra
I	Da in basso a sinistra verso destra per i primi quattro dischetti; poi da sinistra andando in alto (come D)	(quasi) tutto lo spazio disponibile	Basso a sinistra	Destra
J	Da in alto a sinistra come A; differente disposizione dei dischetti (5, 4, 4, 3)	Buono, ma meno spazio di A	Basso a sinistra	Basso
K	Da in basso a sinistra andando verso l'alto in sole due righe	½ dello spazio disponibile	Basso a sinistra	Basso a destra

Tabella 4.2 Caratteristiche dei gruppi individuati con le BD.

Va comunque aggiunto che in queste descrizioni non sono contemplati tutti i partecipanti facente parte dello stesso gruppo. Alcune configurazioni sono atipiche ma comunque la loro distanza non è alta, comparata con gli altri componenti del gruppo.

Infine, è possibile proporre una divisione in macro-gruppi, basandosi su dove cominciano e la loro direzione complessiva:

- Gruppi che cominciano in alto a sinistra e vanno giù in un movimento orizzontale: A, J, F, G;
- Gruppo di chi comincia in alto a sinistra e scende in un movimento verticale: B;
- Gruppi che cominciano in basso e che procedono verso l'alto in un movimento orizzontale: K, E, H, I;
- Gruppi che cominciano in basso e che procedono verso l'alto in un movimento orizzontale: C, D.

In conclusione, usando le distanze calcolate tra differenti configurazioni, è possibile stabilire una soglia in grado di raggrupparle in termini di posizione e direzione nello spazio. Questo può in potenza discriminare differenti strategie spaziali nell'esplorazione.

In tabella 4.3 sono riassunte le statistiche descrittive della distribuzione delle WD.

	WD
Media	255.44
DS	90.71
Min	83.18
Max	516.33

Tabella 4.3 Descrittive della distribuzione delle WD.

Le statistiche descrittive per entrambi i gruppi in termini di WD sono riportate in tabella 4.4. questi due gruppi si differenziano statisticamente in termini di WD ($t(95)=2.52$, $p<0.05$): quindi nei plot organizzati i partecipanti posizionano i dischetti a distanze minori, mentre chi li dispone in maniera soggettivamente disorganizzata occupa anche distanze maggiori.

Gruppo	Media	DS
D (N=44)	280.21	94.48
O (N=53)	234.82	82.82

Tabella 4.4 Descrittive della distribuzione delle WD divise nei due gruppi.

Da questo dato è possibile evincere come le WD possono essere considerate un indice di qualità dell'organizzazione, in quanto distinguono tra plot organizzati e disorganizzati.

Discussione e conclusioni. Ovviamente, questo studio costituisce solo un tentativo esplorativo di analizzare le sequenze spazio-temporali dell'E-BTT con le distanze Euclidee. Abbiamo quindi usato due tipi di misure: una misura di distanza che confrontasse a due a due tutte le combinazioni possibili delle sequenze a nostra disposizione (BD) e una misura di distanza che in qualche modo riassumesse quanto spazio viene percorso all'interno della stessa sequenza (WD).

Nel primo caso, grazie all'utilizzo di una soglia, il nostro scopo era quello di raggruppare sequenze simili in termini di distanza tra i loro punti. Raggruppare diversi oggetti in categorie sovraordinate e quindi dividere il campione in diversi subset è la definizione di clustering (Madhulatha, 2012; Omran et al., 2007; Sinwar & Kaushik, 2014), una tecnica statistica spesso usata con dati spaziali (Ansari, Ahmad, Khan, Bhushan, & Mainuddin, 2020; Omran et al., 2007; Palumbo et al., 2019). Anche nel clustering l'uso di una misura di distanza è quindi cruciale. Nel presente studio abbiamo deciso di usare la formula della distanza Euclidea poiché si tratta della più usata e adatta misura di distanza, rispetto ad altri tipi (Madhulatha, 2012). Il lavoro fatto con le BD

può essere considerato in qualche modo simile al clustering, in quanto la nostra procedura intendeva creare dei “gruppi” iniziando con la singola configurazione e analizzando la distanza con tutti gli altri. Ovviamente il nostro lavoro con BD è altamente esplorativo e parziale: il razionale era piuttosto verificare la validità delle distanze in questo compito, così è stato considerato prematuro usare tecniche statistiche più sofisticate. Studi futuri avranno sicuramente la possibilità di applicare questi avanzati algoritmi a questo tipo di dati per ottenere un clustering più efficiente ed efficace.

Anche se le BD sono un confronto più che un indice, un’idea semplice da sviluppare in futuro potrebbe essere quella di definire, all’interno dei gruppi descritti sopra, una (o più) strategie “prototipiche” e considerare la distanza da esse. Si può ipotizzare che più la sequenza si discosta da una configurazione ottimale, più può essere considerata disorganizzata, ad esempio.

In secondo luogo, un modo per analizzare la qualità della singola sequenza è stato realizzato misurando la distanza tra ogni dischetto e quello successivo. In questo lavoro, abbiamo chiamato questo indice Within Distance (WD). Si ipotizzava quindi che, di fronte a uno spazio vuoto da riempire con i dischetti, il partecipante avrebbe costruito un piano su come disporli in modo uniforme, dato che non avrebbe potuto cambiare la propria posizione una volta deciso. Se questo piano organizzativo è chiaro (o il partecipante è in grado di modificarlo efficacemente durante il compito), i dischi dovrebbero essere separati da distanze omogenee. Al contrario, una disposizione casuale dei dischi dovrebbe comportare distanze maggiori (Mark et al., 2004). Per verificare questa ipotesi, abbiamo diviso il nostro campione in due gruppi soggettivi: organizzati e disorganizzati. Le sequenze organizzate includevano i partecipanti che seguivano una strategia per tutta la sequenza. Le sequenze disorganizzate, invece, erano caratterizzate dall’assenza di una strategia coerente, fino a chi disponeva i dischetti in modo casuale. Questi due gruppi avevano medie di WD diverse, come ha rivelato il t-test. Possiamo concludere che i WD possono essere efficaci indici di organizzazione, perché possono discriminare tra pattern esplorativi organizzati e disorganizzati.

Dato che le WD sono affidabili nell’E-BTT, gli scopi future dovrebbero essere quelli di testare altri indici usati per il compito di cancellazione e validarli, scopo del prossimo studio.

4.2.2 Secondo studio: Nuovi indici per l’E-BTT

La trasformazione tecnologica del Baking Tray Task ha fatto sì che fossero disponibili le coordinate dei dischetti e la loro sequenza spazio-temporale. Questa può essere utile a determinare le strategie che il partecipante usa per risolvere questo particolare compito spaziale. Per approfondire la comprensione di tali strategie, abbiamo quindi identificato e applicato nuovi indici

ai dati dall'E-BTT, con lo scopo duplice di ottenere maggiori informazioni da tali dati e fare un primo tentativo di registrare dati normativi per questo compito.

In maggior dettaglio, proponiamo l'applicazione di diversi indici ai dati spazio-temporali dell'E-BTT; questi indici derivano dalle seguenti fonti:

- Indici già utilizzati per l'E-BTT (area totale, prima X, ecc.; Cerrato et al., 2020; Gentile, Cerrato & Ponticorvo, 2019; Somma et al., 2020);
- Indici tratti dalla letteratura sulla *visual search organization*, l'organizzazione della ricerca visiva (best R, intersection rate, ecc.). Essi stimano l'efficienza dell'organizzazione spaziale in compiti di cancellazione di item (Mark et al., 2004; Dalmaijer et al., 2015; Rabuffetti et al., 2012);
- Nuovi indici (BD da sequenze ottimali; Argiuolo et al., 2021). Questi indici sono stati sviluppati specificatamente per i dati dell'E-BTT ma possono essere anche generalizzati ad altri compiti spaziali che coinvolgono delle coordinate.

Risulta quindi evidente che le classiche misure di asimmetria spaziale, tradizionalmente impiegate per lo studio del neglect e dello pseudoneglect, sono state inglobate e modificate ad hoc per adattare allo scopo della seguente Tesi. Il razionale alla base della nostra ricerca di indici adatti è stato di partire dagli indici tradizionali, chiederci se fosse opportuno utilizzarli nel nuovo compito e se fosse possibile modificarli allo scopo. Inoltre, a integrare tale ricerca, si è affiancato lo sforzo di sviluppare misure create appositamente (vedi BD da sequenze ottimali, sotto).

Obiettivi. A partire da questi indici, il nostro obiettivo era di comprendere se essi riflettessero dimensioni comuni e se queste possano essere collegate a diversi aspetti dell'attenzione spaziale e dell'esplorazione peri-personale, primariamente in una popolazione non clinica. Per questa ragione, in questo studio, ci focalizzeremo su partecipanti sani.

Partecipanti. Il campione è formato da 122 partecipanti sani (97 femmine), la cui età variava da 18 a 37 anni (età media = 21.33, DS = 3.84). I dati sono stati in parte pubblicati in Somma e colleghi (2020) e descritti nel paragrafo 4.1.5.

Misure: E-BTT. È stato somministrato l'Enhanced Baking Tray Task (Vedi Capitolo 3 per i dettagli sull'apparato). Nella sua ultima versione, l'E-BTT è composto da:

- Una cornice di legno modulare di 60x45 cm, larga 5 cm su ogni lato.
- 16 dischetti di 5 cm di diametro;
- Marker tag ArUco su ciascun dischetto e agli angoli della cornice;

- Una webcam Logitech C930e sospesa sulla tavola grazie a braccio metallico;
- E-TAN, la parte software dell'E-BTT.

La piattaforma E-TAN era implementata su un PC connesso alla webcam tramite un cavo USB. La distanza della webcam era regolata ciascuna volta per poter inquadrare al meglio i bordi della cornice. Il lato lungo della cornice era disposto in modo da allinearla con il piano sagittale del partecipante. I sedici dischetti erano impilati in quattro pile da quattro dischetti nello spazio tra la cornice e il bordo del tavolo.

Misure: gli indici. Abbiamo quindi calcolato (vedi Appendice A per lo script completo) gli indici elencati nella tabella 4.5. A seconda del modo in cui questi indici sono stati calcolati, è possibile distinguere in misure del dove (spazialità) e del come (qualità) i dischetti sono stati disposti.

- **Indici spaziali.** Gli indici spaziali riassumono dove i dischetti sono stati disposti. Essi possono essere ulteriormente divisi in indici di lateralità e di verticalità, a seconda che siano calcolati sulle coordinate X o Y. L'analisi dei quadranti è classificata separatamente siccome comprende sia la dimensione laterale che quella verticale.
 - **Analisi dei quadranti (primo e ultimo dischetto).** Lo spazio interno della cornice è virtualmente diviso in quattro parti uguali basandosi su ciascun asse. Le frequenze di disposizione del primo e dell'ultimo dischetto sono analizzate attraverso un chi quadrato di Pearson (Cerrato et al., 2019a), con lo scopo di rivelare dove fosse più frequente disporli. È anche possibile performare un chi quadrato a due vie, considerando lateralità e verticalità come due variabili distinte, ma per ragioni teoriche è stato preferito di no. L'analisi dei quadranti, seppure non si tratta strettamente di un indice, può essere utile e veloce nel rilevare delle tendenze nell'esplorazione spaziale.
 - **Indici di lateralità.** Tutti gli indici calcolati utilizzando le coordinate X sono stati considerati indici di lateralità. Essi danno un'idea di quanto a destra o a sinistra un dischetto o l'intera sequenza è stata posizionata. Gli indici di lateralità sono:
 - **Prima X (First X).** Corrisponde alla coordinata X del primo dischetto, in centimetri. È stato considerato come indice di pseudoneglect (Somma et al., 2020). Il razionale dietro questa scelta era verificare che l'esplorazione spaziale iniziasse in maniera asimmetrica e infatti il primo dischetto, in quello studio, era disposto a sinistra.

- **Differenza Destra/Sinistra (R/L difference).** Si sottrae il numero di dischetti posti sulla sinistra a quelli posizionati a destra per ottenere una stima dello sbilanciamento nel loro posizionamento. Un numero positivo sta a significare un'asimmetria verso la destra mentre un numero negativo significa più dischetti posizionati a sinistra. Zero indica la simmetria assoluta.
- **Laterality Bias (LB).** Il LB è stato sviluppato da Facchin e colleghi (2016; vedi par. 4.1.1) come indice più efficiente dell'originale differenza destra-sinistra nel BTT. La stessa formula è stata applicata ai dati sottoforma di coordinate, considerando come sinistra tutto ciò che avesse una coordinata X minore di -10 e destra come ogni dischetto che avesse una coordinata X maggiore di +10. Tutto ciò che si trova in mezzo è considerato "centro".
- **Gradiente laterale di distanza (Distance Lateral Gradient).** È stato sviluppato da Rabuffetti e colleghi (2012). Il gradiente è stato pensato per valutare possibili relazioni tra la performance a un test di cancellazione e la lateralità. Viene calcolata come l'inclinazione della retta di regressione sulle distanze inter-cancellazioni (simili alla nostra Within Distance, vedi anche sotto), ponendo come predittore le coordinate laterali (X). Questo indice può essere interpretato come la variazione sulle distanze tra ciascun disco e il successivo, muovendosi di un'unità (in questo caso, centimetri) in laterale. Un gradiente positivo significa che più le coordinate si spostano verso destra, maggiore le distanze tra ciascun disco e il successivo.
- **Centro di massa (Mean X).** È calcolato come la media di tutte e 16 le coordinate X. Viene utilizzato anche in Somma e colleghi (2020). Serve a dare un'idea di come la configurazione generale sia spostata verso sinistra (se negativo) o destra (se positivo).
- **Indici di verticalità.** La verticalità non è stata presa in considerazione in precedenza (Cerrato et al., 2019a), probabilmente anche perché il neglect verticale è molto raro (Morris, Mańkowska & Heilman, 2020). Nondimeno, sarebbe interessante valutare la verticalità in partecipanti sani poiché il suo ruolo nella ricerca visiva è sottovalutato. Gli indici di verticalità sono speculari ai loro analoghi di lateralità:

- **Prima Y (First Y).** Corrisponde alla coordinata Y del primo dischetto. Y positive sono poste in alto, mentre Y negative sono poste in basso del centro della cornice.
- **Differenza Sopra/Sotto (Up/Down difference).** Si tratta della differenza tra il numero di dischetti posizionato in alto e quelli posizionati in basso. Un numero positivo indica uno sbilanciamento verso l'alto, mentre un numero negativo, uno sbilanciamento verso il basso.
- **Verticality Bias (VB).** La stessa formula utilizzata per il LB è stata applicata anche alla verticalità. Ciò significa che la differenza tra i dischetti posti in basso (con una coordinata minore di -7.5) e quelli posti in alto (con una coordinata maggiore di +7.5) viene rapportata al numero di dischetti totale e trasformata in percentuale.
- **Gradiente Verticale di Distanza (Distance Vertical Gradient).** Come la controparte laterale, il DVG è calcolato come la slope della retta di regressione tra le coordinate Y sulla distanza tra un dischetto e il successivo. Questo indice può essere interpretato come la variazione sulle distanze tra ciascun disco e il successivo, muovendosi di un'unità (in questo caso, centimetri) in verticale. Un gradiente positivo significa che più le coordinate si spostano verso l'alto, maggiore le distanze tra ciascun disco e il successivo.
- **Centro di massa (Mean Y).** È la media delle 16 coordinate Y. Serve a dare un'idea di come la configurazione generale sia spostata verso il basso (se negativo) o l'alto (se positivo).
- **Indici di qualità.** Gli indici di qualità si riferiscono all'organizzazione e alla qualità della sequenza finale. Alcuni di loro derivano dalla letteratura sulla ricerca visiva nel compito di cancellazione (Mark et al., 2004; Dalmaijer et al., 2015; Rabuffetti et al., 2012; Woods & Mark, 2007). L'organizzazione della ricerca visiva è stata inizialmente studiata soprattutto in pazienti con danno cerebrale unilaterale (specialmente nell'emisfero destro, con o senza neglect), evidenziando come essi tendano a descrivere pattern esplorativi irregolari mentre i partecipanti sani presentavano un pattern di cancellazione più regolare e organizzato (Mark et al., 2004; Woods & Mark, 2007; Donnelly, Guest, Fairhurst, Potter, Deighton & Patel, 1999; Gauthier, Dehaut & Joanette, 1989; Warren, Moore & Vogtle, 2008; Weintraub &

Mesulam, 1988). Partendo da questa osservazione, Mark e colleghi provarono a quantificare l'organizzazione spaziale in un compito di cancellazione di stelle in pazienti con ictus con tre indici. Successivamente, altri autori hanno usato gli stessi indici o ne hanno formulati di nuovi, applicandoli sempre al compito di cancellazione (Dalmaijer et al., 2015; Rabuffetti et al., 2012). Abbiamo deciso di usare alcuni di questi anche per l'E-BTT (numero di intersezioni, velocità globale ecc.):

- **Area totale (Total area).** La proporzione dell'area esplorata calcolata attraverso l'algoritmo di integrazione Monte Carlo. In particolare, è stato preso in considerazione il poligono convesso delimitato dalla sequenza dei dischetti (per maggiori dettagli, fare riferimento a Cerrato e colleghi, 2020). Considerato che gli outlier nella disposizione dei dischetti avrebbero potuto alterare la stima, è stata performata la media tra il poligono esterno (con gli outlier) e quello interno (senza gli outlier). In Cerrato e colleghi (2020), la trasformazione log lineare della porzione di area esplorata fu divisa in una porzione di destra e di sinistra. Questo indice si è dimostrato essere utile nel discriminare i pazienti dai soggetti sani: solo l'8% dei partecipanti sani avevano un'area patologica. La quantità di spazio occupato all'interno della cornice può essere un indice di qualità della performance.
- **Tempo totale (Total time).** In questo studio, il tempo di performance è stato calcolato come intervallo di tempo tra la disposizione del primo dischetto e quella dell'ultimo. Può essere considerato come un indice di (dis)organizzazione in quanto difficoltà nell'esplorazione spaziale dovrebbero portare a tempi di esecuzione maggiori.
- **Within Distance (WD).** Così come calcolata precedentemente (vedi par. 4.2.1), la WD è la somma delle distanze Euclidee tra ciascun dischetto e quello successivo. Può essere considerata come una misura della distanza totale esplorata con i dischetti. Abbiamo anche visto che può essere usata come misura di organizzazione (Argiuolo et al., 2021); inoltre un indice simile è stato utilizzato nel compito di cancellazione da diversi altri autori (Mark et al., 2004; Dalmaijer et al., 2015; Rabuffetti et al., 2012). Il rationale dietro questo indice è che un pattern organizzato significa minimizzare le distanze tra gli item cancellati o dischetti posizionati.

- **Numero di intersezioni, intersection rate, longest path.** Questi tre indici sono stati raggruppati in quanto riguardano lo stesso costrutto. Il numero di intersezioni è il numero totale delle intersezioni nella linea immaginaria che collega ciascun dischetto al successivo. L'intersection rate è calcolato dividendo il numero di intersezioni per il numero di segmenti (in questo caso, 15), mentre il longest path è il numero massimo, per ciascuna sequenza, di segmenti liberi da intersezioni. In altre parole, se il numero di intersezioni è 0, il longest path è 15. Questi indici sono stati utilizzati da diversi autori come misura dell'organizzazione della ricerca visiva (Mark et al., 2004; Dalmaijer et al., 2015; Rabuffetti et al., 2012). Una sequenza di buona qualità dovrebbe essere esente da intersezioni, in quanto non ci dovrebbero essere ritorni a posizioni già visitate.
- **Velocità globale (Global speed).** È calcolata come il rapporto tra la WD e il tempo totale. Ipoteticamente, maggiore è la velocità nel completare il compito, maggiore dovrebbe essere l'organizzazione del pattern.
- **Best r (R_X e R_Y).** La maggior parte dei partecipanti sani cancella gli item con un movimento orizzontale o verticale (cioè per righe o per colonne; Donnelly et al., 1999; Gauthier et al., 1989; Weintraub & Mesulam, 1988). Questi movimenti sono comuni anche nell'E-BTT (vedi par. 4.2.1). Per analizzarli, Mark e colleghi crearono la Best r, la correlazione più alta fra le due correlazioni tra le coordinate e il loro ordine. Il limite di questo indice è che non coglie andamenti non lineari (p. e. a spirale) e che, scegliendo la più alta tra due correlazioni, è impossibile discriminare tra andamenti orizzontali e verticale. Per quest'ultimo motivo, in questo studio utilizziamo entrambe le correlazioni.
- **Angolo standardizzato (Standardized angle).** Come integrazione della Best r, Dalmaijer e colleghi (2015) svilupparono una misura standardizzata della media degli angoli dei segmenti del pattern. L'angolo tra due punti è calcolato come l'arcoseno del rapporto tra la distanza verticale (la differenza tra due Y) tra due punti e la loro distanza Euclidea. Più è alto, più il pattern dovrebbe essere efficiente.

- **Distanza dalle sequenze ottimali (*Between Distance from optimal sequences*).** Quest'ultimo indice è stato proposto in base ai risultati mostrati precedentemente (Argiuolo et al., 2021; vedi par. 4.2.1). Consiste nel calcolare la BD (Between Distance, o distanza tra dischetti corrispondenti di due sequenze distinte) tra tutte le sequenze possedute e delle sequenze che possono essere considerate ottimali. Le sequenze ottimali sono state create in base a diverse considerazioni: innanzitutto, per l'E-BTT l'obiettivo è di posizionare i dischetti il più omogeneamente possibile all'interno dello spazio predefinito. Questo significa che la posizione ottimale dei sedici dischetti occupa quanto più spazio è possibile: quindi le coordinate delle sequenze ottimali sono state calcolate dividendo lo spazio in sedici parti uguali. Il risultato è stato una disposizione ottimale di 4x4 dischetti, come configurazione finale. E per quanto riguarda la sequenza di disposizione? Seguendo gli esempi dai compiti di cancellazione, ci siamo chiesti se la sequenza per righe e per colonne potesse essere applicabile anche all'E-BTT. Infatti, le sequenze più frequenti nei gruppi trovati in Argiuolo e colleghi (2021) erano quelle a forma di dente di sega per righe e per colonne, simili ai path di cancellazione riportati da Warren e colleghi (2008). Quindi, abbiamo scelto queste due sequenze come sequenze ottimali e calcolato le BD da ognuna di esse. Il risultato è stato di avere due indici che diano un'idea di quanto distante ciascuna sequenza fosse dalle sequenze ottimali. Naturalmente, tale scelta ha la limitazione di non prendere in considerazione altri tipi di sequenza, pur comuni (Argiuolo et al., 2021).

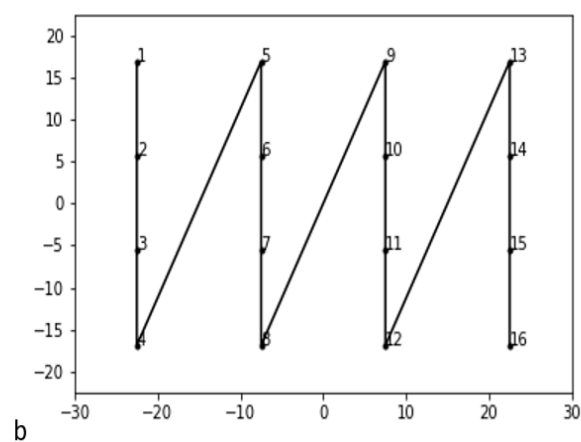
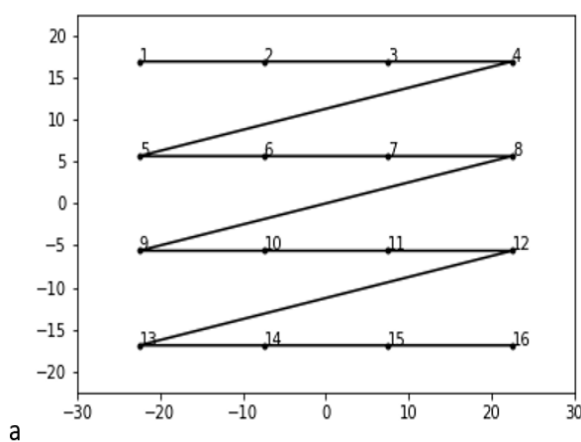


Figura 4.19 Le due sequenze considerate ottimali. (a) la prima per righe (OS1); (b) la seconda per colonne (OS2).

Tipo	Nome	Cosa Misura	Riferimenti
Spaziale	Analisi dei quadranti	Chi quadrato di Pearson sulle frequenze di posizionamento del primo e dell'ultimo dischetto	Cerrato et al., 2019; Somma et al., 2020
Lateralità	Prima X	Coordinata X del primo dischetto	Somma et al., 2020
	Differenza Destra/Sinistra	Differenza tra i dischetti posti a destra e i dischi posti a sinistra	Tham & Tégner, 1996; Cerrato et al., 2020; Karnath, et al., 2002; Natale, Marzi, Bricolo, Johannsen & Karnath, 2007
	Laterality Bias	Rapporto tra la differenza destra/sinistra e il numero totale di dischetti, in percentuale	Facchin et al., 2016; Cerrato et al., 2020
	Gradiente laterale di distanza	Inclinazione della retta di regressione ponendo la distanza tra un dischetto e il successive come variabile dipendente e le coordinate X come predittore	Rabuffetti et al., 2012
	Centro di massa (Mean X)	Media delle 16 coordinate X	Somma et al., 2020
Verticalità	Prima Y	Coordinata Y del primo dischetto	Studio attuale
	Differenza Sopra/Sotto	Differenza tra i dischetti posti sopra e i dischi posti sotto	
	Verticality Bias	Rapporto tra la differenza sopra/sotto e il numero totale di dischetti, in percentuale	
	Gradiente verticale di distanza	Inclinazione della retta di regressione ponendo la distanza tra un dischetto e il successivo come variabile dipendente e le	

		coordinate Y come predittore	
	Centro di massa (Mean Y)	Media delle 16 coordinate Y	
Qualità	Area totale	Proporzione di spazio occupata dal poligono convesso delimitato dai dischetti	Cerrato et al., 2020;
	Tempo totale	Tempo, in secondi, dal primo all'ultimo dischetto	Dalmaiher et al., 2015; Rabuffetti et al., 2012
	Within Distance	Somma delle distanze Euclidee tra ciascun dischetto e quello successivo	Dalmaiher et al., 2015; Argiuolo et al., 2021 ; Mark et al., 2004; Woods & Mark, 2007; Rabuffetti et al., 2012
	Numero di intersezioni	Il numero di volte due segmenti qualsiasi della sequenza si intersecano	Mark et al., 2004; Woods & Mark, 2007
	Intersection rate	Il numero di intersezioni diviso per il numero totale di segmenti	Dalmaiher et al., 2015; Woods & Mark, 2007
	Longest path	Il numero maggiore di segmenti senza intersezione	Rabuffetti et al., 2012
	Best r	La più alta, in valore assoluto, tra le due correlazioni di Pearson tra le coordinate e il loro ordine	Dalmaiher et al., 2015; Mark et al., 2004; Woods & Mark, 2007
	R_X	Correlazione di Pearson tra le coordinate X e il loro ordine	Studio attuale
	R_Y	Correlazione di Pearson tra le coordinate Y e il loro ordine	Studio attuale
	Angolo standardizzato	Media standardizzata degli angoli dei segmenti	Dalmaiher et al., 2015;
	Velocità globale	Rapporto tra WD e tempo totale	Dalmaiher et al., 2015; Rabuffetti et al., 2012

	Distanza dalle sequenze ottimali	Distanza da due sequenze considerate ottimali	Studio attuale
--	----------------------------------	---	----------------

Tabella 4.5 Lista completa degli indici utilizzati.

Procedura. Il compito è stato somministrato seguendo la procedura originale di Tham e Tegnér, con alcune differenze dovute al miglioramento tecnologico. Al partecipante era chiesto di disporre, il più distribuiti possibile, i dischetti all'interno della cornice come se “fossero biscotti da infornare”. Le uniche regole da seguire erano di usare una sola mano e di non muovere il dischetto una volta posizionato.

Analisi dei dati. Per valutarne la struttura è stata condotta un'analisi delle componenti principali sugli indici con una rotazione ortogonale (Varimax). Nell'analisi, il tempo totale di performance è stato alla fine scartato perché, come si può notare dalla tabella 4.6, la sua curtosi era troppo alta. Nei tentativi esplorativi in cui era incluso il tempo, appariva comunque una componente supplementare. Questo significa che il tempo totale satura su una componente a parte rispetto alle altre. Tra numero di intersezioni, intersection rate e longest path è stato preferito quest'ultimo per la sua minore curtosi. Al posto della Best r, come abbiamo detto, sono state incluse le due singole correlazioni delle coordinate e il loro ordine. La PCA è stata effettuata sui punteggi standardizzati.

	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Primo quartile	Terzo quartile	DS	Asimmetria	Curtosi
<i>Prima X</i>	-27.297	26.667	-16.013	-23.319	-25.174	-19.971	17.317	1.855	1.668
<i>Prima Y</i>	-19.333	19.393	4.129	14.743	-16.464	17.051	16.161	-.569	-1.637
<i>Mean_X</i>	-21.630	6.988	-1.363	-.591	-2.440	.270	3.515	-2.530	11.327
<i>Mean_Y</i>	-17.557	16.403	-0.031	.067	-.932	1.762	5.749	-.629	2.821
<i>Tempo totale</i>	23.000	408.000	57.033	47.50	34.00	62.25	42.852	5.392	39.082
<i>Within Distance</i>	83.176	520.463	260.645	242.577	205.419	297.708	91.714	.840	.886
<i>Dist. dalla sequenza 1</i>	18.076	577.129	349.490	390.002	301.350	443.890	139.42	-1.104	.396
<i>Dist. dalla sequenza 2</i>	33.114	635.118	356.369	378.245	322.179	422.847	123.33	-.895	.893
<i>Diff. D/S</i>	-16.000	6.000	-0.820	0.00	-.25	0.00	3.072	-3.169	13.540
<i>Diff. S/G</i>	-16.000	16.000	-0.016	0.00	0.00	2.00	6.259	-.407	2.314
<i>Laterality Bias(%)</i>	-100.000	31.250	-7.018	0.0000	-18.7500	0.0000	18.682	-1.723	6.449
<i>Verticality Bias (%)</i>	-100.000	100.000	-0.102	0.0000	-6.2500	18.7500	38.376	-.367	2.023
<i>Gradiente laterale di distanza</i>	-0.653	0.525	-0.144	-.068	-.381	.074	0.272	-.234	-.857
<i>Gradiente verticale di distanza</i>	-2.565	5.233	-0.164	-.073	-.478	.252	0.981	.781	7.268
<i>R_X</i>	-0.971	0.982	0.323	.263	.092	.704	0.485	-.614	.379
<i>R_Y</i>	-0.983	0.978	-0.145	-.171	-.887	.290	0.643	.239	-1.068
<i>Best R</i>	-0.983	0.982	0.069	.249	-.930	.927	0.825	-.167	-1.761
<i>Angolo standardizzato</i>	0.978	1.023	1.002	1.001	.998	1.004	0.010	.120	1.179

Velocità globale	0.522	14.743	5.570	4.952	3.724	7.243	2.678	.890	1.338
Num. Intersezioni	0.000	29.000	3.008	0.000	0.000	2.250	6.508	2.711	6.876
Intersection rate	0.000	1.933	0.201	0.000	0.000	0.150	0.434	2.711	6.876
Longest path	0.000	15.000	10.880	15.000	4.000	15.000	5.845	-.854	-1.092
Area totale	0.041	0.643	0.355	0.374	0.296	0.436	0.136	-.492	.025

Tabella 4.6 Statistiche descrittive per gli indici utilizzati.

Risultati. Per quanto riguarda l'asimmetria destra/sinistra, nel nostro campione di partecipanti sani, 13% di loro aveva una configurazione sbilanciata di più di due dischetti in valore assoluto e solo 3 su 122 performavano in maniera asimmetrica verso destra (come nei pazienti con neglect). Inoltre, 29.5% dei partecipanti avevano un punteggio che eccedeva i cutoff stabiliti da Facchin e colleghi (2016): -12.6% per il lato sinistro e +18.7% per il lato destro. È interessante notare che solo pochi di loro erano asimmetrici verso la destra, mentre la maggior parte avevano un bias verso sinistra, almeno nei partecipanti sani.

Come abbiamo accennato, è stata quindi effettuata un'analisi delle componenti principali (PCA). L'adeguatezza del campione è stata analizzata tramite il punteggio Kaiser-Meyer-Olkin, $KMO=0.671$. Kaiser (1974) affermò che il minimo fosse 0.5, e che valori compresi 0.5 e 0.7 potessero essere considerati mediocri. Il nostro punteggio è quindi mediocre, a causa della scarsa numerosità campionaria. Singolarmente, il KMO di ciascun indice era sopra la soglia dello 0.5, il limite accettabile (Field, 2009). Il test della sfericità di Bartlett era significativo, $\chi^2(171) = 2254$, $p < 0.05$.

Dallo scree plot (vedi figura 4.20) si evince che sei componenti avevano un autovalore sopra l'1 (criterio di Kaiser) e spiegavano l'82.5% della varianza in totale. È anche vero che lo scree plot può essere considerato ambiguo in quanto c'erano delle inflessioni a gomito sia al terzo che al quinto componente. Quindi, basandoci invece su una parallel analysis, abbiamo deciso di mantenere cinque componenti invece che sei. La Parallel analysis (Horn, 1965) è una tecnica statistica che aiuta a decidere quanti componenti o fattori ritenere in una PCA o in un'analisi fattoriale. È considerata un criterio migliore di quello di Kaiser in diverse situazioni (Zwick & Velicer, 1986). La tabella 4.7 mostra la saturazione delle componenti dopo la rotazione, mentre la tabella 4.8 mostra gli autovalori e la percentuale di varianza spiegata da ogni singola componente.

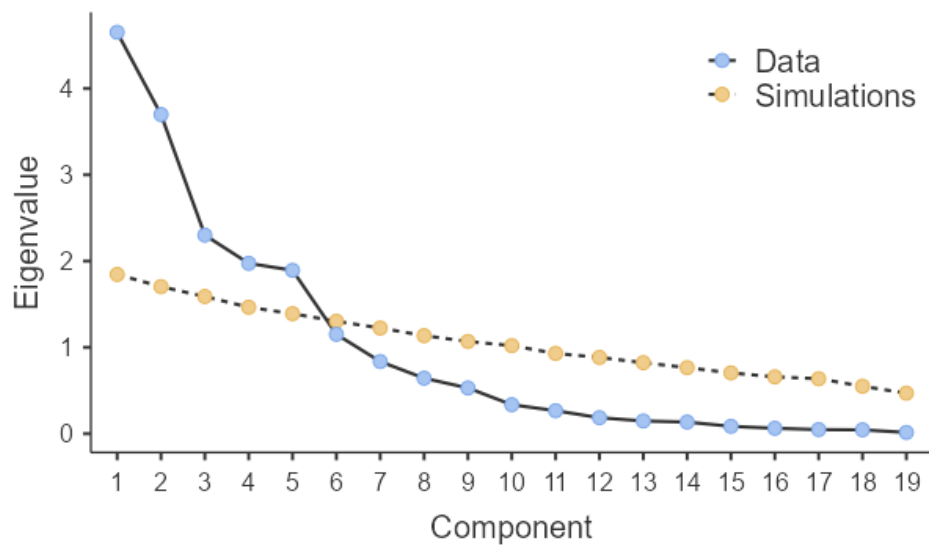


Figura 4.20 Lo scree plot della PCA.

	Componente					Unicità
	1	2	3	4	5	
Mean Y	0.968					0.053
Verticality Bias	0.958					0.075
Differenza S/G	0.953					0.076
Prima Y	0.549	0.489		-0.455		0.247
Gradiente verticale di distanza	-0.409			0.379		0.683
Dist. dalla sequenza 2		-0.954				0.068
R_X		0.829				0.245
Angolo standardizzato		0.678				0.493
Prima X		-0.596		0.367		0.41
Mean X			0.959			0.048
Differenza D/S			0.935			0.105
Laterality Bias			0.933			0.101
Dist. dalla sequenza 1				0.920		0.127
Gradiente laterale di distanza				0.841		0.233
R_Y	-0.584			0.696		0.142
WD					0.932	0.105
Area totale					0.803	0.300
Velocità globale					0.665	0.491
Longest path				-0.332	-0.578	0.478

Tabella 4.7 Saturazioni delle componenti.

	Componente				
	1	2	3	4	5
Autovalore	3.68	2.88	2.85	2.72	2.39
Percentuale di varianza	19.4	15.1	15.0	14.3	12.6

Tabella 4.8 Autovalori e percentuale di varianza per singoli componenti

I risultati evidenziano (vedi figura 4.21):

- Una componente classificabile come verticalità (Mean Y, Verticality Bias, Differenza Su/Giù, Prima Y, Gradiente Verticale di distanza) e una componente di lateralità (Mean X, Laterality Bias, Differenza Destra/Sinistra).
- Una componente di “spazio esplorato/qualità” composta da Within Distance, Area totale, Velocità globale e Longest path.
- Una componente che consiste nella distanza dalla prima sequenza ottimale, dal Gradiente laterale di distanza e nella correlazione tra le Y e il loro ordine (R_Y);
- Allo stesso modo, una seconda componente è composta dalla distanza dalla seconda sequenza ottimale, la correlazione tra le X e il loro ordine, l’angolo standardizzato e la prima X.

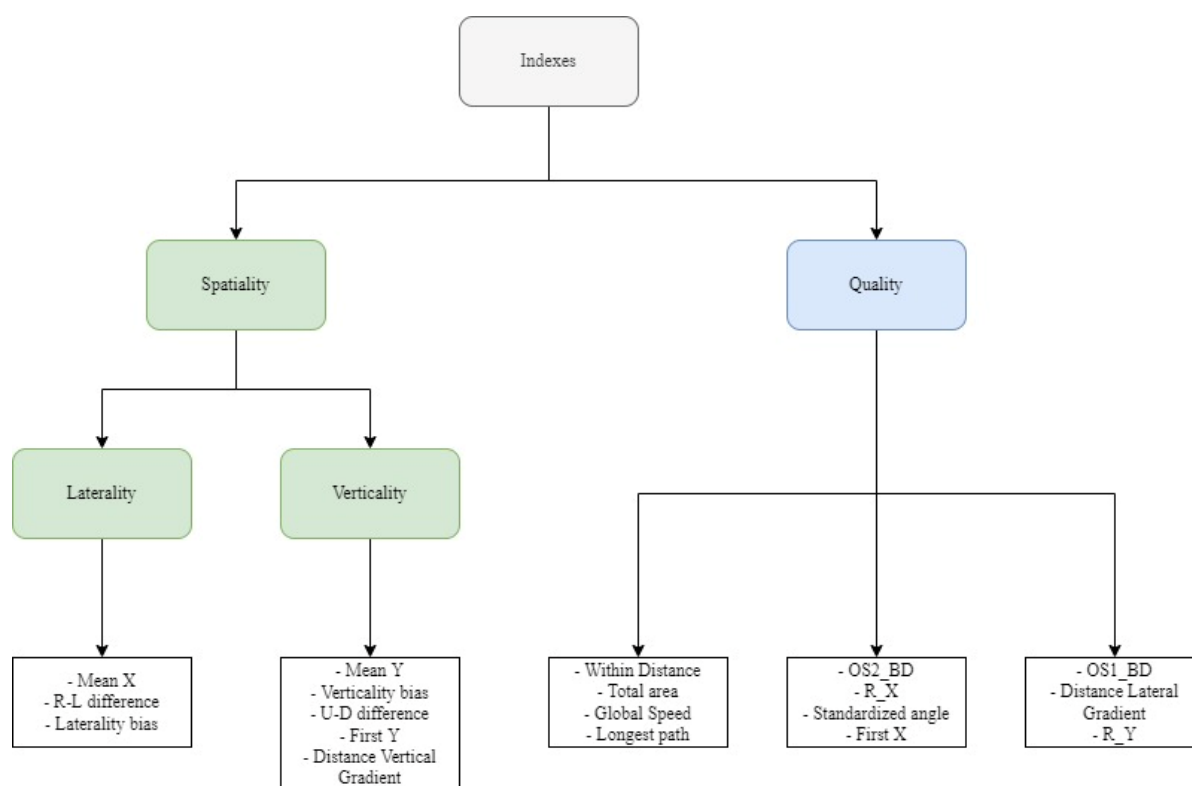


Figura 4.21 Struttura degli indici.

Discussione e conclusioni. In questo studio, abbiamo applicato diversi indici ai dati dell'E-BTT con lo scopo di riassumere delle possibili misure che possono essere applicate a questo

compito. Tali indici sono stati frutto di un lungo lavoro di ricerca, uno sforzo che avesse come scopo quello di radunare tutte le misure elegibili a essere utilizzate con successo per l'E-BTT. Alcune di queste misure sono derivate necessariamente dalla letteratura classica sullo studio dell'asimmetria spaziale e pseudoneglect, ovviamente scremando in base allo scopo del presente studio, cioè la loro applicazione al compito specifico, l'E-BTT. In altre parole, la nostra scelta è derivata dalla considerazione accurata delle misure disponibili in letteratura in funzione alla loro futura applicazione per il compito specifico.

Come ci aspettavamo, nei nostri dati è emersa una componente di verticalità (Mean Y, Verticality Bias, Differenza Su/Giù, Prima Y, Gradiente Verticale di distanza) e una componente che descrive la lateralità (Mean X, Laterality Bias, Differenza Destra/Sinistra). Possiamo quindi affermare che se queste due componenti sono separate è perché si riferiscono ad aspetti distinti nell'esplorazione spaziale peri-personale. Abbiamo compiuto una PCA su partecipanti sani per identificare dimensioni su cui focalizzarsi sia nella ricerca che nel setting clinico.

La lateralità e la verticalità sono entrambi concetti fondamentali nella cognizione spaziale, e sono state indagate largamente.

La dimensione della lateralità è stata generalmente studiata sia negli studi su pazienti con neglect (Cerrato et al., 2020; Karnath et al., 2002; Natale et al., 2007; Facchin et al., 2016; Tham & Tegnér, 1996; vedi Capitolo 1), sia in soggetti sani nello studio dello pseudoneglect (Bowers & Heilman, 1980; Jewell & McCourt, 2000; Gigliotta et al., 2017; Sampaio & Chokron, 1992; Somma et al., 2020; Somma et al., 2021; vedi Capitolo 1). L'uso di indici di lateralità come la Media delle X, il Laterality Bias e così via, potrebbe permettere la valutazione dei casi di deficit spaziali: lo studio della posizione relativa delle risposte del paziente sull'asse orizzontale in diversi compiti è ovviamente cruciale nella valutazione e diagnosi del neglect.

In uno studio recente sullo pseudoneglect, valutato attraverso la media delle X e la prima coordinata X (Somma et al., 2020), i risultati su un campione di studenti universitari hanno mostrato come questi indici erano spostati verso la sinistra. Quindi, l'uso di tali misure può permettere lo studio della lateralità in partecipanti sani.

Per quanto riguarda la verticalità, in pazienti con ictus all'emisfero destro, la percezione della verticalità è spesso danneggiata (Fukata et al., 2020; Pérennou et al., 2008; Pérennou, Piscicelli, Barbieri, Jaeger, Marquer, & Barra, 2014; Saj, Honoré, Davroux, Coello & Rousseaux, 2005; Utz, Keller, Artinger, Stumpf, Funk, & Kerkhoff, 2011). Questo danno è stato studiato come spiegazione dei disturbi posturali in questi pazienti, come la lateropulsione o il comportamento di spinta

(Pérennou et al., 2014): una verticalità alterata porta i pazienti ad allineare la loro postura in maniera sbagliata, cioè inclinato verso il lato controlesionale. Questi fenomeni sono stati osservati nei pazienti con neglect e sono multimodali perché riguardano sia la modalità visiva che quella tattile.

In secondo luogo, la posizione verticale è stata in qualche modo associata con diversi costrutti astratti, come il potere, la concretezza, la valenza, razionalità/emotività e direzione (Cian, 2017). Questo rivela come i due poli del continuum (cioè potente/impotente, concreto/astratto, ecc.) sono connessi e associati con una delle due dimensioni dello spazio verticale (sopra/sotto). Per esempio, Shubert (2005) trovò che le persone erano più veloci quando dovevano riconoscere stimoli che rappresentavano il potere (cioè immagini intitolate “padrone”) quando queste apparivano vicino alla parte alta dello schermo e più lenti quando dovevano riconoscere stimoli che rappresentavano il potere quando queste erano presentate nella parte bassa dello schermo. Questi risultati sono stati interpretati come un indice della forza dell’associazione mentale: tempi di reazione più veloci indicano associazioni mentali più forti (Cian, 2017). Secondo questa interpretazione, Meier e Robinson (2004) hanno trovato che i partecipanti erano più veloci a categorizzare parole positive quando queste erano posizionate in alto sullo schermo mentre l’opposto era vero per le parole negative (più veloci quando apparivano in basso).

Per quel che ne sappiamo, nessuno studio si è proposto di studiare il problema della verticalità nella disposizione di oggetti all’interno dello spazio peri-personale, che l’uso dell’E-BTT può aiutare a fare.

Inoltre, in questo studio tre componenti su cinque sono composte da indici che esprimono la qualità della sequenza. Gli indici di qualità danno informazioni su “come” i dischetti sono stati posizionati, e sembra abbiano una natura multi-componenziale. Da una parte c’è la Within Distance, l’Area totale, la Velocità globale e il Longest path, tutti indici che riguardano come lo spazio è stato esplorato in termini di distanza, tempo e organizzazione. D’altra parte, le distanze dalle sequenze ottimali e le correlazioni delle coordinate con il loro ordine formano altre due componenti. La distanza da una sequenza ottimale dà informazioni circa quanto quella singola sequenza è diversa dalle sequenze considerate ottimali. Visto che le due sequenze ottimali sono ortogonali (cioè seguono un andamento per righe o per colonne), ne deriva che un’alta distanza da loro significa un’alta differenza dalle due principali sequenze ortogonali. Le correlazioni delle coordinate con il loro ordine, similmente, catturano la consistenza della direzione della ricerca (Ten Brink, Van der Stigchel, Visser-Meily & Nijboer, 2016) e il movimento ortogonale (Mark et al., 2004). Quindi non sorprende che formino due distinte componenti insieme alla distanza dalle sequenze ottimali.

Ciò che invece sorprende è come si comporta la prima X tra le dimensioni. Infatti, essa risulta essere parte delle componenti di qualità invece che di quella della lateralità. Questo può significare che il suo uso è giustificato per esprimere la qualità del pattern, piuttosto che la sua spazialità.

Gli indici di qualità sono derivati per la maggior parte dalla ricerca sull'organizzazione della ricerca visiva, che si focalizza sui pattern di cancellazione, cioè su come il partecipante ha performato al compito di cancellazione di item (Dalmaijer et al., 2015; Huang & Wang, 2008; Mark et al., 2004; Rabuffetti et al., 2012). Chiaramente, l'E-BTT è diverso dal compito di cancellazione in quanto non ci sono target ma uno spazio completamente vuoto che dovrebbe essere organizzato posizionando degli oggetti in esso (Cerrato et al., 2020). Non ci sono configurazioni giuste o sbagliate, e il paziente/partecipante è libero di mettere i dischetti dove preferisce. Nonostante ciò, gli indici di qualità si sono dimostrati utili anche applicati a questo nuovo compito.

Uno dei punti di forza dell'E-BTT è la sua validità ecologica, visto che si tratta di un compito che coinvolge un'attività quotidiana, come infornare biscotti e disporre dell'impasto su una teglia. La validità ecologica, infatti, riguarda la capacità di un compito di poter generalizzare i suoi risultati a setting che sono diversi da quello clinico o di ricerca (Lewkowicz, 2001). Inoltre, valutare la validità ecologica di test neuropsicologici è diventato sempre più importante per le sue implicazioni nella ricerca e nella riabilitazione (Chaytor & Schmitter-Edgecombe, 2003). Ne deriva che l'utilizzo dell'E-BTT può amplificare la validità ecologica dell'assessment, soprattutto in combinazione con altri test.

L'uso degli indici che abbiamo visto in questo studio può quindi essere utile in futuro per permettere lo studio di diverse dimensioni dell'esplorazione nello spazio peri-personale. Un lavoro simile è stato condotto da Dalmaijer e colleghi (2015), in cui si sono implementate una serie di misure nel loro strumento software, CancellationTools (vedi Capitolo 2). Comunque, gli autori le hanno testate solo su un campione molto piccolo, quindi non ne hanno potuto analizzare la dimensionalità latente.

L'approccio qui usato può essere utile a rispondere alla domanda di quali componenti sono sottostanti queste misure; ovviamente, questi sono risultati preliminari, ma è possibile concludere che esistono diverse dimensioni latenti, che riferiscono a una dimensione spaziale (vedi figura 4.21) divisa in lateralità e verticalità. Le altre componenti sono composte da indici che esprimono la qualità del pattern e riguardano il "come" e "come sono organizzati" i dischetti dai partecipanti.

Un limite sicuramente importante di questo studio è la grandezza relativamente piccola del campione (N=122) che non ci permette di stabilire punteggi normativi. Studi futuri dovrebbero

risolvere questo problema espandendo il campione per poter confermare la struttura degli indici. Inoltre, stabilire punteggi normativi aiuterebbe a distinguere partecipanti sani dai pazienti e tra pazienti con differenti diagnosi. A questo fine, sarà importante includere partecipanti con età avanzata, che hanno maggiori probabilità di corrispondere ai pazienti con ictus in termini di età. Un altro spunto potrebbe essere quello di reclutare diverse popolazioni di pazienti, confrontando per esempio pazienti con danno frontale versus e danno posteriore.

In conclusione, l'uso di questi indici nell'E- BTT può aiutare a stabilire un punto di riferimento che può essere usato nella diagnosi e nella ricerca in quanto misurano i diversi aspetti delle strategie visuo-spaziali nello spazio peri-personale (lateralità, verticalità e qualità).

4.2.3 Terzo studio: Indici di organizzazione

A partire da questi indici, ci siamo quindi chiesti se alcuni di questi potessero misurare l'organizzazione della ricerca visiva e quindi lo abbiamo valutato con una misura convergente di organizzazione.

Il razionale era che gli indici di qualità potessero misurare l'organizzazione della ricerca visiva ma per dimostrare ciò dobbiamo validarli.

Obiettivi. Validare gli indici di qualità con una misura convergente di organizzazione. Ci aspettavamo cioè che gli indici di qualità della sequenza fossero associati con una misura soggettiva di organizzazione, così come giudicata da degli osservatori della sequenza stessa.

Partecipanti. 208 persone hanno risposto al link di una survey online creata su Qualtrics®, ma solo 101 di loro l'hanno completata. Quindi, le analisi sono state condotte su questi 101 osservatori. Essi si identificano come donna (N=76), uomo (N=22) e non-binary (N=2). La loro età media era di 29.94 anni (DS=7.59). Il 46% di loro studiava o lavorava nel campo della Psicologia. Consenso informato è stato ottenuto da tutti i partecipanti. Lo studio attuale è stato approvato dal Comitato Etico Locale dell'Università di Napoli "Federico II" (Numero di protocollo 21/2021) ed è stato condotto in conformità con la Dichiarazione di Helsinki.

Misure: E-BTT plot. Ai partecipanti era chiesto di esaminare 97 grafici di sequenze E-BTT e giudicarle per la loro complessiva organizzazione. I dati usati per le rappresentazioni grafiche delle sequenze E-BTT sono stati pubblicati in Somma e colleghi (2020). Nella figura 4.22 c'è un esempio di plot così come mostrato agli osservatori. I puntini neri rappresentavano i dischetti; essi erano numerati cosicché ogni partecipante/osservatore potesse seguirne la sequenza (disegnata con una

linea tratteggiata) che andasse dal primo all'ultimo dischetto. Per i dettagli circa i dati dei plot, rimandiamo a Somma e colleghi (2020) e Argiuolo e colleghi (2022a).

Misure: indici di organizzazione della ricerca visiva. Per queste 97 sequenze disponibili sono stati calcolati una serie di indici di organizzazione (indici di qualità, vedi par. 4.2.2):

- *Within Distance*
- *Intersection rate*
- *R_X e R_Y*
- *Tempo totale*
- *Velocità globale*
- *Angolo standardizzato*
- *Area totale*
- *Distanza dalle sequenze ottimali (1 e 2)*

Misure: organizzazione soggettiva. È stata quindi implementata una misura di organizzazione soggettiva. Abbiamo chiesto ai 101 partecipanti/osservatori di valutare attentamente ciascuna rappresentazione grafica e di giudicarla su una scala continua che va da 0=per niente organizzata a 100= del tutto organizzata (Figura 4.23).

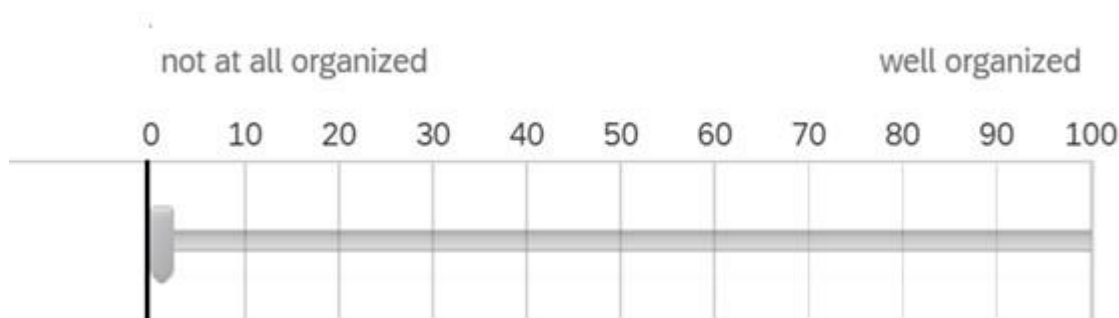


Figura 4.23 Esempio di scala di risposta.

Procedura. È stato generato un link Qualtrics® ed è stato diffuso attraverso i social media. Dopo una serie di demografiche (genere, manualità, ultimo livello di studi, occupazione, e se lavoravano/studiavano nel campo della Psicologia), ai partecipanti/osservatori era descritto il compito E-BTT (senza alcuna menzione agli indici). C'erano poi 3 rappresentazioni grafiche di prova per permettere all'osservatore di abituarsi al compito di giudizio. Successivamente la reale osservazione cominciava ed era strutturata in modo che una rappresentazione grafica fosse mostrata con la scala di risposta immediatamente sotto; l'osservatore doveva muovere il cursore da 0 al

numero desiderato. L'ordine delle rappresentazioni era randomizzato. Alla fine, c'era una domanda facoltativa su come ciascuno di essi avesse interpretato il concetto di organizzazione durante il compito. La procedura complessiva richiedeva circa 30 minuti.

Risultati. A causa delle distribuzioni non normali, sono state preferite analisi non parametriche. La mediana della misura di organizzazione per ciascun item (rappresentazione grafica) è stata correlata (ρ di Spearman) con ciascun indice per valutarne la convergenza.

		Organizzazione soggettiva	WD	Intersection rate	R_X	R_Y	Tempo totale	Velocità globale	Angolo standardizzato	Area totale	Distanza dalla sequenza 1	Distanza dalla sequenza 2
Media		53.13	255.44	0.19	0.337	-0.08	59.62	5.09	1	0.35	357.6	356.57
Mediana		52.00	240.50	0	0.307	-0.13	49	4.67	1	0.37	393.77	378.09
DS		24.56	90.71	0.41	0.495	0.65	44.85	2.17	0.01	0.14	135.24	124.12
Asimmetria		0.07	0.77	2.71	-0.749	0.12	5.61	0.25	0.08	-0.39	-1.2	-0.83
Curtosi		-1.21	0.89	7.16	0.582	-1.16	39.9	-0.38	0.82	-0.11	0.66	0.99
Min		10	83.18	0	-0.971	-0.98	24	0.52	0.98	0.04	23.19	33.11
Max		96	516.33	1.93	0.982	0.98	408	11.32	1.02	0.64	544.38	635.12
Percentili	25	31	205.39	0	0.095	-0.69	39	3.35	0.99	0.29	312.88	321.45
	75	74	296.22	0.13	0.78	0.433	69	6.6	1	0.43	446.29	418.76

Tabella 4.9 Descrittive per gli indici di organizzazione e per la misura di organizzazione soggettiva.

Le correlazioni (ρ di Spearman, vedi tabella 4.10) mostrano un'associazione significativa tra i punteggi di organizzazione soggettiva e:

- Intersection rate ($r=-0.77$, $p<0.05$),
- Correlazione delle coordinate X sul loro ordine (R_X: $r=0.26$, $p<0.05$),
- Correlazione delle coordinate Y sul loro ordine (R_Y: $r=-0.36$, $p<0.05$),
- Tempo totale della performance ($r=-0.3$, $p<0.05$),
- Distanza da entrambe le sequenze ottimali (per la sequenza 1: $r=-0.36$, $p<0.05$; per la sequenza 2: $r=-0.33$, $p<0.05$).

	Organizzazione Soggettiva	WD	Intersection Rate	R_X	R_Y	Tempo Totale	Velocità Globale	Angolo Standardizzato	Area Totale	Distanza Dalla Sequenza 1	Distanza Dalla Sequenza 2
--	------------------------------	----	----------------------	-----	-----	-----------------	---------------------	--------------------------	----------------	------------------------------------	------------------------------------

Organizzazione soggettiva	1.000	-0.19	-0.77*	0.26*	-0.36*	-0.3*	0.075	0.19	-0.04	-0.36*	-0.33*
----------------------------------	-------	-------	--------	-------	--------	-------	-------	------	-------	--------	--------

Tabella 4.10 Correlazioni. * $p < 0.05$

Per analizzare eventuali collinearità tra gli indici, sono state considerate le loro correlazioni (Tabella 4.11). Tutte le correlazioni significative erano al di sotto dello 0.4, a parte la correlazione tra R_X e la distanza dalla seconda sequenza e la correlazione tra R_Y e la distanza dalla prima sequenza.

	Intersection rate	R_X	R_Y	Tempo totale	Distanza Dalla Sequenza 1	Distanza Dalla Sequenza 2
Intersection rate	-					
R_X	-0.329*	-				
R_Y	0.136	0.037	-			
Tempo totale	0.381*	-0.068	-0.048	-		
Distanza Dalla Sequenza 1	0.184	-0.042	0.799*	0.025	-	
Distanza Dalla Sequenza 2	0.289*	-0.808*	0.314*	0.063	0.311*	-

Tabella 4.11 Correlazioni tra indici. * $p < 0.05$

Abbiamo quindi inserito tali indici in un modello di regressione multipla per testare la relazione tra ciascuno di loro e l'organizzazione soggettiva, al netto delle altre variabili. I risultati mostrano che l'Intersection rate, il Tempo totale, e la distanza da entrambe le sequenze ottimali sono significativamente associate alla valutazione soggettiva di organizzazione, mentre i coefficienti di R_X e R_Y non sono statisticamente significativi (Tabella 4.12)

Predittore	Stima	ES	t	p	Stima stand.	95% Intervallo di Confidenza	
						Inferiore	Superiore
Intercetta	107.420	15.122	7.104	< .001*			
Intersection rate	-26.309	4.867	-5.406	< .001*	-0.436	-0.596	-0.275
R_X	-7.168	6.596	-1.087	0.280	-0.144	-0.408	0.120
R_Y	-2.367	4.525	-0.523	0.602	-0.062	-0.299	0.174
Tempo totale	-0.095	0.043	-2.226	0.029*	-0.174	-0.329	-0.019
Distanza Dalla Sequenza 1	-0.050	0.021	-2.430	0.017*	-0.277	-0.503	-0.050

Predittore	Stima	ES	t	p	Stima stand.	95% Intervallo di Confidenza	
						Inferiore	Superiore
Distanza Dalla Sequenza 2	-0.066	0.027	-2.429	0.017*	-0.332	-0.604	-0.060

Tabella 4.12 Regressione multipla degli indici sulla valutazione soggettiva di organizzazione. * $p < 0.05$

Il modello spiega circa il 48% della varianza (R^2 aggiustato = 0.48) e il RMSE era uguale a 17.09. Le statistiche di collinearità (Tabella 4.13) mostrano che non esiste preoccupazione per la collinearità, perché tutti i coefficienti VIF sono più bassi di 5.

	VIF	Tolerance
Intersection rate	1.194	0.838
R_X	3.246	0.308
R_Y	2.603	0.384
Tempo totale	1.119	0.893
Distanza Dalla Sequenza 1	2.382	0.420
Distanza Dalla Sequenza 2	3.437	0.291

Tabella 4.13 Statistiche di collinearità.

Come ultima domanda, ai partecipanti/osservatori è stato chiesto di riportare il proprio concetto di “organizzazione” e che criterio avevano utilizzato per giudicare le rappresentazioni grafiche delle sequenze. Essi riferiscono di aver seguito “l’ordine della sequenza”, “la simmetria” e “la sequenzialità dei numeri” nella loro valutazione. Si sono anche affidati a “ordine”, “simmetria”, “armonia” e “linearità” di ciascuna sequenza; alcuni hanno anche evidenziato come hanno considerato organizzate le rappresentazioni grafiche le cui linee non si intersecavano o sovrapponevano. Molti si riferivano anche all’ “omogeneità” dello spazio usato.

Discussione e conclusioni. In questo terzo studio, abbiamo esplorato come alcuni indici recentemente applicati all’E-BTT potessero misurare l’organizzazione della sequenza spaziotemporale che è output del compito. Per fare ciò, è stato chiesto a 101 partecipanti/osservatori di valutare soggettivamente l’organizzazione complessiva di ciascuna sequenza. Ai partecipanti non veniva detto nulla circa gli indici, ma c’era, comunque, una descrizione dettagliata dell’E-BTT e di come funzionava. Successivamente, ciascun partecipante era chiamato a osservare ciascun plot e valutarlo su una scala continua da 0 a 100.

Le nostre ipotesi iniziali sono state solo parzialmente confermate dai risultati, in quanto non tutti gli indici inclusi in questo studio sono significativamente associati con la valutazione

soggettiva dell'organizzazione spaziale. Da questi risultati, è possibile concludere che una rappresentazione grafica è considerata organizzata se:

- Ha poche intersezioni,
- Il tempo di esecuzione dell'E-BTT è più basso,
- La distanza da entrambe le sequenze ottimali è bassa.

L'intersection rate correla negativamente con la valutazione soggettiva dell'organizzazione complessiva, perché un numero più alto di intersezioni nella sequenza è associato con punteggi più bassi di organizzazione. L'intersection rate in letteratura è stato ampiamente utilizzato per misurare l'organizzazione della ricerca visiva (Benjamins, Dalmaijer, Ten Brink, Nijboer & Van der Stigchel, 2019; Mark et al., 2004; Ten Brink, Biesbroek et al., 2016; Ten Brink, Van der Stigchel et al., 2016; Ten Brink, Visser-Meily & Nijboer, 2018) ed è stata associata con l'attivazione di regioni posteriori dell'emisfero destro in pazienti con ictus (Ten Brink, Biesbroek et al., 2016). Quindi, pattern di ricerca disorganizzati sembrano essere associati con regioni cerebrali dedicate alla ricerca congiunta piuttosto che con regioni prefrontali (responsabili delle funzioni esecutive).

La quantità di tempo che un partecipante impiega per finire un compito può essere considerata come una misura di funzionamento esecutivo (Dalmaijer et al., 2015), poiché riflette l'abilità di usare le proprie risorse attentive attraverso tutto il compito. Analogamente, una performance più veloce all'E-BTT può dipendere dalla presenza di un adeguato piano d'azione, risultando quindi in una sequenza di disposizione organizzata. Infatti, dai risultati di questo studio si evince che il tempo di performance è negativamente associato con l'organizzazione soggettiva, per cui i plot giudicati come più organizzati corrispondono a sequenze completate in minor tempo.

È interessante notare che nei nostri dati la correlazione tra le coordinate Y e il loro ordine è associata negativamente con l'organizzazione soggettiva complessiva, mentre questa è correlata positivamente a R_X. Questi due risultati non sono stati però confermati quando questi due indici sono stati inseriti in un modello di regressione multipla. Questo può essere spiegato dall'alta correlazione tra R_X e la distanza dalla seconda sequenza ottimale e tra R_Y e la distanza dalla prima sequenza ottimale, che probabilmente hanno "sporcato" la relazione tra R_X, R_Y e la valutazione soggettiva.

La distanza dalle sequenze ottimali è la distanza euclidea da ciascuna delle due sequenze considerate ottimali. I nostri dati suggeriscono che più una sequenza è distante da queste due sequenze, più viene valutata disorganizzata. Ciò potrebbe significare che se la singola sequenza è

molto diversa da una delle due ottimali, può essere considerata disorganizzata, il che implica che le due sequenze ottimali siano considerate organizzate.

Nel nostro studio, la WD (simile alla distanza inter-cancellazione) non è stata associata alla valutazione soggettiva, a differenza di studi precedenti (Woods & Mark, 2007). Questo potrebbe significare che nell'E-BTT la distanza intra-dischetti non è un indice di organizzazione, ma piuttosto un indice di quanto spazio viene utilizzato nel compito, come l'area totale (Argiuolo et al., 2022a). Nel nostro studio precedente, tuttavia, la WD era in grado di discriminare tra sequenze organizzate e disorganizzate (Argiuolo et al., 2021), quindi sono necessari ulteriori studi per dirimere la questione.

La velocità, l'angolo standardizzato e l'area totale non sono stati associati alla valutazione dell'organizzazione delle sequenze. Pertanto, forse i giudizi sull'organizzazione non tengono conto in modo sostanziale della quantità di spazio utilizzata dalla sequenza stessa. Alla domanda sul loro concetto di "organizzazione", infatti, molti fanno riferimento all' "ordine della sequenza", alla "simmetria", alla "sequenzialità dei numeri", ecc. In effetti, gli osservatori hanno riferito di essersi basati su "ordine", "simmetria" e "linearità" per giudicare ogni sequenza, come riportato nell'ultima domanda e non sullo spazio occupato.

Questo studio non è privo di limitazioni. Innanzitutto, abbiamo utilizzato una misura soggettiva dell'organizzazione complessiva, con tutti i limiti che una misura soggettiva comporta (desiderabilità sociale, response set, stanchezza, ecc.). Inoltre, ai partecipanti è stato chiesto di giudicare i plot per la loro "organizzazione complessiva" senza una chiara operazionalizzazione del costrutto "organizzazione" e quindi affidandosi al concetto soggettivo di ognuno. È anche vero che abbiamo seguito l'esempio di Woods e Mark (2007), che non hanno dato ai partecipanti una chiara definizione di "organizzazione".

In secondo luogo, se la misura dell'organizzazione soggettiva può essere considerata una misura di validità convergente, parte della validità di costrutto (Rosenthal & Rosnow, 1991), la validità discriminante non è stata presa in considerazione in questo lavoro, per cui gli studi futuri dovrebbero affrontare la validità discriminante degli indici di organizzazione nell'E-BTT.

Inoltre, i plot da noi utilizzati si riferivano a partecipanti sani (Somma et al., 2020), mentre Woods e Mark (2007) hanno utilizzato anche pattern ricostruiti da pazienti con ictus. Sarebbe interessante verificare se ci sono differenze in termini di misure di organizzazione nell'E-BTT tra plot di pazienti e partecipanti sani.

In conclusione, il tempo totale, la distanza dalle sequenze ottimali e l'intersection rate possono essere considerati indici di organizzazione spaziale nel compito E-BTT. Studi futuri dovrebbero approfondire la questione dell'organizzazione spaziale, distinguendo diverse sindromi neuropsicologiche derivanti da diverse lesioni cerebrali. Parallelamente, l'utilizzo di questi indici per ricerche su partecipanti sani potrebbe aiutare a chiarire la relazione tra le abilità spaziali e altre importanti variabili psicologiche, come lo stress (Somma et al., 2021).

4.2.4 Quarto studio: confronto adulti-bambini

A questo punto, diventava fondamentale testare l'E-BTT su diverse popolazioni, e quindi ci siamo chiesti se la performance all'E-BTT potesse differire nelle diverse fasi dello sviluppo. In particolare, ci siamo chiesti se gli indici potessero aiutare a distinguere le performance di adulti e bambini.

Obiettivi. Applicare il compito E-BTT a un campione di bambini in età scolare e analizzare le differenze in termini di indici con il campione di riferimento adulto.

Partecipanti. Abbiamo confrontato due campioni: un campione di adulti formato da 122 partecipanti sani (97 femmine), la cui età variava da 18 a 37 anni (età media = 21.33, DS = 3.84). I dati sono stati in parte pubblicati in Somma e colleghi (2020; vedi anche paragrafo 4.2.2). Il secondo campione era formato da 137 bambini, inclusi in un precedente studio (Somma, Bartolomeo e Gigliotta, 2021), di età compresa tra i 6 e gli 11 anni (età media = 8.42, DS = 1.47).

Misure: E-BTT. L'apparato dell'E-BTT è lo stesso descritto al paragrafo 4.2.2.

Misure: indici. Sono stati calcolati alcuni degli indici descritti al paragrafo 4.2.2. In particolare, sono stati inclusi:

- Prima X;
- Centro di massa (Mean X);
- Prima Y;
- Centro di massa (Mean Y);
- Tempo totale;
- WD;
- Distanza dalle sequenze ottimali;
- Laterality Bias;
- Verticality Bias;
- R_X e R_Y;

- Intersection rate;
- Area totale;
- Velocità globale.

Procedura. Per il campione adulto, vedi paragrafo 4.2.2. La procedura di somministrazione è stata leggermente modificata per adattarla al campione di bambini (vedi Somma, Bartolomeo e Gigliotta 2021).

Risultati. Le descrittive per il campione di bambini sono riportate in tabella 4.11 (per le descrittive degli adulti, vedi tabella 4.6).

INDEX	MIN	MAX	MEDIA	DS	ASIMMETRIA	CURTOSI
ETÀ	6.00	11.00	8.42	1.47	-0.26	-1.17
PRIMA X	-26.91	27.04	-7.07	22.56	0.57	-1.48
MEDIA X	-6.02	17.65	-0.05	2.57	2.80	17.74
PRIMA Y	-19.53	19.44	-3.96	16.44	0.41	-1.64
MEDIA Y	-11.55	14.78	0.14	2.62	1.06	10.72
TEMPO TOTALE	15.00	125.00	45.5	17.18	1.56	3.54
WD	99.59	649.12	400.45	104.92	-0.44	-0.09
OS1_BD	35.06	616.24	414.67	101.54	-1.94	4.75
OS2_BD	84.42	581.33	423.84	58.53	-1.09	7.92
LATERALITY BIAS	-25.00	81.25	-0.41	13.41	2.13	11.66
VERTICALITY BIAS	-87.50	100.00	0.09	18.05	0.59	11.46
R_X	-0.96	0.96	0.10	0.31	-0.71	3.48
R_Y	-0.98	0.96	-0.01	0.41	-0.55	0.85
INTERSECTION RATE	0.00	2.53	1.01	0.76	0.22	-1.12
AREA TOTALE	0.07	0.69	0.48	0.11	-1.39	2.65
VELOCITÀ GLOBALE	3.02	32.03	9.58	3.65	1.85	9.32

Tabella 4.11 Descrittive degli indici sul campione dei bambini. OS1_BD=Distanza dalla sequenza ottimale n.1; OS2_BD=Distanza dalla sequenza ottimale n.2 (per le sequenze ottimali, vedi figura 4.19).

A causa delle distribuzioni non normali, sono state preferite analisi non parametriche. In tabella 4.12 sono riportati i confronti in termini di indici tra i due campioni.

	<i>Adults (N=122)</i>		<i>Children (N=137)</i>				
	Mean	Median	Mean	Median	Mann-Whitney U	p	
<i>Prima X</i>	-16.01	-23.32	-7.07	-23.33	8300	0.925	
<i>Media X</i>	-1.363	-0.591	-0.049	-0.077	6589	0.003	*
<i>Prima Y</i>	4.129	14.743	-3.96	-14.769	6242	<0.001	*
<i>Media Y</i>	-0.031	0.067	0.143	0.112	7997	0.55	
<i>Tempo Totale</i>	57.033	47.5	45.496	40	6823	0.011	*
<i>WD</i>	260.645	242.577	400.452	405.945	2694	<0.001	*
<i>OS1_BD</i>	349.49	390.002	414.67	430.568	5660	<0.001	*
<i>OS2_BD</i>	356.369	378.245	423.843	421.942	4984	<0.001	*
<i>Laterality Bias</i>	-7.018	0	-0.411	0	6767	0.007	*
<i>Verticality Bias</i>	-0.102	0	0.091	0	8000	0.549	
<i>R_X</i>	0.323	0.263	0.103	0.107	5309	<0.001	*
<i>R_Y</i>	-0.145	-0.171	-0.013	0.039	6840	0.012	*
<i>Intersection Rate</i>	0.201	0	1.008	0.933	2816.5	<0.001	*
<i>Area Totale</i>	0.355	0.374	0.484	0.511	3399	<0.001	*
<i>Velocità Globale</i>	5.57	4.952	9.583	9.112	2738	<0.001	*

Tabella 4.12 Confronti adulti-bambini per gli indici. * $p < 0.05$

I confronti con il test di Mann-Whitney evidenziano come ci sia differenza significativa tra adulti e bambini in termini di quasi tutti gli indici (tranne sulla prima X, sulla media delle Y e sul Verticality Bias). In termini di lateralità, i bambini sono spostati di meno verso sinistra (come si evince sia dalla media delle X che dal Laterality Bias), mentre in termini di verticalità, possiamo affermare che i bambini pongono il primo dischetto molto più in basso rispetto agli adulti. In termini di qualità, invece, i bambini ci mettono meno tempo a completare il compito, percorrono più spazio e quindi occupano più spazio in termini di area; sono inoltre più distanti dai due ottimi

rispetto agli adulti; fanno più intersezioni e sono più veloci; in valore assoluto, sia la R_X sia la R_Y, due misure della consistenza del path, sono più alte negli adulti.

Dividendo i bambini per classe e confrontando le mediane con gli adulti, è possibile ricavarne un confronto più dettagliato (in tabella 4.13 le mediane).

	I (N=21)	II (N=23)	III (N=21)	IV (N=37)	V (N=35)	Adults (N=122)
Prima X	-3.024	-21.987	-20.481	-24.747	-23.333	-23.319
Media X	-0.188	-0.407	-0.102	-0.235	0.337	-0.591
Prima Y	-14.425	0.544	-17.615	-16.5	-15.56	14.743
Media Y	-0.407	0.358	0.366	0.21	0.228	0.067
Tempo Totale	50	39	36	43	39	47.5
WD	453.211	439.366	324.365	401.624	404.804	242.577
OS1_BD	418.687	444.772	432.965	427.218	418.214	390.002
OS2_BD	420.856	421.59	415.332	423.507	426.838	378.245
Laterality Bias	0	0	0	0	0	0
Verticality Bias	0	0	0	0	0	0
R_X	0.09	0.09	0.217	0.078	0.123	0.263
R_Y	0.121	0.114	0.028	0.005	0.023	-0.171
Intersection Rate	1.6	1.133	0.267	1	0.667	0
Area Totale	0.499	0.481	0.485	0.511	0.522	0.374
Velocità Globale	8.428	8.172	7.735	9.452	9.61	4.952

Tabella 4.13. Mediane divise per classe confrontate con la mediana degli adulti.

Discussione e conclusioni. In questo studio ci siamo proposti di applicare gli indici già applicati al paragrafo 4.2.2 (pubblicati in Argiuolo et al., 2022a) a un campione di bambini in età scolare. È stato così possibile confrontare la loro performance spaziale in termini di lateralità, verticalità e qualità con il campione di adulti disponibile nel database E-TAN.

Anche se dispongono il primo dischetto a sinistra, i bambini presentano uno sbilanciamento dell'esplorazione spaziale meno marcato verso la sinistra rispetto agli adulti. Effettivamente, ci aspettavamo che i bambini fossero meno marcatamente spostati verso sinistra perché questo bias emerge gradualmente durante la scuola primaria nelle culture occidentali (Girelli, Marinelli, Grossi, & Arduino, 2017). Inoltre, in Somma Bartolomeo e Gigliotta (2021) emergeva una tendenza a iniziare il compito dal centro che non è emersa nel campione di adulti. Questa tendenza potrebbe riflettere una preferenza a utilizzare riferimenti spaziali di uno spazio vuoto (come gli angoli o il centro della cornice).

Sull'asse verticale, il primo dischetto dei bambini è spostato verso il basso, ma la loro configurazione complessiva non differisce da quella degli adulti. Questo dato potrebbe essere parzialmente spiegato dalla grandezza della cornice che potrebbe rendere difficoltoso soprattutto ai più giovani l'inizio dell'esplorazione dell'intero spazio (e della parte superiore in particolare).

Il tempo che i bambini impiegano per completare l'E-BTT è minore rispetto agli adulti e sono quindi più veloci. Essendo il tempo di esecuzione un indice di organizzazione (vedi par. 4.2.3; Argiuolo et al., 2022b) questo può sembrare controintuitivo, ma può essere spiegato immaginando che essi siano più impulsivi nel completare il compito, come riportato anche in Somma e colleghi (2021).

La distanza dalle sequenze ottimali è alta nei bambini più che negli adulti; ciò significa che è più probabile che descrivano configurazioni diverse dalle due sequenze ottimali; inoltre la distanza tra i dischetti è maggiore e occupano quindi più spazio anche in termini di area. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che i bambini "viaggiano" maggiormente ancorandosi ai diversi punti di riferimento (angoli, lati della cornice, poi il centro ecc.). Questo spiegherebbe anche come mai le sequenze dei bambini presentano più intersezioni degli adulti; usando più spazio tra un dischetto e l'altro è più facile che questi rivisitino porzioni di spazio già visitate, andando a intersecare i vari segmenti. Infine, i due indici che indicano la consistenza del pattern (R_X e R_Y) sono statisticamente maggiori negli adulti e questo indica come gli adulti siano più coerenti e quindi più organizzati.

Da questi dati potremmo azzardarci a concludere che i bambini sono "meno organizzati" rispetto agli adulti. Infatti tendono a occupare più spazio all'interno della cornice vuota e a organizzarlo peggio, con maggiori intersezioni e indici di coerenza del pattern peggiori. Quindi a conferma del fatto che sono più veloci e quindi impiegano meno tempo a completare il compito,

non hanno un piano stabilito a priori con cui disporre i dischetti e quindi gestire efficacemente lo spazio disponibile.

In conclusione, gli indici in generale e in particolare le misure di organizzazione dell'E-BTT si sono dimostrati utili anche applicandoli a un campione di bambini in età scolare. Essi infatti descrivono strategie ben diverse dagli adulti impiegando più spazio e meno tempo, con maggiori segni di disorganizzazione del pattern.

4.3 E-TAN ANALYST: Uno strumento per l'analisi dei dati

Nel paragrafo precedente, abbiamo descritto e applicato una serie di misure al compito E-BTT. Questi indici possono aiutare a semplificare l'analisi dei dati spazio-temporali di questo compito, fornendo informazioni sui diversi aspetti dello studio dello spazio peri-personale. Infatti, abbiamo constatato che questi indici riguardano la *lateralità*, *verticalità* e *qualità* della sequenza spazio-temporale che è output dell'E-BTT.

Com'è chiaro dalla loro descrizione, il calcolo di alcuni di questi indici può richiedere anche molto tempo e fatica. Se alcuni di loro sono relativamente semplici da calcolare (come la prima X e la prima Y), infatti, altri possono richiedere un carico non indifferente (come il numero di intersezioni). Ne deriva che l'avere a disposizione uno strumento che permetta il calcolo immediato e automatico di tali indici possa essere molto utile allo sperimentatore.

È per questo motivo che è stato pensato di sviluppare un'applicazione che consenta di fare ciò, l'**E-TAN ANALYST**. Si tratta di un primo prototipo di uno strumento di analisi dei dati dell'E-BTT che permetta di automatizzare il calcolo degli indici. L'E-TAN ANALYST nasce come app per l'analisi dei dati spazio-temporali dell'E-BTT che applica gli indici di cui abbiamo parlato nello scorso capitolo. Il progetto iniziale è stato descritto in Argiuolo, Miglino e Ponticorvo (2021).

L'E-TAN ANALYST (Figura 4.24) è in grado di analizzare le sedici coordinate che sono output della piattaforma E-TAN, restituendo:

- A schermo, i risultati delle elaborazioni e la rappresentazione grafica della sequenza (plot; Figura 4.25)
- Nella cartella del programma, un file .csv contenente le elaborazioni e un file .png per il plot.

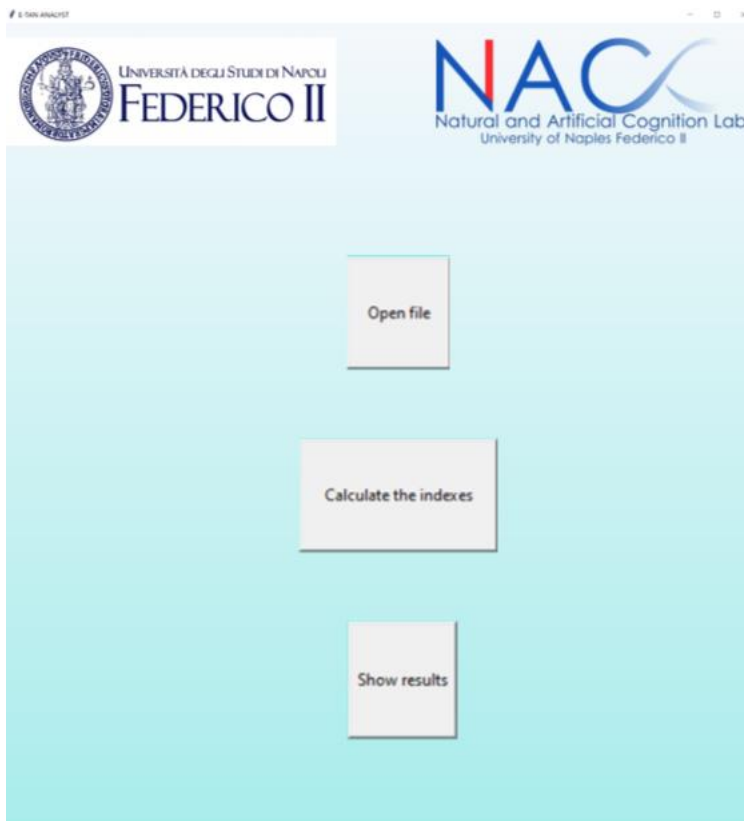


Figura 4.24 Schermata iniziale dell'E-TAN ANALYST.

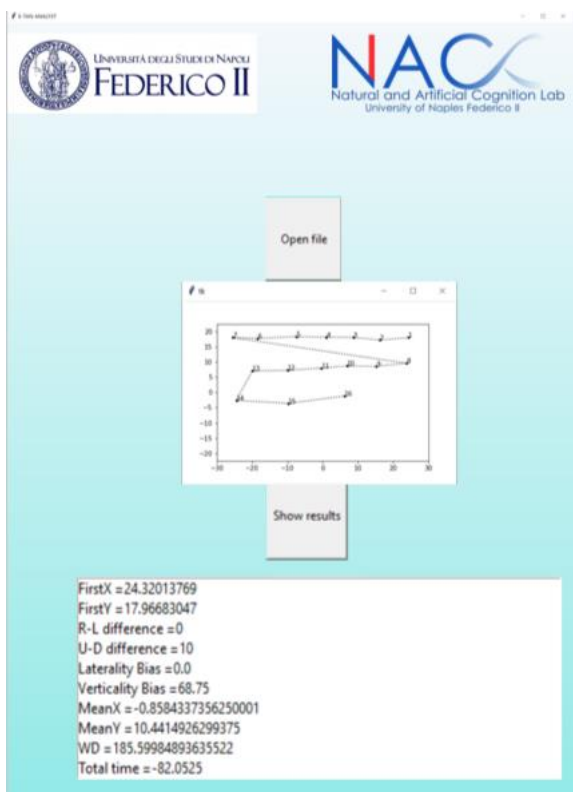


Figura 4.25 L'output a schermo dell'elaborazione dell'E-TAN ANALYST

L'applicazione è stata sviluppata interamente in **Python** (Van Rossum & Drake, 2011), usando la libreria Tkinter (Lundh, 1999) per la parte della Graphical User Interface (GUI). Per la

parte dell'analisi dei dati, sono state utilizzate diverse altre librerie, come Numpy (Oliphant, 2007) e Matplotlib (Hunter, 2007) per i plot.

Python è un linguaggio di programmazione molto versatile e ampiamente utilizzato. Essendo interpretato e *open source*, è diventato molto popolare tra i *data scientists* (McKinney, 2017). È per questi motivi che abbiamo deciso di utilizzarlo per sviluppare l'ANALYST.

Il diagramma di flusso che descrive il funzionamento dell'ANALYST è illustrato in Figura 4.26. Lanciando il programma, è possibile loggarsi con delle credenziali o crearne di nuove con il bottone “registra”. A seguito del login, è mostrata la schermata principale, con i tre bottoni principali. Qui è possibile caricare un singolo file .csv organizzato con le sedici coordinate a inizializzare le analisi tramite il bottone “Calcola gli indici”. Gli indici calcolati sono:

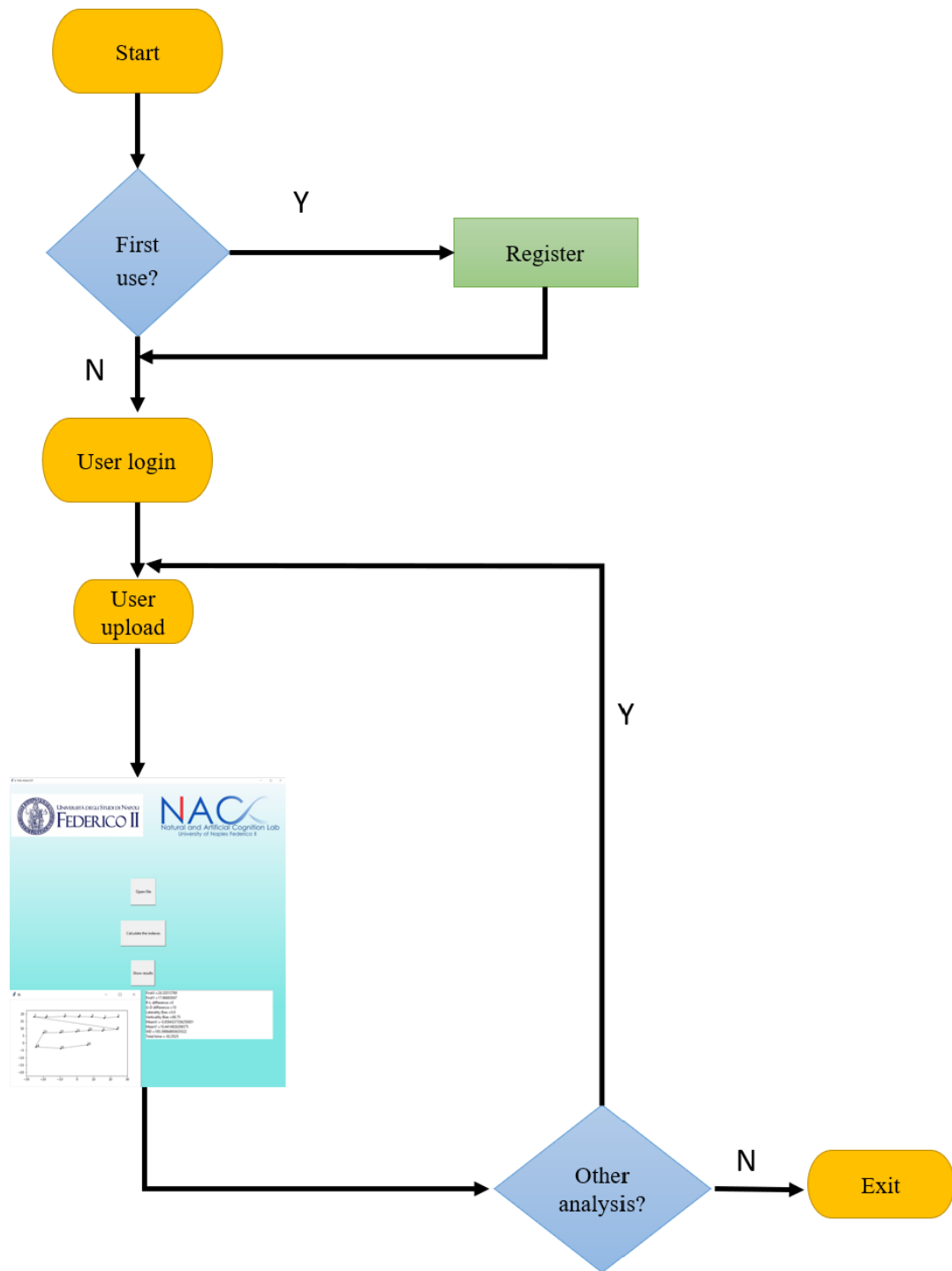


Figura 4.26 Il flusso dell'E-TAN ANALYST.

- ☑ *Prima X;*
- ☑ *Prima Y;*
- ☑ *Mean X;*
- ☑ *Mean Y;*
- ☑ *Differenza Destra/Sinistra;*
- ☑ *Differenza Sopra/Sotto;*

- ☑ *Laterality Bias;*
- ☑ *Verticality Bias;*
- ☑ *Gradiente laterale di distanza;*
- ☑ *Gradiente verticale di distanza;*
- ☑ *Within Distance;*
- ☑ *Tempo totale;*
- ☑ *Velocità globale;*
- ☑ *Numero di intersezioni;*
- ☑ *Intersection rate;*
- ☑ *Longest path;*
- ☑ *Distanza dalle sequenze ottimali;*
- ☑ *Correlazione delle coordinate X con il loro ordine;*
- ☑ *Correlazione delle coordinate Y con il loro ordine;*
- ☑ *Best r.*

A questo punto, con il bottone “Mostra i risultati”, appare una finestra dedicata in basso e il plot in alto a sinistra. Parallelamente, il programma salva in un file .csv tutti gli indici calcolati e un file .png per il plot.

In questo capitolo abbiamo passato in rassegna le attuali metodiche di analisi dei dati dal BTT all'E-BTT. Abbiamo inoltre applicato, in quattro studi, nuove tecniche di analisi attraverso una serie nutrita di indici e misure.

Abbiamo inoltre proposto il prototipo di un software per l'analisi dei dati spazio-temporali dell'E-BTT. L'E-TAN ANALYST è stata sviluppata in Python con lo scopo di calcolare automaticamente una serie di indici applicati al compito E-BTT, indici che possono essere riferiti alla spazialità del compito o alla sua qualità. Entrambi sono stati applicati considerando una intera sequenza la linea spezzata che collega ciascun disco al successivo, indicando come lo spazio è stato esplorato, proprio come Mark e colleghi (2004) fecero per il compito di Cancellazione.

Una variegata serie di misure è ora disponibile e in grado di riassumere la performance all'E-BTT. L'uso di tali misure potrà, in futuro, gettare nuova luce sulla valutazione dell'esplorazione spaziale peri-personale.

L'E-TAN ANALYST permette di avere l'elaborazione delle coordinate e la loro rappresentazione grafica in un modo relativamente semplice e immediato. Questo renderà più

semplice il lavoro dello sperimentatore o del clinico, ossia di elaborare e interpretare i dati dell'E-BTT.

Conclusioni e direzioni future

Il mio lavoro di dottorato, condotto insieme ai colleghi del laboratorio Natural and Artificial Cognition dell'Università Federico II, si è concentrato sull'analisi dei dati di un compito innovativo, l'Enhanced Baking Tray Task (E-BTT).

L'E-BTT è un compito semplice e versatile che può essere applicato allo studio dell'attenzione visuo-spaziale, nonché alla valutazione clinica della stessa. Questa sua duplice natura lo rende uno strumento di elezione, molto vantaggioso da usare.

In ambito di ricerca, l'E-BTT può essere applicato allo studio dell'attenzione visuo-spaziale in partecipanti sani, allo scopo di analizzare le strategie esplorative nello spazio peri-personale. Infatti, studiare come si dispongono gli oggetti in uno spazio vuoto può informarci su come pensiamo e cosa influenza questi processi. Uno studio recente di Somma e colleghi (2021) ha evidenziato come situazioni di stress possono esacerbare la normale deviazione verso sinistra (pseudoneglect). Questo effetto dello stress potrebbe essere ulteriormente confermato applicando l'E-BTT; inoltre, l'effetto dello stress sulla qualità della performance può essere studiato grazie agli indici di cui abbiamo già parlato. Al momento, l'effetto di tale variabile sull'esplorazione dello spazio vicino e la sua qualità, è sconosciuto. Più in generale, l'effetto delle variabili psicologiche di stato o di tratto sulla disposizione degli oggetti nello spazio vicino non è stato indagato.

Il BTT permetterebbe quindi lo studio del funzionamento “normale” dell'attenzione visuo-spaziale in condizioni naturali, come sottolineato anche da Tham e Tegner (1996) nello studio che ha introdotto per la prima volta questo test; la versione *enhanced* E-BTT può diventare un utile strumento per lo studio dell'attenzione visuo-spaziale in condizioni psicologiche e psicopatologiche, come suggerito dagli studi riportati in questo lavoro di Tesi.

In ambito clinico, l'E-BTT può essere applicato efficacemente a diverse popolazioni di pazienti le cui sindromi coinvolgono direttamente o indirettamente l'attenzione visuo-spaziale. Per esempio, l'alterazione del visuo-spaziale è spesso un sintomo precoce delle malattie neurodegenerative (Possin, 2010). In particolare, nella demenza di Alzheimer spesso si manifestano deficit nelle abilità visuo-spaziali, già tre anni prima della diagnosi (Weintraub, Wicklund & Salmon, 2012; Johnson, Storandt, Morris & Galvin, 2009). I pazienti con demenza di Alzheimer, infatti, sembrano trovare difficoltà nei compiti visuo-costruttivi (aprassia costruttiva, vedi Appendice B) e nei compiti che richiedono abilità visuo-percettive e di orientamento visivo. In un

compito di rotazione mentale, la loro accuratezza diminuiva al crescere dell'angolo di rotazione (Lineweaver, Salmon, Bondi & Corey-Bloom, 2005), mentre la velocità di rotazione non sembrava peggiorare, indicando che non soffrono una significativa diminuzione della velocità di processamento dell'informazione.

Gli effetti dell'Alzheimer sembrano essere massimi in compiti di cognizione visuo-spaziale che richiedono l'integrazione di informazioni visive elaborate da regioni diverse nella corteccia associativa visiva (p.e. test di copia di figure complesse, rotazione mentale e organizzazione visiva); inoltre, un sintomo precoce molto comune nell'Alzheimer è la tendenza a perdersi (Possin, 2010), una difficoltà nella navigazione spaziale che può essere molto invalidante se si guida o si vive da soli (Cushman, Stein & Duffy, 2008). Infatti, in confronto ai controlli, i pazienti con Alzheimer avevano performance peggiori a test di navigazione spaziale (Mandal, Joshi & Saharan, 2012).

Tuttavia, la performance dei pazienti con demenza di Alzheimer nel disporre oggetti nello spazio vicino non sembra essere stata indagata. Visti i disordini visuo-costruttivi presenti in questa sindrome, sarebbe interessante indagare le loro strategie di esplorazione nello spazio vicino. Sarebbe importante indagare la sequenza spaziale del posizionamento dei dischetti all'interno della cornice anche in pazienti anziani o con declino cognitivo lieve (MCI).

Ovviamente il BTT e l'E-BTT nascono come strumenti di valutazione dell'eminegligenza, per cui è scontato che la loro applicazione – e quindi quella degli indici che ne descrivono la performance – possa essere molto utile nella diagnosi e quindi nel trattamento del neglect. Finora in questa sindrome è stata indagata solo la lateralità. L'uso di indici variegati come quelli che abbiamo messo a punto in questa Tesi può gettare nuova luce sullo studio dell'eminegligenza anche in termini di verticalità e qualità. Studiare come gli indici cambiano nel tempo durante il trattamento neuropsicologico del neglect (vedi Capitolo 1) potrebbe aiutare il clinico a valutare l'andamento dei deficit visuo-spaziali.

Il lavoro di Tesi ha seguito due direttrici principali: la prima ha costituito un ampliamento dell'informatività dell'E-BTT sulla dimensione prettamente spaziale (e.g. verticalità), la seconda, partendo da questi stessi dati, ha aperto la riflessione a come alcuni indici visuo-spaziali possano essere anche interpretati in termini di organizzazione.

Essendo questo secondo aspetto non trattato esplicitamente nel contesto dei tradizionali strumenti per la valutazione dell'eminegligenza, ho proceduto quindi all'identificazione di una lista di indici: alcuni già utilizzati per altri compiti (Cancellazione), alcuni già utilizzati per il BTT/E-BTT, altri nuovi proposti da noi.

È stato un tentativo di aumentare il potere informativo di alcuni indici rispetto ai costrutti che si intendono misurare, un tema interessante per la psicomетria.

In un primo momento, come misura di organizzazione sono state proposte le distanze Euclidee, successivamente queste sono state incluse in una lista di indici comprensivi stilata anche grazie a un'intensiva opera di revisione della letteratura.

La validità di questa esplorazione sull'applicabilità e il significato di questi indici è stata confermata, in prima luogo, dall'Analisi delle Componenti Principali (PCA), da cui sono emerse cinque componenti che possono essere riportate alle tre dimensioni da noi individuate: verticalità, lateralità e qualità.

Di particolare interesse è risultato lo studio dell'organizzazione poiché può modificarsi nel corso dell'arco di vita e poiché può essere utilizzata per la diagnosi di altre patologie, non solo in ambito di attenzione visuo-spaziale (Alzheimer, MCI, ecc.).

Più in generale questo discorso è coerente con l'utilizzo degli strumenti psicometrici non solo da un punto di vista quantitativo e normativo, ma anche qualitativo ed ideografico. Questi due punti di vista non si escludono a vicenda, ma si completano: l'approccio normativo ha come obiettivo quello di studiare leggi universali attraverso indici quantitativi che possono essere generalizzate a tutta la popolazione, mentre un approccio più idiografico si concentra sul funzionamento della singola persona e quindi sulle sue strategie uniche e particolari. Intraprendere uno studio idiografico significa quindi focalizzarsi sulle strategie qualitative, sul tipo di errori, piuttosto che sulla logica della generalizzazione induttiva (De Luca Picione, 2015).

È in sostanza un utilizzo di indici psicometrici non solo applicabili a contesti di ricerca, ma anche fortemente adeguato ad un uso più clinico, che nel contesto della neuropsicologia può avere un impatto nel recupero funzionale nella vita di tutti i giorni dei pazienti.

Questo lavoro, così come descritto nei precedenti capitoli, potrebbe avere quindi una ricaduta metodologica anche ad esempio in discipline come la **psicologia animale**, in cui lo studio delle strategie di risoluzione del compito e delle traiettorie quindi risultanti è fondamentale nel comprendere il valore funzionale e adattivo di un certo comportamento messo in atto dall'animale in analisi.

Gli animali (ma lo stesso discorso vale anche per l'uomo) vivono nel loro ambiente naturale e hanno bisogno di saperlo navigare per poter procacciarsi del cibo, accoppiarsi, trovare riparo. Ne deriva che spostarsi in modo efficiente all'interno di questo spazio è adattivo, in quanto garantisce

la sopravvivenza dell'individuo (e quindi della specie se l'individuo trasmette i propri geni). La navigazione e quindi l'orientamento all'interno di uno spazio ben definito è oggetto di studio da diversi anni (Bartumeus, da Luz, Viswanathan, & Catalan, 2005; Collett, Cartwright, Smith, 1986; Kelly, Chiandetti & Vallortigara, 2011; Lee, Austen, Sovrano, Vallortigara, McGregor & Lever, 2020; Sovrano, Bisazza & Vallortigara, 2002). In questi numerosi studi, spesso è fatta oggetto di analisi la traiettoria fisica seguita dal soggetto sperimentale per arrivare alla posizione target (che spesso coincide con il cibo o con l'uscita dallo spazio stesso). Da queste traiettorie possono essere ricavati, in potenza, gli indici di cui abbiamo trattato in questo lavoro di Tesi, e quindi potrebbe essere studiata l'organizzazione di tali strategie comportamentali anche in questi casi.

Invece, dal punto di vista ontogenetico, le strategie implementate in un compito si consolidano in relazione alla maturazione degli altri processi cognitivi e quindi dello sviluppo cerebrale. Per esempio, le strategie visuo-costruttive sono state significativamente associate con l'efficienza della working memory e recentemente Zappullo e colleghi (2021) hanno confermato che un compito di organizzazione spaziale come la Figura complessa di Rey (Rey, 1959), era direttamente associato all'età e indirettamente con le funzioni esecutive. In particolare, la working memory visuo-spaziale e l'intelligenza fluida hanno un ruolo fondamentale sulla performance a test di organizzazione visuo-spaziale (D'Antuono, La Torre, Marin, Antonucci, Piccardi & Guariglia, 2017). Inoltre, nel disegnare la figura complessa di Rey, i bambini con meno di 9 anni preferiscono una strategia più frammentata nel riprodurre la figura e i suoi elementi; mentre bambini con più di 9 anni si affidano a un approccio più globale di elaborazione della figura (Stiles, Akshoomoff & Haist, 2013; 2020).

Nello studio di Woods e colleghi (2013) le misure di organizzazione della ricerca in un compito di cancellazione (distanza tra i target, coerenza del path) hanno una relazione significativa con l'età, per cui c'è un notevole miglioramento all'età di 12 anni che però non si stabilizza nemmeno all'età di 17, per cui gli autori hanno concluso che esiste una relazione tra l'organizzazione della ricerca e lo sviluppo delle funzioni di pianificazione, la working memory e la flessibilità cognitiva.

È stato poi ipotizzato che gli indici di qualità potessero misurare l'organizzazione complessiva della sequenza; solo alcuni indici e non altri (Intersection rate, Tempo totale, Distanza dagli ottimi) sono associati con la valutazione soggettiva dei giudici, dimostrandosi adatti a misurarla. Infine, abbiamo dimostrato come gli indici possono rivelarsi utili per distinguere la performance di bambini e adulti, sempre in termini di lateralità, verticalità e qualità. I bambini in età scolare sono meno lateralizzati verso sinistra, dispongono i dischetti più in basso degli adulti e

fanno più intersezioni rispetto agli adulti. Sono richiesti ulteriori studi in merito, ma si potrebbe azzardare a concludere che i bambini siano meno organizzati degli adulti.

Questi indici sono stati poi implementati in un software, l'E-TAN ANALYST in grado di calcolarli a partire dalle sedici coordinate output della piattaforma E-TAN. Il software, realizzato in Python, è semplice da utilizzare e molto versatile.

Inoltre, l'utilizzo del prototipo potrebbe essere interessante nelle sue ricadute sulla **tele-neuropsicologia**. Infatti, il software può essere amministrato anche a distanza, una possibilità diventata ancora più importante con la recente pandemia da COVID-19, la quale ha posto nuove sfide alla tele-medicina in generale e alla tele-neuropsicologia in particolare. I servizi di questo tipo si sono rivelati realizzabili e affidabili (Munro Cullum, Hynan, Grosch, Parikh & Weiner, 2014); la loro fattibilità è stata indagata in uno studio recente (Parsons et al., 2022), che suggerisce che i pazienti e i clinici erano comunque soddisfatti dei servizi neuropsicologici somministrati a distanza durante la pandemia.

L'uso degli indici e dell'ANALYST che li calcola ha lo scopo di facilitare il compito del clinico/sperimentatore, permettendogli di avere delle misure riassuntive di ciascuna performance all'E-BTT. In maniera aggregata, gli indici permettono inoltre di studiare le tendenze esplorative nello spazio peri-personale, permettendo di poter distinguere gruppi di performance diversi.

Ovviamente, avere chiaro come trattare i dati spazio-temporali dell'E-BTT è fondamentale per poterli sfruttare al meglio. Abbiamo quindi applicato diverse misure a questo compito innovativo per poterne estrapolare più informazioni possibili.

Limiti e prospettive future

Siamo consapevoli del fatto che questo lavoro di Tesi comporta una serie di limitazioni anche consistenti.

Innanzitutto, un limite di ogni studio è stato l'esiguo numero di partecipanti. Ad oggi, nel database sono disponibili solo 122 partecipanti sani, soprattutto giovani adulti; 138 bambini in età scolare e 9 pazienti. Questi dati sono insufficienti per poter stabilire delle norme. Abbiamo scelto di dedicarci ai partecipanti sani anche a causa della difficoltà di reperimento dei pazienti con eminegligenza dovuto alle chiusure della pandemia da COVID-19. Una priorità nel prossimo futuro sarà ampliare il database di E-TAN, innanzitutto con nuovi pazienti, poi con anziani sani in modo che siano appaiati per età al campione di pazienti per poter agire dei confronti.

Avere a disposizione più dati permetterà anche di confermare la struttura già emersa nel secondo studio. Per una PCA una numerosità di 122 è relativamente bassa, anche se le misure di adeguatezza del campione sono soddisfacenti.

Inoltre, per ampliare i risultati emersi nel quarto studio, sarà utile estendere il campione evolutivo anche alle età successive e magari alle precedenti, in modo da avere chiare le traiettorie di sviluppo dell'attenzione visuo-spaziale dal bambino all'adulto. In generale, avere più dati consoliderà la validità dello strumento.

Trattandosi di un campione di convenienza, il campione di studenti è principalmente composto da studenti di Psicologia. Questo potrebbe influenzare i risultati, anche se non sappiamo i concreti effetti del corso di studio sulle abilità visuo-spaziali. Si tratta di un altro aspetto potenzialmente interessante da indagare.

Nello studio dello pseudoneglect (vedi Capitolo 1) è rilevante anche la direzione di letto-scrittura. Nella cultura occidentale, ai bambini viene insegnato a leggere e a scrivere seguendo un ordine da sinistra a destra, dall'alto in basso. Sarebbe interessante studiare le strategie visuo-spaziali anche in culture diverse dalla nostra, dove si scrive da destra verso sinistra o dall'alto verso il basso.

È ormai risaputo della differenza di genere nelle abilità visuo-spaziali (Linn & Petersen, 1985). A causa dell'esigua percentuale di maschi del nostro campione non è stato possibile indagare una possibile e forse probabile differenza nelle strategie spaziali tra maschi e femmine.

Un altro limite riguarda le caratteristiche del campione. Si tratta soprattutto di destrimani, per cui non è stato possibile indagare un effetto della mano di esecuzione del compito e della manualità sulla strategia esplorativa nell'E-BTT.

Uno dei possibili sviluppi futuri sarebbe di applicare le misure psicofisiologiche al compito E-BTT. Una misura interessante può essere per esempio l'emoencefalografia, ossia il rilevamento del flusso sanguigno cerebrale, in area prefrontale. Potrebbe essere che l'attivazione di aree prefrontali sia associato con indici di qualità più che indici di spazialità? Inoltre, le classiche misure di conduttanza cutanea, respiro e temperatura distale potrebbero essere molto utili in disegni di ricerca che manipolano situazioni di stress esogeno.

Uno dei prossimi sviluppi sarà collegare l'ANALYST a E-TAN, in modo che elabori direttamente i dati in forma grezza. Infatti, ora è necessario scaricare manualmente i dati dalla piattaforma online, procedere a "ripulirli" secondo lo scopo, dividerli per soggetto e trasformare le coordinate da pixel in centimetri. Un'altra funzionalità molto utile che sarebbe interessante

sviluppare sarebbe la possibilità di elaborare dati aggregati, dando in pasto all'ANALYST il database completo e facendo in modo che in output ci siano le statistiche descrittive degli indici per quel dataset.

In futuro è anche possibile immaginare una piattaforma che implementi analisi automatiche con sistemi di tutoraggio intelligente, che possa affiancare il lavoro del clinico; si tratterebbe di una piattaforma integrata in cui lo specialista riceve come output una serie di elaborazioni sul compito, o su eventuali altri compiti, oltre a beneficiare di apporti di diverse specializzazioni. Questa piattaforma potrebbe fungere anche da database dove convergono i dati relativi a uno specifico gruppo di pazienti, dando quindi la possibilità di completare la validazione dell'E-BTT e in generale di ampliare la ricerca in merito.

Sarà ora possibile indagare quali sono le variabili che influenzano i processi cognitivi alla base dell'E-BTT.

In conclusione, sono ora disponibili una variegata serie di misure per riassumere la performance all'E-BTT. L'uso di tali misure potrà in futuro gettare nuova luce sull'assessment dell'esplorazione spaziale peri-personale. In più, l'E-TAN ANALYST permette di avere l'elaborazione delle coordinate e la loro rappresentazione grafica in un modo relativamente semplice e immediato. Ciò renderà più facile per lo sperimentatore o il clinico elaborare e quindi interpretare i dati dell'E-BTT.

Bibliografia

Aguirre, G. K., & D'Esposito, M. (1999). Topographical disorientation: a synthesis and taxonomy. *Brain : a journal of neurology*, 122 (Pt 9), 1613–1628.
<https://doi.org/10.1093/brain/122.9.1613>

Albert, M. L. (1973). A simple test of visual neglect. *Neurology*, 23, 658–664.
<https://doi.org/10.1212/wnl.23.6.658>

Andersen, R. A. (1997). Multimodal integration for the representation of space in the posterior parietal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 352, 1421–1428. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0128>

Andersson, A. G., Kamwendo, K., Seiger, A., & Appelros, P. (2006). How to identify potential fallers in a stroke unit: validity indexes of 4 test methods. *Journal of rehabilitation medicine*, 38(3), 186–191. <https://doi.org/10.1080/16501970500478023>

Angelini, R., & Grossi, D. (1993). La terapia razionale dei disturbi costruttivi, TeRaDiC. Roma: Centro di Riabilitazione Santa Lucia, Editrice Erre.

Ansari, M. Y., Ahmad, A., Khan, S. S., Bhushan, G., & Mainuddin (2020) Spatiotemporal clustering: a review. *Artificial Intelligence Review*, 53, 2381–2423. <https://doi.org/10.1007/s10462-019-09736-1>

Appelros, P., Karlsson, G. M., Seiger, A., & Nydevik, I. (2002). Neglect and anosognosia after first-ever stroke: incidence and relationship to disability. *Journal of rehabilitation medicine*, 34(5), 215–220. <https://doi.org/10.1080/165019702760279206>

Appelros, P., Karlsson, G. M., Seiger, A., & Nydevik, I. (2003). Prognosis for patients with neglect and anosognosia with special reference to cognitive impairment. *Journal of rehabilitation medicine*, 35(6), 254–258. <https://doi.org/10.1080/16501970310012455>

Appelros, P., Karlsson, G. M., Thorwalls, A., Tham, K., & Nydevik, I. (2004). Unilateral neglect: further validation of the baking tray task. *Journal of rehabilitation medicine*, 36(6), 258–261. <https://doi.org/10.1080/16501970410029852>

Argiuolo, A., Miglino, O., & Ponticorvo, M. (2021). The E-TAN ANALYST project: new horizons on E-BTT data analysis. *CEUR Workshop Proceedings*, 3100.

Argiuolo, A. & Ponticorvo, M. (2021). E-TAN platform and E-Baking Tray Task potentialities: new ways to solve old problems. *CEUR Workshop Proceedings*, 2730.

Argiuolo, A., Somma, F., Marocco, D., Gigliotta, O., Bartolomeo, P., Ponticorvo, M. (2021). Abstracts and authors of the 8th International Conference on Spatial Cognition: Cognition and Action in a Plurality of Spaces (ICSC 2021). *Cognitive Processing*, 22, 3–67.
<https://doi.org/10.1007/s10339-021-01058-x>

Argiuolo, A., Somma, F., Bartolomeo, P., Gigliotta, O., & Ponticorvo, M. (2022a). Indexes for the E-Baking Tray Task: A Look on Laterality, Verticality and Quality of Exploration. *Brain Sciences*, 12(3), 401. <http://dx.doi.org/10.3390/brainsci12030401>

Argiuolo, A., Somma, F., Bartolomeo, P., Gigliotta, O., & Ponticorvo, M. (2022b). Organization measures in the Enhanced Baking Tray Task. *Frontiers in Psychology*, 13, 1039064.
<http://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1039064>

Armaghani, S. J., Crucian, G. P., & Heilman, K. M. (2014). The influence of emotional faces on the spatial allocation of attention. *Brain Cognition*, 91, 108–112.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.09.006>

Azouvi, P., (1996). Functional Consequences and Awareness of Unilateral Neglect: Study of an Evaluation Scale. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6, 133-150,
<https://doi.org/10.1080/713755501>

Azouvi, P., Olivier, S., De Monety, G., Samuel, C., Louis-Dreyfus, A., Tesio, L. (2003). Behavioral assessment of unilateral neglect: a study of the psychometric properties of the Catherine Bergego Scale. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 51–57.
<http://dx.doi.org/10.1053/apmr.2003.50062>

Bailey, M. J., Riddoch, M. J., & Crome, P. (2000). Evaluation of a test battery for hemineglect in elderly stroke patients for use by therapists in clinical practice. *NeuroRehabilitation*, 14(3), 139-150. <http://dx.doi.org/10.3233/NRE-2000-14303>

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,
<http://doi.org/10.1080/09602010343000282>

Bartolomeo, P. (2007). Visual neglect. *Current Opinion in Neurology*, 20(4), 381–386.

<https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e32816aa3a3>

Bartolomeo, P., Bachoud-Lévi, A. C., Azouvi, P., & Chokron, S. (2005). Time to imagine space: A chronometric exploration of representational neglect. *Neuropsychologia*, 43(9), 1249–1257. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.12.013>

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

Bartolomeo, P., D'érme, P., & Gainotti, G. (1994). The relationship between visuospatial and representational neglect. *Neurology*, 44(9), 1710–1714. <https://doi.org/10.1212/wnl.44.9.1710>.

Bartumeus, F., da Luz, M. G. E., Viswanathan, G. M., & Catalan, J. (2005). Animal search strategies: a quantitative random-walk analysis. *Ecology*, 86(11), 3078-3087. <https://doi.org/10.1890/04-1806>

Beaumont, J. G. (2008). Introduction to neuropsychology. Guilford Press.

Benjamins, J. S., Dalmaijer, E. S., Ten Brink, A. F., Nijboer, T. C.W., Van der Stigchel, S. (2019). Multi-target visual search organisation across the lifespan: cancellation task performance in a large and demographically stratified sample of healthy adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 26, 731-748. <https://doi.org/10.1080/13825585.2018.1521508>

Beis, J. M., André, J. M., Baumgarten, A., & Challier, B. (1999). Eye patching in unilateral spatial neglect: Efficacy of two methods. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 71–76. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(99\)90310-6](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(99)90310-6)

Bernard, F., Lemée, J. M., Ter Minassian, A., & Menei, P. (2018). Right Hemisphere Cognitive Functions: From Clinical and Anatomic Bases to Brain Mapping During Awake Craniotomy Part I: Clinical and Functional Anatomy. In *World Neurosurgery* (Vol. 118, pp. 348–359). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.05.024>

Berti, A., & Rizzolatti, G., (2002). Coding near and far space. In H.-O. Karnath, A. D. Milner, & G. Vallar (Eds), *The Cognitive and Neural Bases of Spatial Neglect* (pp.119-129). Oxford: Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198508335.003.0008>

Beschin, N. & Robertson, I. H. (1997). Personal versus extrapersonal neglect: a group study of their dissociation using a reliable clinical test. *Cortex*, 33, 379–384. [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70013-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70013-3)

Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978). Unilateral Neglect of Representational Space. *Cortex*, 14(1), 129–133. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(78\)80016-1](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(78)80016-1)

Bowen, A., Hazelton, C., Pollock, A., & Lincoln, N. B. (2013). Cognitive rehabilitation for spatial neglect following stroke. In *Cochrane Database of Systematic Reviews* (Vol. 2013, Issue 7). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003586.pub3>

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)

Broeren, J., Samuelsson, H., Stibrant-Sunnerhagen, K., Blomstrand, C., & Rydmark, M. (2007). Neglect assessment as an application of virtual reality. *Acta neurologica Scandinavica*, 116(3), 157–163. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2007.00821.x>

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>

Brunetti, R., Del Gatto, C. & Delogu, F. (2014). eCorsi: implementation and testing of the Corsi block-tapping task for digital tablets. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00939>

Butler, S., Gilchrist, I. D., Burt, D. M., Perrett, D. I., Jones, E., & Harvey, M., (2005). Are the perceptual biases found in chimeric face processing reflected in eye-movement patterns? *Neuropsychologia*, 43(1), 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.06.005>

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>

Catani, M., Howard, R. J., Pajevic, S., & Jones, D. K. (2002). Virtual in Vivo interactive dissection of white matter fasciculi in the human brain. *NeuroImage*, 17(1), 77–94. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1136>.

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>

Cattaneo, Z., Lega, C., Boehringer, J., Gallucci, M., Girelli, L., & Carbon, C.C. (2014). Happiness takes you right: The effect of emotional stimuli on line bisection. *Cognition and Emotion*, 28, 325–344. <https://doi.org/10.1080/02699931.2013.824871>

Cerrato, A., Ponticorvo, M., Gigliotta, O., Bartolomeo, P. & Miglino, O. (2019a) BTT-SCAN: uno strumento per la valutazione della negligenza spaziale unilaterale. *Sistemi Intelligenti*, 31, 253–270.

Cerrato, A., Ponticorvo, M., Gigliotta, O., Bartolomeo, P., & Miglino, O. (2019b): The assessment of visuospatial abilities with tangible interfaces and machine learning. In International WorkConference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation. Springer: Berlino, Heidelberg, 78–87. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-19591-5_9

Cerrato, A., Pacella, D., Palumbo, F., Beauvais, D., Ponticorvo, M., Miglino, O., & Bartolomeo, P. (2020). E-TAN, a technology-enhanced platform with tangible objects for the assessment of visual neglect: A multiple single-case study. *Neuropsychological Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1080/09602011.2020.1762671>

Cerrato, A., Siano, G., & De Marco, A. (2018). Augmented reality: from education and training applications to assessment procedures. *Qwerty-Open and Interdisciplinary Journal of Technology, Culture and Education*, 13(1).

Chaytor, N., & Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The Ecological Validity of Neuropsychological Tests: A Review of the Literature on Everyday Cognitive Skills. *Neuropsychological Review*, 13, 181–197. <https://doi.org/10.1023/B:NERV.0000009483.91468.fb>

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>

Chokron, S., Bartolomeo, P., Perenin, M. T., Helft, G., & Imbert, M. (1998). Scanning direction and line bisection: a study of normal subjects and unilateral neglect patients with opposite reading habits. *Brain research. Cognitive brain research*, 7(2), 173–178. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(98\)00022-6](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(98)00022-6)

Chokron, S., & De Agostini, M. (1995). Reading habits and line bisection: a developmental approach. *Brain research. 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)

- Chokron, S., & Imbert, M. (1993). Influence of reading habits on line bisection. *Brain research. Cognitive brain research*, 1(4), 219–222. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(93\)90005-p](https://doi.org/10.1016/0926-6410(93)90005-p)
- Chung, S.J., Park, E., Ye, B.S., Lee H.S., Chang, H.-J., Song, D., et al. (2016) The Computerized Table Setting Test for Detecting Unilateral Neglect. *PLoS ONE* 11(1): e0147030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147030>
- Cian, L. (2017). Verticality and Conceptual Metaphors: A Systematic Review. *Journal of the Association for Consumer Research*, 2, 444–459. <https://doi.org/10.1086/694082>.
- Collett, T.S., Cartwright, B.A., Smith, B.A. (1986). Landmark learning and visuo-spatial memory in gerbils. *Journal of Comparative Physiology (A)*, 158(6), 835–851. <https://doi.org/10.1007/BF01324825>
- Corsi P. M. (1973) Human memory and the medial temporal region of the brain. Dissertation, McGill University.
- Costa, L. D., Vaughan, H. G., Horwitz, M., & Ritter, W. (1969) Patterns of Behavioral Deficit Associated with Visual Spatial Neglect. *Cortex*, 5, 242–263. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(69\)80033-X](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(69)80033-X)
- Cushman, L. A., Stein, K., & Duffy, C. J. (2008). Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, 71(12), 888–895. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000326262.67613.fe>
- Dallas, S. K., Liu, P. J., & Ubel, P. A. (2018). 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, 60-69. <https://doi.org/10.1002/jcpy.1053>
- Dalmai, 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, 1065–1075. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0522-7>
- D'Antuono, G., La Torre, F. R., Marin, D., Antonucci, G., Piccardi, L., & Guariglia, C. (2017). Role of working memory, inhibition, and fluid intelligence in the performance of the Tower of London task. *Applied Neuropsychology: Adult*, 24(6), 548-558. <https://doi.org/10.1080/23279095.2016.1225071>

Dawson, J., & Thornton, H. (2003). Can Patients with Unilateral Neglect following Stroke Drive Electrically Powered Wheelchairs? *British Journal of Occupational Therapy*, 66(11), 496–504. <https://doi.org/10.1177/030802260306601102>

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371–396. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>

De Luca Picione, R. (2015). The idiographic approach in psychological research. The challenge of overcoming old distinctions without risking to homogenize. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 49(3), 360–370. <https://doi.org/10.1007/s12124-015-9307-5>

de Vignemont, F., & Iannetti, G. D. (2015). How many peripersonal spaces?. *Neuropsychologia*, 70, 327–334. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.11.018>

Dickinson, C. A., & Intraub, H. (2009). Spatial asymmetries in viewing and remembering scenes: Consequences of an attentional bias? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(6), 1251–1262. <http://dx.doi.org/10.3758/APP.71.6.1251>

Diersch, N., & Wolbers, T. (2019). The potential of virtual reality for spatial navigation research across the adult lifespan. *Journal of Experimental Biology*, 222 (Suppl. 1), jeb187252. <https://doi.org/10.1242/jeb.187252>

Diller, L., Ben-Yishay, Y., Gertsman, L. J., Goodkin, R., Gordon, W., & Weinberg, M. S. (1974). *Studies in Cognition and Rehabilitation in Hemiplegia*. New York: New York University Medical Center; Rehabilitation Monograph n. 50.

Donnelly, N., Guest, R., Fairhurst, M., Potter, J., Deighton, A., & Patel, M. (1999). Developing algorithms to enhance the sensitivity of cancellation tests of visuospatial neglect. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 31, 668–673. <https://doi.org/10.3758/BF03200743>.

Erez, A. B., Soroker, N., & Katz, N. (2018). Phasic alerting combined with visual spatial training: a novel therapeutic approach for unilateral spatial neglect. *International Physical Medicine & Rehabilitation Journal*, 3(3), 243–251. <https://doi.org/10.15406/ipmrj.2018.03.00111>

Ergun-Marterer, A., Ergun, E., Menten, M., & Order, W. (2001). Altitudinal neglect in a patient with occipital infarction. *Brain Injury*, 15(4), 363–370. <https://doi.org/10.1080/02699050010004644>.

Esposito, E., Shekhtman, G., & Chen, P. (2021). Prevalence of spatial neglect post-stroke: A systematic review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 64(5), 101459.

<https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.10.010>.

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>

Facchin, A., Beschin, N., & Daini, R. (2017). Rehabilitation of right (personal) neglect by prism adaptation: A case report. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 60(3), 220–222.

<https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.09.004>

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>

Farrell, M. J. (1996). Topographical disorientation. *Neurocase*, 2(6), 509–520.

<https://doi.org/10.1080/13554799608402427>

Ferber, S., & Karnath, H. O. (1999). Parietal and occipital lobe contributions to perception of straight ahead orientation. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 67(5), 572–578.

<https://doi.org/10.1136/jnnp.67.5.572>

Ferber, S., & Karnath, H. O. (2001). How to assess spatial neglect--line bisection or cancellation tasks?. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 23(5), 599–607.

<https://doi.org/10.1076/jcen.23.5.599.1243>

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

Field, A.P. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS (and Sex and Drugs and Rock'n' Roll)*, 3rd ed.; Sage: London, UK.

Fleet, W. S., Valenstein, E., Watson, R. T., Heilman, K. M. (1987). Dopamine agonist therapy for neglect in humans. *Neurology*, 37, 1765–71. <http://dx.doi.org/10.1212/WNL.37.11.1765>.

Fordell, H., Bodin, K., Bucht, G., & Malm, J. (2011) A virtual reality test battery for assessment and screening of spatial neglect. *Acta neurologica Scandinavica*, 123(3), 167–174.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2010.01390.x>

Friedman, A., Mohr, C., & Brugger, P. (2012). Representational pseudoneglect and reference points both influence geographical location estimates. *Psychonomic Bulletin and Review*, 19(2), 277–284.

Friedrich, T. E., Hunter, P. V., & Elias, L. J. (2018). The trajectory of pseudoneglect in adults: A systematic review. *Neuropsychology Review*, 28, 436–452. <https://doi.org/10.1007/s11065-018-9392-6>

Fukata, K., Amimoto, K., Fujino, Y., Inoue, M., Inoue, M., Takahashi, Y., Sekine, D., Makita, S., & Takahashi, H. (2020). Influence of unilateral spatial neglect on vertical perception in post-stroke pusher behavior. *Neuroscience Letters*, 715, 134667. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.134667>

Galland, D., & Grønning, M. (2019). Spatial Consciousness. In A.M. Orum (Ed.). *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies* (pp. 1–9). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0308>.

Garrido-Jurado, S., Muñoz-Salinas, R., Madrid-Cuevas, F. J., & Marín-Jiménez, M. J. (2014). Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*, 47(6), pp. 2280–2292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2014.01.005>

Gauthier, L., Dehaut, F., & Joannette, Y. (1989). The Bells Test: a quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11, 49–54.

Gentile, C., Cerrato, A., & Ponticorvo, M. (2019). Using technology and tangible interfaces in a visuospatial cognition task: The case of the Baking Tray Task. *CEUR Workshop Proceedings*, 2524, 1–9.

Gigliotta, O., Malkinson, T. S., Miglino, O., & Bartolomeo, P. (2017). Pseudoneglect in visual search: Behavioral evidence and connectional constraints in simulated neural circuitry. *ENeuro*, 4, 154–171. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0154-17.2017>.

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

Gordon, W. A., Hibbard, M. R., Egelko, S., Diller, L., Shaver, M. S., Lieberman, A., et al. (1985). Perceptual remediation in patients with right brain damage: A comprehensive program.

Archives of Physical Medicine and Rehabilitation , 66, 353-359.

Halligan, P. W., Manning, L., & Marshall, J. C. (1991). Hemispheric activation vs spatio-motor cueing in visual neglect: A case study. *Neuropsychologia*, 29, 165–176.

[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(91\)90018-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(91)90018-4).

Harding, P., & Riddoch, M. J. (2009). Functional electrical stimulation (FES) of the upper limb alleviates unilateral neglect: a case series analysis. *Neuropsychological rehabilitation*, 19(1), 41–63. <https://doi.org/10.1080/09602010701852610>

Hauser, M. D., & Andersson, K. (1994). Left hemisphere dominance for processing vocalizations in adult, but not infant, rhesus monkeys: field experiments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(9), 3946–3948. <https://doi.org/10.1073/PNAS.91.9.3946>

Heilman, K. M., Valenstein, E., & Watson, R. T. (2000). Neglect and related disorders. In *Seminars in Neurology* (Vol. 20, Issue 4, pp. 463–470). <https://doi.org/10.1055/s-2000-13179>.

Himmelbach, M., & Karnath, H. O. (2003). Goal-directed hand movements are not affected by the biased space representation in spatial neglect. *Journal of cognitive neuroscience*, 15(7), 972–980. <https://doi.org/10.1162/089892903770007362>

Horn, J.L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30, 179–185. <https://doi.org/10.1007/BF02289447>

Huang, H.-C. & Wang, T.-Y. (2008). Visualized representation of visual search patterns for a visuospatial attention test. *Behavior Research Methods*, 40, 383–390. <https://doi.org/10.3758/brm.40.2.383>

Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(6), 435–448. <https://doi.org/10.1038/nrn1684>

Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computer Science and Engineering*, 9, 90–95.

Husain, M., & Kennard, C. (1997). Distractor-dependent frontal neglect. *Neuropsychologia*, 35(6), 829–841. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00034-1)

Ishiai, S., Sugishita, M., Ichikawa, T., Gono, S., & Watabiki, S. (1993). Clock-drawing test and unilateral spatial neglect. *Neurology*, 43, 106–110.

http://dx.doi.org/10.1212/WNL.43.1_Part_1.106

Ishii, H., & Ullmer, B., (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 234-241). New York: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/258549.258715>

Ishikawa, T., & Montello, R. D. (2006). Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places. *Cognitive Psychology*, 52, 93–129.

<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.08.003>

Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(3), 194–203. <https://doi.org/10.1038/35058500>

Jewell, G., & McCourt, M. E. (2000). Pseudoneglect: A review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, 38, 93–110.

[https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00045-7).

Johannsen, L., Ackermann, H., & Karnath, H. O. (2003). Lasting amelioration of spatial neglect by treatment with neck muscle vibration even without concurrent training. *Journal of rehabilitation medicine*, 35(6), 249–253. <https://doi.org/10.1080/16501970310009972>

Johannsen, L., Broetz, D., Naegele, T., & Karnath, H. O. (2006). "Pusher syndrome" following cortical lesions that spare the thalamus. *Journal of neurology*, 253(4), 455–463.

<https://doi.org/10.1007/s00415-005-0025-7>

Johnson, D. K., Storandt, M., Morris, J. C., Galvin, J. E. (2009). Longitudinal Study of the Transition From Healthy Aging to Alzheimer Disease. *Archives of Neurology*, 66(10).

<https://doi.org/10.1001/archneurol.2009.158>

Kaiser, H.F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31–36.

<https://doi.org/10.1007/BF02291575>

Karnath, H. O., Berger, M. F., Küker, W., & Rorden, C. (2004). The anatomy of spatial neglect based on voxelwise statistical analysis: A study of 140 patients. *Cerebral Cortex*, 14, 1164–1172. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhh076>

Karnath, H. O., Ferber, S., & Himmelbach, M. (2001). Spatial awareness is a function of the

temporal not the posterior parietal lobe. *Nature*, 411, 950–953. <https://doi.org/10.1038/35082075>

Karnath, H. O., Himmelbach, M., & Rorden, C. (2002). The subcortical anatomy of human spatial neglect: Putamen, caudate nucleus and pulvinar. *Brain*, 125, 350–360. <https://doi.org/10.1093/brain/awf032>.

Karnath, H. O., Johannsen, L., Broetz, D., & Küker, W. (2005). Posterior thalamic hemorrhage induces "pusher syndrome". *Neurology*, 64(6), 1014–1019. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000154527.72841.4A>

Karnath, H. O., Schenkel, P., & Fischer, B. (1991). Trunk orientation as the determining factor of the “contralateral” deficit in the neglect syndrome and as the physical anchor of the internal representation of body orientation in space. *Brain*, 114, 1997–2014. <https://doi.org/10.1093/brain/114.4.1997>.

Karnath, H. O., Zimmer, U., & Lewald, J. (2002). Impaired perception of temporal order in auditory extinction. *Neuropsychologia*, 40(12), 1977–1982. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00061-1](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00061-1)

Katz, N., Ring, H., Naveh, Y., Kizony, R., Feintuch, U., & Weiss, P. L. (2005). Interactive virtual environment training for safe street crossing of right hemisphere stroke patients with Unilateral Spatial Neglect. *Disability and Rehabilitation*, 27, 1235–1244. <https://doi.org/10.1080/09638280500076079>.

Kelly, D. M., Chiandetti, C., & Vallortigara, G. (2011). Re-orienting in space: do animals use global or local geometry strategies?. *Biology Letters*, 7(3), 372–375. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.1024>

Kerkhoff, G., Keller, I., Ritter, V., & Marquardt, C. (2006). Repetitive optokinetic stimulation induces lasting recovery from visual neglect. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 24, 357–369.

Kessels, R. P. C., Van Zandvoort, M. J. E., Postma, A., Kappelle, L. J., & De Haan, E. H. F. (2000) The Corsi Block-Tapping Task: Standardization and normative data. *Applied Neuropsychology*, 7, 252–258. https://doi.org/10.1207/S15324826AN0704_8

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. (2013). Orientational bias model of unilateral neglect: Evidence from

attentional gradients within hemispace. In J. Marshall & I. Robertson (Eds.), *Unilateral Neglect: Clinical And Experimental Studies (Brain Damage, Behaviour and Cognition)* (pp. 63-86). Psychology Press.

Knecht, S., Flöel, A., Dräger, B., Breitenstein, C., Sommer, J., Henningsen, H., et al. (2002). Degree of language lateralization determines susceptibility to unilateral brain lesions. *Nature Neuroscience*, 5, 695–699. <https://doi.org/10.1038/nn868>

Koch, G., Cercignani, M., Bonnì, S., Giacobbe, V., Bucci, G., Versace, V., et al. (2011). Asymmetry of parietal interhemispheric connections in humans. *Journal of Neuroscience*, 31, 8967–8975. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6567-10.2011>

La Femina, F., Senese, V. P., Grossi, D., Venuti, P. (2009). A Battery For The Assessment of Visuo-Spatial Abilities Involved in Drawing Tasks. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 23, 691-714. <https://doi.org/10.1080/13854040802572426>

Lee, S. A., Austen, J. M., Sovrano, V. A., Vallortigara, G., McGregor, A., & Lever, C. (2020). Distinct and combined responses to environmental geometry and features in a working-memory reorientation task in rats and chicks. *Scientific reports*, 10(1), 1-9. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-64366-w>

Lewkowicz, D.J. (2001). The Concept of Ecological Validity: What Are Its Limitations and Is It Bad to Be Invalid?. *Infancy*, 2, 437–450. https://doi.org/10.1207/S15327078IN0204_03.

Lineweaver, T. T., Salmon, D. P., Bondi, M. W. & Corey-Bloom, J. (2005). Differential Effects of Alzheimer's Disease and Huntington's Disease on the Performance of Mental Rotation. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11, 30-39. <https://doi.org/10.1017/S1355617705050034>

Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child development*, 56(6), 1479–1498. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1985.tb00213.x>

Lundh, F. (1999). An introduction to tkinter, 1999. <URL:www.Pythonware.Com/Library/Tkinter/Introduction/Index.Htm>

Longo, M. R., & Lourenco, S. F. (2006). On the nature of near space: effects of tool use and the transition to far space. *Neuropsychologia*, 44(6), 977–981. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.09.003>

MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, pp. 281-297.

Madhulatha, T. S. (2012). An overview on clustering methods. *IOSR Journal of Engineering*, 2(4), 719-725. <https://doi.org/10.9790/3021-0204719725>

Malhotra, P. A., Parton, A. D., Greenwood, R., & Husain, M. (2006). Noradrenergic modulation of space exploration in visual neglect. *Annals of Neurology*, 59, 186–190. <https://doi.org/10.1002/ana.20701>.

Mandal, P. K., Joshi, J., & Saharan, S. (2012). Visuospatial perception: an emerging biomarker for Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 31(s3), S117-S135. <https://doi.org/10.3233/JAD-2012-120901>

Mandolesi, L., & Gigliotta, O. (2021). La coccinella nel castello. Una versione videogioco del labirinto radiale per lo studio delle abilità spaziali. *Sistemi intelligenti*, 3, 527-532, <https://doi.org/10.1422/102555>

Mark, V. W., Woods, A. J., Ball, K. K., Roth, D. L., & Mennemeier, M. (2004). Disorganized search on cancellation is not a consequence of neglect. *Neurology*, 63, 78–84. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000131947.08670.D4>

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2007.05.050>

McKinney, W. (2017). Python for data analysis: data wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.

Meier, B.P. & Robinson, M.D. (2004). Why the Sunny Side Is Up: Associations between Affect and Vertical Position. *Psychological Science*, 15, 243–247. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00659.x>.

Mesulam, M. -M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology*, 10, 309–325. <https://doi.org/10.1002/ana.410100402>

Mesulam, M. -M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Annals of Neurology*, 28, 597–613. <https://doi.org/10.1002/ana.410280502>

Moreaud, O. (2003). Balint syndrome. *Archives of Neurology*, 60(9), 1329–1331.

<https://doi.org/10.1001/archneur.60.9.1329>

Moreno, C. R., Borod, J. C., Welkowitz, J., & Alpert, M. (1990). Lateralization for the expression and perception of facial emotion as a function of age. *Neuropsychologia*, 28(2), 199–209. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(90\)90101-s](https://doi.org/10.1016/0028-3932(90)90101-s)

Morris, M., Mańkowska, A., & Heilman, K.M. (2020). Upper Vertical Spatial Neglect With A Right Temporal Lobe Stroke. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 33, 63–66.

<https://doi.org/10.1097/WNN.0000000000000221>

Mort, D. J., Malhotra, P., Mannan, S. K., Rorden, C., Pambakian, A., Kennard, C., & Husain, M. (2003). The anatomy of visual neglect. *Brain*, 126, 1986–1997.

<https://doi.org/10.1093/brain/awg200>.

Munro Cullum, C., Hynan, L., Grosch, M., Parikh, M., & Weiner, M. (2014).

Teleneuropsychology: Evidence for Video Teleconference-Based Neuropsychological Assessment. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(10), 1028–1033.

<https://doi.org/10.1017/S1355617714000873>

Natale, E., Marzi, C.A., Bricolo, E., Johannsen, L., & Karnath, H.-O. (2007). Abnormally speeded saccades to ipsilesional targets in patients with spatial neglect. *Neuropsychologia*, 45, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.07.008>

Newcombe, N. S. (2018). Three Kinds of Spatial Cognition. In J.T. Wixted (Ed.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience*.

<https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn315>.

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. (2007). Pseudoneglect and neglect for mental alphabet lines. *Brain research*, 1152, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.03.036>

Nicholls, M. E. R., Loftus, A., Meyer, K., & Mattingley, J. B. (2007). Things that go bump in the right: The effect of unimanual activity on rightward collisions. *Neuropsychologia*, 45, 1122–1126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.07.015>

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>

Oliphant, T. E. (2007). Python for Scientific Computing. *Computer Science and Engineering*, 9, 10–20.

Oliveri, M., & Caltagirone, C. (2006). Suppression of extinction with TMS in humans: From healthy controls to patients. *Behavioural Neurology*, 17, 163–167.

<https://doi.org/10.1155/2006/393924>.

Omran, M., Engelbrecht, A., & Salman, A. A. (2007). An overview of clustering methods. *Intelligent Data Analysis*, 11(6), 583–605. <https://doi.org/10.3233/IDA-2007-11602>

Ossandon, J. P., Onat, S., & Koenig, P. (2014). Spatial biases in viewing behavior. *Journal of Vision*, 14, 20–20. <https://doi.org/10.1167/14.2.20>

Palumbo, F., Cerrato, A., Ponticorvo, M., Gigliotta, O., Bartolomeo, P., Miglino, O. (2019). Clustering of behavioral spatial trajectories in neuropsychological assessment. In *SIS 2019-Smart Statistics for Smart Applications*. Pearson: Londra, UK, pp. 463–470.

Parsons, M., Gardner, M., Sherman, J., Pasquariello, K., Grieco, J., Kay, C., et al. (2022). Feasibility and Acceptance of Direct-to-Home Tele-neuropsychology Services during the COVID-19 Pandemic. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 28(2), 210–215.

<https://doi.org/10.1017/S1355617721000436>

Pedroli, E., Serino, S., Cipresso, P., Pallavicini, F., & Riva, G. (2015). Assessment and rehabilitation of neglect using virtual reality: a systematic review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00226>

Pérennou, D.A., Mazibrada, G., Chauvineau, V., Greenwood, R., Rothwell, J., Gresty, M.A. & Bronstein, A.M. (2008). Lateropulsion, pushing and verticality perception in hemisphere stroke: A causal relationship? *Brain*, 131, 2401–2413. <https://doi.org/10.1093/brain/awn170>.

Pérennou, D. A., Piscicelli, C., Barbieri, G. Jaeger, M. Marquer, A. Barra, J. (2014). Measuring verticality perception after stroke: Why and how? *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 44, 25–32. <https://doi.org/10.1016/J.NEUCLI.2013.10.131>

Peskine, A., Urbanski, M., Pradat-Diehl, P., Bartolomeo, P., & Azouvi, P. (2010). Negligenza spaziale unilaterale. *EMC - Neurologia*, 10, 1–14. [https://doi.org/10.1016/s1634-7072\(10\)70492-x](https://doi.org/10.1016/s1634-7072(10)70492-x)

Pizzamiglio, L., Frasca, R., Guariglia, C., Incoccia, C., & Antonucci, G. (1990). Effect of Optokinetic Stimulation in Patients with Visual Neglect. *Cortex*, 26, 535–541. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(13\)80303-6](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(13)80303-6)

Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. Bowhuis (Eds.), *Attention and performance X* (pp. 531–556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M. I., Inhoff, A. W., Friedrich, F. J., & Cohen, A. (1987). Isolating attentional systems: A cognitive-anatomical analysis. *Psychobiology*, 15, 107–121. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03333099>

Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25–42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>

Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the brain. *Science*, 240, 1627–1631. <http://dx.doi.org/10.1126/science.3289116>

Possin, K. L. (2010). Visual spatial cognition in neurodegenerative disease. *Neurocase*, 16(6), 466–487. <https://doi.org/10.1080/13554791003730600>

Rabuffetti, M., Farina, E., Alberoni, M., Pellegatta, D., Appollonio, I., Affanni, P., Forni, M., & 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, e031511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031511>.

Raimo, S., Santangelo, G., & Trojano, L. (2021). The Neural Bases of Drawing. A Meta-analysis and a Systematic Literature Review of Neurofunctional Studies in Healthy Individuals. *Neuropsychology Review*, 1. <https://doi.org/10.1007/s11065-021-09494-4>

Rainville, C., Joubert, S., Felician, O., Chabanne, V., Ceccaldi, M., & Péruch, P. (2005). Wayfinding in familiar and unfamiliar environments in a case of progressive topographical agnosia. *Neurocase*, 11(5), 297–309. <https://doi.org/10.1080/13554790591006069>

Rapcsak, S. Z., Cimino, C. R., & Heilman, K. M. (1988). Altitudinal neglect. *Neurology*, 38, 277–281. <https://doi.org/10.1212/wnl.38.2.277>.

Rasquin, S. M. C., Welter, J. & van Heugten, C. M. (2013) Course of cognitive functioning

during stroke rehabilitation. *Neuropsychological Rehabilitation*, 23(6), 811-823,
<https://doi.org/10.1080/09602011.2013.821950>

Raven, J. C. (1962). *Advanced Progressive Matrices*. London, England: Lewis.

Raven, J. C. (1965). *Guide to Using the Colored Progressive Matrices*. New York: Psychological Corporation.

Redding, G. M., & Wallace, B. (2006). Prism adaptation and unilateral neglect: Review and analysis. *Neuropsychologia*, 44, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.04.009>.

Rengachary, J., d'Avossa, G., Sapir, A., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2009). Is the Posner reaction time test more accurate than clinical tests in detecting left neglect in acute and chronic stroke?. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 90(12), 2081–2088.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.07.014>

Rengachary, J., He, B. J., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2011). A behavioral analysis of spatial neglect and its recovery after stroke. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 29.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00029>

Reuter-Lorenz, P., & Davidson, R. J. (1981). Differential contributions of the two cerebral hemispheres to the perception of happy and sad faces. *Neuropsychologia*, 19(4), 609–613.
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(81\)90030-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(81)90030-0)

Rey, A. (1959). *Le test de copie de figure complexe*. Paris: Editions Psychologique appliquée.

Riva, G., Mancuso, V., Cavedoni, S., & Stramba-Badiale, C. (2020) Virtual reality in neurorehabilitation: a review of its effects on multiple cognitive domains. *Expert Review of Medical Devices*, 17(10), 1035-1061. <https://doi.org/10.1080/17434440.2020.1825939>

Rizzo, M., & Vecera, S. P. (2002). Psychoanatomical substrates of Bálint's syndrome. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 72, 162–178.
<https://doi.org/10.1136/jnnp.72.2.162>

Robertson, I. H., & North, N. (1993). Active and passive activation of left limbs: Influence on visual and sensory neglect. *Neuropsychologia*, 31, 293–300. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(93\)90093-F](https://doi.org/10.1016/0028-3932(93)90093-F)

Robertson, I. H., Hogg, K., & McMillan, T. M. (1998). Rehabilitation of Unilateral Neglect: Improving Function by Contralesional Limb Activation. *Neuropsychological Rehabilitation*, 8(1),

19-29, <https://doi.org/10.1080/713755556>

Rode, G., Charles, N., Perenin, M. T., Vighetto, A., Trillet, M., & Aimard, G. (1992). Partial Remission of Hemiplegia and Somatoparaphrenia Through Vestibular Stimulation in a Case of Unilateral Neglect. *Cortex*, 28, 203–208. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(13\)80048-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(13)80048-2).

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>

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>

Rosenthal, R., & Rosnow, R. L. (1991). *Essentials of behavioral research: Methods and data analysis* (2nd ed). New York: McGraw-Hill.

Rossetti, Y., Rode, G., Pisella, L., Farné, A., Li, L., Boisson, D., et al. (1998). Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature*, 395, 166–169. <https://doi.org/10.1038/25988>

Rossi, S., & Rossini, P. M. (2004). TMS in cognitive plasticity and the potential for rehabilitation. In *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.04.012>

Rounis, E., Yarrow, K., & Rothwell, J. C. (2007). Effects of rTMS conditioning over the fronto-parietal network on motor versus visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 513–524. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.3.513>

Rubens, A. B. (1985). Caloric stimulation and unilateral visual neglect. *Neurology*, 35, 1019–1024. <https://doi.org/10.1212/wnl.35.7.1019>

Saj, A., Honore', J., Davroux, J., Coello, Y., & Rousseaux, M. (2005). Effect of Posture on the Perception of Verticality in Neglect Patients. *Stroke*, 36, 2203–2205. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000182236.73502.19>

Sambo, C. F., & Iannetti, G. D. (2013). Better safe than sorry? The safety margin surrounding the body is increased by anxiety. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(35), 14225–14230. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0706-13.2013>

Sampaio, E., & Chokron, S. (1992). Pseudoneglect and reversed pseudoneglect among left-handers and right-handers. *Neuropsychologia*, 30(9), 797–805. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(92\)90083-x](https://doi.org/10.1016/0028-3932(92)90083-x)

Sapir, A., Kaplan, J. B., He, B. J., & Corbetta, M. (2007). Anatomical correlates of directional hypokinesia in patients with hemispatial neglect. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 27(15), 4045–4051. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0041-07.2007>

Schenkenberg, T., Bradford, D. C., & Ajax, E. T. (1980). Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurological impairment. *Neurology*, 30, 509–517.

Schettler, A., Raja, V., & Anderson, M. L. (2019). The Embodiment of Objects: Review, Analysis, and Future Directions. *Frontiers in neuroscience*, 13, 1332. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01332>

Schubert, T.W. (2005). Your Highness: Vertical Positions as Perceptual Symbols of Power. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89, 1–21. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.89.1.1>

Shaer, O., & Hornecker, E. (2010). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. Now Publishers Inc.

Siéoff, E., Chokron, S., Decaix, C., & Bartolomeo, P. (2007). Impaired orienting of attention in left unilateral neglect: A componential analysis. *Neuropsychology*, 21, 94–113. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.1.94>

Sinwar, D., & Kaushik, R. (2014). Study of Euclidean and Manhattan distance Metrics using Simple K-Means Clustering. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2, 270–274.

Somma, F., Argiulo, A., Cerrato, A., Ponticorvo, M., Mandolesi, L., Miglino, O., Bartolomeo, P., & Gigliotta, O. (2020). Valutazione dello Pseudoneglect Mediante Strumenti Tangibili e Digitali. *Sistemi Intelligenti*, 32(3), 533–549.

Somma, F., Bartolomeo, P., & Gigliotta, O. (2021). E-BTT in primary school-aged children: preliminary results. *CEUR Workshop Proceedings*, 3100.

Somma, F., Bartolomeo, P., Vallone, F., Argiulo, A., Cerrato, A., Miglino, O., Mandolesi, L., Zurlo, M. C., & Gigliotta, O. (2021). Further to the left: Stress-induced increase of spatial pseudoneglect during the covid-19 lockdown. *Frontiers in Psychology*, 12.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.573846>

Sovrano, V. A., Bisazza, A., & Vallortigara, G. (2002). Modularity and spatial reorientation in a simple mind: Encoding of geometric and nongeometric properties of a spatial environment by fish. *Cognition*, 85(2), B51-B59. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(02\)00110-5](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(02)00110-5)

Stiles, J., Akshoomoff, N., & Haist, F. (2013). The Development of visuospatial processing. In J. L. R. Rubenstein & P. Rakic (Eds.), *Comprehensive developmental neuroscience: Neural circuit development and function in the brain* (Vol. 3, pp. 271–296). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-397267-5.00058-3>

Stiles, J., Akshoomoff, N. A., & Haist, F. (2020). The development of visuospatial processing. In *Neural circuit and cognitive development* (pp. 359-393). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814411-4.00017-2>

Stracciari, A., Lorusso, S., & Pazzaglia, P. (1994). Transient topographical amnesia. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 57(11), 1423. <https://doi.org/10.1136/jnnp.57.11.1423>

Strappini, F., Galati, G., Pecchinenda, A. A. (2021). Systematic Review on the Interaction between Emotion and Pseudoneglect. *Symmetry*, 13, 1531. <https://doi.org/10.3390/sym13081531>

Takamura, Y., Imanishi, M., Osaka, M., Ohmatsu, S., Tominaga, T., Yamanaka, K., et al. (2016). Intentional gaze shift to neglected space: a compensatory strategy during recovery after unilateral spatial neglect. *Brain*, 139(11), 2970–2982. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/aww226>

Ten Brink, A. F., Biesbroek, J. M., Kuijf, H. J., Van der Stigchel, S., Oort, Q., Visser-Meily, J. M. A., Nijboer, T. C.W. (2016). The right hemisphere is dominant in organization of visual search—A study in stroke patients. *Behavioural Brain Research*, 304, 71-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2016.02.004>

Ten Brink, A. F., Van der Stigchel, S., Visser-Meily, J.M.A., & Nijboer, T.C.W. (2016). You never know where you are going until you know where you have been: Disorganized search after stroke. *Journal of Neuropsychology*, 10, 256–275. <https://doi.org/10.1111/jnp.12068>

Ten Brink, A. F. T., Verwer, J. H., Biesbroek, J. M., Visser-Meily, J. M. A., & Nijboer, T. C. W. (2017). Differences between left- and right-sided neglect revisited: A large cohort study across multiple domains. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 39, 707-723. <https://doi.org/10.1080/13803395.2016.1262333>

Ten Brink, A. F., 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>

Tham, K., Ginsburg, E., Fisher, A. G., & Tegnér, R. (2001). Training to improve awareness of disabilities in clients with unilateral neglect. *American Journal of Occupational Therapy*, 55(1), 46-54. <http://dx.doi.org/10.5014/ajot.55.1.46>

Tham, K. & Tegnér, R. (1996). The baking tray task: A test of spatial neglect. *Neuropsycholog Rehabil* 6: 19–26. <https://doi.org/10.1080/713755496>

Tham, K., & Tegnér, R. (1997). Video feedback in the rehabilitation of patients with unilateral neglect. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78(4), 410-413. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(97\)90234-3](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(97)90234-3)

Thiebaut De Schotten, M., Dell'Acqua, F., Forkel, S. J., Simmons, A., Vergani, F., Murphy, D. G. M., et al. (2011). A lateralized brain network for visuospatial attention. In *Nature Neuroscience*, 14, 1245–1246. <https://doi.org/10.1038/nn.2905>

Thiebaut De Schotten, M., Urbanski, M., Duffau, H., Volle, E., Lévy, R., Dubois, B., et al. (2005). Direct evidence for a parietal-frontal pathway subserving spatial awareness in humans. *Science*, 309, 2226–2228. <https://doi.org/10.1126/science.1116251>

Trojano, L. (2020). Constructional apraxia from the roots up: Kleist, Strauss, and their contemporaries. *Neurological Sciences*, 14, 981–988. <https://doi.org/10.1007/s10072-019-04186-7>

Tsirlin, I., Dupierri, E., Chokron, S., Coquillart, S., & Ohlmann, T. (2009). Uses of virtual reality for diagnosis, rehabilitation and study of unilateral spatial neglect: review and analysis. *Cyberpsychology & behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, 12(2), 175–181. <https://doi.org/10.1089/cpb.2008.0208>

Urbanski, M., Angeli, V., Boursillon, C., Cristinzio, C., Ponticorvo, M., Rastelli, F., et al. (2007). Unilateral spatial neglect: A dramatic but often neglected consequence of right hemisphere damage. *Revue Neurologique*, 163, 305–322. [https://doi.org/10.1016/s0035-3787\(07\)90403-8](https://doi.org/10.1016/s0035-3787(07)90403-8)

Utz, K.S., Keller, I., Artinger, F., Stumpf, O., Funk, J., & Kerkhoff, G. (2011). Multimodal and multispatial deficits of verticality perception in hemispatial neglect. *Neuroscience*, 188, 68–79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2011.04.068>

Vallar, G., & Maravita, A. (2009). Personal and Extrapersonal Spatial Perception. In G.G.

Berntson & J.T. Cacioppo (Eds), *Handbook of Neuroscience for the Behavioral Sciences*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470478509.neubb001016>

Vallar, G., & Papagno, C. (2011). *Manuale di Neuropsicologia*. Bologna: Il Mulino.

Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2011). *Python Language reference Manual*. Bristol, UK: Network Theory Ltd.

Vossel, S., Geng, J. J., & Fink, G. R. (2014). Dorsal and ventral attention systems: Distinct neural circuits but collaborative roles. *Neuroscientist*, 20, 150–159.
<https://doi.org/10.1177/1073858413494269>

Wang, T.-Y., Huang, H.-C., & Huang, H.-S. (2006). Design and implementation of cancellation tasks for visual search strategies and visual attention in school children. *Computers & Education*, 47, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2004.08.012>

Warren, M., Moore, J.M., & Vogle, L.K. (2008). Search performance of healthy adults on cancellation tests. *American Journal of Occupational Therapy*, 62, 588–594.
<https://doi.org/10.5014/ajot.62.5.588>.

Watson, R. T., & Heilman, K. M. (1979). Thalamic neglect. *Neurology*, 29, 690–694.
<https://doi.org/10.1212/wnl.29.5.690>

Weinberg, J., Diller, L., Gordon, W. A., Gerstman, L. J., Lieberman, A., Lakin, P., et al. (1977). Visual scanning training effect on reading-related tasks in acquired right brain damage. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 58, 479–486.

Weintraub, S. & Mesulam, M.M. (1988). Visual hemispatial inattention: Stimulus parameters and exploratory strategies. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 51, 1481–1488.
<https://doi.org/10.1136/jnnp.51.12.1481>.

Weintraub, S., Wicklund, A. H., & Salmon, D. P. (2012). The neuropsychological profile of Alzheimer disease. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 2(4), a006171.
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a006171>

Weisberg, S. M., & Newcombe, N. S. (2016). How do (some) people make a cognitive map? Routes, places, and working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42, 768–785. <https://doi.org/10.1037/xlm0000200>

Weisberg, S. M., & Newcombe, N. S. (2018). Cognitive Maps: Some people make them,

some people struggle. *Current Directions in Psychological Science*, 27(4) 220–226.

<https://doi.org/10.1177/0963721417744521>

Weisberg, S. M., Schinazi, V. R., Newcombe, N. S., Shipley, T. F., & Epstein, R. A. (2014). Variations in cognitive maps: Understanding individual differences in navigation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40, 669–682.

<http://dx.doi.org/10.1037/a0035261>

Wilson, B., Cockburn, J., & Halligan, P. (1987). Development of a behavioral test of visuospatial neglect. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 68, 98–101.

Wilson, F. C., & Manly, T. (2003) Sustained attention training and errorless learning facilitates self-care functioning in chronic ipsilesional neglect following severe traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 13(5), 537-548.

<https://doi.org/10.1080/09602010343000200>

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>

Woods, A.J., & Mark, V.W. (2007). Convergent validity of executive organization measures on cancellation. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 29, 719–723.

<https://doi.org/10.1080/13825580600954264>

Zappullo, I., Conson, M., Zoccolotti, P., Trojano, L., & Senese, V. P. (2021). “Building blocks and drawing figures is not the same”: Neuropsychological bases of block design and Rey figure drawing in typically developing children. *Child Neuropsychology*, 27(3), 371-389.

<https://doi.org/10.1080/09297049.2020.1862075>

Zoccolotti, P., Antonucci, G., & Judica, A. (1992). Psychometric characteristics of two semi-structured scales for the Functional Evaluation of Hemi-inattention in Extrapersonal and Personal Space. *Neuropsychological Rehabilitation*, 2, 179–191.

<http://dx.doi.org/10.1080/09602019208401407>

Zwack, W.R., & Velicer, W.F. (1986). Comparison of five rules for determining the number of components to retain. *Psychological Bulletin*, 99, 432–442. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.99.3.432>

Appendice A

Script per il calcolo degli indici

```
import os

import csv

import pandas as pd

import statistics

from scipy.spatial import distance

from datetime import datetime

import numpy as np

from scipy import stats

from shapely.geometry import LineString, shape

import matplotlib.pyplot as plt

from sklearn.linear_model import LinearRegression


os.chdir('C:/Users/Tonia/Dropbox/Dottorato/BTT/DATI/Dati esperimento0220/btput/divisi')

filename='C:/Users/Tonia/Dropbox/Dottorato/BTT/DATI/Dati
esperimento0220/btput/divisi/btputN62004165.csv'

sogg= pd.read_table(filename, sep=',')

#print(sogg)

nome=sogg.iloc[0,0]

print(nome)

"x=sogg.iloc[0,0] #prende la prima riga e la prima colonna>prima cella

print(x)
```

```
y=sogg.iloc[0,1] #prende la prima riga e la seconda colonna
```

```
print(y)
```

```
z=sogg.iloc[0,2]
```

```
print(z)"""
```

```
#codice firstX
```

```
firstX=sogg.iloc[0,2]
```

```
print('firstX =',firstX)
```

```
#codice firstY
```

```
firstY=sogg.iloc[0,3]
```

```
print('firstY =',firstY)
```

```
#codice R-L difference
```

```
count=0
```

```
count2=0
```

```
for r in range (0,16):
```

```
    x=sogg.iloc[r,2]
```

```
    if x<0:
```

```
        count=count+1
```

```
    else:
```

```
        count2=count2+1
```

```
rldifference=count2-count
```

```
print('R-L difference =', rldifference)
```

```

"""if count+count2==16:

    print('ok')

else:

    print('asp')"""

#codice U-D difference

count3=0

count4=0

for r in range (0,16):

    y=sogg.iloc[r,3]

    if y<0:

        count3=count3+1

    else:

        count4=count4+1

uddifference=count4-count3

print('U-D difference =', uddifference)

"""if count3+count4==16:

    print('ok')

else:

    print('asp')"""

#codice Laterality Bias

destra=0

```

```

sinistra=0

centro=0

for r in range (0,16):

    x=sogg.iloc[r,2]

    if x<=-10:

        sinistra=sinistra+1

    elif x>=10:

        destra=destra+1

    else:

        centro=centro+1


lb=((destra-sinistra)/(destra+sinistra+centro))*100

print('Laterality Bias =', lb)


"""print(destra)

print (sinistra)

print (centro)

if destra+sinistra+centro==16:

    print('ok')

else:

    print('asp')"""


#code for Verticality Bias

up=0

```

```

down=0

centre=0

for r in range (0,16):

    y=sogg.iloc[r,3]

    if y<=-7.5:

        down=down+1

    elif y>=7.5:

        up=up+1

    else:

        centre=centre+1


vb=((up-down)/(up+down+centre))*100

print('Verticality Bias = ', vb)

"""print(up)

print(down)

print(centre)

if up+down+centre==16:

    print ('ok')

else:

    print('asp')"""


#Code for MEAN X

l=[]

for r in range (0,16):

    x=sogg.iloc[r,2]

```

```
l.append(x)
```

```
MeanX=statistics.mean (l)
```

```
print('MeanX =',MeanX)
```

```
"""print(l)"""
```

```
#Code for MEAN Y
```

```
m=[]
```

```
for r in range (0,16):
```

```
    y=sogg.iloc[r,3]
```

```
    m.append(y)
```

```
MeanY=statistics.mean(m)
```

```
print('MeanY =', MeanY)
```

```
#Code for WD
```

```
def distintra (a,b): #per comodità ora definiziamo la funzione
```

```
    c=0
```

```
    somma=0
```

```
    while c<15:
```

```
        dist=distance.euclidean([a[c],b[c]], [a[c+1],b[c+1]])
```

```

        somma=somma+dist

        c=c+1

    return(somma)


x1=sogg['x'].tolist()
y1=sogg['y'].tolist()

wd=distintra(x1,y1)

print("WD =", wd)


#Code for Total Time


start=sogg.iloc[0,4]

finish=sogg.iloc[15,4]

#print(start, finish)

start2=start[11:24]

finish2=finish[11:24]

#print(start2)


dt_obj = datetime.strptime(start2,

                            '%H:%M:%S.%f') #trasforma in data la stringa

dt_obj2=datetime.strptime(finish2,

                           '%H:%M:%S.%f')

total_time=dt_obj2-dt_obj #sottrae i due tempi

time=total_time.total_seconds() #converte in secondi

print("Total time =", time)

```

```
#Code for R_X
```

```
order=np.arange(1,17).tolist()
```

```
#print(order)
```

```
rx=stats.pearsonr(x1, order)
```

```
rx=rx[0] #x1 è la lista delle coordinate presa dal codice per WD
```

```
print('R_X =', rx)
```

```
#Code for R_Y
```

```
ry=stats.pearsonr(y1,order)
```

```
ry=ry[0]
```

```
print('R_Y =', ry)
```

```
#Code for Best R
```

```
if abs(rx)>abs(ry):
```

```
    bestr=rx
```

```
    print ('Best R =', bestr)
```

```
else:
```

```
    bestr=ry
```

```
    print ('Best R =', bestr)
```

```
#code for global speed
```

```

glob_speed=wd/time

print('Global speed =', glob_speed)


#code for numb intersection


class Punto:

    def __init__(self, x, y):

        self.x = x

        self.y = y

lst=[]

for r in range(0,16):

    x=sogg.iloc[r, 2]

    y=sogg.iloc[r, 3]

    punto=Punto(x,y)

    lst.append(punto)

linee=[]

for i in range (len(lst)-1):

    #linea=Linea(lst[i],lst[i+1])

    #print(lst[i].x)

    linea = LineString([(lst[i].x, lst[i].y), (lst[i+1].x, lst[i+1].y)])

    linee.append(linea)

count = 0

max = 0

for i in range(len(linee)):

    linea= linee[i]

```

```

for j in range(i+2, len(linee)):

    l2 = linee[j]

    #ris=line_intersection(linea, l2)

    coordsLinea1 = list(shape(linea).coords)

    coordsLinea2 = list(shape(l2).coords)

    if coordsLinea1[0]!=coordsLinea2[0] and coordsLinea1[1]!=coordsLinea2[0]:

        ris = linea.intersection(l2)

        if ris:

            count=count+1


print("Number of intersection =", count)


#code for intersection rate


count1=count/15


print('Intersection rate =', count1)


#code for longest path

lst=[]

for r in range(0,16):

    x=sogg.iloc[r, 2]

    y=sogg.iloc[r, 3]

    punto=Punto(x,y)

    lst.append(punto)

linee=[]

```

```

for i in range (len(lst)-1):

    linea = LineString([(lst[i].x, lst[i].y), (lst[i+1].x, lst[i+1].y)])

    linee.append(linea)


count = -1

max = 0

#flag=False

listalinee=[]

for i in range(len(linee)):

    linea= linee[i]

    for j in range(i+2, len(linee)):

        l2 = linee[j]

        coordsLinea1 = list(shape(linea).coords)

        coordsLinea2 = list(shape(l2).coords)

        "if coordsLinea1[0]!=coordsLinea2[0] and coordsLinea1[1]!=coordsLinea2[0]:

            ris = linea.intersection(l2)

            if ris:

                x=list(ris.coords)[0][0]

                y=list(ris.coords)[0][1]

                #print(x)

                index=df_results.shape[0]

                df_results.loc[index]=[ii+1,x,y]

                listalinee.append((i+1,j+1))

                flag=True"

```

```

ris = linea.intersection(l2)

if ris:

    x=list(ris.coords)[0][0]

    y=list(ris.coords)[0][1]

    listalineee.append((i+1,j+1))


for z in range(1, 17):

    flag = False

    for element in listalineee:

        if z in element:

            flag = True

            break

    if not flag:

        count += 1

    if flag or z == 16:

        if count > max:

            max = count

        count = -1

        flag = False


print('Longest path =',max)


#code for Optimal sequence 1 BD


filename='C:/Users/Tonia/Dropbox/Dottorato/BTT/DATI/Dati esperimento0220/btput/divisi/sim_fam1.csv'

```

```

os1= pd.read_table(filename, sep=';')

x2=os1['x'].tolist()

y2=os1['y'].tolist()


c=0

somma=0

while c<16:

    dist=distance.euclidean([x1[c],y1[c]], [x2[c],y2[c]])

    somma=somma+dist

    c=c+1


print('OS1_BD=',somma)


#code for Optimal sequence 2 BD

filename='C:/Users/Tonia/Dropbox/Dottorato/BTT/DATI/Dati esperimento0220/btput/divisi/sim_fam2.csv'

os2= pd.read_table(filename, sep=';')

x3=os2['x'].tolist()

y3=os2['y'].tolist()

c=0

somma2=0

while c<16:

    dist=distance.euclidean([x1[c],y1[c]], [x3[c],y3[c]])

    somma2=somma2+dist

    c=c+1


print('OS2_BD=',somma2)

```

```
#code for plot
```

```
fig, ax = plt.subplots()
```

```
plt.plot(x1, y1, '.k:')
```

```
for i, txt in enumerate(order):
```

```
    ax.annotate(txt, (x1[i], y1[i]))
```

```
plt.xlim(-30,30)
```

```
plt.ylim(-22.5,22.5)
```

```
name='plot'+nome+'.png'
```

```
plt.savefig('C:/Users/Tonia/Dropbox/Dottorato/BTT/ANALISI/'+name)
```

```
#code for Distance Lateral Gradient
```

```
lst2=[]
```

```
c=0
```

```
while c<15:
```

```
    dist=distance.euclidean([x1[c],y1[c]], [x1[c+1],y1[c+1]])
```

```
    lst2.append(dist)
```

```
    c=c+1
```

```
del x1[0]
```

```
regX=np.array(x1).reshape((-1,1))
```

```
regY=np.array(lst2)
```

```
reg = LinearRegression().fit(regX, regY)
```

```
slope=reg.coef_

dlg=slope.tolist()

Dlg=dlg[0]

print('Distance Lateral Gradient =',Dlg

)
```

```
#code for Distance Vertical Gradient
```

```
del y1[0]

regX2=np.array(y1).reshape((-1,1))

regY2=np.array(lst2)

reg = LinearRegression().fit(regX2, regY2)

slope=reg.coef_

dvg=slope.tolist()

Dvg=dvg[0]

print('Distance Vertical Gradient =',Dvg

)
```

```
#code for file
```

```
lst=[nome,firstX,firstY,rldifference,uddifference,lb,vb,MeanX,MeanY,wd,time,rx,ry,bestr,glob_speed,count,cou
nt1,max,somma, somma2,Dlg, Dvg]
```

```
col=['Matricola','firstX', 'firstY', 'R-L difference','U-D difference','Laterality Bias', 'Verticality Bias', 'MeanX',
'MeanY', 'WD', 'Total time', 'R_X', 'R_Y', 'Best R', 'Global speed', 'Number of intersection', 'Intersection rate','Longest
path','OS1_BD', 'OS2_BD', 'Distance Lateral Gradient', 'Distance Vertical Gradient']
```

```
df=pd.DataFrame([lst],columns=col)
```

```
df.to_csv('~/.Dropbox/Dottorato/BTT/ANALISI/Indici_'+nome+'.csv', index=False, mode='w')
```

Appendice B

Altri disturbi visuo-spaziali

L'emeinellenza spaziale è di gran lunga il disturbo più invalidante e frequente dopo lesione destra, ma vale la pena però nominare, nell'ambito dei disturbi visuo-spaziali: **l'aprassia costruttiva**, la **sindrome di Balint** e il **disorientamento topografico**.

L'*aprassia costruttiva* è un disturbo caratterizzato da difficoltà nel disegno bidimensionale e in generale nelle attività di costruzione tridimensionale (Trojano, 2020; Vallar & Papagno, 2011). Le capacità costruttive vengono generalmente valutate tramite test carta-e-matita, quali il disegno su copia di un modello o spontaneo. Si tratta di un'attività più complessa di quanto possa sembrare, in quanto chiama in causa diverse e complesse funzioni cognitive, quali la capacità di elaborare integrare le forme e la programmazione motoria. Per questo motivo, le capacità costruttive sono basate su diffuse e complesse reti neurali, che si estendono in entrambi gli emisferi. Una recente meta-analisi (Raimo, Santangelo & Trojano, 2021) ha evidenziato come nelle abilità di disegno siano fondamentali il lobo parietale inferiore e il circuito fronto-parietale, soprattutto sinistri.

La *sindrome di Balint*, che prende il nome dal medico che per primo la descrisse, è una rara sindrome che comprende difficoltà visive e spaziali. Nelle sue prime osservazioni, la sindrome era caratterizzata da tre specifici deficit (Moreaud, 2003): "*disturbo spaziale dell'attenzione*" (l'incapacità di percepire ed essere consapevoli di più di un oggetto alla volta nel campo visivo o *simultaneoagnosia*), *atassia ottica* (disturbo della coordinazione motoria guidata dalle informazioni visive), "*paralisi psichica dello sguardo*" (incapacità di muovere volontariamente gli occhi verso gli oggetti di interesse *aprassia dello sguardo*). Il neurologo Holmes aggiunse in seguito un deficit della stima delle distanze e della percezione della profondità, per cui nel complesso si parla di **sindrome di Balint-Holmes**. In questa sindrome in generale sono cruciali lesioni parieto-occipitali simmetriche, spesso causate da eventi vascolari. Tenendo presente che si tratta di una sindrome molto rara e ancora poco studiata nel suo complesso, secondo alcuni autori non incontra tutti i criteri necessari per essere definita come sindrome vera e propria (Rizzo & Vecera, 2002).

Il *disorientamento topografico*, infine, consiste nella difficoltà nel riuscire a orientarsi correttamente in un percorso familiare e risulta ancora più grave nella navigazione in percorsi nuovi

(Farrell, 1996). In quest'ambito, un'ulteriore distinzione è stata operata tra la difficoltà a riconoscere i landmark significativi nei percorsi, o *agnosia topografica* (Rainville, Joubert, Felician, Chabanne, Ceccaldi, & Péruch, 2005), e l'incapacità di orientarsi in ambienti familiari pur riconoscendo i punti cardine intorno a loro, o *amnesia topografica* (Stracciari, Lorusso, & Pazzaglia, 1994). Le lesioni cerebrali associate a questi deficit sono soprattutto destre o bilaterali; in particolare, si parla di regioni parietali posteriori, cingolato posteriore, giro linguale e paraippocampo (Aguirre & D'Esposito, 1999).

La borsa di dottorato è stata finanziata con le risorse del
Programma Operativo Complementare Ricerca e Innovazione 2014-2020,
Azione I.1 "Dottorati Innovativi con caratterizzazione industriale"



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo



*Ministero dell'Università
e della Ricerca*



RICERCA E INNOVAZIONE
2 0 1 4 - 2 0 2 0