

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



Tesi di Dottorato

Corso di Dottorato in Mind, Gender and Language

XXXII Ciclo

- Borsa di dottorato innovativo a caratterizzazione industriale -

Innovative Methodologies and Technologies for Training and Assessment of Cognitive Functions Based on Peripersonal Visuospatial Behaviors

Candidato

Antonio Cerrato

Tutor interno – Università degli Studi di Napoli Federico II

prof. Orazio Miglino

Tutor estero – ICM (Brain & Spine Institute) Sorbonne Université

prof. Paolo Bartolomeo

Tutor aziendale – Walden Technology

prof. Carlo Ricci

Coordinatore del Dottorato

Prof. Dario Bacchini

Anno Accademico 2018/2019



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Indice

Indice	1
Riassunto	6
<i>Abstract</i>	8
Descrizione generale del lavoro	10
– PARTE 1 –ANALISI DELLA LETTERATURA E STATO DELL’ARTE SULLA VALUTAZIONE DELLE FUNZIONI COGNITIVE E DELLA COGNIZIONE VISUOSPAZIALE	18
1.1 Introduzione.....	19
1.2 La valutazione delle funzioni cognitive	21
1.2.1 Valutare processi cognitivi e correlati fisiologici: il caso della neuropsicologia.....	21
1.2.2 La valutazione psicodiagnostica: alcuni strumenti	24
1.2.3 L’evoluzione della psicodiagnostica dal cartaceo al digitale.....	27
1.3 La cognizione visuospatiale.....	31
1.3.1 Basi neurobiologiche della cognizione visuospatiale	35
1.3.2 Valutazione neuropsicologica della cognizione visuospatiale.....	38

1.4. La Negligenza Spaziale Unilaterale	42
1.4.1 Valutare la Negligenza Spaziale Unilaterale.....	44
1.4.2 Il Baking Tray Task	45
1.4.3 Gli utilizzi del Baking Tray Task in letteratura.....	48
– PARTE 2 –IDEAZIONE E PROGETTAZIONE DEL PROTOTIPO PER LA	
VALUTAZIONE DEI COMPORTAMENTI VISUOSPAZIALI PERIPERSONALI	
.....	57
2.1 Introduzione.....	58
2.2 Prototipazione di una piattaforma per la valutazione delle	
abilità e dei comportamenti visuospatiali.....	60
2.2.1 Realtà aumentata ed Interfacce tangibili.....	60
2.2.2 ArUco Markers.....	64
2.2.3 Fase di ideazione: E-BTT	67
2.2.4 Prima versione del prototipo : BTT-SCAN	70

– PARTE 3 –REALIZZAZIONE E PRIMO UTILIZZO DELLA VERSIONE DEFINITIVA DEL PROTOTIPO IN UNO STUDIO ESPLORATIVO	75
3.1 Introduzione.....	76
3.2 E-TOKEN: una piattaforma per la valutazione dei comportamenti visuospatiali.....	78
3.3 E-TOKEN: Studio esplorativo.....	87
3.3.1 Partecipanti, materiali e procedura	87
3.3.2 Analisi Dei Dati.....	90
3.3.2.1 Analisi del campione normotipico: posizionamento del primo e dell'ultimo dischetto.....	91
3.3.2.2 Analisi del campione normotipico: clusterizzazione e analisi delle traiettorie spaziali.....	95
3.3.2.3 Analisi del campione clinico	100
3.3.2.4 Analisi dello spazio occupato dalla disposizione dei dischetti.....	102
3.3.3 Discussione.....	108

Conclusioni e direzioni future.....	111
Bibliografia	119
Allegato 1: E-token - Manuale di Istruzioni.....	136

*A Valeria, a Giulio, a Silvia, ad Antonio e a tutti coloro
che con fatica e dedizione avanzano tra i mille
inciampi del percorso che conduce alle loro passioni.*

Rialzarsi sempre, che alla fine ne sarà valsa la pena.

Riassunto

La tesi ha come obiettivo l'illustrazione di un prototipo da adottare nel campo della valutazione (neuro)psicologica delle funzioni cognitive, in particolare delle abilità visuospatiali. Quest'ultime rappresentano quelle capacità che ci permettono di interagire all'interno dell'ambiente circostante, acquisendo informazioni circa le relazioni spaziali degli oggetti e degli stimoli con cui veniamo a contatto e consentendoci un corretto orientamento tra luoghi e percorsi più o meno noti.

I deficit della cognizione spaziale possono avere delle ricadute drammatiche nella vita delle persone, come nel caso della negligenza spaziale unilaterale (NSU), un disturbo della lateralizzazione spaziale, dovuto a lesioni posteriori dell'emisfero destro, che rende impossibile la percezione e l'elaborazione degli stimoli collocati nell'emicampo sinistro.

Per un corretto assessment dei disturbi visuospatiali, spesso ci si avvale di paradigmi diagnostici basati sulla somministrazione di classici test psicologici *carta e matita*, ovvero quegli strumenti cartacei che, pur contando su una comprovata popolarità tra i clinici, presentano alcuni punti deboli come i lunghi tempi di somministrazione, la quasi assenza di forme parallele e la scarsa generalizzazione a situazioni reali.

Un'alternativa ai tradizionali strumenti cartacei è rappresentata dai cosiddetti test *ecologici*, chiamati tali per la loro intrinseca rassomiglianza ad esperienze di vita quotidiana, i quali spesso richiedono ai partecipanti di interagire con gli oggetti fisici. Un esempio è rappresentato dal *Baking Tray Task* (BTT), un compito per valutare la presenza di NSU in cui viene chiesto ai partecipanti di *cimentarsi in un'attività domestica*, ovvero di disporre 16 oggetti all'interno di una superficie "come se fossero dei biscotti da mettere su una teglia da forno".

Sulla base di quanto descritto, il lavoro di ricerca ha portato alla creazione di E-TOKEN, uno strumento che tramite l'utilizzo di interfacce tangibili (oggetti fisici da manipolare) e un sistema di realtà aumentata, consente la somministrazione di compiti atti ad indagare la cognizione visuospatiali delle persone, tra cui il BTT.

Proprio il BTT é stato riproposto tramite l'utilizzo di E-TOKEN, il quale, grazie alla propria tecnologia, riesce a cogliere aspetti della performance dei partecipanti (come le coordinate spaziali degli oggetti disposti e la loro sequenza di posizionamento) precedentemente non rilevabili. Tutto ciò permette di ottenere nuovi tipi di dati utili a sviluppare misure ed indici statistici in grado di rendere la diagnosi più informativa, potendo cogliere aspetti clinicamente interessanti.

Tramite E-TOKEN sono stati raccolti i dati di 115 partecipanti sani e di 9 pazienti con lesione emisferica destra grazie i quali sono state proposte nuove statistiche con cui procedere all'interpretazione diagnostica della performance.

Alcuni sviluppi futuri del prototipo riguardano la possibilità di ricreare nuovi tipi di compiti per l'assessment, il training e la riabilitazione della cognizione spaziale (e non solo) degli individui, estendere il target di applicazione ed integrare un modulo di analisi automatizzata dei dati immediatamente disponibile per i clinici.

Parole chiave: funzioni cognitive, cognizione visuospaziale, valutazione psicologica, interfacce tangibili, realtà aumentata

Abstract

This thesis aims to illustrate a prototype for the assessment of cognitive functions, in particular visuospatial skills. Visuospatial skills allow us to interact within the surrounding environment, acquiring information about the spatial relationships of the objects and permitting us to correctly orientate ourselves between more-or-less known places and paths.

Spatial cognition deficits can have dramatic repercussions in people's lives, such as in the case of Unilateral Spatial Neglect (USN), a spatial lateralization disorder due to posterior lesions of the right hemisphere, which alters the perception and the processing of stimuli placed in the left hemispace.

For a correct assessment of visuospatial disorders, psychologists often make use of diagnostic procedures based on the administration of classic psychological paper-and-pencil tests, that are those paper-based instruments that, whilst counting on a proven popularity among clinicians, they have some weak points such as long administration time, the lack of parallel forms and the poor generalization to real-life scenarios.

An alternative to traditional paper-and-pencil tests is represented by ecological tests, so called for their intrinsic resemblance to daily-life experiences, which often require participants to interact with physical objects. An example is the Baking Tray Task (BTT), a task to assess the presence of USN, in which participants are asked to test their "cooking skills", placing 16 objects on a surface "as if they were buns/cookies to put on a baking tray".

In line with what has been just described, the current work has led to the creation of E-TOKEN, a platform that allows the administration of tasks (BTT included) designed to investigate the visuospatial cognition of people, through the use of tangible interfaces (concrete objects to manipulate) and an augmented reality system.

The BTT has been reproposed through E-TOKEN, which, thanks to its technology, is able to capture aspects of the performance of the participants (such as the spatial coordinates of the objects arranged on the surface and their positioning sequence)

previously undetectable. These characteristics allow to acquire new types of data useful to develop statistical measures and indexes capable of making the diagnosis more informative and to grasp clinically interesting aspects.

Through E-TOKEN, the data of 115 healthy participants and 9 patients with right hemispherical lesion were collected and used to create new statistics to enrich the diagnostic interpretation of the performance.

Some future developments of the prototype concern the possibility of recreating new types of tasks for the assessment, training and rehabilitation of spatial cognition skills (and other cognitive functions) of individuals, extending the audience and integrating an automated data analysis module immediately available for clinicians.

Key words: *cognitive functions, visuospatial cognition, psychological assessment, tangible user interface, augmented reality*

Descrizione generale del lavoro

La presente tesi, innestata all'interno del programma dei Dottorati di ricerca innovativi con caratterizzazione industriale (Programma Operativo Nazionale Ricerca e Innovazione 2014-2020), giunge al termine di un percorso triennale che ha previsto la collaborazione di tre enti:

- ☉ Il laboratorio di cognizione naturale e artificiale (NAC) del dipartimento di Studi Umanistici dell'Università degli studi di Napoli Federico II (Supervisore: professore Orazio Miglino);
- ☉ Il PICNIC Lab dell'*Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM – Brain & Spine Institute)* di Parigi, afferente all'Istituto Nazionale Francese per la Salute e la Ricerca Medica (INSERM), al polo ospedaliero *Pitié-Salpêtrière* e al gruppo universitario *Sorbonne Université* (Supervisore: professor Paolo Bartolomeo);
- ☉ La Walden Technology, spin-off tecnologico dell'Istituto Walden (Laboratorio di Scienze Comportamentali) di Roma (Supervisore: professor Carlo Ricci).

L'attività di ricerca sviluppatasi in questi tre anni ha visto l'ideazione, la progettazione e la realizzazione di un prototipo di uno strumento psicodiagnostico (ovvero di una piattaforma di assessment per la valutazione di funzione cognitive e neurocognitive normali e patologiche) basato sulla digitalizzazione e sull'utilizzo delle *interfacce tangibili*, in maniera tale da presentare un prodotto affidabile e robusto nel settore della valutazione diagnostica potenziata dalla tecnologia.

Il percorso di dottorato si è sviluppato tenendo conto delle linee strategiche individuate nella Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI), in particolar modo della traiettoria di sviluppo tecnologica a priorità nazionale per la salute, l'alimentazione e qualità della vita, con riferimento al settore di E-health, diagnostica avanzata e medical devices con mininvasività.

Gli strumenti psicodiagnostici, generalmente, rappresentano una nicchia di mercato altamente specializzata ma di sicuro rilievo. Infatti, considerando solo l'ambito

italiano, essi sono correntemente adoperati dagli oltre centomila psicologi italiani e dalla maggior parte degli psichiatri e neuropsichiatri in un ampio spettro delle loro attività professionali (psicologia del lavoro, psicologia giuridica, psicologia scolastica, psicologia clinica, neuropsicologia, ecc.). Con l'aiuto di un'equipe altamente disciplinare, costituita da psicologi, neuropsicologi ed informatici, e, messa in collaborazione dai tre enti partner del progetto di dottorato, il lavoro di ricerca triennale ha avuto l'ambizione di proporre uno strumento di nuova generazione tale da non rappresentare solamente un miglioramento incrementale degli attuali prodotti ma un vero e proprio nuovo paradigma per la progettazione e la realizzazione dei test psicodiagnostici che ha visto la stretta intersezione tra ricerca propriamente psicologica di base e innovazione prettamente tecnologica (tenendo a mente uno dei criteri del SNSI relativo alla "valorizzazione e diffusione dei risultati della ricerca, favorendone la loro applicazione industriale").

Considerando ciò, il progetto di dottorato, ed il presente elaborato finale, hanno avuto come obiettivo la presentazione di nuovo strumento da poter adottare nell'ambito dell'assessment e della valutazione psicologica a supporto di attività di potenziamento e training cognitivo, di diagnostica e di riabilitazione.

Tradizionalmente, la formale valutazione psicologica consiste nel somministrare alla persona di cui si stimano abilità, funzioni cognitive e benessere psicofisico, lunghi e noiosi test "*carta e matita*". Questo assunto coinvolge, oltre all'ambito propriamente della psicologia classica, anche le valutazioni diagnostiche effettuate in ambito neuropsicologico/riabilitativo e educativo (relative allo sviluppo e all'apprendimento). Di conseguenza, i "valutati" (adulti e non) si trovano a dover affrontare sessioni di valutazione delle proprie funzioni cognitive (spesso composte da batterie di differenti test a cui rispondere), la cui lunghezza e difficoltà di somministrazione incidono sulla performance stessa da valutare.

Procedere alla diagnosi in questa maniera risulta dispendioso, in termini di energia e di tempo impiegato, sia per la persona sottoposta ai test che per l'esaminatore stesso. Quest'ultimo è ovviamente indispensabile al momento della somministrazione del test, della valutazione della performance e dell'interpretazione dei risultati. È ormai noto che le batterie di test adottate mettono

a dura prova i partecipanti, i quali, una volta che vi si sono sottoposti, spesso non completano il test o rispondono in maniera incorretta a causa della stanchezza (Appelros, 2004).

Un possibile superamento di questo problema è rappresentato dall'adozione di nuove tecnologie, tra le quali anche quelle digitali, che hanno infatti aperto a nuove opportunità per i test psicologici, permettendo l'uso di strumenti computerizzati volti a sostituire e/o integrare i vecchi test "*carta e matita*".

Test computerizzati sono stati utilizzati (in ambito applicativo e di ricerca) sin dal 1970; la digitalizzazione e/o computerizzazione comporta però alcuni problemi, principalmente collegati al fatto che, nonostante siano introdotti continuamente nuovi test computerizzati e nuove batterie digitali ogni anno, non ci sono abbastanza dati normativi e sufficienti misure psicologiche standardizzate. Diversamente da ciò, i test classici sono ampiamente approvati e adottati, in virtù della loro alta affidabilità e validità.

Nonostante i vantaggi della testistica classica, questa comporta alcune limitazioni: ad esempio i test solitamente adottati non presentano forme alternative di somministrazione, di conseguenza risulta impossibile ripetere la valutazione dopo un breve intervallo di tempo. Inoltre, ulteriori svantaggi si riferiscono alla natura intrinseca dei test cartacei come ad esempio il tempo necessario alla somministrazione, lo scoring dei risultati affidato in maniera manuale all'esaminatore, potenziali errori dovuti al fatto di affidare la valutazione a più esaminatori ed infine il costo impiegato in termini di risorse materiali (Canini, 2014).

Tutte queste limitazioni potrebbero essere superate da una valutazione psicologica di tipo digitale, a condizione che l'efficacia e la validità ecologica della stessa siano rispettate. Questo tema è stato già affrontato dall' American Psychological Association (APA) nel 1986, la quale ha riconosciuto l'importanza dei test psicologici computerizzati e ha suggerito come procedere all'implementazione e all'interpretazione dei risultati fornendo una propria linea guida. Inoltre, la stessa APA elenca una serie di vantaggi: la possibilità, per alcuni test,

dell'autosomministrazione, la riduzione di tempi morti nella presentazione di uno stimolo, una minore durata d'esecuzione, maggiore precisione e una migliore standardizzazione dei risultati.

Obiettivo ultimo della trasposizione dei test dal cartaceo al digitale, è rappresentato dalla possibilità di ottenere una diagnosi automatica della valutazione; ovviamente la condizione necessaria per l'adozione di nuove tecnologie di valutazione è rappresentata dal fatto che queste vengano gestite in maniera esperta e che quindi gli esaminatori ricevano un training adeguato su come utilizzare queste nuove metodologie di test.

In generale, il principale vantaggio dell'uso di test tecnologicamente potenziati si può riscontrare nella somministrazione delle batterie di valutazione. Psicologi e neuropsicologi posseggono una pletera di batterie che hanno parzialmente accantonato privilegiando l'adozione di test più flessibili. Nonostante ciò, batterie quali la Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS; Wechsler, 1955) e la Halstead-Reitan Battery (HRB; Reitan & Wolfson, 1993) rimangono gli strumenti preferiti in ambito clinico. La scala Wechsler, nelle sue ultime edizioni, include sia la versione per adulti che per bambini, ed è lo strumento più usato per misurare intelligenza e funzioni cognitive in adulti e non. Diversamente, la HRB consiste in una raccolta di test neuropsicologici usati per valutare la condizione e il funzionamento delle abilità cognitive, cercando di individuare localizzazione e tipo di un eventuale insulto cerebrale. Entrambe le batterie hanno il principale problema di richiedere un lungo tempo per la somministrazione e il principale svantaggio di annoiare le persone sottoposte alla valutazione. Per quanto riguarda più specificatamente i bambini, test quali il Wide Range Assessment of Memory and Learning (WRAML; Sheslow & Adams, 2003) e la Children's Memory Scales (CMS; Cohen, 1997) hanno gli stessi problemi dei test per adulti; molto spesso i bambini si stancano di essere valutati e non completano il test, preferendo qualcosa di meno noioso di un test cartaceo.

Non solo i classici test psicologici trarrebbero beneficio dalla digitalizzazione, ma anche quegli strumenti usati in ambito educativo (test e giochi improntati

all'apprendimento, al training di determinate abilità e alla valutazione) pensati per l'età dello sviluppo.

Tradizionalmente, i classici giochi educativi per bambini si basano, principalmente, sulla manipolazione di oggetti fisici (blocchi, costruzioni etc.). Già in passato alcuni psicologi (da Piaget nel 1926 fino a Bruner nel 1990) sostenevano che l'aspetto ludico di questi strumenti fosse in realtà una sorta di palestra cognitiva per i bambini, utili a promuovere lo sviluppo di determinate abilità. Inoltre, l'utilizzo di oggetti concreti facilita l'interazione e lo scambio ambiente-bambino: gli oggetti, ad esempio, possono essere manipolati da più persone allo stesso tempo e questo processo è alla base dell'acquisizione di abilità sociali e comunicative (ciò è particolarmente importante in caso di programmi educativi ideati per bambini con disabilità, come DSA et similia). Per queste ragioni, quasi tutte le metodologie psicopedagogiche prevedono strumenti da manipolare a "3 dimensioni" (Montessori, 1995; Montessori & Gutek, 2004). Inoltre, grazie all'estrema diffusione dei tablet, si sente spesso dibattere in merito all'uso, in ambito educativo, delle tecnologie touch screen (come alternativa alla manipolazione "reale" degli oggetti).

È innegabile d'altronde il successo di alcune applicazioni a scopo educativo che, col solo puntare e muovere oggetti digitali, attraggono l'attenzione dei bambini, dimostrando il successo della relazione uomo(bambino)-macchina(tablet). D'altro canto, c'è un oggettivo rischio di esporre i bambini ad ambienti poveri di apprendimento multisensoriale, privilegiando un'univoca forma di "learning", quella per l'appunto esclusivamente digitale. Per far fronte a ciò, l'adozione di sistemi di Realtà Aumentata sembrerebbe rappresentare una soluzione ibrida, dove la dimensione Digitale e quella Fisica possono convergere in maniera armonica, al punto da essere usate entrambe nei processi di apprendimento. Questa prospettiva potrebbe essere adottata da insegnanti, educatori e genitori, al fine di creare moderni "ambienti di apprendimento e potenziamento" capaci di personalizzare le attività di insegnamento ludico, in accordo alle richieste ed esigenze individuali di ogni singolo bambino (De La Guía et al 2013).

In questo contesto, anche l'aspetto della diagnosi psicologica rivolta ai più piccoli si presta ad essere influenzato positivamente dall'adozione di sistemi tecnologici che rendano la partecipazione alla valutazione (nello studio dello specialista in logopedia o in quello del terapeuta della neuropsicomotricità dell'età evolutiva) più coinvolgente per il bambino o la bambina che vi si sottopone (Luciana, 2003).

A tal proposito, un argomento di sicura importanza ai fini del progetto di dottorato è stato quello delle Interfacce Tangibili, in particolar modo di quelle ideate per la Realtà Aumentata (Tangible AR Interfaces; Billinghurst, Kato, Poupyrev, 2008) che consistono in dispositivi in grado di *aumentare il rate informativo della realtà* attraverso schemi digitali utilizzando strumenti fisicamente manipolabili e controllabili all'utente esterno. In questo modo, l'utente, grazie a dispositivi tangibili e fisici, è in grado di interagire con lo strumento digitale compiendo un'azione nell'ambiente reale. Questo tipo di approccio si fonda sul ruolo centrale della manipolazione di oggetti e artefatti, che devono essere messi a disposizione dell'utente.

Proprio le interfacce tangibili, le cui prime prototipazioni risalgono a metà anni '90, sono state utilizzate per l'assessment cognitivo sin dagli albori degli anni 2000 (Sharlin et al., 2002), con l'obiettivo di rendere più *coinvolgenti*, e in alcuni casi più appetibile, grazie ad un'intrinseca rassomiglianza ad oggetti di gioco, l'impiego per il quale esse sono utilizzate.

Il concetto stesso di rendere in qualche modo ludica l'attività di insegnamento e/o valutazione tramite test che non hanno come primo obiettivo l'intrattenimento, ovvero il concetto stesso di *Gamification* (Lieberoth et al., 2015), può essere esteso anche ai precedentemente citati test psicologici classici con il risultato di rendere meno noiosa la somministrazione degli stessi, consentendo uno svolgimento più agevole sia per l'esaminatore (con il rischio minimo di influenzare con la propria presenza la performance del partecipante) sia per la persona valutata, indifferentemente che essa sia un adulto o un bambino.

In questo modo, viene promossa una maggiore interazione e partecipazione (Zichermann, 2013), e grazie supporto della tecnologia la "gamificazione" è

facilmente ottenibile. Si pensi ad esempio ai “Serious Game”, giochi digitalizzati e resi “seri” nell’obiettivo di testare e valutare le abilità cognitive (Brain Trainer App) o promuovere l’apprendimento (Skalski, 2012; Cerrato et al., 2017; Miglino et al., 2018; Ponticorvo et al., 2020).

La gamificazione non presuppone necessariamente l’utilizzo della tecnologia, ed è in alcuni casi già stata implicitamente utilizzata nelle valutazioni neuro e psicologiche, come ad esempio in quei test in cui si richiede ai partecipanti di utilizzare le proprie capacità immaginative e che spesso riportano, all’interno delle istruzioni per il proprio svolgimento, la locuzione “*Immagina di...*” (Hiscock, 1978).

Digitalizzazione, interfacce tangibili e gamification rappresentano tre aspetti che si intersecano per quel che riguarda gli strumenti di assessment potenziati dalla tecnologia, che rappresentano il focus dell’attività di ricerca connessa al dottorato.

La presente tesi, dopo aver proposto una spiegazione del background teorico volto ad evidenziare il framework all’interno del quale è stata innestata l’attività di ricerca, si sviluppa portando alla luce quello che è il corrente stato dell’arte in merito all’utilizzo delle nuove tecnologie in ambito di valutazione psicologica e neuropsicologica, evidenziando pregi e difetti di quella che è diventato ormai un paradigma ampiamente consolidato all’interno dell’attività clinica dei professionisti che si interessano della salute mentale.

Successivamente, dopo aver presentato un compito neuropsicologico da riproporre in forma “tecnologicamente potenziata” ed il suo relativo campo d’applicazione, si passerà a descrivere l’intera fase di progettazione e prototipazione dello strumento (chiamato E-TOKEN) realizzato grazie al lavoro profuso in questi tre anni di dottorato industriale.

La parte finale del lavoro presenterà alcuni dati raccolti con il prototipo E-TOKEN, i quali fanno riferimento ad un campione normotipico di 115 partecipanti e ad un piccolo campione clinico di 9 partecipanti con lesione cerebrale, che sono serviti a valutare sia gli aspetti relativi all’utilizzo dello strumento e sia a fornire dati

funzionali volti alla creazione e ideazione di indici di interesse più propriamente diagnostico.

Infine, saranno discussi le potenzialità e i limiti del presente strumento, evidenziando le sue possibili ricadute applicative e il suo utilizzo in contesti che spaziano da un interesse più propriamente di ricerca, ad uno di tipo clinico con un' enfasi particolare per la diagnostica e la riabilitazione.

– PARTE 1 –

**ANALISI DELLA LETTERATURA E STATO DELL'ARTE
SULLA VALUTAZIONE DELLE FUNZIONI COGNITIVE E
DELLA COGNIZIONE VISUOSPAZIALE**

1.1 Introduzione

In questa prima parte della tesi verranno illustrati i presupposti dai quali si è partiti per affrontare il problema della valutazione delle funzioni cognitive e di come i classici test psicodiagnostici abbiano, a fronte di comprovati punti di forza, delle debolezze da tenere conto.

Alcuni aspetti più critici riguardano la mancanza di forme parallele dello stesso test, il rischio per chi è valutato di “imparare” a rispondere correttamente ad un test, solitamente in formato cartaceo, che risulta essere riproposto in maniera sempre uguale, una certa impossibilità di recuperare con precisione i tempi di reazione, unita ad una solitamente lunga procedura di somministrazione (nel caso di batterie di test) che rischia di compromettere sia la performance dei partecipanti sottoposti alla valutazione e sia l’attenzione dell’esaminatore, necessaria alla supervisione della prova.

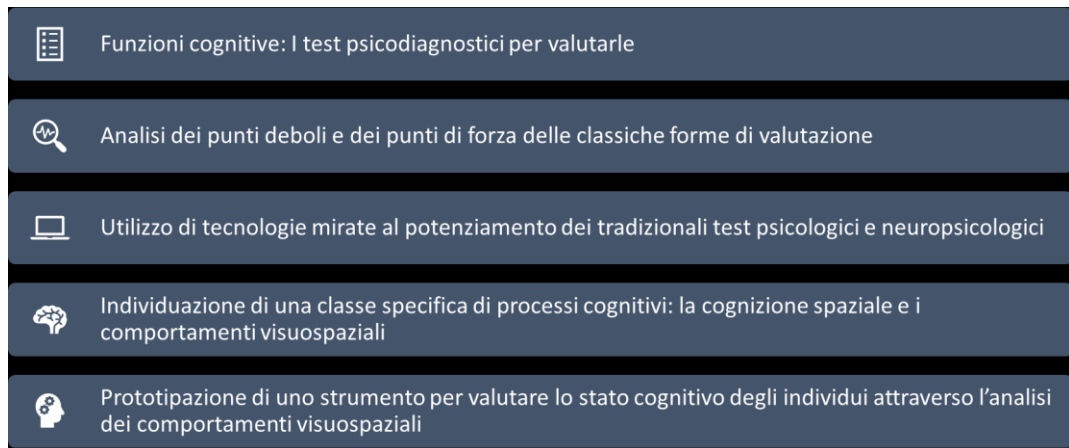
Una strategia per superare queste criticità potrebbe essere rappresentata dall’adozione di strumenti tecnologici che siano ideati per essere integrati all’interno della fase di valutazione diagnostica.

Una breve cornice teorica riguarda la neuropsicologia, disciplina dalla quale si è partiti all’inizio del percorso di ricerca del dottorato, avendo originariamente identificato in essa uno specifico campo di applicazione di un test da progettare per la valutazione dello stato cognitivo dell’individuo, con particolare riferimento ad una classe specifica delle funzioni cognitive, ovvero quelle relative alle capacità visuospatiali e ai processi che riguardano i *comportamenti* visuospatiali.

Lo strumento finale realizzato (di cui vengono discusse progettazione e realizzazione nella parte 2 e 3 del presente lavoro) non si limita in realtà ai soli scopi neuropsicologici, risultando estendibile a più di un uso, che va da quello valutativo, passando per il training, fino a quello riabilitativo e, pur riguardando uno spazio fisicamente ristretto di applicazione, ovvero quello relativo allo spazio *peripersonale* degli individui (che consiste in quello spazio in cui le persone interagiscono con gli stimoli e gli oggetti circostanti attraverso i propri arti), può

interessare, in maniera olistica, diversi aspetti delle funzioni cognitive e della valutazione del benessere psicologico della persona.

Di seguito, prima di procedere alla descrizione dei procedimenti diagnostici che valutano le funzioni cognitive delle persone, viene presentato un piccolo schema che racchiude, brevemente, le fasi di lavoro relative al progetto di ricerca.



Schema: Ordine cronologico delle fasi di lavoro del progetto di ricerca

1.2 La valutazione delle funzioni cognitive

Uno degli aspetti clinici di fondamentale importanza per la figura dello psicologo e del neuropsicologo consiste nel *valutare* il corretto funzionamento cognitivo della persona che si rivolge allo specialista, nel rispetto della sua unicità e complessità psicologica; per assolvere questa funzione, i professionisti della salute mentale hanno a disposizione una vasta pletora di test tra i quali scegliere, da quelli che richiedono la compilazione di un semplice questionario fino ad arrivare a quelli che presuppongono l'interazione con gli oggetti fisici (Meyer et al. 2001; Nies & Sweet, 1994).

Stimare la salute cognitiva di un individuo presuppone, inoltre, di raccogliere una serie di informazioni volte a conoscere le caratteristiche del problema portato all'attenzione del clinico, le ricadute sulla vita quotidiana, e la storia personale del paziente.

Nel presente capitolo, sarà fatto cenno ad alcuni strumenti utilizzati nello studio dello psicologo e del neuropsicologo, sottolineando l'importanza fondamentale che assume il fornire una corretta diagnosi nosografica.

1.2.1 Valutare processi cognitivi e correlati fisiologici: il caso della neuropsicologia

La neuropsicologia, intersecandosi con la psicologia, le neuroscienze e neurologia, ha come obiettivo lo studio dei processi cognitivi e comportamentali correlandoli con i meccanismi anatomo-fisiologici a livello di sistema nervoso che ne sottendono il funzionamento (Umiltà, 1999).

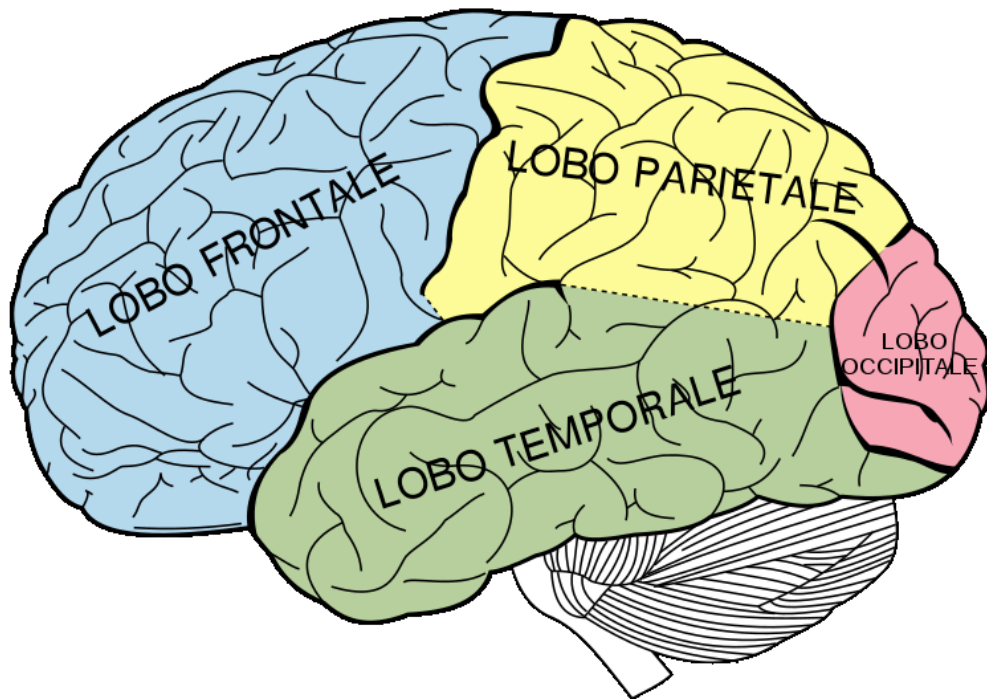


Figura 1.2.1 Rappresentazione grafica dei quattro lobi cerebrali

(frontale, temporale, parietale e occipitale) e del cervelletto. Fonte Wikipedia

Uno dei metodi d'indagine consiste nell'osservazione delle lesioni cerebrali in associazione ai deficit cognitivi presentati dai pazienti al fine di rilevare i correlati anatomici cerebrali.

La neuropsicologia presenta inoltre un duplice interesse: sperimentale e clinico. Infatti, se da un lato la *neuropsicologia clinica* trova ampia applicazione, a fini diagnostici e riabilitativi, nei nosocomi, tra i pazienti con vari deficit neurologici, è pur vero che i suoi albori sono da riscontrare in anni di studi e risultati scientifici di ambito più prettamente accademico (*neuropsicologia sperimentale*). Il termine neuropsicologia risale al 19° secolo, anche se già le popolazioni degli antichi egizi e greci tentarono di comprendere il funzionamento della mente a partire dall'osservazione delle lesioni cerebrali.

Tra gli autori del 1800 che contribuirono alla nascita della moderna neuropsicologia, citiamo i medici tedeschi Franz Josef Gall (1758-1828) e Johann Christoph Spurzheim (1776-1832), che proposero la teoria della localizzazione (Zola-Morgan, 1995), ovvero un'ipotesi affascinante della relazione mente-cervello, e che presupponeva il cervello come l'organo biologico della mente, quest'ultima costituita da diverse componenti chiamate "facoltà mentali" che, a loro volta, erano da considerarsi innate e circoscritte a regioni specifiche della corteccia cerebrale.

Gli studiosi erano altresì convinti che palpando le diverse regioni craniche potevano stimare lo sviluppo delle facoltà mentali di ogni singola persona. Questi concetti preannunciavano ciò che sarebbe stata in seguito la frenologia, ovvero il paradigma secondo il quale inferire e quantificare le facoltà mentali e le particolari disposizioni di carattere e di personalità delle persone attraverso l'esame della conformazione del cranio.

Un grande studio che ha segnato lo studio delle neuroscienze è quello di Paul Broca svolto su Louis Victor Leborgne, conosciuto come paziente "tan" (Teive et al., 2011) a causa delle uniche parole riusciva a pronunciare a seguito di una lesione cerebrale (localizzata a livello della zona angolare della terza circonvoluzione frontale, area poi denominata di Broca) che gli provocò l'afasia.

Alla morte del paziente, Broca poté osservare la lesione cerebrale che lo portò ad ipotizzare che la zona interessata fosse in effetti coinvolta nella produzione del linguaggio. Grazie alle osservazioni del neuropsicologo francese, in seguito furono svolti ulteriori autopsie sugli afasici, che rivelarono come una lesione circoscritta all'area di Broca producesse sistematicamente gli stessi sintomi riscontrati su Leborgne.

La neuropsicologia, in ambito clinico, ha lo scopo di valutare e, qualora possibile, riabilitare, i deficit cognitivi e le annesse implicazioni di tipo psicologico e di personalità conseguenti a patologie del sistema nervoso centrale. Nonostante spesso non sia realizzabile una completa guarigione, l'intervento diagnostico e riabilitativo risulta estremamente importante nel fare contenimento

degli effetti del decorso patologico, nel limitare le sofferenze che questo arreca al paziente e alla sua famiglia

Per quanto riguarda la diagnosi, la neuropsicologia si avvale principalmente di batterie di test e delle tecniche di neuro-imaging (come ad esempio la tomografia assiale computerizzata – TAC -, la tomografia ad emissione di positroni – PET-, la risonanza magnetica funzionale – fMRI- etc.), quest'ultime principalmente coinvolte nell'individuazione e localizzazione dei correlati neuronali relativi a specifici deficit cognitivi.

1.2.2 La valutazione psicodiagnostica: alcuni strumenti

Solitamente, la valutazione effettuata in ambito psicologico e neuropsicologico viene eseguita sottoponendo le persone a delle *batterie* (per alcuni esempi si veda Kane, 1991; Harrison & Caveney, 2011) ossia numerosi test per valutare una o più abilità cognitive, con diverse prove per ciascuna abilità considerata. Principalmente essi indagano la funzionalità delle seguenti capacità: percezione visuospaziale, apprendimento, intelligenza ed astrazione, linguaggio, movimento, memoria, attenzione e funzioni esecutive.

La loro somministrazione presuppone la presenza di un esaminatore adeguatamente formato, mentre la figura del neuropsicologo risulta essenziale per la valutazione delle abilità cognitive, in particolare per l'interpretazione dei punteggi.

La maggioranza dei test neuropsicologici sono utilizzati al fine di individuare un potenziale deficit di una specifica funzione cognitiva. Questo deficit è a sua volta considerato indice di una sofferenza cerebrale (e.g. ictus o malattia neurodegenerativa). Tuttavia, la valutazione neuropsicologica può anche fornire informazioni sul normale funzionamento del cervello e il monitoraggio dello stato cognitivo di un individuo, specialmente in età avanzata.

Gran parte dei tradizionali test neuropsicologici vengono eseguiti adoperando i classici compiti carta e matita, ovvero eseguiti alla scrivania dell'esaminatore su un formato per l'appunto cartaceo; alcuni di essi sono (per una descrizione più approfondita dei numerosi test adottati in ambito neuropsicologico si faccia riferimento alla monografia proposta da Strauss e colleghi del 2006):

- *Wisconsin card sorting test* (WCST, Chelune & Baer, 1986): esamina le funzioni esecutive del paziente (principalmente legate ad un corretta salute del lobo frontale, Fig. 1.2.1), in particolare le capacità di ragionamento astratto e di cambiamento delle strategie cognitive al mutare delle circostanze ambientali (un esempio di utilizzo è presente in figura 1.2.2)
- *Trail making test* (TMT, Reitan 1958): valuta le capacità di ricerca visuospatiale, attentive e di sensibilità al cambiamento di compito del paziente.
- *Mini Mental State Examination* (MMSE, Folstein et al., 1975): fornisce un quadro del livello cognitivo globale del paziente e comprende prove che indagano l'orientamento spazio-temporale, la memoria a breve termine, la memoria di lavoro, il linguaggio e le abilità prassiche-costruttive. Il suo punteggio varia da 0 a 30 ed è indicativo di un deterioramento cognitivo qualora il punteggio sia inferiore a 24.



Figura 1.2.2 Utilizzo del Wisconsin Card Sorting Test (WSCT): il partecipante è chiamato a identificare, sulla base dei feedback dell'esaminatore, il criterio di classificazione delle carte

Grazie all'utilizzo dei test neuropsicologici possono essere indagate le prestazioni degli individui che hanno subito una lesione cerebrale o presentano deficit neurologici, cercando di capire quali aspetti dell'attività cognitiva sono intatti o danneggiati e cercando di trarre conclusioni sui processi cognitivi normali. Per giungere a tali conclusioni, i neuropsicologi adottano questi strumenti anche su campioni normotipici tratti da popolazioni di riferimento. Questo procedimento si basa sull'assunto che determinate patologie o lesioni mostrino delle ricorrenze piuttosto comuni in termini di deficit specifici. Di conseguenza, dalle prestazioni riscontrate ai diversi test, è possibile delineare un percorso riabilitativo specifico, teso a migliorare le performance cognitive deficitarie.

Oltre al costante e cospicuo utilizzo dei test classici, negli ultimi tempi è però cresciuta l'adozione in campo diagnostico, assistivo e riabilitativo di strumenti computerizzati e che prevedono l'utilizzo di nuove tecnologie; alcuni di essi presuppongono l'utilizzo di sistemi di intelligenza artificiale e algoritmi di machine learning (quest'ultimi legati soprattutto all'interpretazione statistica dei dati).

Alcune peculiarità di queste due differenti versioni dell'assessment, ovvero quello cartaceo e quello digitale, saranno descritte nella prossima sezione

1.2.3 L'evoluzione della psicodiagnostica dal cartaceo al digitale

Tradizionalmente, in ambito neuropsicologico, gli strumenti di valutazione cartacea sono ampiamente utilizzati per via dei loro vantaggi, uno dei quali risiede nella loro robusta validità e affidabilità. Ulteriormente, essi sono diffusi in quanto spesso si approssimano a situazioni di vita quotidiana, rispettando un altro importante costrutto che è quello della validità ecologica. Infine, soprattutto nel momento della valutazione della prestazione dei soggetti, il diagnosta può supervisionare direttamente il soggetto che si sottopone ai test, riuscendo a cogliere aspetti univoci e caratteristici di ogni singola persona/paziente

D'altro canto, a fronte dei vantaggi, esistono anche punti critici legati ai test in formato cartaceo. Uno di questi risiede nella scarsa presenza di forme parallele dello stesso test, in quanto spesso i pazienti sono sottoposti a frequenti e ripetitive valutazioni diagnostiche effettuate con lo stesso strumento.

Il rischio che si corre è il cosiddetto effetto pratica (Donovan & Radosevich, 1999), una situazione in cui il paziente ottiene un punteggio positivo ai test (a causa dell'utilizzo ripetuto dello stesso strumento di valutazione) pur mantenendo il proprio deficit cognitivo in situazioni di vita reale

Altre limitazioni riguardano la durata della somministrazione e il tempo impiegato per la valutazione del risultato, unita alla difficoltà di fornire tempi di risposta precisi. Il fattore tempo incide sia sugli esaminatori sia sui pazienti, i quali talvolta non completano o eseguono erroneamente i test a causa dell'eccessivo affaticamento cognitivo (Appelros, 2004).

In contrapposizione ai test cartacei, grazie al fiorire delle moderne tecnologie digitali, la neuropsicologia ha potuto avvalersi di strumenti di diagnostica computerizzati. La diagnostica digitalizzata – introdotta negli anni '70 – è stata

oggetto di dibattito anche da parte dell'American Psychological Association, la quale nel 1986 ha riconosciuto l'importanza dei test psicologici computerizzati e ha fornito linee guida per implementarli e interpretarne i risultati. I principali vantaggi delle versioni computerizzate dei test risiedono nella loro facilità d'utilizzo, nella loro estrema portabilità (potendo essere utilizzati quasi ovunque) e sul fatto che possono contare sulle caratteristiche interne del sistema sul quale vengono utilizzati (computer, tablet) per poter registrare indici quali il tempo d'esecuzione dell'intera prova e i singoli tempi di reazione in risposta ai singoli item dei test, in quanto questi device possono facilmente rilevare questo tipo di informazioni.

I test riprodotti grazie all'utilizzo delle nuove tecnologie aiutano anche ad arginare *l'effetto tetto (ceiling effect)*, che si riscontra quando il livello di difficoltà del compito è piuttosto basso per cui le prestazioni dei soggetti sono massimizzate e *l'effetto pavimento (floor effect)*, causato da un livello di difficoltà del compito talmente alto che nessun soggetto è in grado di svolgerlo (Davis & Rose 2000).

Inoltre, come dimostrato dagli strumenti di assessment tramite realtà aumentata/virtuale, dalle *social assistive technologies* e dagli ambienti di *E-learning* e *edutainment*, le nuove tecnologie, in alcuni casi, permettono altresì di sfruttare la piacevolezza dei *Serious Games* per coinvolgere maggiormente gli utilizzatori (Di Nuovo, 2018; Miglino, 2018).

Gli strumenti digitali deputati alla diagnostica presentano anche loro alcune complicazioni: una di queste risiede nel fatto che oggi vengono sviluppate sempre nuove batterie di test digitalizzate, con la conseguenza di non avere dati normativi sufficienti e misure psicometriche standardizzate. Un ulteriore punto critico, a detta di alcuni, consiste nel fatto che utilizzando test computerizzati si perderebbe la *sensibilità del clinico*, ossia verrebbe a mancare per psicologi e neuropsicologi la possibilità di catturare potenziali sfumature di lieve e/o moderata intensità di un disturbo e di tracciare uno specifico profilo cognitivo.

Queste problematiche che emergono dalle due tipologie di strumenti per la valutazione neuropsicologica, digitale e cartaceo, potrebbero essere superati

adottando nuovi strumenti di valutazione digitali, che offrano la possibilità di superare i limiti del *carta e matita*, e che, al contempo, mantengano le caratteristiche psicometriche di affidabilità e validità che sono il punto forte delle corrispondenti versioni cartacee.

Oggigiorno esistono molti strumenti computerizzati deputati alla valutazione e all'assessment delle funzioni cognitive. In ambito neuropsicologico alcuni esempi sono rappresentati da batterie digitalizzate come *Cantab* (Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery; Sahakian & Owen, 1992), *NeuroTrax* (Doniger, 2013) e *Cabpad* (Cognitive Assessment at Bedside for iPad; Willer et al., 2015).

Cantab è focalizzato su tre domini cognitivi: attenzione, memoria visuospatiale e memoria di lavoro/capacità di pianificazione. Due caratteristiche principali riguardanti *Cantab* sono che la batteria è abbastanza indipendente dalle istruzioni verbali e le risposte sono fornite tramite dispositivi touchscreen; inoltre, è una delle batterie computerizzate più utilizzate.

NeuroTrax è progettato per valutare il benessere cognitivo attraverso una serie di domini multipli: memoria, funzioni esecutive, percezione spaziale, fluenza verbale, attenzione, velocità di elaborazione delle informazioni e abilità motorie. In particolare, con *NeuroTrax* è possibile rilevare la presenza di disturbi cognitivi lievi negli anziani. Numerosi compiti sono riportati come una versione digitalizzata di test di carta e matita vecchio stile. Uno dei vantaggi di questo software riguarda alcune proprietà psicometriche come l'accuratezza dei tempi di reazione.

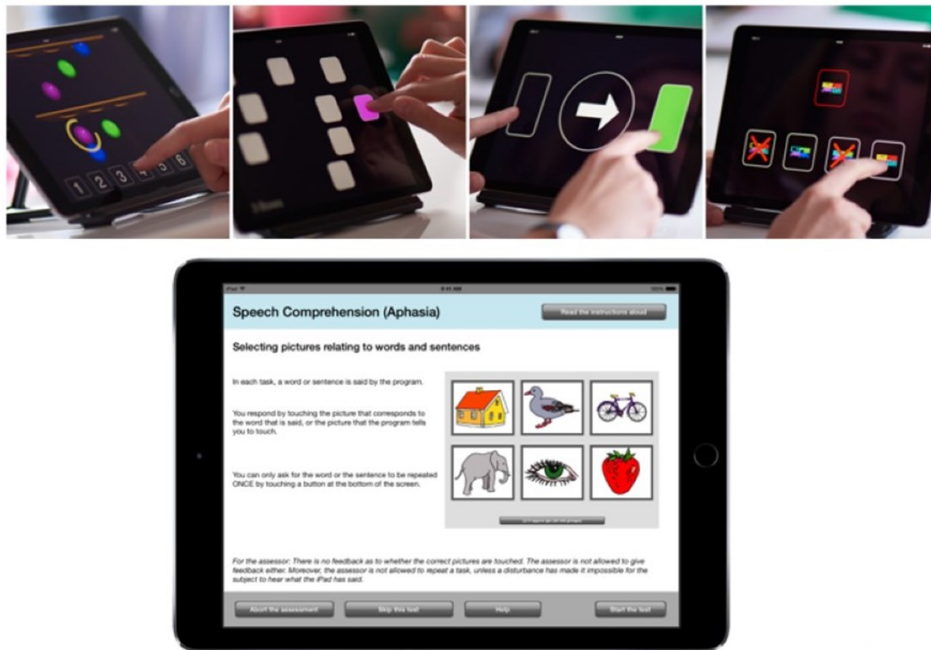


Figura 1.2.3 Alcuni esempi di test digitalizzati sul software CABPad

CABPad consiste in una batteria di test digitalizzata con possibilità di somministrazione al paziente durante la sua degenza a letto, con lo scopo di misurare i più comuni e significativi sintomi neuropsicologici causati da un ictus. La batteria ha lo scopo di valutare diversi disturbi: anosognosia, afasia, cognizione spaziale, depressione, memoria episodica, attenzione, memoria di lavoro, velocità mentale, abilità motorie e funzioni esecutive.

In particolare, questo software adotta una versione digitale del *Baking Tray Task* (BTT; Tham & Tegnér 1996), un test su cui si è focalizzato parte del presente lavoro di tesi e che verrà descritto dettagliatamente nel capitolo 1.4.

Il BTT è uno strumento sensibile per valutare la negligenza spaziale unilaterale (conosciuta anche come neglect o eminegligenza spaziale, anch'essa descritta nel capitolo 1.4), una disabilità cognitiva afferente ai disturbi della cognizione visuospatiale, la quale sarà l'oggetto di discussione del prossimo capitolo.

1.3 La cognizione visuospaziale

Da un punto di vista scientifico, molti studiosi hanno cercato di capire come gli esseri umani (e gli altri animali) percepiscono lo spazio, come lo interpretano, come si comportano al suo interno e come comunicano riguardo ad esso. Spazio che può essere personale, ossia relativo al proprio corpo, peripersonale, ovvero riguardante tutto ciò che si posiziona nelle immediate vicinanze del nostro corpo (a distanza di braccio), ed extrapersonale, che riguarda gli stimoli che sono localizzati al di fuori della portata dei nostri arti (Harrison, 2015).

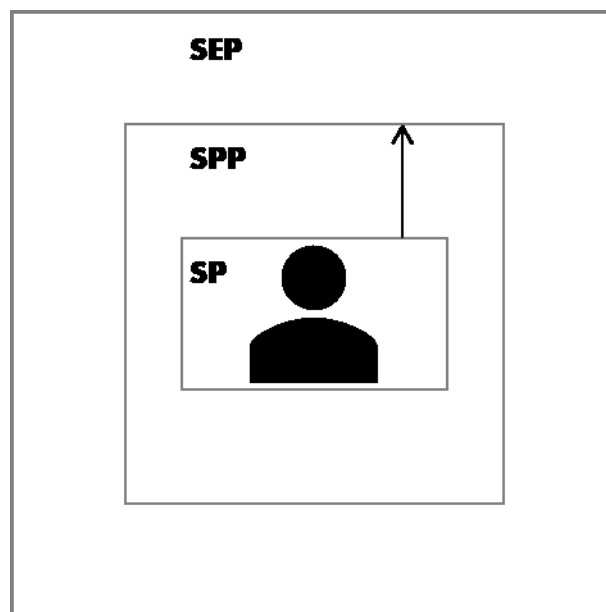


Figura 1.3.1 SP=Spazio Personale; SPP= Spazio Peripersonale; SEP = Spazio Extrapersonale. La freccia rappresenta il braccio

Sono tanti i settori impegnati nello studio e nella comprensione della cognizione spaziale proprio perché essa interessa quasi tutti i processi mentali, tra cui l'attenzione, la percezione, la memoria, il problem solving ed il linguaggio.

Per questa ragione, il presente capitolo si prefigge l'arduo compito di provare a definire il concetto di cognizione visuospaziale, cosa per niente semplice. In

generale la si può descrivere come la capacità critica mediante la quale un organismo acquisisce, rappresenta, organizza, comprende e naviga l'ambiente (Spence & Feng, 2010).

La cognizione visuospatiale abbraccia vari domini, tra i quali la percezione visuospatiale, il pensiero spaziale, la memoria spaziale e la navigazione (Burgess, 2008). Più specificamente, la percezione visuospatiale riguarda la capacità di elaborare ed interpretare le informazioni visive sulle posizioni degli oggetti nello spazio, consentendo, quindi, all'individuo di muoversi ed orientarsi, programmando i movimenti di prensione e di raggiungimento. Il pensiero spaziale permette di rappresentare mentalmente le informazioni spaziali, creando una mappa cognitiva dell'ambiente circostante. La memoria visuospatiale consiste nella capacità di codificare, archiviare e recuperare informazioni attraverso la costruzione e l'archiviazione di rappresentazioni spaziali. Infine, la navigazione dà la possibilità all'individuo di orientarsi nello spazio fisico e di scegliere e monitorare il percorso corretto verso la destinazione.

Le abilità innanzi esposte sono molto importanti, poiché esse ci permettono di interagire con il mondo circostante in una modalità spazialmente corretta, esse ci consentono di spostarci e di relazionarci con gli altri, formulando delle rappresentazioni mentali della realtà basate su riferimenti spaziali costanti e precisi (basti pensare, ad esempio, ai concetti di vicino-lontano, sopra-sotto, destra-sinistra etc.). La cognizione spaziale concerne anche la capacità degli individui di concentrare la propria attenzione verso informazioni rilevanti, come l'orientamento automatico verso uno stimolo nuovo, oppure l'orientamento volontario o, ancora, la capacità di costruire una rappresentazione dello spazio personale; tale processo cognitivo coinvolge le informazioni visive, somato-sensoriali, uditive, la memoria a lungo termine e quella di lavoro (G. Rode, D. Pérennou e P. Azouvi, 2017).

I due emisferi cerebrali svolgono un ruolo rilevante per la cognizione spaziale: l'emisfero sinistro, infatti, si occupa della dimensione semantica; quello destro, invece, si occupa della dimensione topografica. L'implicazione dell'emisfero cerebrale destro, tuttavia, è predominante negli individui come confermato dalla

pluralità di deficit spaziali osservati dopo il danneggiamento di quest'ultimo emisfero, tra i quali figura l'emeingligenza spaziale.

Tutte le modalità sensoriali contribuiscono all'elaborazione di informazioni di tipo spaziale, relative alla realtà interna ed esterna di un organismo. Tra queste, però, la modalità visiva è senza dubbio quella che predominante per il pensiero spaziale. Goodale e Milner (1992), sulla base degli studi di Mishkin e Ungerleider del 1982, sostengono l'esistenza di un duplice sistema di elaborazione delle informazioni visive, basato sul funzionamento di diverse regioni cerebrali: un primo sistema, detto ventrale o occipito-temporale, è responsabile dell'identificazione e del riconoscimento delle forme (la via del "What"); un secondo sistema, definito dorsale o occipito-parietale, è invece coinvolto nelle operazioni visuospatiali e nella localizzazione degli oggetti (la via del "Where").

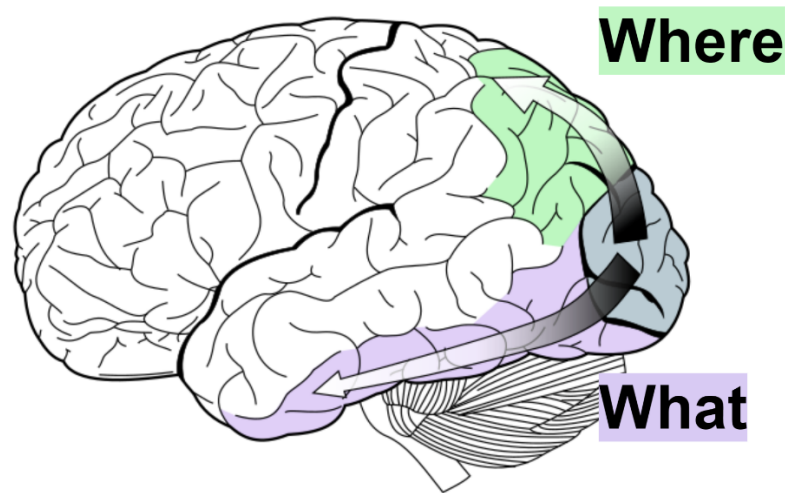


Figura 1.3.2 Rappresentazione della via ventrale del "What" e quella dorsale del "Where". Fonte Wikipedia

Specificamente, secondo tale tesi, entrambi i sistemi elaborano informazioni sulle caratteristiche degli oggetti e sulla loro localizzazione, ma, mentre il sistema ventrale usa le informazioni visive per costruire una rappresentazione dell'ambiente basata sui singoli oggetti, in modo da poterli identificare, il sistema dorsale si serve

delle suddette informazioni visive per sviluppare coordinate spaziali centrate sull'osservatore, al fine di programmare i movimenti di prensione e di raggiungimento (Goodale et al., 2004).

In sostanza, possiamo affermare che mentre il sistema ventrale fornisce una "visione per percepire", il sistema dorsale offre una "visione per agire". Tuttavia, va precisato che entrambe le vie di elaborazione delle informazioni visive sono coinvolte nelle abilità spaziali complesse e permettono all'individuo di operare nella realtà esterna, seguendo percorsi noti, riconoscendo luoghi familiari, localizzandoli su una mappa. In altre parole, le abilità visuospatiali, insieme ad una serie di altre funzioni cognitive, consentono il corretto orientamento topografico.

Sulla base della tesi già indicata, la quale presuppone l'esistenza di due sistemi di elaborazione delle informazioni visuospatiali, il corpus scientifico di riferimento accetta la distinzione tra due tipi di "frame" (sistemi di rappresentazione): quello allocentrico e quello egocentrico.

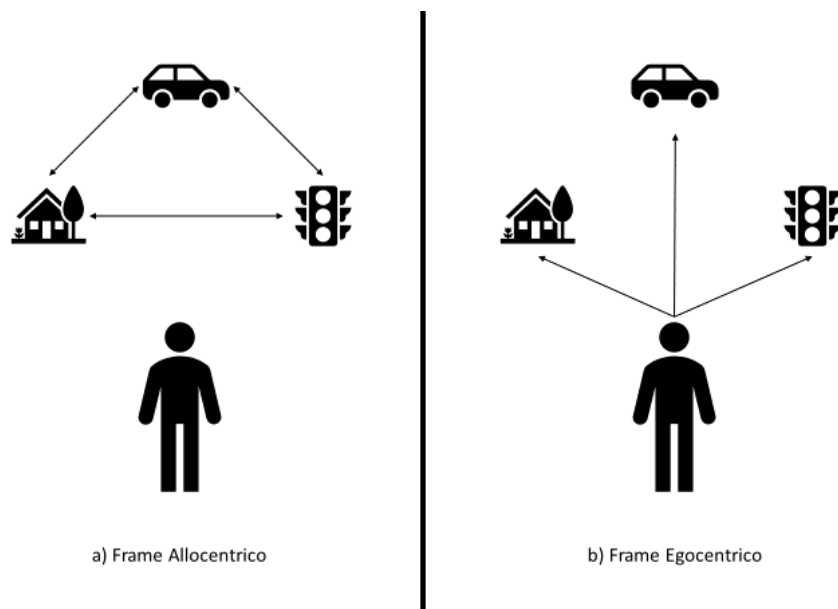


Figura 1.3.3 Rappresentazione dei frame Allocentrico ed Egocentrico

Il frame allocentrico contempla le informazioni spaziali riguardanti la posizione degli oggetti, l'uno rispetto all'altro. Esso si basa, perciò, sulla relazione oggetto-oggetto, indipendentemente dal punto di vista soggettivo.

Il frame egocentrico, invece, comprende le informazioni spaziali riguardanti la posizione dell'individuo nell'ambiente. Esso si basa, quindi, sulla relazione soggetto-oggetto, portando alla creazione di rappresentazioni mentali centrate sull'individuo; tale frame è fondamentale nel controllo visuomotorio, poiché la pianificazione e l'esecuzione di un'azione richiedono la rappresentazione mentale della posizione target in relazione al corpo (Milner e Goodale, 1993).

I frame appena descritti sono stati oggetto di discussione in letteratura, soprattutto per i loro correlati neuroanatomici. A tal proposito, alcuni studi sono descritti nella prossima sezione.

1.3.1 Basi neurobiologiche della cognizione visuospatiale

Molteplici lavori in letteratura hanno voluto individuare le basi neurobiologiche coinvolte in ciascuno dei due frame innanzi esposti: egocentrico ed allocentrico. Essi hanno rilevato che la strategia allocentrica è supportata principalmente dai neuroni ippocampali e dal giro temporale superiore, mentre la strategia egocentrica coinvolge il nucleo caudato e, più in generale, il lobo parietale mediale.

Secondo Zaehle e colleghi (2006) il frame egocentrico rivela le principali attivazioni all'interno del lobo parietale posteriore superiore (precuneus), nel giro occipitale bilaterale superiore, nel giro frontale bilaterale superiore, nella parte anteriore bilaterale del solco calcarino, nel giro temporale inferiore sinistro e nel lobo parietale inferiore destro.

Il frame allocentrico, allo stesso modo, determina maggiori attivazioni nel giro occipitale superiore bilaterale, che si estendeva nei lobi parietali inferiori e superiori, nel solco calcarino bilaterale, nel giro frontale superiore bilaterale e nel giro temporale bilaterale inferiore; inoltre, l'elaborazione spaziale allocentrica

determinava un maggiore coinvolgimento dell'ippocampo, in entrambi gli emisferi (ippocampo che gioca un ruolo chiave nell'elaborazione spaziale umana, fornendo una mappa cognitiva ed una rappresentazione stabile dell'ambiente).

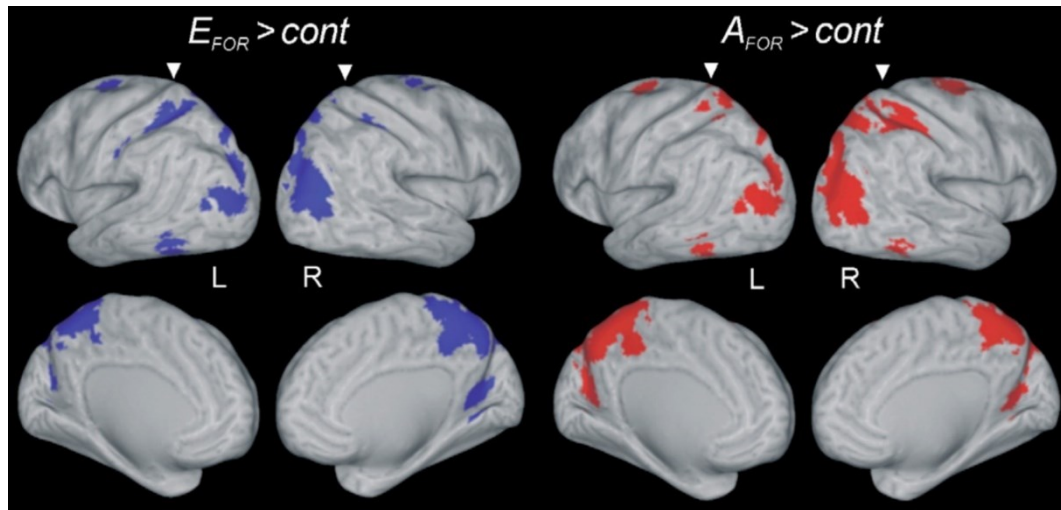


Figura 1.3.4 Regioni cerebrali attivate durante la codifica delle informazioni spaziali: a sinistra quelle relative al frame egocentrico, a destra quelle relative al frame allocentrico. Fonte Zaehle et al. (2006)

Il primo a proporre l'idea secondo cui gli esseri umani utilizzano delle “mappe cognitive” per rappresentarsi le informazioni spaziali e navigare nell'ambiente fu Tolman, nel 1948. In coerenza con la descrizione che Tolman (1948) fa del concetto di “mappa cognitiva dell'ambiente”, la concezione comune alla teorizzazione di John O'Keefe (1979) ed a tutti i resoconti moderni su tale argomento, è che l'ippocampo contiene una rappresentazione olistica dello spazio (Muller & Stead, 1996), un facsimile dell'ambiente comprendente i segnali ambientali salienti; la mappa che ne deriva è di tipo cartesiano, in quanto fornisce metriche per la rappresentazione di distanze e di angoli tra gli stimoli più rilevanti.

La suddetta mappa costituisce una griglia di coordinate spaziali bidimensionali sollecitate da una rete preconfigurata di connessioni intrinseche tra i neuroni dell'ippocampo. La classe principale di neuroni presente nell'ippocampo è

rappresentata dalle cosiddette “place cells” o cellule di posizione, scoperte dallo psicologo statunitense John O’Keefe negli anni Settanta.

Sulla base di studi condotti su un campione di ratti, fu possibile constatare che le cellule di posizione mostravano un elevato tasso di attivazione nel momento in cui l'animale occupava una specifica posizione nell'ambiente, corrispondente al campo di attivazione della cellula, mentre, altri neuroni, non mostravano segni di attività.

Negli anni successivi, May-Britt e Edvard Moser, insieme a Kropff (2008), individuarono in una parte dell’ippocampo, chiamata corteccia entorinale, un vero e proprio sistema “GPS biologico”. In tale area, infatti, alcune cellule erano attivate quando il ratto passava nelle posizioni disposte in una griglia esagonale. Tutte insieme, queste *grid cells* rappresentavano un sistema di coordinate, il quale permetteva la navigazione spaziale. Da questi studi emerge, dunque, che a differenza delle *place cells*, le quali, comportandosi da landmark, mostrano un’attivazione solo quando il ratto occupa una singola e specifica posizione, le *grid cells* presentano campi di attivazione che ricoprono l'intero ambiente e che sono organizzati in griglie esagonali (Fig. 1.3.5).

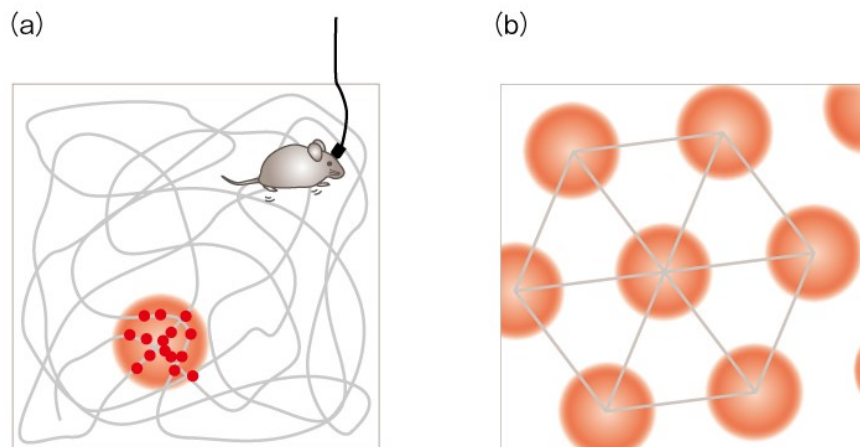


Figura 1.3.5 Rappresentazione grafica delle place cells (a) e grid cells (b). Fonte Wikipedia

Una lesione cerebrale che coinvolge le regioni cerebrali descritte può portare all'insorgenza di deficit della cognizione visuospaziali; tali disturbi possono essere valutati clinicamente attraverso vari strumenti diagnostici, alcuni dei quali descritti nel paragrafo successivo.

1.3.2 Valutazione neuropsicologica della cognizione visuospaziale

I disturbi visuospaziali sono stati sempre al centro degli studi riguardanti la neuropsicologia, ma hanno spesso ricevuto meno trasporto rispetto, ad esempio, ai disturbi del linguaggio.

Mentre un deficit del linguaggio o della memoria, infatti, si riflette in un'alterazione nel comportamento immediatamente evidente, le difficoltà spaziali assumono valore solo quando le persone intraprendono le proprie attività usuali, poiché la conoscenza delle coordinate spaziali è il requisito essenziale di ogni azione (Cerrato et al., 2019).

La valutazione della cognizione visuospaziale, intesa come analisi delle relazioni sussistenti tra l'osservatore e gli altri stimoli circostanti (De Renzi, 1982), include sia compiti molto semplici (come quello di valutare l'orientamento e le dimensioni di uno stimolo), sia compiti più complessi, i quali richiedono l'integrazione di più parametri spaziali ed il coinvolgimento di altre funzioni cognitive (come, ad esempio, quello di eseguire rotazioni mentali, risolvere labirinti, ecc.). Di seguito, saranno elencati alcuni strumenti utilizzati in ambito diagnostico.

- ❖ *Test di giudizio di orientamento di linee*: tale prova a scelta multipla consiste nel richiedere al soggetto di individuare l'inclinazione di due rette stimolo. Nelle due versioni del test (Benton et al., 1978), vengono proposte, una per volta, 35 coppie di rette-stimolo, insieme ad un foglio contenente le 11 possibili inclinazioni delle stesse. Al soggetto viene chiesto di identificare correttamente l'orientamento di entrambe le rette presentate ogni volta.

- ☉ **Test di discriminazione di segmenti e sgorbi:** questa prova è stata proposta da Spinnler e Tognoni (1987) ed è compresa nella batteria per lo studio neuropsicologico dell'invecchiamento. Nella prima parte di questa prova vengono presentate 32 coppie di segmenti, allineati l'uno sopra l'altro: 16 coppie di segmenti differiscono in lunghezza, mentre le restanti 16 coppie sono uguali. Il paziente deve decidere, in un tempo massimo di 10 secondi per ogni stimolo, se i due segmenti sono uguali o diversi. Nella seconda parte della prova sono presentate al soggetto 32 coppie di sgorbi spirroidali, di cui 16 uguali e 16 diversi. Le modalità di presentazione e correzione sono identiche a quelle del test precedente.
- ☉ **Prove visuoperceptive della TERADIC:** trattasi di una batteria di prove per i disordini costruttivi, finalizzata a verificare l'efficacia di un approccio riabilitativo denominato TERADIC (Terapia Razionale dei Disordini Costruttivi), ideata da Angelini e Grossi (1993). La batteria si propone di valutare le diverse abilità impegnate in un compito costruttivo ed è divisa in cinque sezioni: esplorazione visiva; analisi preliminare dello stimolo; organizzazione centrale del compito; coordinazione visuomotoria; esecuzione del compito.
- ☉ **Test di Elithorn:** questa prova (descritta da Elithorn et al., 1982) è costituita da reti, di forma diversa, sulle cui maglie è posto un numero crescente di grossi punti neri. Il compito del paziente è quello di tracciare il percorso che incrocia, lungo la rete, il maggior numero di punti neri. Durante lo svolgimento del compito, il soggetto deve seguire necessariamente le maglie della rete, senza mai tagliarle o tornare indietro.
- ☉ **Matrici progressive di Raven:** di questo test esistono diverse versioni, di difficoltà crescente, tutte disponibili in Italia. La versione più utilizzata per pazienti cerebrolesi è quella che prevede l'uso delle tavole colorate (Raven, 1981). Tale versione comprende 3 serie di 12 tavole. Ogni tavola è costituita da una figura incompleta e la persona valutata deve identificare l'unico disegno, tra i 6 presentati sotto lo stimolo, che completa correttamente la figura. Per ogni risposta corretta viene assegnato 1 punto. Nonostante questa

prova sia considerata prevalentemente visuoperceptiva, è evidente che il compito richiede, oltre ad abilità di percezione e di pensiero spaziale, abilità di ragionamento logico.

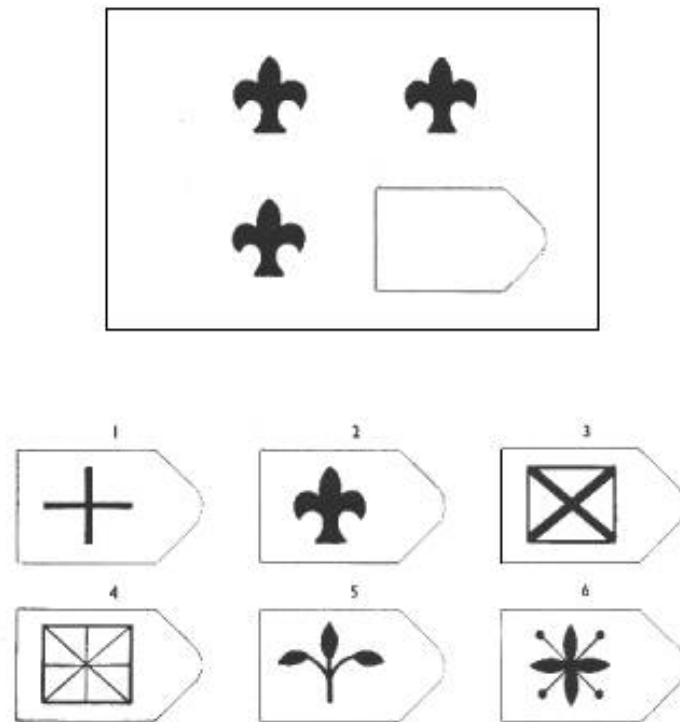


Figura 1.3.6 Un esempio di item delle matrici di Raven; fonte Raven (1981)

- *Prove di pensiero spaziale della TERADIC:* Grossi, nel 1993, ha ideato una sezione della TERADIC in grado di esplorare la capacità di operare sulle rappresentazioni spaziali, la quale comprende quattro prove: rotazioni mentali, identificazione di figure complesse; identificazione di figure nascoste; costruzione mentale.

Per poter condurre un'adeguata e corretta valutazione delle abilità visuospatiali, è necessaria, altresì, la somministrazione di prove per le abilità cognitive, le quali concorrono alla realizzazione ed al mantenimento di un efficiente orientamento topografico. A tale proposito sono state utilizzate alcune prove che richiedono ai pazienti di seguire un certo percorso sulla base delle informazioni contenute in una

mappa, oppure di apprendere un percorso attraverso successivi tentativi. In Italia, purtroppo, non sono disponibili prove di questo genere. Ciò nonostante, però, è possibile utilizzare *il test di lettura di mappe e quello delle mappe stradali*, citati da De Renzi (1982). Il primo, consiste nel fornire al paziente una mappa di un percorso che passa attraverso nove dischi colorati, allineati a file di tre sul pavimento di una stanza. Il soggetto deve seguire il percorso da un disco all'altro, tenendo costante l'orientamento della mappa che ha in mano.

Il secondo, invece, si esegue su una mappa stradale schematica su cui è disegnato un percorso. In questo caso non si richiede al paziente di seguire fisicamente il percorso, ma gli si chiede di immaginare di trovarsi lungo lo stesso e di decidere, ad ogni incrocio, se svoltare a destra o a sinistra. Si tratta di una prova più complessa della precedente, la quale obbliga il soggetto a mantenere e verificare la sua posizione sulla mappa, verbalizzando ogni mutamento di direzione. Tale test sembra essere compromesso notevolmente in soggetti con deficit spaziali, ma la sua componente verbale non lo rende un test altamente specifico.

Tutti gli strumenti descritti possono aiutare il clinico nell'individuare una compromissione delle abilità visuospaziali; diversi disordini cognitivi possono intaccare la cognizione spaziale ed uno di questi è rappresentato dalla Negligenza Spaziale Unilaterale descritta nel prossimo capitolo.

1.4. La Negligenza Spaziale Unilaterale

Quando ci si imbatte in pazienti con danno cerebrale che ancorano il loro focus visivo nel lato destro dello spazio, senza prestare attenzione a ciò che accade alla loro sinistra, siamo in presenza di negligenza spaziale unilatera (NSU, detta anche neglect o eminegligenza spaziale). L'eminelligenza è una conseguenza, spesso drammatica, di un danno dell'emisfero destro, generalmente di origine vascolare (Bartolomeo et al., 2007) La lesione può interessare sia strutture corticali che sottocorticali dell'emisfero destro, e sono solitamente localizzate nell'area corrispondente al lobo parietale e alla sua giunzione con il lobo temporale (in particolare danni al lobulo parietale inferiore – IPL – e in alcuni casi alla parte mediana e rostrale del giro temporale superiore – STG).

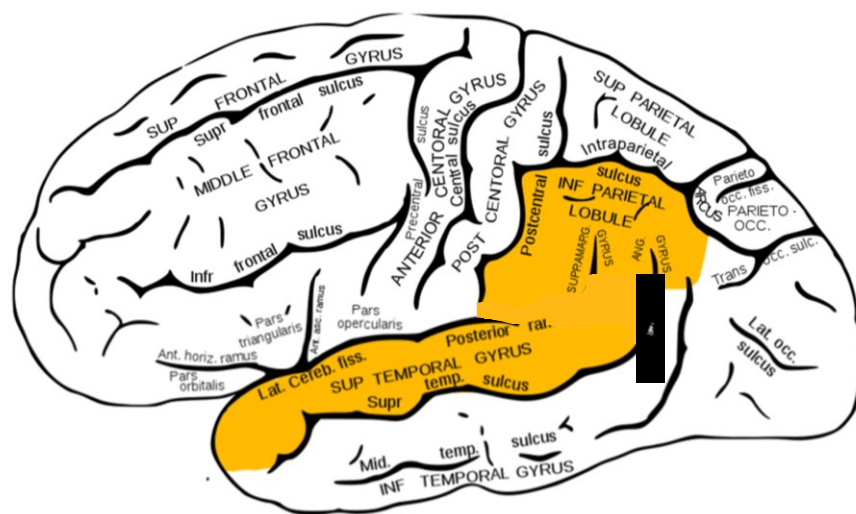


Figura 1.4.1 Regioni cerebrali coinvolte nella NSU. Fonte Wikipedia

Sulla base di quanto descritto nel precedente capitolo, sembrerebbe che alcuni pazienti con eminegligenza spaziale presentino un danneggiamento del frame egocentrico, ma non di quello allocentrico; altri, invece, possono mostrare una condizione speculare: una compromissione del frame allocentrico, con un'intatta strategia di elaborazione spaziale egocentrica (Ota et al. 2001).

I pazienti con NSU non mangiano dalla parte sinistra del loro piatto, urtano la loro sedia a rotelle in ostacoli situati alla loro sinistra e hanno la tendenza a guardare solamente ai dettagli “di destra” delle scene a loro presentate come se la loro attenzione fosse "magneticamente" attratta da questi dettagli e lateralizzata verso l’emicampo destro (Gainotti et al., 1991). Di solito non sono consapevoli dei loro deficit (anosognosia) e spesso negano ostinatamente di essere emiplegici, ovvero di avere anche problemi di movimento degli arti controlesionali (Berti et al., 2005). Anche i pazienti con danno cerebrale sinistro possono mostrare segni di NSU per il lato destro, sebbene più raramente e di solito in una forma meno grave (Beis et al., 2004). Mentre l’emisfero sinistro risulterebbe specializzato in compiti linguistici, quello destro é solitamente identificato come responsabile delle capacità mnemoniche e spaziali (Witelson, 1988).

Nonostante questa asimmetria funzionale, entrambi gli emisferi sarebbero deputati all’elaborazione di alcune informazioni visive provenienti dal lato destro dello spazio; di conseguenza, ecco perché, in caso di danni localizzati nell’emisfero sinistro del cervello, l’emisfero destro sarebbe capace da solo di ottemperare a compiti di esplorazione spaziale sia per il lato omolaterale che quello controlaterale (Iachini et al., 2009).

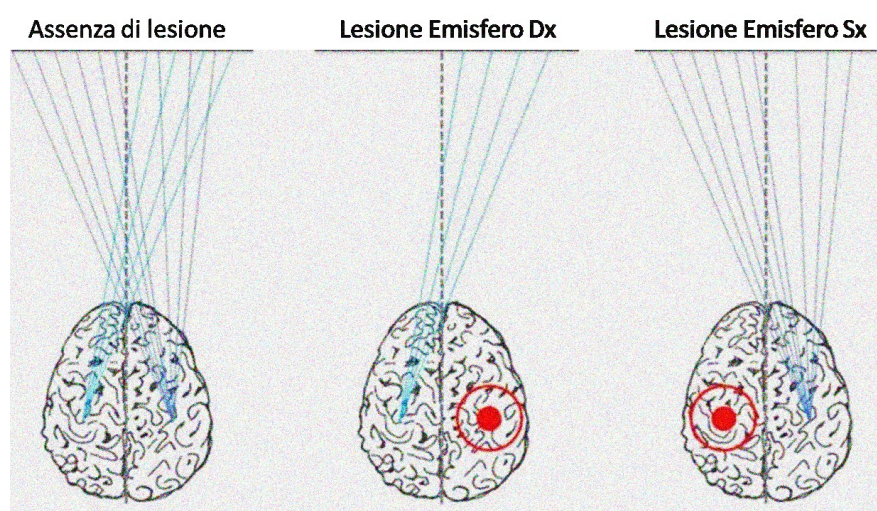


Figura 1.4.2 Rappresentazione dell'asimmetria funzionale responsabile del diverso processamento delle informazioni spaziali nei due emisferi cerebrali

Una corretta diagnosi è importante, poiché il neglect ha delle serie ricadute sulla vita personale dei pazienti; nella prossima sezione saranno illustrati alcuni test utilizzati per diagnosticare l'emeinegligenza.

1.4.1 Valutare la Negligenza Spaziale Unilaterale

Esistono molti strumenti per valutare la NSU ed alcune rassegne li descrivono dettagliatamente (Canini et al., 2014; Menon & Korner-Bitensky, 2004). Ad esempio, il *Comb and Razor Test* (Beschlin & Robertson, 1997) e la *scala semistrutturata per la valutazione funzionale dell'eminattenzione nello spazio personale* (Zoccolotti, Antunucci & Judica, 1992) sono strumenti adottati per valutare la NSU attraverso attività funzionali relative allo spazio personale, come ad esempio il radersi, il pettinarsi ed altri compiti simili.

L'emeinegligenza può influire anche sullo spazio extra-personale e i relativi strumenti di valutazione sono di facile somministrazione anche in caso di paziente allettato. Per esempio, il *compito di bisezione di linee* (Schenkenberg, Bradford & Ajax, 1980) è un test molto semplice da somministrare e consiste nel trovare e tracciare con una penna il punto medio di 18 segmenti tracciati su un foglio. Un aspetto interessante di tale compito risiede nel fatto che mentre i pazienti con neglect pongono a destra il punto di bisezione, la popolazione normotipica posiziona il punto medio dei segmenti leggermente più a sinistra di quello reale (trattasi di *pseudoneglect* in compiti di ricerca visuospatiale; Gigliotta et al., 2017). Un'altra tipologia di test, atti a valutare la NSU, richiedono di provvedere alla cancellazione di determinati stimoli target presentati su un foglio di carta, come il compito di cancellazione di linee (Albert, 1973). I pazienti affetti da neglect, solitamente, provvedono alla cancellazione dei soli stimoli presenti nella parte destra del foglio.

Infine, alcuni strumenti per la valutazione della NSU richiedono alle persone di cimentarsi in compiti di disegni. Tra i test di disegno più usati ci sono *il disegno*

della *figura di Rey* (Goodenough, 1926), affidabile per valutare memoria visuospatiale ed elaborazione percettiva, e *il test dell'orologio* (Ishiai et al., 1993).

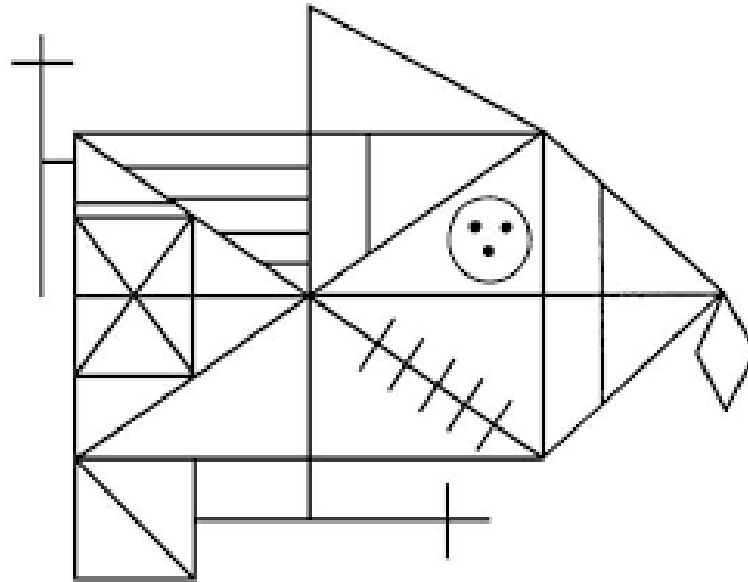


Figura 1.4.3 Compito di copia della Figura di Rey, Goodenough (1926)

Nel prossimo paragrafo sarà descritto il Baking Tray Task, uno strumento di valutazione sensibile al pari di quelli appena citati nel diagnosticare la presenza della NSU.

1.4.2 Il Baking Tray Task

Il Baking Tray Task (BTT) è un test neuropsicologico, di tipo ecologico, ovvero assimilabile ad un'attività di vita quotidiana, per valutare la NSU.

Nella versione tradizionale del BTT ideata da Tham e Tegnér (1996), si chiede ai soggetti di distribuire uniformemente 16 cubetti su una tavola da 100 cm x 75 cm come se fossero dei panini/biscotti su una teglia da forno da infornare. Gli autori,

successivamente, testarono anche l'utilizzo di una tavola da 21 cm x 29,7 cm, altrettanto sensibile, ma soprattutto più pratica da usare.

I cubetti, di grandezza pari a 3.5 cm, sono inseriti in una scatola di fronte al soggetto prima di essere disposti. Il paziente può eseguire il test senza limiti di tempo, ma è necessario che collochi ogni cubetto sulla "teglia".

Una distribuzione normotipica è data da 8 cubetti per ogni lato della superficie (Fig. 1.4.4-a), organizzati in 4 righe per 4 colonne. Per quanto riguarda la procedura di scoring del compito, questa avviene contando il numero di cubetti posizionati in ciascun lato della teglia; la scelta del valore soglia (*cut-off score*) è dipesa dalla prestazione peggiore dei soggetti sani, che non posizionano più di 7 cubetti in un lato della teglia e 9 nell'altro. Di conseguenza, differenze maggiori di 2 nel numero di cubetti tra il lato destro e quello sinistro della superficie possono far sospettare un disturbo della lateralizzazione spaziale.

I pazienti affetti da neglect, solitamente, collocano più cubetti nel lato destro della superficie dove posizzarli (chiamata teglia, tavola o superficie che dir si voglia). Ulteriormente, sono stati definiti nell'esecuzione del BTT, tre livelli di gravità della NSU: lieve, quando i partecipanti distribuiscono tra i 5 e 7 cubetti sulla parte sinistra della tavola; moderata, quando i partecipanti pongono tra 1 e 4 cubetti sul lato sinistro della tavola (Fig. 1.4.4-c) e grave quando i partecipanti non collocano nessuno cubetto sulla metà sinistra (Fig. 1.4.4-b).

In generale, anche chi soffre di altre alterazioni della cognizione spaziale, mostra un pattern disfunzionale riguardante la distribuzione dei cubetti (Fig. 1.4.4-d, e, f), pur non potendo contare sulla classica procedura di scoring del BTT per essere correttamente valutati. Infatti, vi sono alcune configurazioni che pur disponendo 7/8 cubetti in un lato della superficie e 9/8 nell'altro (Fig. 1.4.4-d, e, f), risultano esser lontane dalla configurazione tipica e non classificabili come neglect.

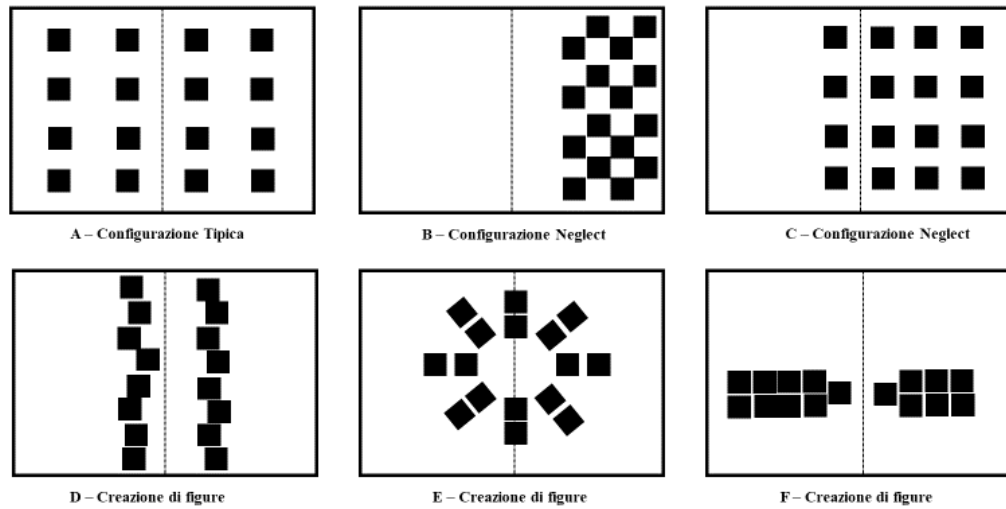


Figura 1.4.4 Prestazioni differenti riscontrabili al BTT:

(a) Distribuzione tipica: 8 cubetti in ogni lato della teglia

(b) NSU grave

(c) NSU Moderata

(d,e,f) La prestazione dei pazienti denota una compromissione cognitiva.

Il BTT è un test sensibile e facile da utilizzare, che si presta a rilevare il deficit in pazienti con eminegligenza moderatamente grave rispetto a test più comuni, tra cui il test di cancellazione (Albert, 1973) ed il test di bisezione di linee (Schenkenberg, Bradford e Ajax, 1980). Inoltre, il BTT richiede minor carico cognitivo ed attenzione rispetto ai compiti di cancellazione in cui il numero dei distrattori e la capacità dei pazienti di distinguerli dal target possono incidere negativamente sulla prestazione (Rapcsak et al., 1989).

In più, i compiti di cancellazione risentono dell' effetto della pratica (Sherman et al., 2011); se i pazienti svolgono quotidianamente questi test alcuni di loro sembrano memorizzare la sequenza di passaggi, mentre nel Baking Tray Task, oltre a non esservi soluzioni giuste o sbagliate, essa è complicata da memorizzare

nonostante l'esercizio, non esistendo strategie univoche nella possibile configurazione finale dei cubetti (Tham e Tegnér, 1996). Il BTT è stato ampiamente utilizzato in ambito scientifico e nella prossima sezione verranno illustrati alcune sue applicazioni ed evoluzioni.

1.4.3 Gli utilizzi del Baking Tray Task in letteratura

Tham e Tegnér, un anno dopo la pubblicazione del loro articolo del 1996, nel quale presentavano il BTT, hanno proceduto alla suddivisione del campione del loro studio (caratterizzato da 14 pazienti), in due gruppi uguali (A e B), al fine di poter confrontare due procedure: il video feedback ed una procedura verbale (Tham & Tegnér, 1997).

Nel primo, i soggetti sottoposti al Baking Tray Task venivano videoregistrati, così da poter osservare direttamente il loro comportamento negletto. Nel secondo, invece, i pazienti ricevevano direttamente un feedback (verbale e visivo) da parte degli sperimentatori.

Di conseguenza, i soggetti del gruppo A venivano addestrati con il video feedback ed i soggetti del gruppo B venivano addestrati con la procedura verbale.

Tre ore dopo l'addestramento, ai pazienti venivano somministrati quattro diversi test (il BTT, il compito di cancellazione di linee, la bisezione di linee e la copia di una figura) così da valutarne la formazione.

Dopo aver eseguito il Baking Tray Task, i soggetti del gruppo A visualizzavano le proprie prestazioni in video. I soggetti del gruppo B, invece, ricevevano indicazioni verbali della propria prestazione nel BTT.

Da queste procedure derivavano due differenti conseguenze:

- Dopo aver visionato il video, infatti, il gruppo A apportava dei miglioramenti significativi nella prestazione del BTT, ma non negli altri test per la negligenza.

- ☛ Il gruppo B, invece, non migliorava in alcun modo, né nella prestazione del BTT, né negli altri test.

Il video feedback, dunque, risultava, senza ombra di dubbio, la tecnica più utile in ambito riabilitativo. In particolare, Tham e Tegnér consigliavano di utilizzare la videoregistrazione della performance nel BTT, all'inizio del processo di formazione, così da dare ai pazienti una visione chiara e strutturata della loro prestazione. Il video feedback, invece, poteva essere utilizzato per le attività della vita quotidiana.

In uno studio successivo, gli autori elaboravano un metodo utile a rendere i pazienti affetti da neglect, più consapevoli della loro condizione, così da poterli spronare ad utilizzare tecniche compensative nell'esecuzione delle attività quotidiane (Tham et al., 2001).

In quest'esperimento, il BTT veniva utilizzato sia nella fase di valutazione dell'eminegligenza, attraverso una batteria di test, sia nel programma d'intervento, usando il video feedback, affinché i pazienti potessero osservare i fallimenti compiuti nell'esecuzione delle prove, così da implementare la loro consapevolezza. I terapeuti, quindi, mostravano il filmato ai partecipanti ai test, chiedendo loro di descrivere le prestazioni svolte, discutendo sulle possibili tecniche compensative.

Successivamente, gli sperimentatori facevano ripetere i test ai pazienti, al fine di verificare se, gli stessi, applicassero le tecniche compensative appena apprese. Da quest'esperimento, fu possibile dedurre che tutti i partecipanti, migliorando la consapevolezza della propria disabilità, riuscivano a migliorare anche l'esecuzione delle attività quotidiane. Cambiamenti clinicamente significativi venivano riscontrati in tre partecipanti e venivano mantenuti solo da due.

Al fine di valutare la presenza di NSU, Bailey, Riddoch e Crome (2000) impiegarono il BTT in combinazione ad altri test (un compito di cancellazione di stimoli, un compito di copia di un disegno ed un compito di bisezione di linee).

La superficie sulla quale i soggetti dovevano disporre i cubi, era un po' più piccola dell'originale, ma più pratica: essa misurava 75 cm x 50 cm, anziché 100 cm × 75 cm.

Nessun soggetto nel gruppo di controllo (43 soggetti) posizionava più di 7 cubi in un lato della superficie e più di 9 nell'altro (risultato già evidenziato in origine da Tham e Tegnér). La presenza di questo gruppo a cui veniva somministrato il BTT serviva a definire un punteggio cut-off normativo.

Alcuni partecipanti, hanno giudicato troppo grande la “teglia”, sebbene essa fosse più piccola dell'originale. Tra i soggetti maschi, sottoposti ai test, si evidenziava una difficoltà ad intuire cosa fare dopo aver collocato i cubi sulla tavola. Probabilmente, quest'insufficienza era legata ad un minor numero di esperienze di attività paragonabili al "*posizionamento di panetti su una teglia*" negli uomini, rispetto alle donne.

Quattro anni dopo, gli stessi ricercatori (Bailey, Riddoch & Crome, 2004), indagarono l'affidabilità test- retest del compito di cancellazione, di quello di bisezione e del BTT in 168 pazienti anziani (di cui 85 affetti da neglect ed 83 sani). Tale valutazione risultava utile a verificare se vi fosse una variazione nell'esecuzione dei test ripetuti entro un'ora ed assegnati in modo randomizzato.

L'esigenza di ripetere le tre prove entro l'ora aveva la finalità di ridurre l'influenza dei fattori ambientali sulla prestazione, evitando fluttuazioni nel livello di attenzione oppure affaticamento dei soggetti in momenti diversi della giornata. Ciò nonostante, non bisognava escludere il fatto che, anche in un periodo di tempo molto breve, l'ansia, la distrazione e la potessero influenzare l'affidabilità test-retest.

Dall'analisi della correlazione intraclasse (ICC) emergeva, per tutti i tre test, un'ottima affidabilità. Dai limiti dell'analisi di concordanza si rilevava, invece, una maggiore affidabilità nella ripetizione dei test da parte dei pazienti affetti da una forma più grave di neglect, rispetto ai soggetti con sindrome lieve o moderata. In quest'ultimi, infatti, può essere difficile interpretare le prove ripetute, poiché piccoli

cambiamenti nelle prestazioni dei pazienti possono essere dovute ad un errore di misurazione, piuttosto che ad un effettivo cambiamento attribuibile all'intervento applicato.

In particolare, nel BTT, i punteggi analoghi tra test e retest possono hanno fornito un'utile indicazione riguardante l'affidabilità del test sui soggetti affetti da grave negligenza.

Inoltre, lo studio innanzi esposto suggeriva che cancellazione di stimoli, bisezione di linee e BTT erano tre prove adatte per lo screening e per la valutazione iniziale della lateralizzazione spaziale dei pazienti. Gli studiosi, cautelativamente, hanno comunque indicato il bisogno di utilizzare più di uno strumento valutativo per procedere all'identificazione di un'eventuale presenza di NSU.

Ulteriormente, questo studio ha suggerito che i tre tipi di compito indagano tre aspetti differenti della cognizione visuospatiale. Infatti, le operazioni di cancellazione richiedono che il soggetto esegua visivamente la ricerca attraverso una serie di stimoli; nel test di bisezione, invece, è coinvolta la capacità di confrontare la lunghezza delle linee, al fine di individuarne il punto medio. Per il BTT, infine, il soggetto procede al processamento di informazioni spaziali circa la disposizione dei cubi sul piano.

Nel 2004, un altro studio ha convalidato ancora di più l'utilità del BTT su pazienti colpiti da neglect, a seguito di un ictus cerebrale (Appelros et al., 2004).

Lo strumento veniva confrontato con 2 versioni del *Behavioural Inattention Test* (BIT; Halligan et al., 1989) e con un test per il neglect dello spazio personale, ovvero quello corporeo.

Il BIT si componeva di 6 subtest carta e matita e di 9 subtest comportamentali, noiosi sia per i pazienti, i quali non riuscivano a completarli del tutto, sia per lo staff, poiché i tempi di somministrazione erano molto lunghi.

Per tale ragione, si presentava una versione ridotta del BIT, prima ancora di somministrare il BTT ed il test per il neglect dello spazio personale, selezionando

alcuni item da entrambe le versioni. Nello specifico, si ricavano 2 versioni del BIT costituite una da 8 item (m-BIT; da sottoporre a 40 pazienti) ed una da 3 item (s-BIT; da sottoporre a 270 pazienti).

Da questi esperimenti risultava che il BTT era più *affidabile* rispetto ai 3 item del s-BIT, ma non rispetto agli 8 item del m-BIT.

Il test m-BIT, inoltre, risultava essere ancora parecchio impegnativo, mentre il s-BIT non risultava in grado di cogliere le misure comportamentali utili ad aumentare la validità ecologica.

Gli autori ne desumevano che la migliore combinazione dei tre test risultava essere data dalla seguente sequenza: il BTT, la lettura di un articolo e la copia di una figura (queste ultime due prove erano parte degli otto item del m-BIT).

La batteria dei test somministrata in questo modo, quindi, era in grado di cogliere più casi di NSU rispetto ai test singolarmente considerati, ma risultava essere più noiosa per il paziente e più lunga per lo staff.

Tre anni dopo, un gruppo di ricerca confrontava un compito di cancellazione in un ambiente virtuale (VR) con i test convenzionali per la diagnosi di neglect (Broeren, 2007). Il compito di cancellazione nell'ambiente virtuale veniva utilizzato per descrivere la cinematica dei movimenti della mano, in otto pazienti con lesioni all'emisfero destro.

Il suddetto setting virtuale era volto a riprodurre un ambiente reale, in cui era possibile monitorare i progressi nelle abilità dei pazienti.

Quest'ultimi, infatti, interagivano con oggetti 3D presenti nello spazio virtuale, attraverso degli occhiali stereoscopici ed una penna digitale, ossia un dispositivo aptico che sostituisce la modalità tattile.

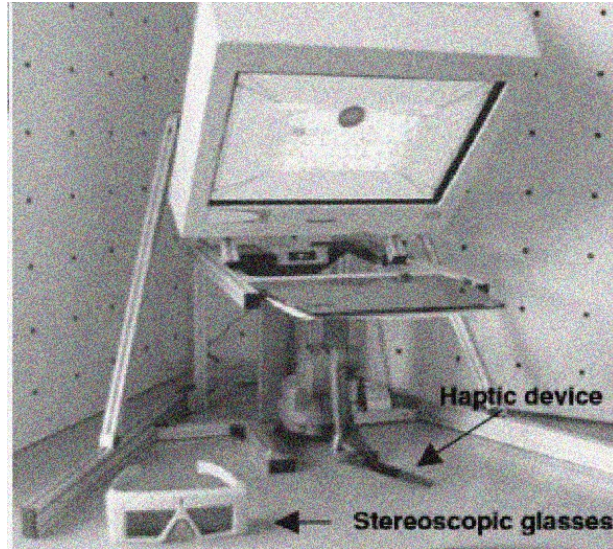


Figura 1.4.5 Il setting virtuale con cui i partecipanti interagiscono attraverso gli occhiali stereoscopici ed il dispositivo aptico

Gli sperimentatori hanno utilizzato il BTT ed un compito di cancellazione, al fine di verificare la presenza di NSU. Solo successivamente, veniva somministrata la versione computerizzata del test.

L'emeieglienza spaziale veniva, quindi, diagnosticata, sia utilizzando la VR, sia utilizzando i test carta e matita.

Alcune prestazioni anomale in ambiente di realtà virtuale (come, ad esempio, la pressione ripetuta del target, o dei movimenti casuali della mano), indicavano come la realtà virtuale fosse utile a massimizzare la valutazione del paziente, individuando anche piccole variazioni, non rilevabile attraverso i test carta e matita.

Questa tecnologia, dunque, sembrava essere molto adatta alla valutazione dell'esplorazione manuale visivamente guidata nello spazio.

Nel 2016, altri ricercatori hanno somministrato una batteria di test neuropsicologici ad un paziente con un grave trauma cranico, al fine di valutare la sua attenzione visuospatiale (García-Molina et al., 2016).

La batteria era composta da diversi test per la diagnosi della Negligenza Spaziale Unilaterale (il Baking Tray Task, la bisezione di linee, la copia di una figura, il test delle campane ed un compito di lettura), i quali confermavano la presenza di NSU.

Ciò che si rilevava dal suddetto studio, era il notevole miglioramento della prestazione del paziente, manifestatosi dopo dieci giorni dalla prima sessione del test.

Durante la somministrazione del BTT, avvenuta 127 giorni dopo il trauma cranico, la prestazione del paziente risultava essere estremamente deficitaria. Il soggetto, infatti, collocava tutti i cubetti nell'angolo in basso a destra (Fig. 1.4.6-b).

Successivamente, invece, la batteria di test riproposta al paziente dopo 10 giorni, dimostrava un notevole progresso nella sua performance (Fig. 1.4.6-c).

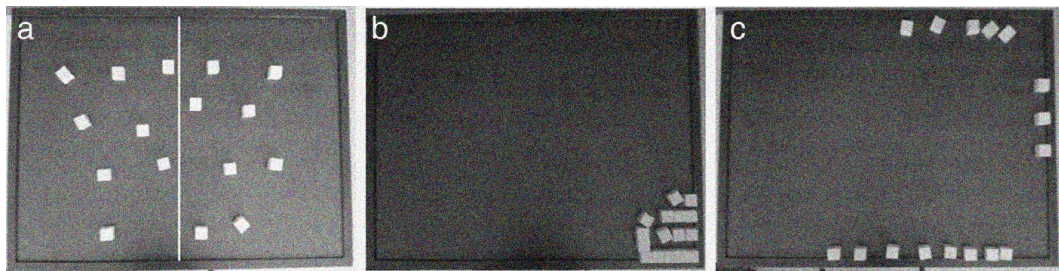


Figura 1.4.6 – Prestazioni al BTT

- (a) *Configurazione tipica: i cubetti sono ugualmente distribuiti sulla tavola. La linea che divide il piano è stata aggiunta dopo l'esecuzione del test.*
- (b) *Prestazione del soggetto 127 giorni dopo il trauma cranico*
- (c) *Prestazione del soggetto 10 giorni dopo la prima sessione*

Da ultimo, infine, si evidenzia un recente studio di un gruppo di ricercatori coreani, nel quale il test risulta essere molto simile al BTT (Chung et al., 2016), ma in formato computerizzato. Si tratta del Computerized Table Setting Test (CTST), un compito, da effettuare attraverso un dispositivo elettronico (un tablet *touchscreen*),

nel quale i pazienti devono, tramite *touchscreen*, trascinare e posizionare in maniera equidistribuita dodici piatti su di un tavolo virtuale (una sorta di versione ridotta e digitalizzata del Baking Tray Task classico).

Una volta terminata la prova, gli esaminatori procedono a misurare e registrare: la deviazione, sul piano orizzontale, rispetto alla linea mediana del tavolo; la sequenza dei piatti selezionati ed il tempo trascorso per il completamento del compito.

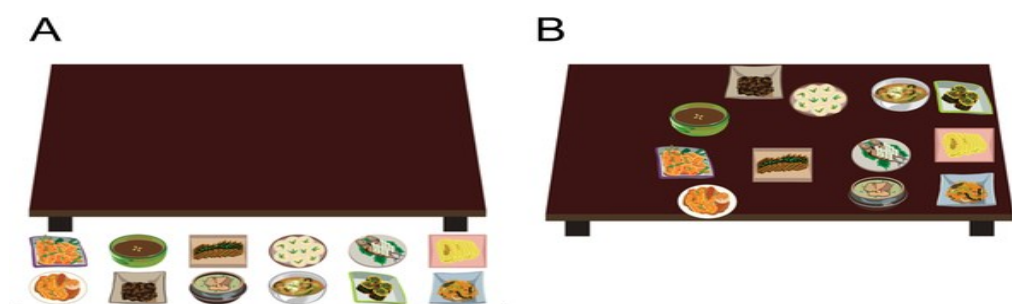


Figura 1.4.7 Un esempio di prova al CTST (Chung et al., 2016):

Dalla disposizione si può dedurre la presenza di NSU lieve. (B)

Gli autori ritengono che il test CTST sia molto simile al BTT. In entrambe le prove, infatti, le istruzioni fornite ai soggetti sono identiche, poiché si richiede in ambo i casi, di disporre degli stimoli su di un piano.

Entrambi i test consentono, altresì, di rilevare la Negligenza Spaziale Unilaterale, disturbi motori e l'incapacità di orientamento dell'attenzione spaziale nei pazienti che hanno subito un ictus.

Il test CTST ed il test BTT presentano, però, anche delle differenze. Nel primo di essi, infatti, il paziente interagisce con degli oggetti (i piatti da disporre) di tipo digitale. Nel secondo, invece, i cubetti sono oggetti fisici da manipolare, e che rendono la prova ecologica, cosa che viene un po' a sfumare nel CTST.

Inoltre, mentre nel CTST il numero di stimoli da collocare risulta essere pari a 12, nel test BTT il numero di oggetti con cui effettuare la disposizione è pari a 16.

Gli autori ritengono, altresì, che il test CTST abbia delle caratteristiche innovative rispetto al BTT. Esso, infatti, è in grado di calcolare i risultati in tempo reale, superando le differenze culturali. Apparecchiare la tavola, infatti, è un'attività diffusa tra le varie culture e, per tale ragione, può essere compresa ed eseguita facilmente, anche da un paziente affetto da neglect.

Un limite riscontrato nel test CTST riguarda, però, la natura stessa della prova. Quest'ultima, infatti, si basa sul posizionamento di oggetti virtuali, rendendo possibile rilevare la traiettoria dei movimenti compiuti dal paziente sullo schermo del tablet solo attraverso l'utilizzo di un touch screen. Tale aspetto comporta la perdita della tangibilità e della relazione con gli oggetti reali, possibile, invece, nel BTT.

L'aspetto della tangibilità degli oggetti viene invece mantenuto da una nuova versione del BTT, illustrata nei prossimi capitoli, e riproposta, in chiave tecnologica, tramite un prototipo, sviluppato in questi tre anni di ricerca dottorale, il quale permette la somministrazione di test atti a valutare cognizione visuospatiale e comportamenti visuospatiali degli individui.

– PARTE 2 –

**IDEAZIONE E PROGETTAZIONE DEL PROTOTIPO PER
LA VALUTAZIONE DEI COMPORTAMENTI
VISUOSPAZIALI PERIPERSONALI**

2.1 Introduzione

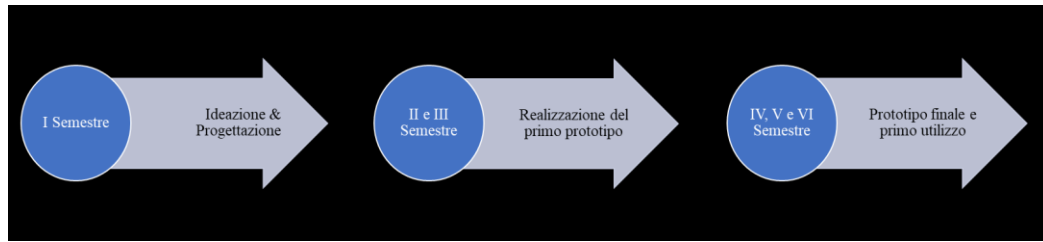
La seconda parte del presente lavoro illustra quelli che sono stati gli sviluppi, relativi soprattutto alla prima metà del dottorato, del lavoro di ricerca di proposto.

Considerando la parte della letteratura scientifica proposta nella precedente sezione, ho lavorato, coadiuvato dall'equipe multidisciplinare dei partner del progetto industriale, all'ideazione e progettazione di uno strumento atto a fornire una valutazione dei comportamenti spaziali esibiti dalle persone all'interno del loro spazio peripersonale.

L'attività progettuale è partita individuando una mancanza all'interno del panorama dei test presenti nel panorama della psicologia e neuropsicologia di una piattaforma che consentisse la valutazione delle abilità e comportamenti visuospatiali attraverso l'utilizzo combinato di sistemi di realtà aumentata e di interfacce tangibili (strumenti fisici manipolabili), ovvero oggetti concreti con cui interagire in maniera ecologica, utilizzandoli in compiti che consentano una certa rassomiglianza a situazioni di vita quotidiana e che risultino più coinvolgenti e meno noiosi rispetto alle tradizionali forme di valutazione (Jacoby et al., 2006).

Il prototipo descritto, dopo una fase molto progettuale in cui prendeva il nome di E-BTT, ha visto la luce con il nome di BTT-SCAN. Come si evince dall'acronimo, il riferimento è al Baking Tray Task (per l'appunto BTT) descritto nelle pagine precedenti del presente lavoro.

L'obiettivo era quello di ricreare una versione tecnologicamente potenziata del tradizionale compito ideato da Tham & Tegner (1996), la quale permettesse una certa automatizzazione sia da un punto di vista di raccolta del dato, sia da un punto di vista di interpretazione diagnostica dello stesso, fungendo da supporto all'esaminatore.



Schema: Cronoprogramma delle differenti fasi di progettazione e sviluppo del prototipo

In seguito, come sarà illustrato nella parte 3 della tesi, con il lavoro concentratosi nell'anno finale del dottorato, il BTT ha rappresentato solo un esempio di applicazione del prototipo, il quale ha subito modifiche hardware e software tale da estenderne notevolmente gli utilizzi (ad esempio: la versione finale consente la somministrazione di più tipi di compiti mentre quella precedente consentiva solo un tipo di attività).

2.2 Prototipazione di una piattaforma per la valutazione delle abilità e dei comportamenti visuospatiali

In piena linea con le direttive previste dal PON Ricerca e Innovazione 2014-2020, e, in particolare, all'Asse I "Investimenti in Capitale Umano", Azione I.1 "Dottorati Innovativi con caratterizzazione industriale", il lavoro triennale di dottorato si è innestato, coerentemente, con i bisogni del sistema produttivo nazionale e con la SNSI approvata dalla Commissione europea, includendovi anche gli specifici fabbisogni relativi alla strategia di trasformazione del manifatturiero di Industria 4.0 e dei temi della formazione e delle competenze nel settore dell' "e-health" e dei "big data".

In particolare, è stato realizzato un prototipo ideato per valutare le abilità e i comportamenti visuospatiali degli individui nel loro spazio peripersonale, sfruttando le moderne tecnologie di realtà aumentata (AR- Augmented Reality) ed utilizzando le interfacce tangibili. Lo strumento fornisce dei tipi di dati, non precedentemente rilevabili, che potrebbero arricchire l'informazione relativa alla performance degli individui; inoltre, l'intero sistema sfrutta le potenzialità di un WEB database (accessibile tramite rete Internet) in formato *cloud*, capace di consentire una raccolta dati di tipo massivo. Prima della descrizione dello strumento e della sua progettazione, il prossimo paragrafo illustra lo stato dell'arte in merito all'utilizzo di interfacce tangibili e tecnologie di realtà aumentata (*Tangible Interfaces and Augmented Reality Technologies*).

2.2.1 Realtà aumentata ed Interfacce tangibili

La realtà aumentata include tutte le applicazioni in cui sono presenti ambienti reali che vengono "aumentati" in presa diretta da un supporto tecnologico di tipo virtuale ed informatico (Carmigniani et al., 2011).

La realtà aumentata dunque, propone una vista “rinforzata”, con un conseguente arricchimento dal punto di vista della quantità di informazioni, attraverso l’utilizzo del virtuale sulla base della realtà fisica esperita dall’utente. L’elemento cruciale della Realtà Aumentata è centrato sulla possibilità di creare un’interazione ibrida tra il mondo virtuale e le azioni, le *gestures*, i comportamenti e gli input propri del mondo reale.

I sistemi AR fanno la prima comparsa negli anni '60 e le applicazioni iniziali adottarono entrambe le tecnologie AR e di realtà virtuale (Virtual Reality – VR; Johnson, et al., 2010), ma l'etichetta "Augmented Reality" fu usata per la prima volta nel 1990, dal ricercatore Boeing Tom Caudell. Sebbene negli anni '90 solo le grandi aziende potessero avere la possibilità di permettersi i sistemi AR, ora, con le moderne tecnologie, l'AR può anche essere riproposta a casa con personal computer o tramite dispositivi mobili come tablet o smartphone.

Gli elementi, la cui presenza caratterizzano un’applicazione di Realtà Aumentata sono i seguenti (Carmigniani et al., 2011):

- schermi in grado di proiettare o riprodurre il mondo reale, i quali possono essere fissi o anche indossabili (come a titolo esemplificativo i Google Glass);
- sistemi di tracciamento, come videocamere, fotocamere e altri sensori ottici;
- elemento preposto al calcolo, come *Personal Computer*, *Tablet* o *Smartphone*;
- strumenti di input.

Principalmente, esistono due tipi di applicazioni AR (Zhou, Duh e Billingham, 2008): applicazioni basate su marker e senza marker. La prima funziona attraverso un dispositivo di tracciamento (ad esempio una telecamera) in grado di riconoscere specifici tag visivi che arricchiscono le informazioni, mentre la seconda adotta dati posizionali come quelli forniti da un GPS. Le potenzialità dell'AR sono legate al fatto che le informazioni fornite alle persone possono essere collegate a contesti specifici (in situ) ma possono anche dipendere dall'esplorazione autonoma del

mondo reale. Inoltre, a volte l'AR richiede l'interazione degli utenti con oggetti concreti e la loro manipolazione fisica, al fine di avere accesso alla loro completo set di conoscenze (l'informazione fisica e, in aggiunta, quella virtualmente migliorata).

Questi oggetti sono rappresentati dalle cosiddette Interfacce Utente Tangibili o, semplicemente, Interfacce Tangibili (Tangible User Interfaces – TUI) ossia strumenti di input (introdotti nell'elenco precedentemente descritto) per sistemi di realtà aumentata che corrispondono ad oggetti fisici e di uso comune. Utilizzando le TUI, si interagisce, dinamicamente e in maniera ibrida, con la componente virtuale di un sistema elettronico attraverso l'utilizzo e la manipolazione di oggetti reali. L'azione sugli oggetti fisici e tangibili innesca una conseguenza diretta nel sistema virtuale, provocando il riconoscimento delle caratteristiche dell'oggetto in questione, che può variare a seconda della tipologia di applicazione. Come successivamente riportato in alcuni esempi applicativi, il riconoscimento dell'oggetto reale da parte del sistema virtuale può avvenire sulla base del suo contributo informativo, della sua dimensione/posizione spaziale o del significato assegnato.

Ulmer e Ishii (2000) propongono uno studio sulle TUI definendoli come "*forme fisiche di informazioni digitali, impiegando artefatti fisici come rappresentazioni dei dati computazionali*". In quanto tali, forniscono più informazioni rispetto alla singola realtà fisica o alla singola realtà digitale.

Nei primi lavori in questo ambito, alcune TUI erano state progettate senza marker, come nel caso del prototipo Bricks (Fitzmaurice, Ishii, Buxton, 1995) ed inoltre le ricerche subivano la limitazione da parte di tecnologie immature che restringevano il campo di applicazione. I primi utilizzi di marker da corredare alle interfacce tangibili si concentravano soprattutto sull'aspetto tecnologico (rispetto a quello pratico) finalizzato ad un corretto riconoscimento dei tag da parte dei dispositivi elettronici con cui era previsto che dovessero interagire (Kato & Billinghurst, 1999; Slay et al., 2001; Kaltenbrunner & Bencina, 2007). Successivamente ad un miglioramento delle tecnologie, grazie all'avvento dei sistemi capacitivi, i lavori si sono concentrati sul riconoscimento del contatto delle mani e dei relativi tocchi

su di uno schermo sensibile utilizzando soluzioni wireless, come dimostrato ai prodotti tipo SmartSkin (Reikomoto, 2001) e ShadowGuides (Freeman, Benko, Morris, e Wigdor, 2009). Chiaramente, maturando le tecnologie, divengono interessanti e specifici i campi di applicazione che passano dalla biologia, come il prototipo SLAP (Wiess et al. 2009), al mondo del gaming su normali sistemi touchscreen (Bock, Fisker, Topp, & Kraus, 2014), alle applicazioni di disegno (Blagojevic et al., 2012), alla realizzazione di prodotti quali Block Magic (Di Ferdinando et al., 2015) o Logic Art (Ferrara et al., 2016) che prevedono l'utilizzo delle TUI per il potenziamento, il training e l'assessment di attività didattiche concernenti la scuola dell'infanzia e quella primaria, ed infine alla creazione di supporti didattici come il Rotary Wheel (Urrutia et al., 2019) che consentono l'adozione di interfacce tangibili anche per studi superiori supportando, nel caso specifico, l'insegnamento di concetti trigonometrici.

Altri lavori, invece, si sono concentrati sull'adozione di strumenti di AR tramite l'utilizzo di oggetti fisici su cui sono disposti dei marker specifici rivelabili dai dispositivi di tracciamento (Cerrato, Siano e De Marco, 2018). Tali lavori, sono indirizzati principalmente all'utilizzo di questi sistemi in ambito di training e formazione, ideando attività di interazione *mondo-fisico/mondo-virtuale* che spaziano dalla chimica, alla medicina, passando per la progettazione industriale (Cerrato, Siano e De Marco, 2018).

Differentemente, per quel che riguarda diagnosi e riabilitazione, l'uso di TUI è raro, sebbene i "cubi cognitivi" di Sharlin et al. (2002) abbiano mostrato una loro potenzialità come strumento di valutazione cognitiva. Anche Stanton e colleghi (2001) propongono l'adozione delle TUI per un compito quotidiano progettato per l'uso da parte di giovani adulti con difficoltà di apprendimento. Successivamente, un ulteriore studio (Cho et al., 2002), ha avuto come oggetto la valutazione delle capacità di individuare, ricordare e di navigare attraverso l'ambiente, ovvero quelle abilità relative al *wayfinding* e alla rappresentazione di mappe cognitive. I ricercatori hanno proposto lo strumento *Cognitive Map Probe* (CMP), un tool computerizzato per la valutazione delle capacità di wayfinding e orientamento spaziale, che supporta interfacce di tipo tangibile, quali cubi di modeste dimensioni

ed altri oggetti fisicamente manipolabili. Un altro esempio di utilizzo di TUI a fini di valutazione, ma non proprio di diagnosi di tipo clinico, è rappresentato dal lavoro di Ras e colleghi (2014) sull'assessment del problem solving collaborativo (ColPS). Il loro lavoro si è concentrato, principalmente, su usabilità, esperienza utente e analisi dei gesti per indagare come le persone interagiscono con TUI in un contesto di valutazione innestato in un ambiente collaborativo.

Recentemente, un altro prototipo ha sfruttato le potenzialità derivate dalle interfacce tangibili, denominato SIG-Blocks (Lee, Jeong, Schindler & Short, 2016). Esso fa uso di oggetti manipolabili e dotati di sensori di movimento per la valutazione cognitiva, basati su alcuni elementi della scala Wechsler per adulti. Un altro strumento di valutazione, potenziato dalla tecnologia, è rappresentato dalle interfacce MOTO Tiles (Liu, Lund & Wu, 2018), costituite da tessere modulari interattive simili ai pezzi del puzzle ed utilizzate per promuovere il benessere fisico e la flessibilità cognitiva degli utilizzatori.

Il lavoro del dottorato di ricerca ha visto la realizzazione di un prototipo che utilizza le TUI con un particolare tipo di marker, chiamati ArUco Markers, che saranno illustrati nella prossima sezione.

2.2.2 ArUco Markers

Rilevare la posizione di un oggetto è un procedimento di grande importanza in molte applicazioni di visione artificiale, come ad esempio quelle che sfruttano l'orientamento spaziale dei robot o quelle che utilizzano sistemi AR di realtà aumentata. Questo processo si basa sulla ricerca di corrispondenze tra l'oggetto da rilevare nell'ambiente reale e la sua proiezione in un'immagine bidimensionale. Trattandosi di una procedura abbastanza complicata, è comune usare dei marker che rendano il rilevamento degli oggetti più semplice.

Uno degli approcci più popolari è l'uso di marker, di forma quadrata, che sfruttano la codifica binaria. Il vantaggio principale di questi marker è che un singolo marker fornisce abbastanza corrispondenze (i suoi quattro angoli) per essere individuato da

un dispositivo predisposto al suo tracciamento (come ad esempio una telecamera). Inoltre, la codifica binaria interna li rende particolarmente robusti, consentendo la possibilità di applicare tecniche di rilevamento e correzione degli errori.

Un recente sistema AR, appartenente alle applicazioni basate su marker, è quello rappresentato dalla libreria degli ArUco Markers, realizzata da un gruppo di ricerca dell'Università di Cordoba (l'acronimo sta proprio per Augmented Reality University of Cordoba¹; Garrido-Jurado, Muñoz-Salinas, Madrid-Cuevas & Medina-Carnicer, 2014). Quest'ultimi si interfacciano bene con la nota libreria software, multiplatforma, di visione artificiale chiamata OpenCV².

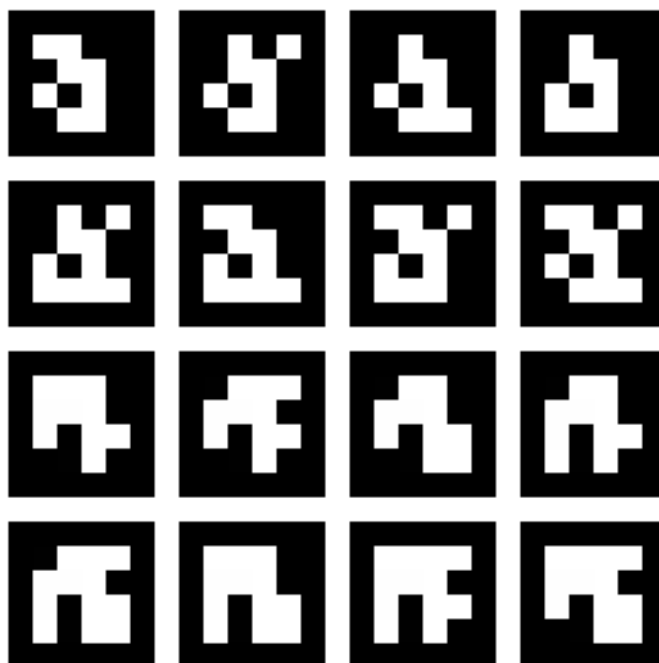


Figura 2.2.1 Un esempio di 16 differenti ArUco Markers. Fonte www.medium.com

I marker ArUco (Fig. 2.2.1) sono rappresentati come quadrati in bianco e nero che contengono una matrice binaria costituita dal loro identificatore (id); la parte nera

¹ <https://www.uco.es>

² https://docs.opencv.org/trunk/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html

rappresenta i bit "0" della matrice, al contrario la parte bianca rappresenta i bit "1". Il bordo nero consente un facile rilevamento per un dispositivo di rilevamento esterno e la codifica binaria consente l'identificazione dei marcatori. La dimensione dei marker ArUco è determinata dalla dimensione della matrice interna (ad esempio una dimensione del marker di 4x4 è composta da 16 bit). Anche se i marker ArUco sono ruotati nell'ambiente, il processo di rilevamento identifica la loro rotazione originale, grazie alla codifica binaria.

Il rilevamento che coinvolge i marker ArUco restituirà la posizione (come coordinate) e l'id di ciascun marker riconosciuto e il dispositivo (di solito una telecamera) che esegue la scansione dei marker è in grado di riconoscerli attraverso un algoritmo che ruota prospetticamente i marker nella forma originale. Nonostante le numerose applicazioni AR esistenti, l'uso dei marcatori ArUco non è molto diffuso.

Il prototipo progettato per valutare i comportamenti visuospatiali che avvengono nello spazio peripersonale degli individui, e sviluppato nel corso dei tre anni del dottorato industriale, ha visto l'adozione proprio dei marker ArUco come strumento di codifica e rilevazione delle interfacce tangibili (in primis ideate come cubi e poi "trasformate" in piccoli dischetti) da utilizzare e manipolare fisicamente come normali oggetti del mondo reale, in grado di "aumentare" il loro tasso di informazioni, una volta scansionate da una fotocamera, attraverso l'interazione con un dispositivo elettronico di calcolo (PC, laptop o tablet). La motivazione della loro adozione è da ricercare nella comprovata robustezza in termini di *riconoscimento di oggetti* nel campo della visione artificiale (Romero-Ramirez et al., 2018). L'intera fase di progettazione e ideazione dello strumento finale può essere divisa in tre step distinti che descrivono cronologicamente le varie fasi progettuali e prototipali, due delle quali descritte nelle prossime sezioni ed una nel prossimo capitolo

2.2.3 Fase di ideazione: E-BTT



Figura 2.2.2 L'immagine iniziale del software ideato per E-BTT (Cerrato & Ponticorvo2, 017)

L'E-BTT (Enhanced Baking Tray Task; Cerrato & Ponticorvo, 2017) ha rappresentato il primo tentativo di realizzazione di una versione potenziata del tradizionale Baking Tray Task (BTT), ed è stato progettato durante il primo semestre del primo anno del dottorato (2017).

L'idea era quella di riprodurre il BTT in un setting ibrido (virtuale e fisico), applicando alcuni principi della *gamification*, attraverso il software STELT (Smart Technologies to Enhance Learning and Teaching) una piattaforma software, realizzata da SMARTED³ s.r.l., che consente l'implementazione di sistemi di realtà aumentata con interfacce tangibili (Miglino et al., 2013).

STELT permette all'ideatore che vuole creare un'attività (come la riproposizione della task del BTT) di creare il proprio tipo di scenario, creando materiali personali e personalizzabili, potendo scegliere sia la meccanica di gioco, che la gestione dell'intelligenza interna. L'autore ha a disposizione uno strumento per lo sviluppo di applicazioni che sfruttano i materiali fisici e tangibili; STELT permette di arricchire gli oggetti fisici con un elemento *smart*, in maniera tale da renderli riconoscibili da un sistema digitalizzato, fungendo dunque da "ponte" tra la dimensione del mondo fisico e quella del mondo digitale.

³ <http://stelt.smarted.it/>

Da un punto di vista concettuale STELT ha la capacità di connettere:

- i protocolli di comunicazione con i vari dispositivi hardware, ovvero permettendo l'operalizzazione di un insieme di regole che rende possibile lo scambio di informazioni tra sistemi (come ricevitori elettronici e dispositivi di output);
- un ambiente di *Storyboarding* per creare ambienti che supportino un'interazione di varia complessità;
- un *Database* deputato alla raccolta e all'archiviazione dei dati per tener traccia del comportamento mostrato dall'utente;
- un sistema di *Adapting Tutoring* (l'intelligenza interna del software) in grado di analizzare ed interpretare tale comportamento, andando a fornire feedback pertinenti in tempo reale.

Come accennato precedentemente, l'autore che usufruisce di STELT ha due obiettivi principali:

- Creare la meccanica del gioco e dello *storyboard* associato
- Sviluppare i materiali d'interazione per il sistema.

In questo modo, vi è un uso parallelo ed integrativo tra le *Smart Technologies* e gli oggetti fisici, consentendo al tempo stesso un intervento manipolativo da parte dell'utente sulla realtà e l'interazione tra l'utente ed il computer.

Nell'E-BTT, riprendendo le istruzioni del BTT tradizionale, ovvero di equidispore 16 oggetti su una teglia da forno, lo *storyboarding* ipotizzato (che rappresenta l'elemento narrativo) consisteva nel dover aiutare un *oberato* panettiere nella gestione del suo lavoro quotidiano di bottega, aiutandolo nel posizionare, in maniera equidistribuita ed uniforme, dei piccoli panetti su una teglia da riporre poi nel forno (riproponendo, in versione un po' ludica e *gamificata*, le istruzioni di esecuzione del BTT di Tham & Tegnér).

L'utente che avrebbe utilizzato E-BTT avrebbe in primis dovuto accettare di *dare una mano al panettiere* interagendo con il software STELT attraverso dei cubetti fisici fungenti da interfacce tangibili che simulavano i "panetti da infornare", da disporre all'interno di una superficie di dimensioni predefinite. Di seguito viene

presentato uno schema concettuale che rappresenta la progettazione e l'idea di utilizzo del BTT (Fig. 2.2.3)

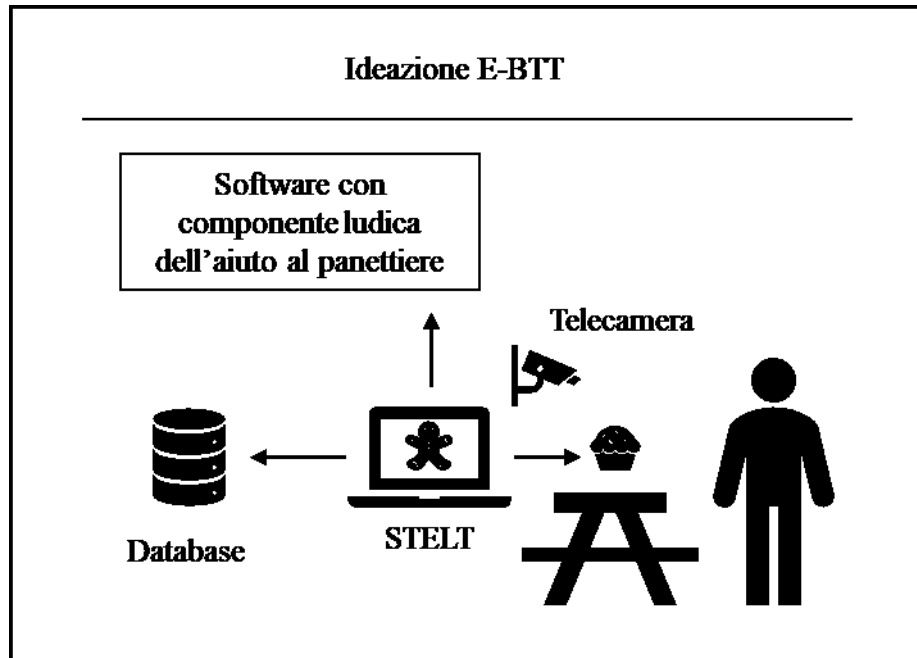


Figura 2.2.3 Schema concettuale dell'ideazione dell'E-BTT

L'E-BTT era stato ideato con l'obiettivo di segnalare la presenza di eventuali compromissioni della cognizione visuospatiale, stimolando la partecipazione ed il coinvolgimento degli utenti nell'interazione con il computer attraverso un ambiente digitale piacevole tramite l'utilizzo del software STELT.

L'E-BTT sarebbe stato in grado di fornire, analogamente alla figura dell'esaminatore che utilizza il BTT tradizionale, il numero di oggetti disposti nella metà sinistra e nella metà destra della superficie utilizzata, automatizzando il calcolo della loro differenza (la quale, se maggiore di 2, secondo le procedure di scoring tradizionale del BTT, è indice di eminegligenza).

L'E-BTT è stato il primo tentativo di ideazione del prototipo oggetto della tesi di dottorato; in seguito, tenendo conto le necessità di progetto e collaborando proficuamente con i partner del dottorato industriale (per quel che riguarda la supervisione "neuropsicologica" e "tecnologica" del progetto di ricerca), si è deciso

di rimuovere la componente *narrativa*, legata all'aspetto dell'aiuto al panettiere, poiché giudicata distraente e la stessa avrebbe potuto inficiare la performance dei partecipanti.

La fase di sviluppo successiva è stata, invece, dedicata alla realizzazione di un prototipo di stampo propriamente diagnostico descritto nella prossima sezione.

2.2.4 Prima versione del prototipo : BTT-SCAN

Il BTT-SCAN (Cerrato et al., 2018) rappresenta il primo prototipo, fisicamente utilizzabile, del BTT classico; realizzato durante il secondo e terzo semestre del dottorato, esso è caratterizzato dall'integrazione di un modulo di visione artificiale, supportato da una telecamera in grado di riconoscere la disposizione degli oggetti in uno spazio predefinito (Cerrato et al., 2019).

La parte software è stata realizzata ancora una volta con STELT (senza l'utilizzo della componente di narrazione/storyboarding) . Il BTT-SCAN si avvale di cubetti fisiche devono essere collocati in uno spazio di 48 cm x 34 cm. I cubi vengono rilevati mediante una telecamera collegata ad un laptop, mentre un software ne registra virtualmente la disposizione sul campo fisico, tramite un sistema di coordinate.

I 16 cubi, della dimensione di 3.5 cm, sono di differente colore: 4 rossi, 4 arancioni, 4 verdi e 4 blu. Ognuno di essi è caratterizzato da un proprio ArUco marker. I cubetti vengono disposti, di fronte al paziente, in due file da 4, su cui saranno disposti altrettanti cubi. Il piano entro il quale posizionare i cubetti, è delimitato, negli angoli, da quattro ArUco markers differenti, e rappresenta la teglia *immaginaria* all'interno della quale poter procedere alla disposizione. (Fig. 2.2.4)



Figura 2.2.4 Setting BTT-SCAN: il partecipante alla prova doveva disporre i 16 cubetti, posti di fronte a lui, in maniera equidistribuita all'interno della cornice nera del foglio

Alla fine della prova, il BTT-SCAN elabora le informazioni legate alla performance del paziente, dando la possibilità di esportare la singola prova su un file Microsoft Excel, potendo conoscere, istante per istante, in maniera cronologica la posizione dei cubetti nello spazio. Inoltre, i dati delle performance sono consultabili esclusivamente in locale, sul dispositivo dal quale è eseguito il BTT-SCAN.

Una volta disposto l'ultimo cubetto, il software BTT-SCAN elabora un'analisi, visualizzabile sullo schermo del PC, chiamata analisi flash (Fig. 2.2.5) che riassume la performance del partecipante, mostrando diverse informazioni (utili a formare una piccola cartella clinica per l'esaminatore).

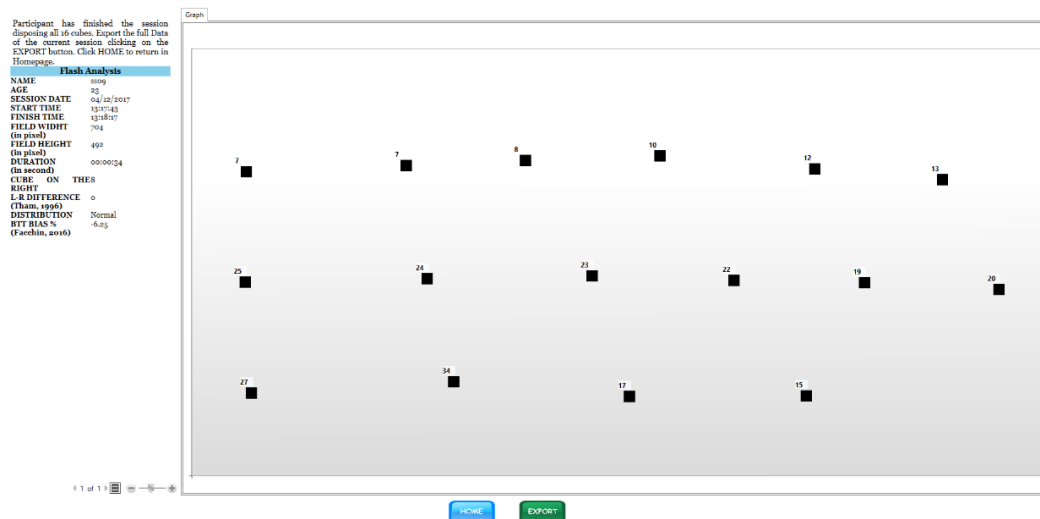


Figura 2.2.5 Analisi flash del BTT-SCAN

Nell'*analisi flash* (che contiene un maggior numero di dati inerenti alla performance rispetto a quanto ideato in principio con l'E-BTT) riportata alla fine della somministrazione sono indicati: il nome e l'età del partecipante, la data della sessione, l'orario in cui è iniziata e terminata la prova, le dimensioni (in pixel) della superficie utilizzata per la somministrazione del BTT, la durata della prova espressa in secondi, i cubi sulla destra, la differenza tra i cubi presenti sulla destra e quelli presenti sulla sinistra, il tipo di distribuzione (se normale oppure no in base allo scoring classico di Tham & Tegnér) ed il BTT Bias (in percentuale) dato dal seguente calcolo:

$$100 \cdot \frac{n \text{ cubi destra} - n \text{ cubi sinistra}}{n \text{ cubi destra} + n \text{ cubi centro} + n \text{ cubi sinistra}}$$

Tale formula è stata ideata da Facchin nel 2016, il quale ha proposto una divisione del piano di disposizione del BTT in zona centrale (corrispondente alla linea mediana del piano), zona di destra e zona di sinistra.

Quest'ultima formula è utile per calcolare l'indice di lateralizzazione relativo alla performance: se il valore è negativo, la configurazione finale prevede più cubetti sulla sinistra; diversamente, se il valore è positivo, la maggioranza dei cubetti sarà disposta nella metà destra della superficie. Se, infine, il valore è pari a 0, la configurazione sarà ottimale. Tale indice contiene più informazioni della semplice differenza Destra-Sinistra proposta come scoring del BTT classico.

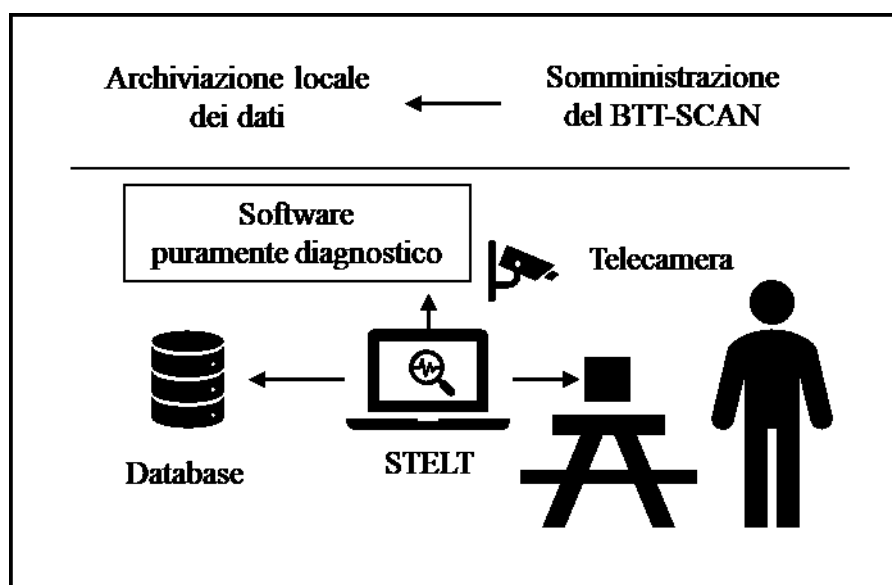


Figura 2.2.6 Schema concettuale del BTT-SCAN

Il BTT-SCAN (il cui schema concettuale è rappresentato in figura 2.2.6) era stato realizzato grazie all'ausilio di STELT in quanto questo avrebbe permesso di sviluppare, come modulo aggiuntivo al prototipo, anche un'attività di riabilitazione con pazienti affetti da disturbi della cognizione visuospatiale, dando la possibilità utilizzare un sistema di tutoraggio adattivo (l'adaptive tutoring descritto precedentemente) capace di dare risposte coerenti alle prestazioni dei partecipanti, adattando la prova alle caratteristiche specifiche degli utenti.

Erano infatti stati ipotizzati dei compiti che, attraverso l'utilizzo di feedback forniti dal software e guidando passo dopo passo gli eventuali utenti con disturbi delle capacità visuospatiali, potevano andare a sollecitare l'esplorazione di zone lasciate

“senza cubetti”, riscontrabili in prestazioni deficitarie al BTT, invitando i soggetti a riorientare la loro attenzione spaziale verso il lato “negletto”.

Purtroppo, nell’utilizzo quotidiano, STELT ha mostrato alcune lacune (migliorabili in futuro) relative al riconoscimento degli ArUco markers; non garantire la corretta identificazione degli oggetti disposti dai partecipanti avrebbe compromesso la loro performance, e ciò ha portato alla decisione di non utilizzare la piattaforma STELT nella successiva fase di prototipazione.

Di conseguenza, sia la componente hardware che quella software del BTT-SCAN sono state in seguito migliorate, fino ad arrivare alla versione attuale del prototipo, che sarà presentato nel prossimo capitolo.

– PARTE 3 –

**REALIZZAZIONE E PRIMO UTILIZZO DELLA
VERSIONE DEFINITIVA DEL PROTOTIPO IN UNO
STUDIO ESPLORATIVO**

3.1 Introduzione

La parte 3 del presente manoscritto descrive, principalmente, gli ultimi 18 mesi (3 semestri) del dottorato. Dopo il lavoro di ideazione e progettazione del primo prototipo dello strumento per la valutazione delle abilità e dei comportamenti visuospatiali, si è passati ad un suo perfezionamento, culminato nella realizzazione del prototipo finale, denominato E-TOKEN.

Questo strumento presenta alcune differenze con BTT-SCAN e la prima si può evincere dal nome: non si tratta più di una singola versione, tecnologicamente potenziata, di un compito neuropsicologico (il Baking Tray Task) bensì di una piattaforma che consente l'ideazione e la somministrazione di vari tipi di compiti inerenti alla valutazione dello stato cognitivo degli individui.

La riproposizione del BTT tramite E-TOKEN è solo un esempio di attività somministrabile tramite il suo utilizzo. A tal proposito esso è stato somministrato, in uno studio esplorativo, ad un totale di 124 persone (115 individui sani e 9 pazienti con lesione cerebrale destra).

Ulteriori modifiche riguardano un cambiamento di elementi software (con la sostituzione del software STELT) ed hardware (realizzazione di materiali bidimensionali – dischetti – che sostituiscono i cubetti tridimensionali).

Inoltre, l'approccio alla raccolta dati è stavolta di tipo massivo potendo contare su un archivio online (alimentabile da più fonti contemporaneamente), potenzialmente di dimensioni infinite, su cui registrare i dati relativi alla performance degli utenti.

Proprio i dati che permette di registrare E-TOKEN, rappresentano un'altra novità aggiuntiva dello strumento, in quanto fornisce delle nuove informazioni, precedentemente non rilevabili, che si basano, ad esempio, sulla precisa identificazione delle coordinate spaziali degli oggetti disposti.

Riprendendo il compito che ha rappresentato il primo utilizzo di E-TOKEN, vale a dire il BTT, avere a disposizione queste rilevazioni consente, come verrà illustrato nella presente sezione (capitolo 3.3), di definire delle nuove misure statistiche in grado di rendere l'indagine diagnostica più ricca di informazioni, in maniera tale da

fornire un quadro più preciso circa un eventuale deficit delle abilità visuospatiali degli individui.

Inoltre, la grande mole di dati registrabile sul database in formato online consente un'indagine ancor più approfondita utilizzando le recenti tecniche di analisi dei dati che si basano sull'intelligenza artificiale (*Machine Learning, Deep Learning, Data Mining* etc.).

Infine, come brevemente accennato nelle sezioni precedenti, il prototipo finale rappresenta in realtà una piattaforma dagli utilizzi molteplici: non solo è possibile ricreare compiti atti a segnalare la presenza di eventuali compromissioni della cognizione spaziale (come il BTT), ma, all'interno dello spazio peripersonale delle persone, consente la somministrazione di ulteriori attività che, in modo omnicomprensivo, riguardano il potenziamento, la valutazione e la riabilitazione dei diversi processi cognitivi.

3.2 E-TOKEN: una piattaforma per la valutazione dei comportamenti visuospatiali

La fase finale della prototipazione dello strumento realizzato nei tre anni di dottorato ha permesso la realizzazione di E-TOKEN (Bartolomeo, Cerrato & Miglino, 2019), una piattaforma hardware-software che, sfruttando la realtà aumentata permette la somministrazione di attività volte a valutare le abilità e i comportamenti visuospatiali degli individui nel loro spazio peripersonale. Rispetto alle due versioni precedenti, sono stati effettuati alcuni cambiamenti sia a livello hardware che a livello software.

In primis, i cubetti di 3.5 cm sono stati sostituiti da dischetti di 4 cm di diametro; la scelta di passare ad un'interfaccia tangibile di tipo tridimensionale ad una bidimensionale è stata dettata dal fatto di voler incrementare la precisione di rilevazione degli oggetti da parte del software, che risulta più affidabile con oggetti di forma piatta. Inoltre, l'adozione di un oggetto di tipo circolare avvicina l'utilizzatore, nel caso del BTT, a pensare – metaforicamente – ai dischetti come se fossero dei *“biscotti da infornare”*.

Infine, i tag degli ArUco Markers sono stati realizzati in scala di grigi; tale modifica si è resa necessaria in quanto i cubetti colorati del BTT-SCAN potevano essere distraenti per coloro i quali si sottoponevano alla prova e, in più, potevano portare ad una disposizione caratterizzata da un'eventuale preferenza per un particolare colore (Gentile, Cerrato e Ponticorvo, 2019). E-TOKEN, a livello hardware, è stato realizzato dalla start up *“Garage94 – Engineering for learning”*⁴, un'azienda di giovane costituzione che si occupa di ideare e sviluppare applicazioni, software e hardware, per migliorare la qualità della vita di tutte le persone con bisogni speciali.

⁴ www.garage94.com

E-TOKEN, essendo uno sviluppo di una ricerca prototipale e, in un certo senso, un prodotto industriale pensato per una futura commercializzazione, si avvale di un kit, costituito da:

- ❶ manuale d'istruzione (in appendice al presente lavoro);
- ❷ cornice di legno componibile;
- ❸ tag quadrati da posizionare nei quattro angoli della cornice;
- ❹ chiave a brugola esagonale per il fissaggio della cornice;
- ❺ venti dischetti di legno, di cui 16 con il proprio tag ArUco;
- ❻ Webcam Logitech C930e;
- ❼ braccio da tavolo regolabile per la Webcam Logitech C930e;



Figura 3.2.1 Scatola contenente E-TOKEN: in basso, la scatola con i loghi; in alto il kit di materiali di cui è composto il prototipo

Per la preparazione del setting occorre osservare alcuni accorgimenti di installazione del kit. Prima di tutto, occorre agganciare il braccio in maniera stabile al piano di lavoro, fissare la Webcam Logitech al braccio e collegarla, tramite porta USB, al computer. Procedere al montaggio della cornice (il cui spazio interno misura 60 x 45 cm), chiudendola con la brugola in dotazione, e posizionarla sul tavolo di lavoro perpendicolarmente al campo di visuale della Webcam Logitech C930e.

Il braccio, la cornice ed i dischetti dovranno trovarsi in posizione sagittale rispetto alla persona di cui si valuteranno le abilità visuospatiali (Fig. 3.2.2)

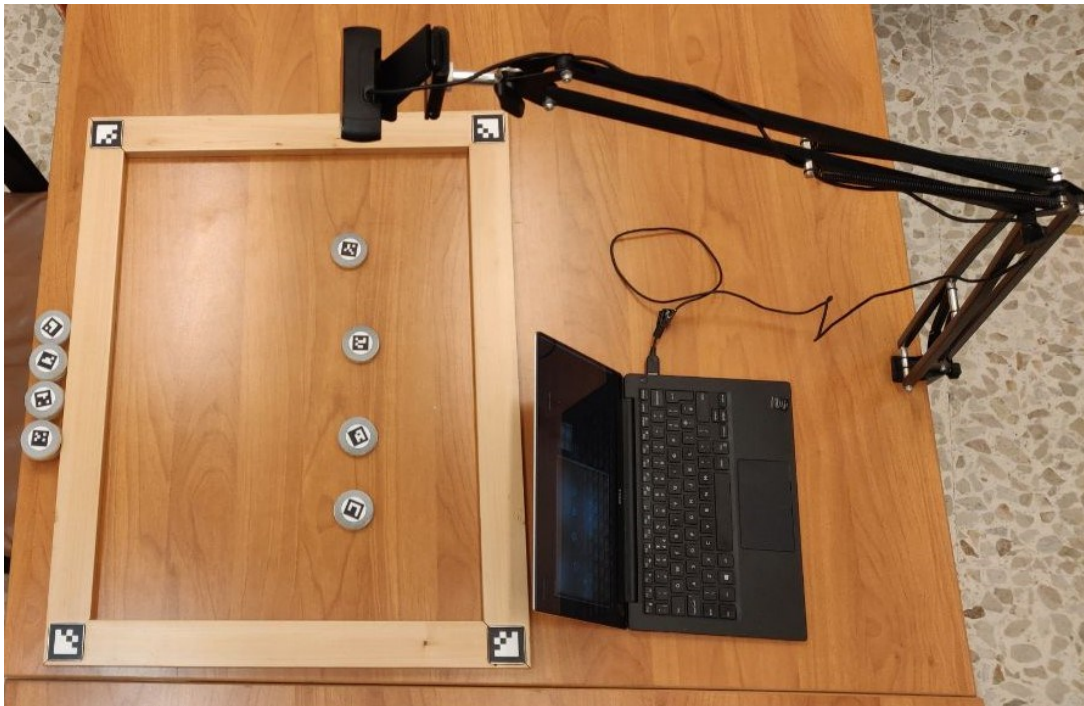


Figura 3.2.2 Setting di E-TOKEN

E-TOKEN si avvale dell'utilizzo di un software chiamato E-TanGames, sviluppato sempre all'interno del percorso di dottorato. Questo software supporta l'utilizzo di una webcam capace di rilevare la posizione dei dischetti (corredati dai tag ArUco Markers e che sono disposti dalla persona di cui si intende valutare i

comportamenti/le abilità visuospatiali) all'interno della cornice di legno che rappresenta uno spazio predefinito, definito come "Playground" e tracciabile dalla webcam, grazie ai quattro tag quadrati posizionati in ogni angolo, anch'essi dotati di ArUco Markers (differentemente dal BTT-SCAN, in E-TOKEN i 4 ArUco che formano il campo delimitato dalla cornice sono identici, per questioni di "robustezza" del tracciamento).

La persona che utilizza E-TOKEN per la somministrazione di task visuospatiali, attraverso l'applicazione E-TanGames, installata sul pc, deve procedere alla rilevazione e alla corretta identificazione della cornice (da parte della webcam), cliccando su "Game Table Calibration".

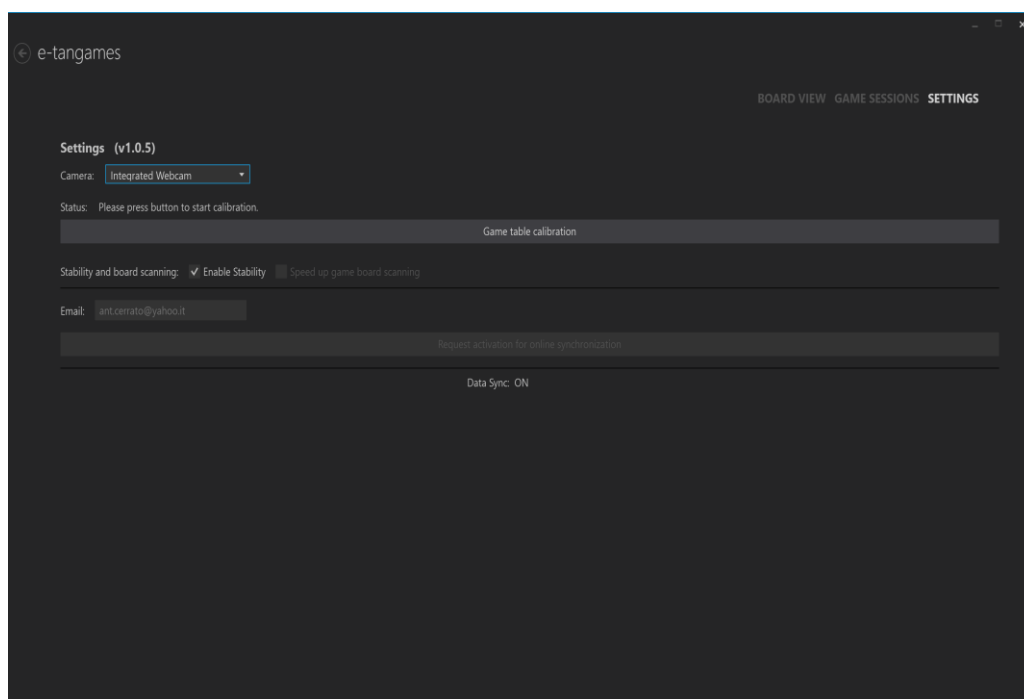


Figura 3.2.3 Esempio di schermata del software E-TanGames prima di rilevare la cornice

Se questo procedimento è correttamente effettuato, apparirà sullo schermo un rettangolo verde sui quattro tag della cornice (Fig. 3.2.4); dopodiché, va premuto il tasto "Esc" per chiudere la finestra di dialogo.

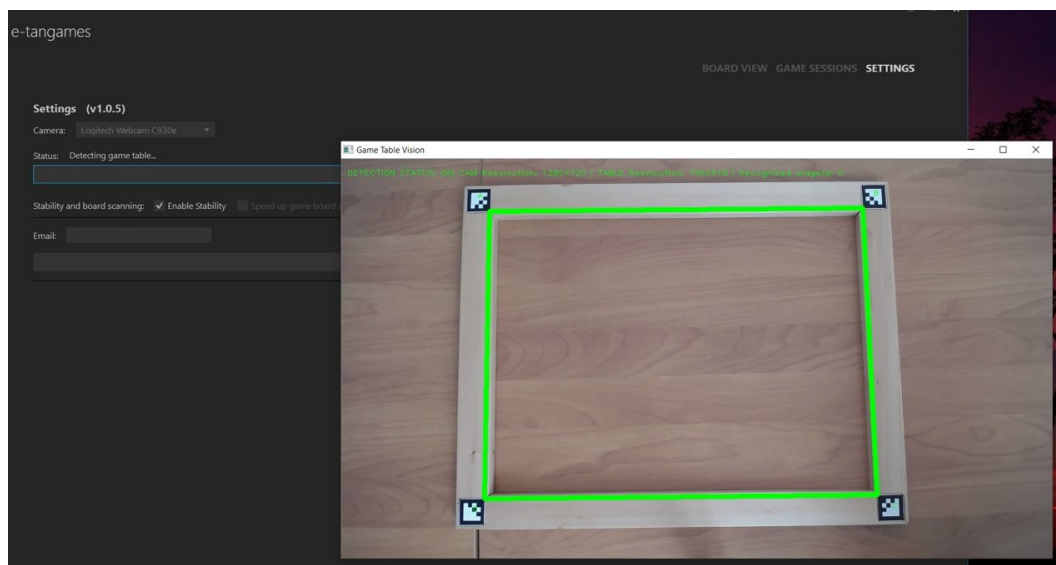


Figura 3.2.4 Cornice con tag correttamente rilevati dalla webcam

Nella sezione “Game Session” deve essere inserito l’identificativo, l’anno di nascita ed il genere dell’utente a cui si somministra l’attività; cliccando su “Add”, il nuovo utente compare nella lista degli “On Stage Agents – OSA”, dove saranno visionabili le varie prove effettuate. Dall’opzione “Board View” è possibile verificare che il nome dell’OSA appaia nel campo in basso a sinistra. Cliccando sul menu a tendina della casella “Game”, può essere selezionato il tipo di attività che si intende somministrare (Free Game e BTT Game).

Quando il partecipante è pronto ad iniziare la valutazione, si clicca su “Start”. A questo punto il software rileverà le disposizioni dei dischetti disposti dall’utente all’interno della cornice, le quali possono essere salvate cliccando “Save”.

Sul proprio computer, dal quale viene eseguito E-TanGames, si possono visionare le sessioni effettuate in locale tramite una sequenza cronologica dei fotogrammi (Fig. 3.2.5), relativi al posizionamento di ogni singolo dischetto.

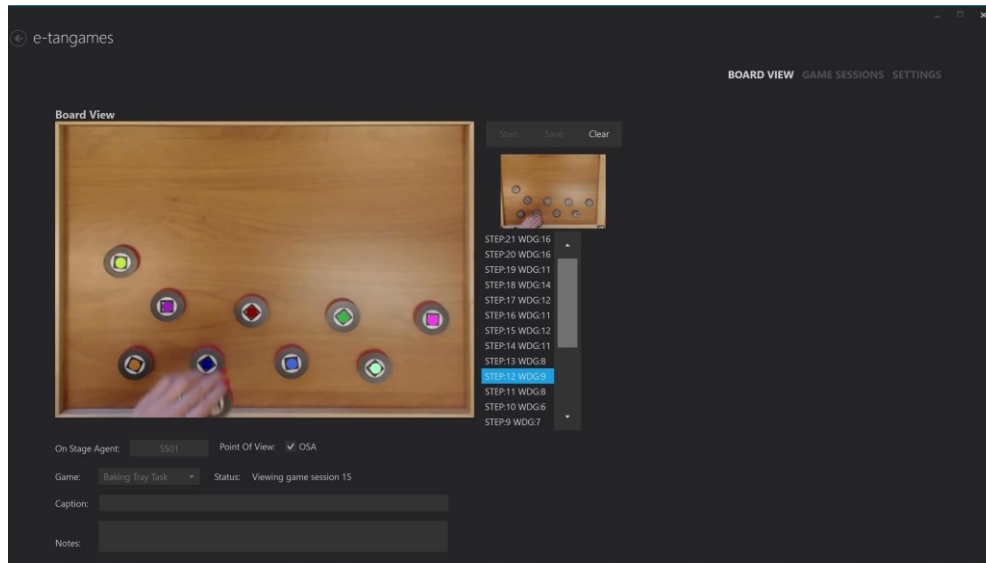


Figura 3.2.5 Fotogramma di una sessione di un partecipante mentre utilizza E-TOKEN

Tramite il kit E-TOKEN è possibile riproporre una versione del BTT tecnologicamente potenziata seppure con piccole modifiche, come l'utilizzo dei dischetti al posto dei cubetti ed una superficie di disposizione di dimensioni leggermente inferiori rispetto al lavoro originale di Tham & Tegnér.

A coloro che si sottopongono alla somministrazione, riprendendo le istruzioni originali, viene chiesto di disporre equamente i 16 dischetti posti di fronte a lui, all'interno della cornice di legno, *“come se fossero dei biscotti da mettere su una teglia da forno”*.

Tramite il software in dotazione è possibile procedere ad una valutazione della performance più approfondita, acquisendo informazioni relative alle coordinate spaziali (X, Y) dei dischetti, al tempo impiegato (totale e per ciascun dischetto) per l'esecuzione del BTT e all'ordine con cui sono stati disposti i dischetti. Ad esempio, tramite le coordinate dei dischetti è possibile ricreare una traiettoria temporale della disposizione eseguita dall'utente, utile nel confrontare le diverse strategie di posizionamento e di esplorazione spaziale evidenziata dai diversi partecipanti.

Tutte queste informazioni arricchiscono la procedura classica di valutazione del BTT, che prevedeva, semplicemente, un mero confronto tra il numero di cubi disposti a destra e a sinistra della superficie in cui venivano disposti, oltre ad una serie di osservazioni qualitative fatte dalla persona che somministrava il test.

I dati raccolti con E-TOKEN, oltre ad essere consultabili sul proprio dispositivo, possono essere esportati tramite un file in formato CSV (Fig. 3.2.6), scaricabile da un database online. Tale archivio, alimentabile da più fonti, rappresenta una delle principali novità rispetto alla precedente versione del prototipo. Avere a disposizione un archivio accessibile su Internet e consultabile da tutti coloro che utilizzano il prototipo, rende possibile immaginare anche future collaborazioni tra differenti istituti o enti che desiderino utilizzare E-TOKEN per indagare i comportamenti visuospatiali delle persone, nel loro spazio peripersonale, consentendo una raccolta dati di tipo massivo volta ad inserirsi all'interno dello scenario del campo dei *Big Data* di tipo comportamentale/clinico. Ovviamente, i presupposti che si celano dietro alla possibilità di ottenere una grande mole di dati devono essere quelli relativi all'arricchimento delle informazioni e delle conoscenze riguardanti gli aspetti delle abilità visuospatiali (Shmueli, 2017).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	BSA.SID	Game.SID	OSA.SID	Board.Wid	Board.Heig	HeijID	Caption	Created	Stopped	Step.ID	Step.Created	Widgets.Bi	Widgets.Bi	Widgets.Bi	Widgets.Bi	Widgets.Bi	Widgets.Bi	Widgets.Bi
2	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	1	2019-06-05T11:13:25.7868132+00:00							
3	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	2	2019-06-05T11:13:27.7982206+00:00							
4	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	3	2019-06-05T11:13:29.2872911+00:00							
5	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	4	2019-06-05T11:13:30.3210275+00:00	122	68	103	385			
6	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	5	2019-06-05T11:13:32.3091343+00:00	122	67	103	385			
7	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	6	2019-06-05T11:13:33.8182723+00:00	122	67	103	385			
8	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	7	2019-06-05T11:13:35.3184948+00:00	122	67	103	385			
9	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	8	2019-06-05T11:13:37.3206699+00:00	122	67	103	385			
10	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	9	2019-06-05T11:13:38.3340652+00:00	122	67	103	385			
11	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	10	2019-06-05T11:13:40.3306688+00:00	122	68	103	385			
12	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	11	2019-06-05T11:13:41.8824423+00:00	122	67	103	385			
13	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	12	2019-06-05T11:13:45.4309520+00:00	122	68	103	385	434	69	11
14	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	13	2019-06-05T11:13:46.9282240+00:00	122	67	103	385	434	69	11
15	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	14	2019-06-05T11:13:48.4306697+00:00	122	67	103	385	434	69	11
16	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	15	2019-06-05T11:13:50.4360913+00:00	122	68	103	385	434	69	11
17	ant.cerrate	BTT	ss09d	652	452	44		2019-06-01	2019-06-01	16	2019-06-05T11:13:52.44440619+00:00	122	67	103	385	434	69	11
18	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	1	2019-05-31T08:37:44.1935293+00:00	112	52	123	252	369	250	23
19	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	2	2019-05-31T08:37:51.7665894+00:00							
20	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	3	2019-05-31T08:37:53.7316805+00:00							
21	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	4	2019-05-31T08:37:55.2628453+00:00							
22	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	5	2019-05-31T08:37:57.2885989+00:00							
23	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	6	2019-05-31T08:37:59.8038680+00:00							
24	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	7	2019-05-31T08:38:02.3288643+00:00							
25	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	8	2019-05-31T08:38:04.8205852+00:00							
26	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	9	2019-05-31T08:38:07.8359855+00:00							
27	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	10	2019-05-31T08:38:09.3609649+00:00							
28	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	11	2019-05-31T08:38:11.8693568+00:00							
29	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	12	2019-05-31T08:38:13.3669147+00:00							
30	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	13	2019-05-31T08:38:16.3809937+00:00							
31	ant.cerrate	FREEGAMES	ss10_neg_u	590	430	43		2019-05-31	2019-05-31	14	2019-05-31T08:38:18.3841459+00:00							

Figura 3.2.6 File CSV dei dati raccolti con E-TOKEN

Il file in formato CSV contiene tutte le informazioni relative all'utilizzo di E-TOKEN, come ad esempio l'utente esaminatore che ha somministrato le prove, di che tipo di attività si tratta, l'identificativo del partecipante di cui si sono valutate le abilità visuospatiali, la durata della prova, le coordinate degli oggetti posizionati all'interno della cornice e l'ordine di posizionamento degli stessi.

Al database vi si accede collegandosi all'indirizzo internet <https://www.e-tan.games/> ed inserendo i codici di accesso di *login* e *password* relativi alla propria utenza. Una volta effettuata l'autenticazione, è possibile visionare l'ultima sincronizzazione dei dati effettuata dal computer locale (ovvero l'ultimo utilizzo di E-TOKEN da parte dell'utente loggato) e scaricare il file CSV delle varie prove visuospatiali somministrate (Fig. 3.2.7)

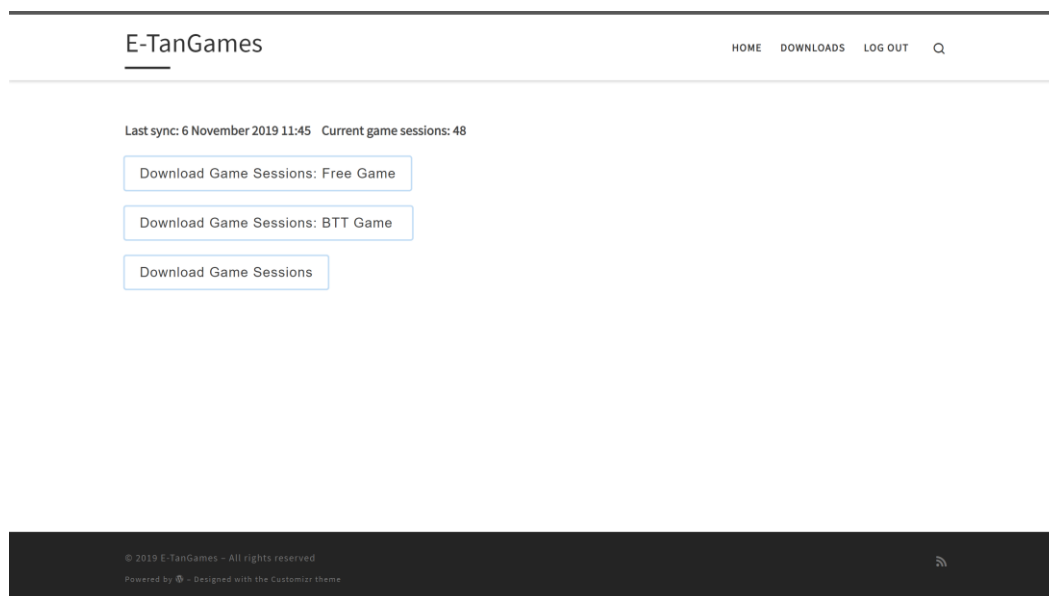


Figura 3.2.7 Schermata del sito <https://www.e-tan.games/> dal quale scaricare il file CSV

Lo schema presentato in figura 3.2.8 vuole rappresentare l'architettura e il funzionamento del prototipo E-TOKEN.

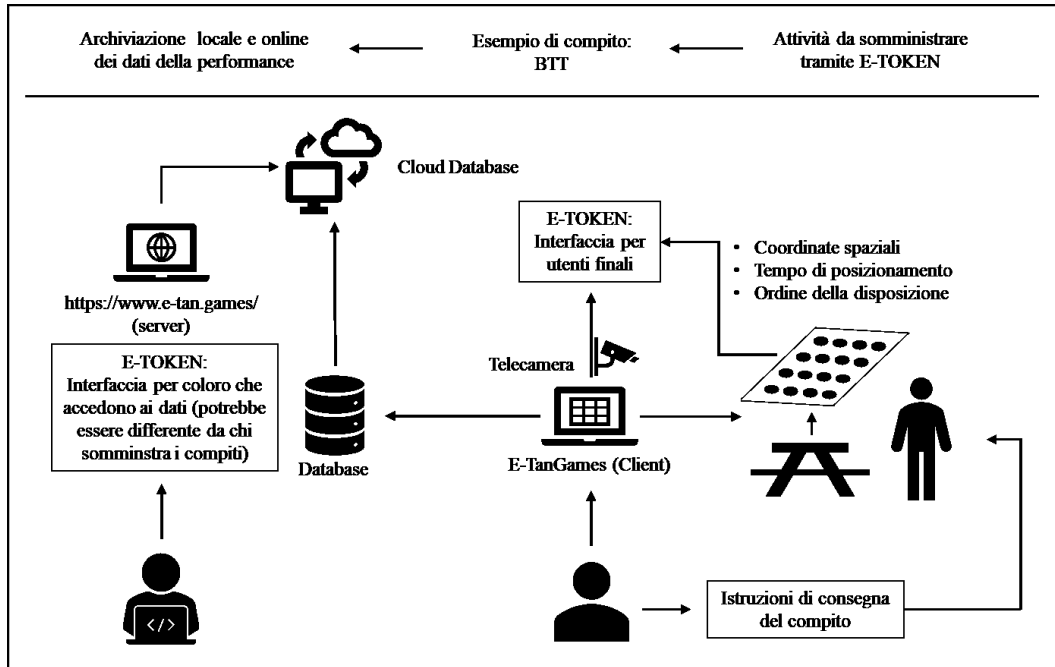


Figura 3.2.8 Schema dell'architettura e del funzionamento di E-TOKEN

Uno dei primi utilizzi di E-TOKEN è avvenuto attraverso la somministrazione del BTT ad un campione normotipico composto da 115 partecipanti e ad un piccolo campione clinico di 9 pazienti con lesione cerebrale destra.

Lo studio esplorativo è servito a valutare se i nuovi tipi di dati raccolti tramite il prototipo E-TOKEN, fossero utilizzabili per la formulazione di nuove misure (ovvero indici) per la valutazione e la diagnosi delle abilità visuospatiali degli individui nel loro spazio peripersonale, in particolar modo, tramite la task del BTT. Tale raccolta dati è oggetto di discussione del prossimo capitolo.

3.3 E-TOKEN: Studio esplorativo

Terminata la fase di progettazione e sviluppo dello strumento E-TOKEN, esso è stato utilizzato, per la prima volta, in uno studio esplorativo che ha visto il coinvolgimento di un campione di partecipanti normodotati ed uno di tipo clinico. Tale studio ha portato alla rilevazione di una serie di dati precedentemente non rilevabili e potenzialmente utili.

Nel presente capitolo si è cercato di fornire una rappresentazione sintetica dei dati, in grado, da una parte, di valutare l'efficacia dello strumento nel riproporre un compito visuospatiale (il BTT) in forma tecnologicamente potenziata e, dall'altra, di definire misure statisticamente valide per la valutazione delle abilità inerenti alla cognizione spaziale – dello spazio peripersonale – degli individui.

3.3.1 Partecipanti, materiali e procedura

E-TOKEN, in uno dei suoi primi utilizzi, è stato somministrato ad un campione non patologico composto da 115 individui e ad un campione clinico di 9 persone con lesione ai danni dell'emisfero destro. Le istruzioni fornite ai partecipanti erano le stesse previste dal Baking Tray Task classico (Tham & Tegnér, 1996), con la differenza che al posto dei cubi sono stati utilizzati i dischetti e, anziché utilizzare la superficie originaria, è stata adottata una cornice di legno (entro la quale disporli) di dimensioni 60 cm x 45 cm. Queste modiche, già descritte nel capitolo precedente, sono state anche proposte in passato da alcuni studiosi (Bailey, Riddoch & Crome, 2004; Facchin et al., 2016).

Ai partecipanti è stato chiesto di disporre i 16 dischi, posti di fronte a loro, in maniera equidistribuita all'interno della cornice, *come se fossero dei biscotti su una teglia da infornare*⁵. Occorre specificare che i partecipanti si sono seduti

⁵ Tale metafora del biscotto da infornare, è stata proposta per avvicinare il compito ad un'esperienza di vita quotidiana (come può essere per l'appunto un'attività di cucina ritenuta ecologica), sfruttando altresì la dimensione circolare dei dischi, che per diametro e spessore possono ricordare dei veri e propri biscotti.

frontalmente al punto medio del piano su cui disporre i dischetti e che venivano invitati a posizionare un solo dischetto alla volta. La disposizione fornita dai partecipanti è stata catturata dalla telecamera posta in posizione perpendicolare al piano, consentendo al software in dotazione di registrare le coordinate spaziali (in termini di X e Y) di ogni singolo dischetto (dato di non possibile rilevazione tramite il BTT originario e che rappresenta una delle innovazioni apportate da E-TOKEN).



Figura 3.3.1 Un partecipante durante l'utilizzo di E-TOKEN

La somministrazione della task del BTT con E-TOKEN è durata, mediamente, circa 5 minuti. Nove pazienti destrimani (3 femmine, età media 61.4 anni, d.S. 13.5, range 43-80), con lesione cerebrale destra, hanno eseguito E-TOKEN presso il Brain and Spine Institute (ICM), ospedale di Pitié-Salpêtrière di Parigi - Francia - seguendo le procedure approvate dall'Inserm⁶ (CPP 13-41) e dal comitato etico locale. La tabella 3.3.1 riporta le loro caratteristiche demografiche, cliniche e neuropsicologiche. Oltre ad E-TOKEN, i pazienti hanno anche svolto alcuni test tradizionali *carta e matita* tra i quali un compito di cancellazione stimoli, uno di copia di un disegno (un paesaggio stilizzato) e uno di bisezione di linee (vedi Tab. 3.3.1). Questi test sono stati ripresi dalla batteria GEREN per la valutazione dei

⁶ <https://www.inserm.fr/>

disturbi della cognizione spaziale, seguendo le medesime linee guida per lo scoring e la valutazione (Azouvi et al., 2006).

Paziente	Età/LI	Mesi dalla lesione	Eziologia	Cancellazione di stimoli (stimoli cancellati sinistra/destra, max = 15/15)	Copia di disegno (omissioni)	Bisezione di linee da 200mm (deviazione in mm)
P1	68/3	5	E	12/14	0.5*	-11.8*
P2	63/3	12	I	9/13*	1.5*	+1.6
P3	50/2	6	I	9/13*	2.5*	+1.6
P4	46/2	12	E	15/15	0	-3.2
P5	55/3	133	I	15/14	0	-5.6
P6	43/3	28	I	14/14	0	-4.8
P7	73/1	123	I	2/11*	1.5*	+22*
P8	80/2	108	E	3/12*	1.5*	+27*
P9	75/1	10	I	3/11*	1*	-9.2*

Tabella 3.3.1: Caratteristiche demografiche e cliniche dei pazienti, con le loro prestazioni ad alcuni test per la valutazione del neglect.

LI = livello di istruzione (1: meno di 8 anni di istruzione formale; 2: 9-12 anni; 3: maggiore di 12 anni). Eziologia = E: emorragica; I: ischemica.

Gli asterischi indicano punteggi patologici rispetto ai dati normativi (Azouvi et al., 2006; Gainotti et al., 1991; Rousseaux et al., 2001). I punteggi per il compito di disegno indicano il numero di elementi omessi sul lato sinistro. Per il compito di bisezione, i valori positivi indicano le deviazioni del punto medio verso destra e i valori negativi quelle verso sinistra.

Le prestazioni dei pazienti sono state confrontate con quelle di 115 partecipanti sani (61 femmine, età media = 27.2, d.S. = 8.6, range 19-75; Palumbo et al., 2019). Il campione sano è stato reclutato presso l'Università di Napoli Federico II e presso l'ICM di Parigi; tutti gli individui hanno fornito il loro consenso alla partecipazione all'esperimento secondo la Dichiarazione di Helsinki. La procedura è stata approvata dal comitato etico locale. I dati sono stati raccolti in modo anonimo e archiviati in un database online.

La prossima sezione illustra alcune analisi rese possibili grazie ai dati raccolti tramite la somministrazione del BTT attraverso l'utilizzo di E-TOKEN.

3.3.2 Analisi Dei Dati

Prima di procedere alla discussione dei risultati, occorre fare una piccola premessa. La somministrazione del BTT tramite E-TOKEN, infatti, consente di ottenere dei dati che non risultavano registrabili nella versione classica del test ideato da Tham & Tegnér (come le coordinate spaziali dei dischetti, l'ordine di disposizione degli stessi, il tempo impiegato per la disposizione etc.). Per tale motivo, di seguito, saranno proposte le analisi dei dati ottenuti con lo strumento sviluppato durante i tre anni di dottorato, utili sia per fornire nuove misure su cui fare affidamento nella valutazione di un'eventuale compromissione delle abilità visuospatiali (e nel caso del BTT, evidenziare un disturbo della lateralizzazione spaziale come il neglect), sia per scoprire se esistano strategie comuni tra i partecipanti in merito alla disposizione degli oggetti nello spazio peripersonale.

Un'ulteriore precisazione riguarda l'esecuzione del BTT da parte dei partecipanti del campione non patologico: la maggior parte di loro ha posizionato, all'interno della cornice, 4 righe da 4 dischetti (Fig. 3.3.2), un tipo di disposizione proposta anche dalla maggioranza dei partecipanti del campione normativo dello studio di Tham & Tegnér (1996)



Figura 3.3.2 La configurazione finale del BTT più ricorrente all'interno del gruppo normotipico (screenshot del software di E-TOKEN)

Tenendo presente la procedura di scoring classico del BTT, 6 individui del campione sano (circa il 5%) e 6 del campione clinico (su un totale di 9, circa il 66%) hanno disposto i dischetti in maniera tale da poter far sospettare un disturbo della lateralizzazione spaziale, in quanto la differenza del numero di oggetti disposti negli emispazi destro e sinistro della cornice di E-TOKEN è stata maggiore di 2. Ulteriori analisi sono descritte nei successivi paragrafi.

3.3.2.1 Analisi del campione normotipico: posizionamento del primo e dell'ultimo dischetto

Al fine di valutare se esistano strategie comuni nella disposizione dei dischetti, sono stati presi in analisi i due momenti di inizio e fine della configurazione, ovvero il posizionamento del primo e del sedicesimo dischetto, dividendo la parte interna della cornice di E-TOKEN in 4 quadranti.

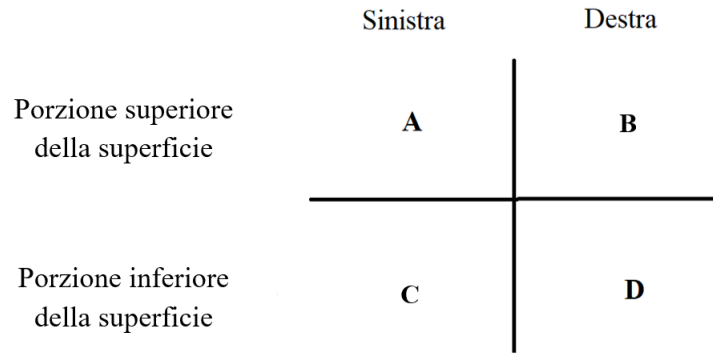


Figura 3.3.3. Divisione virtuale del piano su cui sono stati disposti i dischetti

Da un punto di vista dell'esperienza dei partecipanti, la porzione inferiore della superficie corrisponde alla parte a loro più vicina; di conseguenza la porzione superiore rappresenta la zona più distante (ma sempre all'interno dello spazio peripersonale) in cui posizionare i dischetti.

A tal proposito per quanto riguarda la disposizione del primo disco sono stati rilevati i dati riportati nella seguente tabella:

	Sinistra	Destra
Prz Superiore	63	30
Prz Inferiore	11	11

Tabella 3.3.2 Disposizione del primo dischetto

Dalla tabella 3.3.2 si nota che su 115 partecipanti 93 hanno disposto il loro primo dischetto nella porzione superiore del piano (63 a sinistra e 30 a destra), mentre i restanti 22 hanno cominciato la disposizione dal basso.

Procedendo con un'analisi chi quadro *goodness of fit* di Pearson 1x4 tra le quattro alternative di posizionamento equiprobabili e mutualmente esclusive si ottiene un risultato di $\chi^2 = 62.77$, $gdl = 3$, $\chi^2/gdl = 20.92$, $p < .0001$; tale risultato dimostra una preferenza statisticamente significativa ad iniziare il BTT in alcuni quadranti (A e B, Fig. 3.3.3) rispetto ad altri.

La successiva tabella 3.3.3 mostra invece le frequenze in merito al sedicesimo e ultimo dischetto:

	Sinistra	Destra
Prz Superiore	15	9
Prz Inferiore	39	51

Tabella 3.3.3: Disposizione del sedicesimo dischetto

Osservando le frequenze si nota che gran parte dei partecipanti (51 persone) ha disposto l'ultimo dischetto in basso a destra. Utilizzando il chi quadro *goodness of fit* di Pearson 1x4 si ottiene il risultato di $\chi^2 = 41.37$, $gdl = 3$, $\chi^2/gdl = 13.79$, $p < .0001$; anche stavolta il valore ottenuto è statisticamente significativo, di conseguenza si può concludere che il posizionamento del sedicesimo dischetto non sia avvenuto in maniera casuale, ma i partecipanti hanno mostrato una preferenza completare la configurazione nel quadrante in basso a destra.

Inoltre, tenendo sempre in considerazione la divisione in quattro quadranti del piano (Fig. 3.3.3) su cui sono stati disposti i dischetti, sono state analizzate le strategie di inizio-fine disposizione in maniera congiunta, al fine di evidenziare pattern comuni tra i partecipanti nel disporre primo ed ultimo dischetto.

16° cubo

		A	B	C	D
1° cubo	A	4	4	20	35
	B	4	1	14	11
	C	1	4	2	4
	D	6	1	3	1

Tabella 3.3.4: Frequenze congiunte di disposizione del primo (righe) ed ultimo (colonne) dischetto:

A = In alto a sinistra, B = In basso a sinistra, C = In alto a destra, D = in basso a destra

Dalla tabella 3.3.4 possiamo notare che tra i 51 partecipanti che hanno disposto l'ultimo dischetto in basso a destra (gli stessi osservati dalla tabella 3.3.2) 35 hanno posizionato il primo dischetto in alto a sinistra ed altri 11 in alto a destra. Invece, dei 39 che hanno disposto l'ultimo dischetto in basso a sinistra, 20 avevano iniziato il BTT dal quadrante A e 14 dal quadrante B. Le strategie di disposizione **AD** e **AC** sono quelle maggiormente preferite dai partecipanti, e tale preferenza risulta statisticamente significativa ($\chi^2 = 35.79$, gdl = 9, $\chi^2/\text{gdl} = 3.98$, $p < .0001$). Di conseguenza, è possibile dedurre che la maggioranza del campione normotipico ha iniziato la configurazione nei quadranti superiori della superficie (soprattutto in alto a sinistra – quadrante A) per poi completarla nei quadranti inferiori, con una preferenza di posizionamento dell'ultimo dischetto nei quadranti C e D.

Tale strategia di posizionamento di oggetti all'interno dello spazio peripersonale potrebbe essere spiegata alla luce del fenomeno dello pseudo-neglect, ovvero del *left-to-right scanning biases* (Jewell & McCourt, 2000), il quale testimonia che il direzionamento della nostra attenzione spaziale comincia dal lato sinistro per poi spostarsi verso destra, secondo un processo top-down (dall'alto verso il basso). Tale

comportamento, culturalmente orientato ed evidente nei compiti di lettura e di identificazione di stimoli target, sarebbe quindi riscontrabile anche in compiti di “costruzione” di configurazioni spaziali come il BTT.

Questo dato è convergente con altre ricerche che hanno evidenziato lo stesso bias in altri compiti spaziali (Benedetto et al., 2013).

L’analisi delle preferenze di disposizione non è stata effettuata sul campione clinico, data l’esiguità dello stesso.

3.3.2.2 Analisi del campione normotipico: clusterizzazione e analisi delle traiettorie spaziali

Considerato che ogni prestazione al BTT corrisponde a sedici coppie di coordinate cartesiane disposte all’interno della cornice di E-TOKEN, se si tiene conto dell’ordine di posizionamento dei dischetti, si può ricreare una traiettoria di disposizione per ogni singolo partecipante.

L’analisi delle traiettorie può rendere più informativa la valutazione della performance ottenuta al BTT; ad esempio, se si considera che la disposizione più frequente, per i partecipanti non patologici, è quella illustrata dalla figura 3.3.2, è pur vero che tale configurazione finale può essere ottenuta nei modi più disparati (e.g. iniziando a disporre i cubetti in alto a sinistra oppure in basso a destra, secondo un ordine che può essere diverso per ogni partecipante).

Di conseguenza, è possibile proporre una misura di valutazione che non tenga conto solo del “*risultato finale*” (ovvero della configurazione dei 16 dischetti) ma anche del processo che ha portato a tale risultato (e quindi dell’ordine di disposizione).

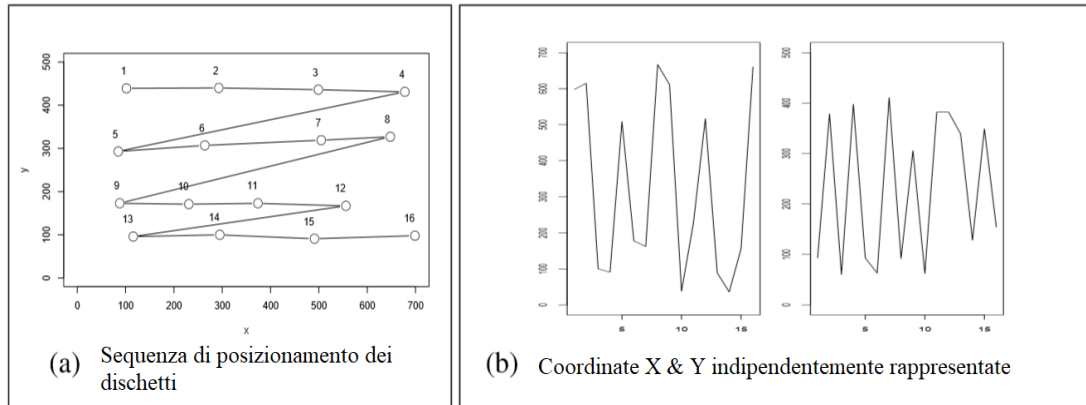


Figura 3.3.4 La sequenza di posizionamento dei dischetti e la rappresentazione singola delle coordinate X e Y

La figura 3.3.4-a illustra le posizioni dei sedici dischi posizionati all'interno della cornice di E-TOKEN, i quali sono numerati secondo l'ordine di disposizione (dal primo al sedicesimo); La figura 3.3.4-b rappresenta le coordinate X e Y.

Data l'importanza dell'asse orizzontale "sinistra-destra" per il neglect, le coordinate X possono essere ritenute le più rilevanti; tuttavia, anche le coordinate Y possono rivelare ulteriori informazioni sulle prestazioni dei partecipanti (ad es. nei rarissimi casi di neglect verticale; Pitzalis et al., 1997).

La presente analisi tiene conto solo delle sedici coordinate X, assunte come punti appartenenti ad una funzione sconosciuta definita sul dominio temporale T con $t = 0, \dots, 15$. Ogni funzione è approssimata attraverso otto basi *Spline*⁷ di ordine 2. La scelta naturale del numero di basi sarebbe 16, tuttavia l'approssimazione a otto basi garantisce una buona approssimazione e un numero ridotto di parametri (Hastie et al., 2009). L'analisi statistica sulle coordinate X si compone di due passaggi: (1) semplificazione dei dati mediante l'analisi delle componenti principali (PCA) su dati funzionali (Ramsay & Silverman, 2005); (2) clusterizzazione dei dati secondo

⁷ Una *Spline* è una funzione, costituita da un insieme di polinomi raccordati tra loro, il cui scopo è interpolare in un intervallo un insieme di punti (detti nodi della spline), in modo tale che la funzione sia continua almeno fino ad un dato ordine di derivate in ogni punto dell'intervallo. È un tipo di funzione molto utilizzata per l'analisi delle traiettorie (Biagiotti & Melchiorri, 2010).

un modello di mistura di distribuzioni per identificare gruppi di traiettorie simili tra loro (McNicholas, 2016).

La PCA su dati funzionali si applica, grosso modo, alla stessa maniera della PCA classica seppur con alcuni cambiamenti dovuti alla natura stessa dei dati; nel caso specifico di E-TOKEN, la PCA funzionale, che ha portato ad una semplificazione dei dati relativi alle traiettorie evidenziate dai partecipanti al BTT, è descritta in dettaglio da Palumbo e colleghi (2019).

Per quel che riguarda il *clustering* delle traiettorie, è stata utilizzata una mistura di distribuzioni chiamata *Mixture of Generalized Hyperbolic Distributions* (MGHD; Tortora et al., 2015). In breve, una mistura di distribuzioni, univariata o multivariata, rappresenta una funzione di densità (ovvero di probabilità) definita come la somma ponderata di K funzioni di densità identiche (con $K \geq 2$) che differiscono per almeno un parametro. Ogni funzione di densità della mistura è chiamata componente. Gli algoritmi di *clustering model-based* presuppongono che i dati siano stati generati da una mistura di K componenti (con K definito a priori), e che ciascuno dei cluster evidenziati si riferisca a una componente della mistura di distribuzioni. Inoltre, questi stessi algoritmi stimano i parametri (o i vettori dei parametri) di ciascuna componente e un insieme di pesi $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_K$, tali che π_k sia maggiore di zero per ogni $k \in [1, \dots, K]$ e che la sommatoria dei pesi sia pari ad 1. Il modello di mistura MGHD non rappresenta l'unico approccio possibile per il *clustering* dei dati, tuttavia, si ritiene che la sua flessibilità aiuti a ottenere interpretazioni più semplici e più chiare dei dati.

La figura 3.3.5 illustra la clusterizzazione dei dati ottenuti dalla PCA funzionale; sono evidenziati 3 gruppi, due più omogenei tra loro (rappresentati con i simboli del “+” verdi e dei cerchietti neri) ed un terzo gruppo (i triangolini rossi), eterogeneo, plottato al centro del grafico.

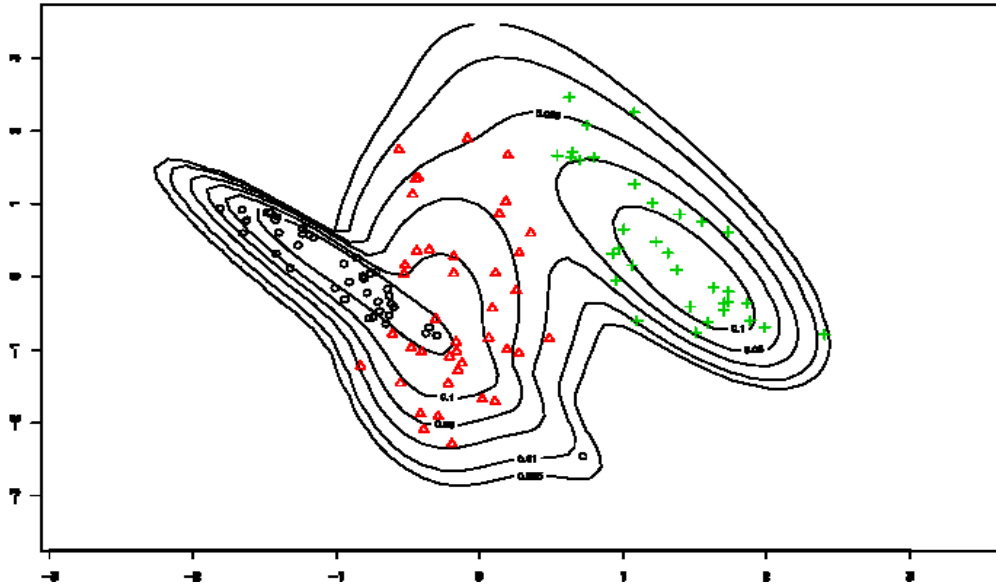


Figura 3.3.5 Cluster secondo il modello MGHD

In seguito, i tre gruppi sono stati rappresentati uno per uno, in funzione del genere, come illustrato in figura 3.3.6. Sulla sinistra sono rappresentate le traiettorie (della sola coordinata X) per ogni singolo cluster, mentre sulla destra è plottata la rispettiva proiezione di ogni traiettoria. Il colore blu e l'id "M" indicano i partecipanti maschili, il colore rosso e l'id F quelli femminili. Non è emersa una differenza di genere all'interno dei gruppi.

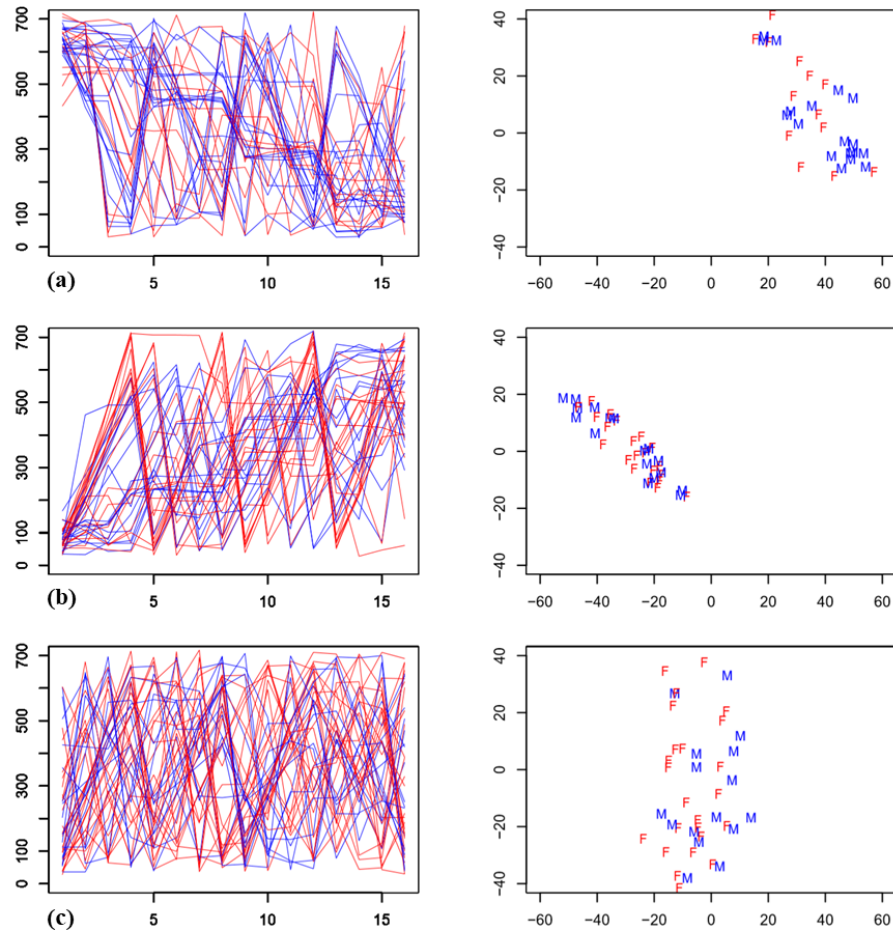


Figura 3.3.6 Plot delle traiettorie e delle rispettive proiezioni per ogni singolo cluster.

I grafici di sinistra rappresentano il valore della coordinata X secondo l'ordine di posizionamento dei 16 dischetti (0=primo dischetto; 15= ultimo dischetto).

La prima coppia di plot (Fig. 3.3.6-a) presenta quei partecipanti (n=34) che hanno cominciato il BTT dal lato destro della cornice; questi individui hanno disposto regolarmente, da destra verso sinistra e dall'alto verso il basso, quattro dischetti, iniziando, principalmente, dalle porzioni superiori della superficie. La seconda coppia di grafici (Fig. 3.3.6-b) illustra, diversamente, le persone (n=42) che hanno iniziato la configurazione dal lato sinistro per poi spostarsi, con una media di circa 4 dischetti, verso destra. Il terzo cluster (n=49, Fig. 3.3.6-c) è invece il più eterogeneo, comprendendo individui che hanno cominciato il BTT partendo dalle

posizioni dell'asse X più disparate, non mostrando traiettorie di disposizione dei dischetti assimilabili tra loro.

Considerato, nuovamente, lo scarso numero di individui del campione clinico (9 pazienti) non è stato ritenuto utile clusterizzare le loro traiettorie.

3.3.2.3 Analisi del campione clinico

In questa sezione, sono descritte singolarmente le configurazioni del BTT mostrate dai 9 pazienti del campione patologico.

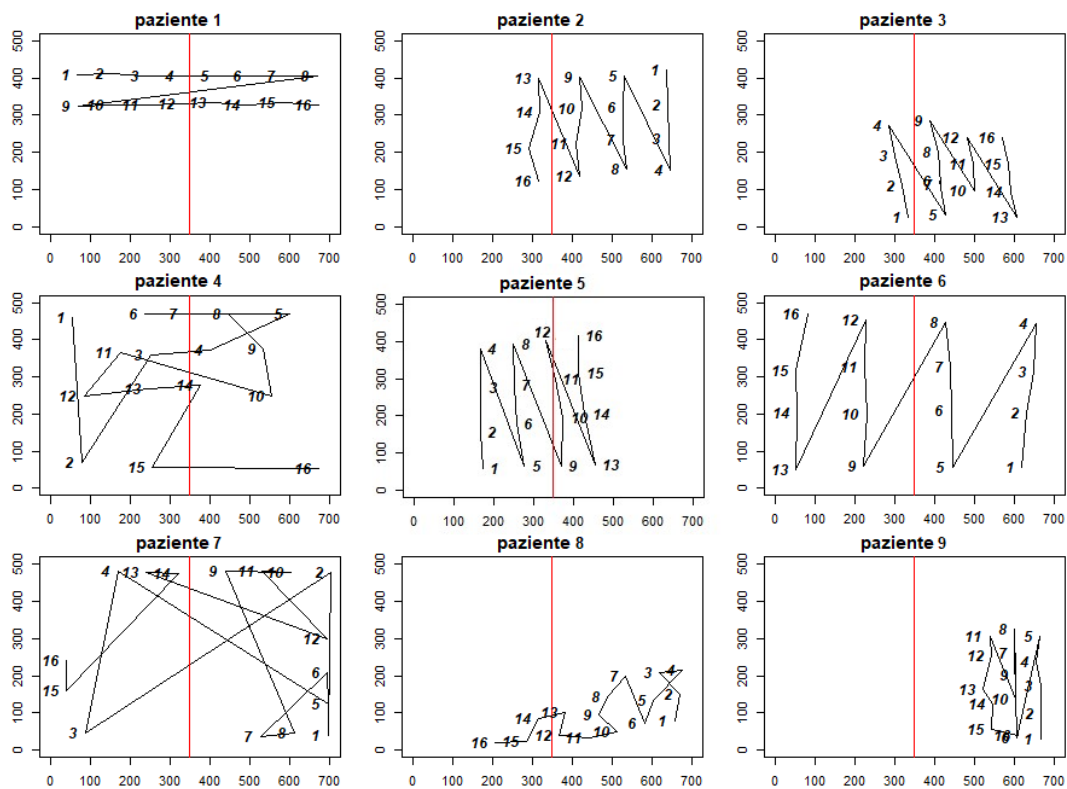


Figura 3.3.7 Le disposizioni finali dei pazienti al BTT: i numeri indicano l'ordine dei dischetti

La Figura 3.3.7 illustra le configurazioni finali al BTT, dischetto dopo dischetto (dal primo al sedicesimo), per ciascuno dei nove pazienti. Cinque pazienti su nove

hanno iniziato a posizionare i dischi sul lato destro della cornice di E-TOKEN, in modo simile a quanto fatto, in compiti diversi, da altri pazienti con lesione emisferica destra, i quali iniziavano i test neuropsicologici (come quello di bisezione o cancellazione) dal lato omolesionale (Gainotti et al., 1991; Jalas et al., 2002; Siéroff, et al., 2007); sei pazienti su nove hanno disposto il primo dischetto nei quadranti inferiori della superficie.

Il paziente 6 è partito dal quadrante in basso a destra della superficie e ha quindi proceduto a disporre i dischetti verticalmente in quattro colonne, occupando l'intera superficie (tipo la disposizione in figura 3.3.2). Iniziare il BTT dalla destra può essere indice di un residuale bias spaziale che porta un paziente ad eseguire in maniera normale i test neuropsicologici, pur cominciandoli dal lato destro (Bartolomeo, 1997, 2000; Bonato, 2012).

I pazienti 2, 3 e 5 hanno mostrato una sequenza di disposizione simile al paziente 6, ma hanno raggruppato tutti i dischetti in un'area più piccola. Le disposizioni dei pazienti 2 e 3 sono tipiche dell'emeinclinazione spaziale. Anche le configurazioni del paziente 8 e 9 indicano chiaramente comportamenti dovuti alla presenza di neglect, con un'occupazione ridotta, attraverso il posizionamento dei dischetti, dello spazio disponibile all'interno della cornice. Il paziente 4 ha invece mostrato una strategia di posizionamento disorganizzata, senza lateralizzazione spaziale.

Il paziente 7 ha disposto i primi 4 dischetti nei 4 angoli della superficie (anche se in realtà senza raggiungere l'angolo superiore sinistro), ed ha poi posizionato i 12 dischetti rimanenti lungo il bordo della superficie, utilizzando il bordo della cornice come una sorta di guida (specialmente per il lato destro). La configurazione finale è rimasta tuttavia sostanzialmente asimmetrica.

Infine, il paziente 1 ha disposto i dischi senza alcuna asimmetria sinistra-destra, ma li ha confinati nella parte superiore della superficie. La procedura di scoring del BTT classico classificherebbe questa disposizione come non patologica.

Nella prossima sezione è analizzato lo spazio occupato dalla disposizione dei dischetti sia dai partecipanti del campione normotipico e sia da quelli del campione clinico.

3.3.2.4 Analisi dello spazio occupato dalla disposizione dei dischetti

All'interno della cornice di E-TOKEN, la configurazione finale dei dischetti, che viene accuratamente registrata dal software in dotazione, definisce i vertici di un poligono 2D. L'area del poligono rappresenta quindi lo spazio totale utilizzato/esplorato dagli individui durante l'esecuzione del BTT con E-TOKEN e può essere considerata come un indice della superficie esplorata, sia per il lato destro e sia per quello sinistro.

L'area esplorata diventa quindi assimilabile ad una stima quantitativa della tendenza dei pazienti con neglect a sottoutilizzare le porzioni dello spazio posto alla loro sinistra. A tal proposito, le prestazioni dei soggetti sani possono quindi utilizzare come punto d'ancoraggio per l'identificazione delle prestazioni patologiche nei pazienti con lesione emisferica destra. Assumendo che lo spazio definito dalla cornice di E-TOKEN sia una rappresentazione della percezione dello spazio e considerata l'area totale definita dalle coordinate dei dischetti che giacciono sul bordo del poligono contenente i 16 dischetti (definita come a ; esempio in figura 3.3.8), è stato utilizzato l'algoritmo Monte Carlo (Press & Farrar, 1990) per fornire una stima accurata della stessa (per ulteriori dettagli sul funzionamento dell'algoritmo Monte Carlo, si rimanda al lavoro di Cerrato, Pacella et al., 2019). Analogamente, sono state calcolate anche le parti di a dello spazio sinistro e dello spazio destro della superficie, chiamate, rispettivamente, a_s e a_d .



Figura 3.3.8 Esempio del poligono ricreato dalla configurazione del paziente 6; a_s , in giallo, rappresenta la parte occupata dai dischetti a sinistra della linea mediana rossa, mentre la parte simmetricamente opposta, in azzurro, è rappresentata da a_d . Si specifica che la linea mediana rossa funge da lato del poligono a_s e del corrispettivo a_d .

Gli spazi a , a_s e a_d (che assumono valori compresi tra 0 e 1, dove 1 costituirebbe l'esplorazione, attraverso il posizionamento dei dischetti, di tutto lo spazio interno alla cornice di E-TOKEN) sono assimilabili a delle distribuzioni di variabili casuali logit-normali (definite nell'intervallo $[0,1]$ e con valori di concordanza empirica pari a $\rho = .99$ per a , a $\rho = .96$ per a_s e a $\rho = .70$ per a_d) con i parametri di media e devianza non noti. La distribuzione logit-normale è molto flessibile nell'intervallo $[0,1]$ e, per definizione, la sua funzione logit segue l'andamento di una curva Gaussiana.

Di conseguenza, se $a \sim \text{logit-normale}$, allora $\text{logit}(a) = \ln \frac{a}{1-a} \sim N(\mu, \sigma)$ e lo stesso vale per a_s e a_d .

La figura 3.3.9 mostra congiuntamente e per ogni individuo (sia normotipico che clinico) un test bivariato che considera le trasformazioni logit standardizzate delle variabili a_s e a_d . Si tratta di un test ideato per valutare l'appartenenza degli individui al campione normotipico o a quello clinico. La notazione la_s definisce la trasformazione logit per l'area di sinistra mentre la_d definisce la trasformazione logit per lo spazio destro; la loro correlazione è uguale a $\rho = .68$.

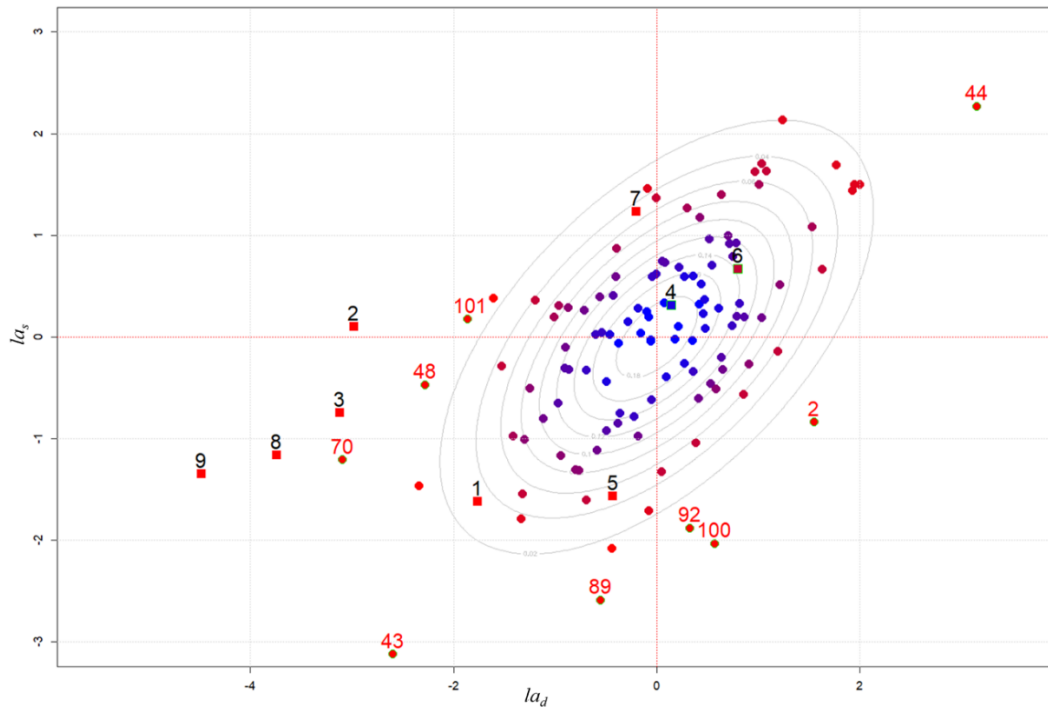


Figura 3.3.9 Plot congiunto delle trasformazioni logit delle aree a_s e a_d . In nero sono rappresentati gli identificativi (id) numerici dei pazienti, in rosso quelli degli individui “mal classificati” del campione normotipico.

All'interno del plot, i punti sferici designano gli individui del campione non clinico, mentre i quadrati si riferiscono ai pazienti. Tutti i soggetti sono rappresentati secondo un gradiente di colore (da blu a rosso), a seconda della somiglianza della configurazione finale fornita al compito del BTT. Il gruppo più denso, posizionato al centro delle coordinate 0,0 del plot e costituito in maggioranza dal colore blu, rappresenta la maggioranza dei soggetti che ha fornito una configurazione normotipica (come quella in Fig. 3.3.2) al BTT.

I punti con il contorno verde, appartenenti alla distribuzione evidenziata dalla curva di isodensità, rappresentano quei soggetti che il test bivariato ha identificato come mal classificati, ovvero i pazienti (id 4 e 6) che non dovrebbero appartenere al campione clinico (in quanto le loro disposizioni, come si evince dalla figura 3.3.7, sono assimilabili a configurazioni normali) e quei soggetti appartenenti al campione normotipico (id 2, 43, 44, 48, 70, 89, 92, 100, 101) che, considerando la loro

configurazione dei dischetti, hanno in realtà una probabilità di appartenere al loro gruppo (ovvero quello di chi dovrebbe disporre, grosso modo, 4 righe da 4 dischetti, come in figura 3.3.2) inferiore a .05: $P(zl, zr: 0, \rho = .68) < .05$. In questo caso, 9 dei 115 partecipanti non clinici hanno mostrato una performance al BTT che risulta essere compromessa. Si prevede che il 5% della popolazione di riferimento sia erroneamente classificato come falso positivo. Coerentemente con questa previsione, circa l' 8% (9/115) dei partecipanti non clinici ha realizzato una performance al BTT sospetta.

Differentemente, le prestazioni di 2 dei 9 pazienti con danno cerebrale sono state classificate come normali (pazienti 4 e 6, figura 3.3.7, i quali hanno eseguito correttamente anche i test neuropsicologici carta e matita e, inoltre, risultano essere i più giovani del campione clinico, tabella 3.3.1).

Il paziente 7 è tracciato nella parte più alta del grafico perché ha posizionato tutti i dischetti lungo i bordi della superficie e quindi ha “*esplorato*” un'area più ampia rispetto alle configurazioni tipiche del neglect. Le prestazioni dei pazienti 1 e 5 sono state plottate nella parte inferiore della distribuzione, lontano dal centro, perché hanno coperto un'area relativamente piccola dello spazio interno alla cornice.

Va notato che, come si evince dalla tabella 3.3.1, il paziente 5 esegue in maniera idonea i test carta e matita, ed anche secondo lo scoring classico del BTT, egli non sarebbe diagnosticabile come neglect (in quanto dispone 9 dischetti nel lato sinistro e 7 nel lato destro della superficie); diversamente, la procedura di analisi mostrata in questa sezione riesce a cogliere la caratteristica “*clinica*” della sua disposizione, plottandolo lontano dal centro della distribuzione di quegli individui che hanno eseguito il BTT correttamente.

Nella prossima sezione è mostrato un ulteriore approccio ai dati ottenuti tramite E-TOKEN.

3.3.2.5 Analisi delle configurazioni su dati simulati: un approccio *Machine Learning*

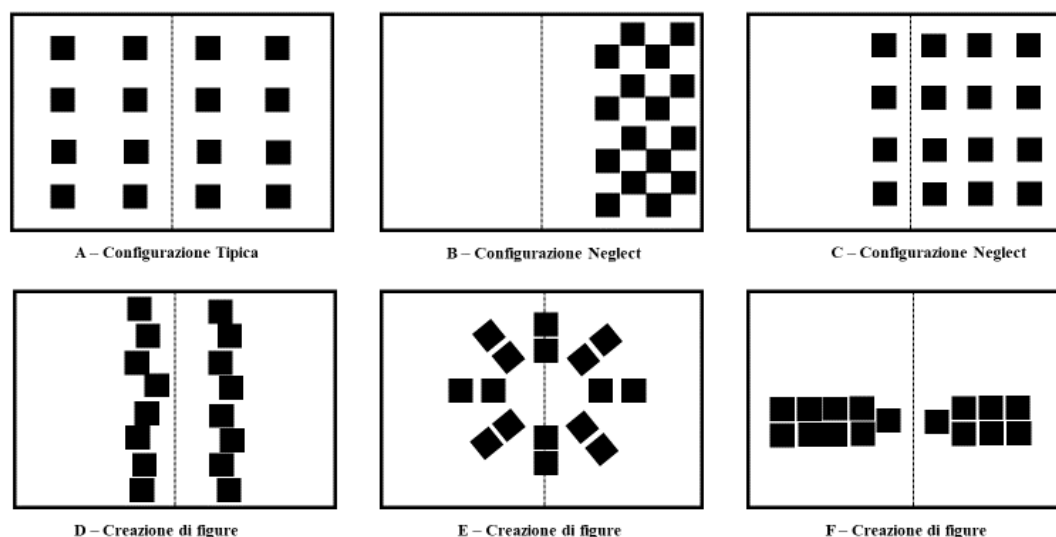


Figura 3.3.10 Prestazioni differenti riscontrabili al BTT

Nella figura 3.3.10 (già presentata nel capitolo 1.4 della tesi e riproposta per facilità di lettura), possono essere notate tre disposizioni (d, e, f) ottenute al BTT tradizionale. Sebbene non sia possibile valutare queste configurazioni come neglect, sicuramente mostrano una sorta di compromissione cognitiva.

Il problema con lo scoring classico del BTT risiede nel fatto che, in questo caso specifico, le tre disposizioni non sono diagnosticabili come patologiche in quanto la differenza del numero di cubi tra il lato sinistro e destro della superficie non è maggiore di 2.

Di conseguenza, risulterebbe utile una misura atta a discriminare le disposizioni tipiche (Fig. 3.3.10-a), da quelle patologiche, indipendentemente dal fatto che siano dovute alla presenza o meno di NSU. Grazie alle coordinate X e Y raccolte attraverso E-TOKEN, come già evidenziato nelle precedenti analisi, è possibile differenziare le diverse configurazioni di dischetti, utilizzando altresì una tecnica di *Machine Learning* chiamata *Novelty Detection* (Japkowicz, Myers, & Gluck, 1995).

La Novelty Detection discrimina i dati in base al fatto che essi appartengano o meno a una determinata classe. Questa classe può essere pensata come un *concetto da apprendere*. Di solito, l'apprendimento dei concetti implica l'apprendimento della corretta classificazione di un set di dati contenente sia esempi positivi che negativi di un concetto, seguito da una fase di test in cui sono classificati nuovi esempi. Nel nostro caso, il concetto che rappresenta la classe che deve essere appresa è rappresentato dalle disposizioni tipiche alla BTT (come quella in Fig. 3.3.10-a).

Al fine di testare la bontà del metodo scelto, sono state simulate, in termini di coordinate X e Y, tre tipi di disposizioni: tipiche, neglect e disposizioni che, pur mantenendo 8 oggetti per ciascuna metà della superficie, non possono essere assimilate ad una corretta disposizione.



Figura 3.3.11 Disposizioni simulate al BTT: Tipiche (punti verdi), NSU (punti blu), altra configurazione (punti arancioni)

In seguito, usando Sci-kit learn (Pedregosa et al., 2011), sono stati testati i dati simulati con un metodo di Support Vector Machine (SVM) chiamato One-class SVM, un algoritmo non supervisionato che apprende una funzione decisionale per

il rilevamento di nuovi casi ed è quindi in grado classificare i dati di volta in volta fornitegli come simili o diversi da un set di dati su cui è stato addestrato.

In questo caso, l'applicazione del metodo One-class SVM si è dimostrata efficace nel discriminare le disposizioni tipiche da quelle non tipiche (sia neglect che “*particolari*”, colori arancio e blu della figura 3.3.11). Ciò significa che grazie al prototipo E-TOKEN, con dati più informativi (come le coordinate) relativi al compito BTT, è anche possibile avere un'analisi più approfondita delle prestazioni dei soggetti, che superi il semplice confronto del numero di oggetti destra-sinistra, al fine di supportare l'indagine diagnostica.

3.3.3 Discussione

Nel presente capitolo sono stati presentate alcuni possibili analisi dei dati ottenuti con E-TOKEN, che è stato sviluppato come prodotto della ricerca dottorale di 3 anni. Le rilevazioni con esso ottenute hanno consentito di poter fare affidamento (per l'analisi statistica) su misure che precedentemente non era possibile consultare. In futuro, ulteriori metodi di statistici, come quelli che prevedono ad esempio di concentrarsi sull'entropia spaziale (Batty, 1974), possono aumentare il valore *discriminante* di questi *nuovi* dati.

Ovviamente, l'utilizzo dello strumento non si limita alla somministrazione del BTT, ma rende possibile l'implementazione di altri test volti a valutare l'eminegligenza e/o altri disturbi della cognizione spaziale.

Da un punto di vista clinico, è probabile che la sintomatologia del neglect derivi dall'interazione di deficit multipli, con sostanziale variabilità da paziente a paziente (Bartolomeo, 2007; Siéroff et al., 2007). Pertanto, non sorprende che una serie/batteria di test abbia una maggiore sensibilità diagnostica rispetto al singolo test (Azouvi et al., 2006). Tuttavia, i pazienti spesso riescono a raggiungere prestazioni normali nei test carta e matita, pur soffrendo, nel quotidiano, di livelli sostanziali di disabilità.

L'utilizzo di E-TOKEN (come avvenuto con la somministrazione del BTT) consentirebbe ai clinici di valutare le abilità visuospatiali utilizzando una procedura conveniente, rapida e relativamente automatizzata. I dati registrati dallo strumento possono essere resi anonimi e inviati a una piattaforma online per le analisi; essi vengono automaticamente archiviati per essere poi consultati *online* o *offline*.

E-TOKEN, nel suo essere utilizzato per la riproposizione del BTT, mantiene il valore ecologico della versione originale di Tham & Tegnér, richiamando un'attività quotidiana che sfrutta la manipolazione di oggetti fisici (Miglino & Ponticorvo, 2018); in aggiunta, i dati raccolti consentono la formulazione nuove misure statistiche in grado di valutare anche le compromissioni più lievi della cognizione spaziale.

Inoltre, la superficie ricreata dalla cornice di E-TOKEN, richiede ai pazienti di *esplorare* ulteriormente il lato sinistro negletto, diversamente dai tipici test carta e matita. Questa caratteristica apre alla possibilità di svelare casi di riduzione di movimenti dell'arto sinistro e/o la presenza di *ipocinesia direzionale* (Bartolomeo, D'Erme et al., 1998). Un altro vantaggio di E-TOKEN risiede nella sua facilità di trasporto, rendendolo utilizzabile anche per seguire i pazienti durante la riabilitazione domiciliare (Rossit et al., 2019).

Le procedure di *assessment* che sfruttano l'uso di oggetti tangibili sono sempre più adottate sia a fini diagnostici che riabilitativi (Ferrara et al., 2016; Cerrato et al., 2019; Rabuffetti et al., 2016). Alcuni esempi precedenti hanno visto l'impiego della realtà virtuale per la valutazione dei deficit visuospatiali attraverso l'esplorazione di labirinti digitali (Morganti & Riva, 2014) che, tuttavia, non richiedono alcuna manipolazione di oggetti tangibili. Diversamente, un altro studio ha proposto un ambiente di *Mixed Reality* in cui realtà virtuale e interfacce tangibili venivano utilizzate per la valutazione e riabilitazione delle funzioni cognitive in ambito quotidiano (Edmans et al., 2007). Questi sistemi si concentrano principalmente sulla riabilitazione e mancano di un'approfondita analisi delle *performances* ottenute ai compiti visuospatiali; essi, infatti, o impiegano procedure di assessment standard (come quelle del compito di cancellazione di linee; Albert, 1973) o necessitano della valutazione da parte di un terapeuta occupazionale. Queste piattaforme, tra cui

anche alcune già descritte nel capitolo 2.2 come SIG-Blocks (Lee et al., 2016) e MOTO Tiles (Liu et al., 2018), differentemente da E-TOKEN, non hanno la possibilità di raccogliere e monitorare sistematicamente i dati sulle prestazioni degli utilizzatori.

Nel successivo e ultimo capitolo della tesi, si passerà ad enunciare le conclusioni e le prospettive future del presente lavoro, andando a trattare quelle che sono le potenzialità, i limiti e le criticità della ricerca.

Conclusioni e direzioni future

Il percorso triennale di dottorato ha prodotto una serie di risultati tangibili, paragonabili a quelli che nel campo della progettazione e sviluppo sono chiamati *outcomes* o *deliverables*. È stato sviluppato un prototipo, E-TOKEN, che punta ad essere utilizzato in ambito diagnostico/riabilitativo come strumento di assessment per le abilità visuospatiali.

Grazie all'utilizzo di E-TOKEN possono essere riproposte (o ideate) task e compiti, come il Baking Tray Task, che permettono la valutazione della cognizione spaziale degli individui. Ad esempio, somministrando il BTT, il prototipo oggetto della presente tesi permette di valutare la prestazione dei partecipanti non solo sulla base del conteggio degli oggetti disposti in ciascuna metà della cornice, ma anche registrando le coordinate spaziali degli oggetti.

Questo consente di sviluppare tecniche di analisi (come quelle enunciate nel capitolo 3.3) per aumentare il potere discriminante dei dati raccolti con E-TOKEN, che tengano conto della sequenza, dei tempi e dell'ordine degli oggetti disposti, valutando altresì la *densità* del posizionamento dei dischetti all'interno della cornice di legno.

In particolare, investigare eventuali regolarità nel posizionamento degli oggetti può fornire informazioni su condizioni cliniche poco conosciute, come i deficit spaziali non lateralizzati e, di conseguenza, non classificabili come Negligenza Spaziale Unilaterale.

Un altro punto di forza è legato al fatto di poter contare su un database online in grado di essere alimentato da più fonti contemporaneamente. Questo significa che se diverse strutture (localizzate in posti diversi) utilizzano E-TOKEN, i dati con esso raccolti alimenteranno un unico grande archivio, rendendo possibile una raccolta di dati di tipo massivo. Al momento non risultano essere presenti dei database che raccolgono informazioni in merito alla cognizione visuospatial degli individui; ciò consentirebbe ad E-TOKEN di svolgere un ruolo da precursore in tal senso.

Se si pensa all'importanza dei cosiddetti *Big Data* in ambito sanitario e di *Healthcare* il discorso diventa ancor più complesso e interessante. Avere dei dati sanitari accurati (come quelli che possono riguardare eventuali deficit della cognizione spaziale) risulta di vitale importanza per una varietà di scopi (Martin, 2008). Questi dati possono essere utilizzati, ad esempio, per effettuare valutazioni diagnostiche all'interno di un singolo sistema sanitario. Inoltre, essi possono anche essere adoperati a livello regionale o nazionale per effettuare confronti interni o tra i differenti sistemi sanitari, sia a livello di prestazioni ai compiti dei singoli pazienti, sia per valutare l'incidenza di un particolare tipo di disturbo.

Da un punto di vista economico, è stato stimato che nel 2018 il mercato dei Big Data in ambito sanitario è valso la cifra di circa 20 miliardi di dollari; alcune proiezioni finanziarie inquadrano una crescita di oltre il 100% per tale mercato, ipotizzando un valore complessivo di circa 50 miliardi di dollari entro il 2024⁸.

Avere a disposizione una grande mole di dati rende possibile l'applicazione di tecniche di analisi basate sulle moderne metodologie di *Data Mining* che sfruttano Intelligenza Artificiale e *Machine Learning* (un esempio rappresentato dalla *Novelty Detection* presentata nel capitolo 3.3, paragrafo 3.3.2.5) e che potrebbero rappresentare un ulteriore modulo da integrare negli sviluppi. L'adozione di queste nuove metodologie in ambito sanitario assume un'importanza chiave nel supporto alle decisioni cliniche, consentendo un'identificazione precoce di eventuali disturbi e rende possibile piani di trattamento su misura tali garantire risultati ottimali (Jiang et al., 2017).

Ulteriormente, è possibile ideare e sviluppare diverse attività che, utilizzando E-TOKEN, vadano oltre la valutazione delle abilità esclusivamente visuospaziali, e che quindi valutino le ulteriori funzioni cognitive degli individui, sfruttando interfacce tangibili e oggetti fisici manipolabili che risultano essere ecologicamente validi per riproporre attività quanto più possibili vicini ad esperienza di vita quotidiana (Jacoby et al., 2006). Ad esempio, si potrebbero ideare compiti che,

⁸ <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/11/22/1951304/0/en/Analysis-on-the-World-s-Healthcare-Big-Data-Analytics-Industry-2019-2024-A-47-7-Billion-Opportunity-Rising-at-a-CAGR-of-16.html>

partendo da concetti semplici (come quelli relativi a forme, colori e posizionamento degli oggetti), puntino all'assessment non solo della cognizione visuospaziale ma anche di altre capacità cognitive, come la cognizione numerica o il linguaggio (De Renzi & Faglioni, 1978). Potrebbero altresì essere ideate che valutino le abilità di manipolazione degli oggetti, circoscritte sempre allo spazio peripersonale; in tal senso, i compiti da realizzare potrebbero valutare capacità motorie, predisposizione alla collaborazione, pensiero logico e pensiero creativo (Warr & O' Neill, 2007; Wunsch et al., 2015) oppure essere utilizzati come compiti proiettivi per la valutazione di alcuni aspetti della personalità (Yassin, 2006).

Di conseguenza, sfruttando l'universalità degli ArUco markers (capitolo 2.2), possono essere utilizzati nuovi tipi di oggetti (non limitandosi ai dischetti dell'attuale versione di E-TOKEN) corredati da nuovi tag, i quali possono essere facilmente riconosciuti dal software in dotazione al prototipo, aumentando l'*alfabeto* dei markers su cui fare affidamento. Inoltre, anche il target dei partecipanti potrebbe variare in funzione dell'attività che si pensa di riproporre, in maniera tale da rendere E-TOKEN utilizzabile con bambini, adulti e popolazione anziana.

Le attività da riproporre con E-TOKEN non sono esclusivamente appannaggio dell'assessment e della valutazione diagnostica ma potrebbero essere ideate come supporto ad attività di riabilitazione e integrate in ambienti di training specifici per determinate funzioni cognitive. In particolare, uno sviluppo successivo di E-TOKEN potrebbe essere quello di metterlo in comunicazione con il software STELT (presentato nel capitolo 2.2) in maniera tale da ideare compiti che sfruttino il sistema di *Adapting Tutoring* fornito, per l'appunto, da STELT, il quale è in grado di analizzare ed interpretare il comportamento dell'utente, fornendo feedback pertinenti in tempo reale e guidandolo, passo dopo passo, ad essere consapevole se sta eseguendo l'esercizio in maniera corretta o sbagliata. A titolo esemplificativo, potrebbero essere riproposti dei compiti riabilitativi basati su una versione da attuare tramite E-TOKEN del test di Corsi (per attività riguardanti la memoria visuospaziale; Corsi, 1972) o dei subtest spaziali della scala WISC (per compiti di

training sulle abilità prassiche e visuocostruttive; Weiss et al., 2006), utilizzando oggetti appositi e ArUco markers specifici.

Da un punto di vista strutturale, lo sviluppo di E-TOKEN ha avuto come linee guida quelle previste dal Programma Operativo Nazionale (PON) Ricerca e Innovazione 2014-2020⁹, con l'obiettivo di creare uno strumento che fosse di rilevanza nell'ambito delle *Key Enabling Technologies* (settore biotecnologico). Le tecnologie abilitanti o KETs (Key Enabling Technologies) sono ritenute fondamentali per la crescita e l'occupazione, poiché rappresentano soluzioni o miglioramenti tecnologici sviluppati attraverso esperienze di ricerca, come quelle assimilabili ad un dottorato industriale, capaci di rivitalizzare il sistema produttivo. Secondo la definizione data dalla Commissione Europea le tecnologie abilitanti sono tecnologie “*ad alta intensità di conoscenza e associate a elevata intensità di R&S, a cicli di innovazione rapidi, a consistenti spese di investimento e a posti di lavoro altamente qualificati*”. In quanto tali hanno rilevanza sistemica perché alimentano il valore della catena del sistema produttivo e hanno la capacità di innovare i processi, i prodotti e i servizi in tutti i settori economici dell'attività umana. Un prodotto basato su una tecnologia abilitante, inoltre, utilizza tecnologie di fabbricazione avanzate e accresce il valore commerciale e sociale di un bene o di un servizio.

⁹ <http://www.ponricerca.gov.it>

Per quanto riguarda l'avanzamento tecnologico del prototipo realizzato, seguendo lo schema del Technology Readiness Level (Tab. 1), è possibile ritenere che E-TOKEN, su una scala di valori da 1 a 9, abbia una maturità tecnologica pari ad un punto TRL intermedio tra il livello 3 ed il 4, con migliorie (già programmate) che hanno l'obiettivo di innalzare tale livello.

Livello di TRL	Descrizione
TRL 1	Osservati i principi fondamentali
TRL 2	Formulato il concetto della tecnologia
TRL 3	Prova di concetto sperimentale
TRL 4	Tecnologia convalidata in laboratorio
TRL 5	Tecnologia convalidata in ambiente (industrialmente) rilevante
TRL 6	Tecnologia dimostrata in ambiente (industrialmente) rilevante
TRL 7	Dimostrazione di un prototipo di sistema in ambiente operativo
TRL 8	Sistema completo e qualificato
TRL 9	Sistema reale provato in ambiente operativo (produzione competitiva, commercializzazione)

Tabella 1: Livelli di Maturità Tecnologica (TRL) secondo la Commissione Europea¹⁰

¹⁰ https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2018-2020/annexes/h2020-wp1820-annex-g-trl_en.pdf

Ad esempio, un miglioramento da apportare al presente prototipo riguarda l'utilizzo di un materiale con cui realizzare i tag che rifletta poco la luce visto che, in alcuni casi, particolari condizioni di luminosità ambientale possono influenzare il corretto rilevamento degli ArUco Markers.

Un'altra modifica da apportare è legata alla struttura, al momento poco *intuitiva*, del database di E-TOKEN. Rendere i dati facilmente consultabili (sia migliorando il database attuale sia creando un modulo di *analytics* esterno di facile visualizzazione) aumenterebbe la rilevanza e l'utilità clinica dello strumento. Ulteriormente, eventuali sviluppi successivi del software utilizzato con E-TOKEN provvederanno anche all'irrobustimento dello stesso.

Chiaramente i possibili sviluppi del prototipo sono molteplici e molto ambiziosi, richiedendo altresì un lavoro multidisciplinare che non può essere portato a termine da una singola persona o da un solo laboratorio di ricerca. Sicuramente, al fine di individuare ulteriori ambiti di applicazione, punti di forza e criticità dello strumento, quest'ultimo va utilizzato il più possibile, ed un suo immediato impiego è già stato previsto.

A tal proposito, lo strumento (che sarà in futuro reso disponibile sul Mercato Elettronico per la Pubblica Amministrazione - MEPA¹¹) è stato già valutato positivamente per un futuro utilizzo da alcune realtà locali, tra le quali è possibile menzionare la fondazione Istituto Antoniano¹², un centro di riabilitazione con sede ad Ercolano (Napoli), e il laboratorio di Neuropsicologia dell'Età Evolutiva¹³, struttura afferente al dipartimento di psicologia dell'Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"

¹¹ <https://www.acquistinretepa.it/opencms/opencms>

¹² <http://www.istitutoantoniano.it>

¹³ <http://www.psicologia.unicampania.it/dipartimento/servizi-clinici#neuropsicologia-dell-eta-evolutiva>

Inoltre, grazie all'attività di disseminazione dottorale derivata dai numerosi incontri e meeting scientifici, E-TOKEN sarà utilizzato all'interno del consorzio di ricerca ReCONNECT¹⁴, il quale ha intenzione di sottoporre un *Research Proposal* per un *ERC Synergy Grant*. I programmi di ricerca Synergy prevedono, solitamente, l'impiego di cospicue risorse finanziarie, richiedendo un attento lavoro pluriennale e di diverse figure professionali.

Del consorzio fanno parte il laboratorio Nac dell'Università Federico II di Napoli, *l'Institut du Cerveau et de la Moelle épinière* (Parigi), *l'École Normale Supérieure* (Parigi), il centro di riabilitazione Santa Lucia di Roma, l'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del CNR di Roma, l'Università di Granada (Spagna) e l'Università di Berna (Svizzera).

ReCONNECT ha l'obiettivo di approfondire la genesi neurocognitive dei deficit neuropsicologici più diffusi utilizzando nuove tecniche investigative che sfruttano i sistemi di Intelligenza Artificiale e Realtà Aumentata. Il progetto avrà anche ricadute nel campo della diagnosi e del trattamento dei disturbi neuropsicologici. È previsto che E-TOKEN venga utilizzato come piattaforma di valutazione con cui ricreare diversi compiti e valutare le varie funzioni cognitive come linguaggio, memoria, attenzione e cognizione spaziale.

Tutto quello che è stato descritto nella presente tesi rappresenta un *riassunto* dell'intenso lavoro profuso durante i tre anni di ricerca del dottorato. Ricerca che è partita tenendo conto del grado di progresso tecnologico a cui si è arrivati e di come integrare le nuove tecnologie negli ambiti della Psicologia e della Neuropsicologia.

Oggi, queste due discipline si trovano ad affrontare le nuove opportunità (o sfide) proposte dalla digitalizzazione, dal progresso di Internet, dai *device* portatili, dall'*Internet of Things*, nonché dall'uso dei sistemi di Realtà Virtuale ed Aumentata. Tali strumenti rappresentano nuovi orizzonti che stanno cambiando non solo il modo di lavorare e comunicare, ma anche di percepire e vivere il mondo;

¹⁴ <https://www.unina.it/-/19897633-capire-e-guarire-i-disturbi-neuropsicologici-con-l-intelligenza-artificiale->

l'obiettivo è non farsi trovare impreparati, cercando di pianificare il modo migliore con cui mettere in pratica queste tecnologie, ponendole a servizio dell'uomo.

La loro messa in pratica non dovrebbe però esulare dalla corretta cornice teorica di riferimento, riprendendo un'esortazione che un certo Leonardo Da Vinci ha proposto qualche tempo fa: *“Quelli che s'innamoran di pratica senza scienza son come 'l nocchier ch'entra in navilio senza timone o bussola, che mai ha certezza dove si vada. Sempre la pratica deve essere edificata sopra la bona teorica.”*

Bibliografia

- Albert, M. L. (1973). A simple test of visual neglect. *Neurology*.
- American Psychological Association. (1986). *Guidelines for computer-based tests and interpretations*. Washington, DC: Author.
- Angelini, R., & Grossi, D. (1993). *La terapia razionale dei disturbi costruttivi*. TeRaDiC. Roma: Centro di Riabilitazione Santa Lucia, Editrice Erre.
- Appelros, P., Karlsson, G., Thorwalls, A., Tham, K., & Nydevik, I. (2004). Unilateral neglect: further validation of the baking tray task. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 36(6), 258-261.
- Azouvi, P., Bartolomeo, P., Beis, J.-M., Perennou, D., Pradat-Diehl, P., & Rousseaux, M. (2006). A battery of tests for the quantitative assessment of unilateral neglect. *Restorative neurology and neuroscience*, 24(4-6), 273–285.
- 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), pp. 139-150.
- 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.
- Bansal, D., Chhikara, R., Khanna, K., Gupta, P. (2018). Comparative Analysis of Various Machine Learning Algorithms for Detecting Dementia. *Procedia Computer Science*, 132, 1497-1502.
- Bartolomeo, P. (1997). The novelty effect in recovered hemineglect. *Cortex*, 33(2), 323–333.
- Bartolomeo, P. (2000). Inhibitory processes and spatial bias after right hemisphere damage. *Neuropsychological Rehabilitation*, 10(5), 511–526.

- Bartolomeo, P. (2007). Visual neglect. *Curr. Opin. Neurol.*, 20(4), 381–386.
- Bartolomeo, P. (2013). *Attention disorders after right brain damage: Living in halved worlds*. Springer Science & Business Media.
- Bartolomeo, P., D'Erme, P., Perri, R., & Gainotti, G. (1998). Perception and action in hemispacial neglect. *Neuropsychologia*, 36(3), 227–237.
- Bartolomeo, P., De Vito, S., Malkinson, T. S. (2017). Space-related confabulations after right hemisphere damage. *Cortex*, 87, pp. 166-173.
- Bartolomeo, P., Thiebaut de Schotten, M., & Doricchi, F. (2007). Left unilateral neglect as a disconnection syndrome. *Cerebral cortex*, 17(11), 2479-2490.
- Batty, M. (1974). Spatial entropy. *Geographical analysis*, 6(1), 1–31.
- Beis, J. M., Keller, C., Morin, N., Bartolomeo, P., Bernati, T., Chokron, S., ... & Perennou, D. (2004). Right spatial neglect after left hemisphere stroke: qualitative and quantitative study. *Neurology*, 63(9), 1600-1605.
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Bremond, R., & Baccino, T. (2013). Leftward attentional bias in a simulated driving task. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 20, 147-153.
- Benton, A. L., Varney, N. R., & Hamsher, K. D. (1978). Visuospatial judgment: A clinical test. *Archives of neurology*, 35(6), 364-367.
- Berti, A., Bottini, G., Gandola, M., Pia, L., Smania, N., Stracciari, A., Castiglioni, I., Vallar, G., Paulesu, E. (2005). Shared cortical anatomy for motor awareness and motor control. *Science*, 309:488-491.
- Beschin, N., Robertson, I. H. (1997). Personal versus extrapersonal neglect: a group study of their dissociation using a reliable clinical test. *Cortex*, 33(2), pp. 379-384.
- Billinghamurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2008). Tangible augmented reality. *ACM SIGGRAPH ASIA*, 7.

- Bisiach, E., & Vallar, G. (2000). Unilateral neglect in humans. In F. Boller, J. Grafman, & G. Rizzolatti (Eds.), *Handbook of neuropsychology. Handbook of neuropsychology: Sect 1: Introduction, Sect 2: Attention*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V., pp. 459-502.
- Blagojevic, R., Chen, X., Tan, R., Sheehan, R., & Plimmer, B. (2012). Using tangible drawing tools on a capacitive multi-touch display. In *Proceedings of the 26th Annual BCS Interaction Specialist Group Conference on People and Computers* (pp. 315-320). British Computer Society.
- Bock, M., Fisker, M., Topp, K. F., & Kraus, M. (2014). Initial exploration of the use of specific tangible widgets for tablet games. In *International Conference on Social Informatics* (pp. 183-190). Springer, Cham.
- Bonato, M. (2012). Neglect and extinction depend greatly on task demands: a review. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 195.
- Bruner J.S. (1990). *Acts of meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press
- Burgess, N. (2008). Spatial cognition and the brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 77-97.
- Canini, M., Battista, P., Della Rosa, P. A., Catricalà, E., Salvatore, C., Gilardi, M. C., Castiglioni, I. (2014). Computerized neuropsychological assessment in aging: testing efficacy and clinical ecology of different interfaces. *Computational and mathematical methods in medicine*, doi: 10.1155/2014/804723.
- 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.
- Cerrato A., Bartolomeo P., Ponticorvo M., Milgino O. (2017) BTT-SCAN: automated scoring of the Baking Tray Task for Unilateral Spatial Neglect assessment. 14th Annual Conference of the Italian Association for Cognitive Sciences (AISC): The Science of Cognition, Bologna, Italy.

Cerrato A., Ferrara F., Ponticorvo M., Sica L.S., Di Ferdinando A., Miglino O. (2017) DILIGO assessment tool: a smart and gamified approach for preschool children assessment. *International Conference on Smart Education and Smart E-Learning*, 235-244.

Cerrato A., Ponticorvo M. (2017) Enhancing neuropsychological testing with gamification and tangible interfaces: the Baking Tray Task. *International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation*, 147-156.

Cerrato A., Ponticorvo M., Bartolomeo P., Miglino O. (2018) BTT-SCAN: An ecological and technology enhanced tool to assess visual neglect. *Cogn Process* (2018) 19(Suppl 1): 1. <https://doi.org/10.1007/s10339-018-0884-3>.

Cerrato A., Ponticorvo M., Gigliotta O., Bartolomeo P., Miglino O. (2019) Btt-Scan: Uno Strumento Per La Valutazione Della Negligenza Spaziale Unilaterale. *SISTEMI INTELLIGENTI 2019(1)*, Il Mulino.

Cerrato, A., & Ponticorvo, M. (2017). Enhancing Neuropsychological Testing with Gamification and Tangible Interfaces: The Baking Tray Task. In *International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation*. Springer, Cham, pp. 147-156.

Cerrato, A., Pacella, D., Palumbo, F., Beauvais, D., Ponticorvo, M., Miglino, O., & Bartolomeo, P. (2019). Detecting behavioral patterns for diagnosis and rehabilitation of visual neglect: a technology-enhanced version of the Baking Tray Task. *bioRxiv*, 849505.

Cerrato, A., Ponticorvo, M., Gigliotta, O., Bartolomeo, P., & Miglino, O. (2019, June). The Assessment of Visuospatial Abilities with Tangible Interfaces and Machine Learning. In *International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation* (pp. 78-87). Springer, Cham.

- Cerrato, A., Siano, G., & De Marco, A. (2018). Experience Augmented Reality: From Education and Training Applications to Assessment Procedures. *QWERTY*, 13(1), 11-27.
- Cerrato, A., Siano, G., De Marco, A., & Ricci, C. (2019). The Importance of Spatial Abilities in Creativity and Their Assessment Through Tangible Interfaces. In *International Conference in Methodologies and intelligent Systems for Techhnology Enhanced Learning* (pp. 89-95). Springer, Cham.
- Chelune, G. J., & Baer, R. A. (1986). Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting test. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 8(3), 219-228.
- Cho, A., Lederer, R., Sharlin, E., Watson, B. A., Liu, L., & Sutphen, S. (2002, March). Designing virtual worlds—the Cognitive Map Probe. In *13th Western Canadian Computer Graphics Symposium*.
- Chung, S. J., Park, E., Ye, B. S., Lee, H. S., Chang, H. J., Song, D., ... & Nam, H. S. (2016). The computerized table setting test for detecting unilateral neglect. *PloS one*, 11(1), e0147030.
- Cohen, M. (1997). *Children's memory scale (CMS)*. San Antonio: The Psychological Corporation.
- Corsi, P. (1972). *Memory and the medial temporal region of the brain*. Unpublished doctoral dissertation, McGill University, Montreal, QB.
- Davis, A., & Rose, D. (2000). The experimental method in psychology. *Research methods in psychology*, 2, 42-58.
- De La Guía, E., Lozano, M. D., & Penichet, V. M. (2013) *Interacting with Objects in Games Through RFID Technology*.
- De Renzi, E. (1982). *Disorders of space exploration and cognition*. JOHN WILEY & SONS, INC., 605 THIRD AVE., NEW YORK, NY 10158. 1982.

- De Renzi, E., & Faglioni, P. (1978). Normative data and screening power of a shortened version of the Token Test. *Cortex*, 14(1), 41-49.
- Di Ferdinando, A., Di Fuccio, R., Ponticorvo, M., & Miglino, O. (2015). Block magic: a prototype bridging digital and physical educational materials to support children learning processes. In *Smart Education and Smart e-Learning* (pp. 171-180). Springer, Cham.
- Di Nuovo, S. (2018). Tecnologie basate sull'Intelligenza Artificiale: problemi aperti e spazi per la ricerca psicologica. *Giornale Italiano di Psicologia*, 45(1), pp. 113-118, doi: 10.1421/90314.
- Doniger, G. M. (2013). NeuroTrax computerized cognitive tests: Test descriptions. NeuroTrax brain function made clear.
- Donovan, J. J., & Radosevich, D. J. (1999). A meta-analytic review of the distribution of practice effect: Now you see it, now you don't. *Journal of Applied Psychology*, 84(5), 795.
- Edmans, J., Gladman, J., Walker, M., Sunderland, A., Porter, A., & Fraser, D. S. (2007). Mixed reality environments in stroke rehabilitation: development as rehabilitation tools. *International Journal on Disability and Human Development*, 6(1), 39-46.
- Elithorn, A., Mornington, S., & Stavrou, A. (1982). Automated psychological testing: some principles and practice. *International Journal of Man-Machine Studies*, 17(3), 247-263.
- 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.
- Falcone R., Capirci O., Lucidi F., Zoccolotti P. (2018). Prospettive di intelligenza artificiale: mente, lavoro e società nel mondo del machine learning. *Giornale Italiano di Psicologia*, 45 (1), 43-67.

- Ferrara, F., Ponticorvo, M., Di Ferdinando, A., Miglino, O. (2016). Tangible interfaces for cognitive assessment and training in children: LogicART. In *Smart Education and e-Learning 2016*. Springer, Cham, pp. 329-338.
- Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. (1995). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In *CHI (Vol. 95)*, pp. 442-449).
- Folstein M.F., Folstein S.E., McHugh P.R. (1975) "Mini-mental state": A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician, *Journal of psychiatric research*, vol. 12, 3, 189–198, DOI:10.1016/0022-3956(75)90026-6.
- Freeman, D., Benko, H., Morris, M. R., & Wigdor, D. (2009). ShadowGuides: visualizations for in-situ learning of multi-touch and whole-hand gestures. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (pp. 165-172). ACM.
- Gainotti, G., D'Erme, P., Bartolomeo, P. (1991). Early orientation of attention toward the half space ipsilateral to the lesion in patients with unilateral brain damage. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 54:1082-1089.
- García-Molina, A., García-Férrandez, J., Aparicio-López, C., & Roig-Rovira, T. (2016). Hemispatial neglect secondary to a traumatic brain injury. *Neurologia (Barcelona, Spain)*, 31(1), 64.
- 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.
- Gentile, C., Cerrato, A., & Ponticorvo, M. (2019). Using technology and tangible interfaces in a visuospatial cognition task: the case of the Baking Tray Task.
- 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(6), ENEURO-0154.

- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in neurosciences*, 15(1), 20-25.
- Goodale, M. A., Westwood, D. A., & Milner, A. D. (2004). Two distinct modes of control for object-directed action. *Progress in brain research*, 144, 131-144.
- Goodenough, F.L. (1926). *Measurement of intelligence by drawings*. Oxford, England: World Book Co.
- Halligan, P. W., Marshall, J. C., & Wade, D. T. (1989). Visuospatial neglect: underlying factors and test sensitivity. *The Lancet*, 334(8668), 908-911.
- Harrison, J., & Caveney, A. (2011). 10 years of the Neuropsychological Test Battery (NTB). *PRO Newsletter*, 46, 21-4.
- Harrison, D. W. (2015). Personal, Peripersonal, and Extrapersonal Space. In *Brain Asymmetry and Neural Systems* (pp. 461-465). Springer, Cham.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*. Springer Science & Business Media.
- Hiscock, M. (1978). Imagery assessment through self-report: What do imagery questionnaires measure?. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 46(2), 223.
- Iachini, T., Ruggiero, G., Conson, M., Trojano, L. (2009). Lateralization of egocentric and allocentric spatial processing after parietal brain lesions. *Brain and cognition*, 69(3), pp. 514-520.
- Ishiai, S., Sugishita, M., Ichikawa, T., Gono, S., Watabiki, S. (1993). Clock-drawing test and unilateral spatial neglect. *Neurology*, 43(1), pp. 106-106.
- Jacoby, S., Josman, N., Jacoby, D., Koike, M., Itoh, Y., Kawai, N., ... & Weiss, P. L. T. (2006). Tangible user interfaces: Tools to examine, assess, and treat dynamic constructional processes in children with developmental coordination

- disorders. *International Journal on Disability and Human Development*, 5(3), 257-264.
- Jalas, M. J., Lindell, A. B., Brunila, T., Tenovuo, O., & Hamalainen, H. (2002). Initial rightward orienting bias in clinical tasks: Normal subjects and right hemispheric stroke patients with and without neglect. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(4), 479–490.
- Japkowicz, N., Myers, C., & Gluck, M. (1995) A novelty detection approach to classification. In *IJCAI* (Vol. 1, pp. 518-523).
- Jewell, G., & McCourt, M. E. (2000). Pseudoneglect: a review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 93-110.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... & Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, 2(4), 230-243.
- Kaltenbrunner, M., & Bencina, R. (2007, February). reactIVision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction. In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. 69-74). ACM.
- Kane, R. L. (1991). Standardized and flexible batteries in neuropsychology: An assessment update. *Neuropsychology Review*, 2(4), 281-339.
- Kato, H., & Billinghamurst, M. (1999). Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)* (pp. 85-94). IEEE.
- Lee, K., Jeong, D., Schindler, R. C., & Short, E. J. (2016). Sig-blocks: Tangible game technology for automated cognitive assessment. *Computers in Human Behavior*, 65, 163–175.

- Lieberoth, A. (2015). Shallow gamification: Testing psychological effects of framing an activity as a game. *Games and Culture*, 10(3), 229-248.
- Liu, Y.-X., Lund, H. H., & Wu, L.-L. (2018). Playful cognitive training with physical interactive tiles for elderly. In 2018 International Conference on Information and Communication Technology Robotics (ICT-ROBOT), (pp. 1–4). IEEE.
- Luciana, M. (2003). Practitioner review: computerized assessment of neuropsychological function in children: clinical and research applications of the Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44(5), 649-663.
- 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.
- Martin, G. S. (2008). The essential nature of healthcare databases in critical care medicine. *Critical Care*, 12(5), 176.
- McNicholas, P. D. (2016). *Mixture model-based classification*. Chapman and Hall/CRC.
- Menon, A., Korner-Bitensky, N. (2004). Evaluating unilateral spatial neglect post stroke: working your way through the maze of assessment choices. *Topics in stroke rehabilitation*, 11(3), pp. 41-66.
- Meyer, G. J., Finn, S. E., Eyde, L. D., Kay, G. G., Moreland, K. L., Dies, R. R., ... & Reed, G. M. (2001). Psychological testing and psychological assessment: A review of evidence and issues. *American psychologist*, 56(2), 128.
- Migliano O., Schembri M., Cerrato A., Ponticorvo M. (2018) Playing with physical and digital cards to enhance numerical cognition in children, in C. Chesi & G. Piredda (eds.) *Proceedings of the 15th Conference of the Italian Association for Cognitive Sciences (AISC 2018)*. IUSS Pavia, 17-19 December 2018. ISBN: 9788890794384.

- Miglino, O. & Ponticorvo, M. (2018). Enhancing multi-sensory and handling-based psycho-pedagogical approaches through new technologies.
- Miglino, O. (2018) *Intelligenza Artificiale per psicologi: tra psicologia teoretica e nuova metodologia di ricerca e intervento in ambito psicologico*. *Giornale Italiano di Psicologia*, 45(1), pp. 131-136, doi: 10.1421/90317.
- Miglino, O., Di Ferdinando, A., Di Fuccio, R., Rega, A., Ricci, C. (2014). Bridging digital and physical educational games using RFID/NFC technologies. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 10(3).
- Miglino, O., Ponticorvo, M., Bartolomeo, P. (2009). Place cognition and active perception: a study with evolved robots. *Connection Science*, 21(1), pp. 3-14.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1993). Visual pathways to perception and action. In *Progress in brain research* (Vol. 95, pp. 317-337). Elsevier.
- Mishkin, M., & Ungerleider, L. G. (1982). Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys. *Behavioural brain research*, 6(1), 57-77.
- Montessori, M. (1995). *The absorbent mind*. Holt Paperbacks
- Montessori, M., & Gutek, G. L. (2004). *The Montessori method: the origins of an educational innovation: including an abridged and annotated edition of Maria Montessori's The Montessori method*. Rowman & Littlefield.
- Morganti, F. & Riva, G. (2014). Virtual reality as allocentric/egocentric technology for the assessment of cognitive decline in the elderly. In *MMVR*, (pp. 278–284).
- Moser, E. I., Kropff, E., & Moser, M. B. (2008). Place cells, grid cells, and the brain's spatial representation system. *Annu. Rev. Neurosci.*, 31, 69-89.
- Muller, R. U., & Stead, M. (1996). Hippocampal place cells connected by Hebbian synapses can solve spatial problems. *Hippocampus*, 6(6), 709-719.

- Nies, K. J., & Sweet, J. J. (1994). Neuropsychological assessment and malingering: A critical review of past and present strategies. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 9(6), 501-552.
- O'Keefe, J. (1979). A review of the hippocampal place cells. *Progress in neurobiology*, 13(4), 419-439.
- Ota, H., Fujii, T., Suzuki, K., Fukatsu, R., & Yamadori, A. (2001). Dissociation of body-centered and stimulus-centered representations in unilateral neglect. *Neurology*, 57(11), 2064-2069.
- Palumbo F., Cerrato A., Ponticorvo M., Gigliotta O., Bartolomeo P., Miglino O. (2019) Clustering of Behavioral Spatial Trajectories in Neuropsychological Assessment. *SIS 2019-Smart Statistics for Smart Applications*. Pearson, pp. 463–470.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Vanderplas, J. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of machine learning research*, 12(Oct), 2825-2830.
- Piaget, J. (1926). *La representation du monde chez l'enfant*. Paris, Alcan
- Pitzalis, S., Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (1997). Vertical neglect: Behavioral and electrophysiological data. *Cortex*, 33(4), 679-688.
- Ponticorvo, M., Schembri M., Cerrato A., Miglino O. (2019 – in press). Playing digital card as an assessment tool for numerical abilities. *QWERTY*.
- Press, W. H. & Farrar, G. R. (1990). Recursive stratified sampling for multidimensional monte carlo integration. *Computers in Physics*, 4(2), 190–195.
- Rabuffetti, M., Meriggi, P., Pagliari, C., Bartolomeo, P., & Ferrarin, M. (2016). Differential actigraphy for monitoring asymmetry in upper limb motor activities. *Physiological Measurement*, 37(10), 1798–1812.

- Ramsay, J. O., & Silverman, B. W. (2005). Principal components analysis for functional data. *Functional data analysis*, 147-172.
- Rapcsak, S. Z., Verfaellie, M., Fleet, S., & Heilman, K. M. (1989). Selective attention in hemispatial neglect. *Archives of Neurology*, 46(2), 178-182.
- Ras, E., Krkovic, K., Greiff, S., Tobias, E., & Maquil, V. (2014). Moving towards the Assessment of Collaborative Problem Solving Skills with a Tangible User Interface. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 13(4), 95-104.
- Raven, J. (1981). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary scales*. research supplement no. 1: The 1979 British standardisation of the standard progressive matrices and mill hill vocabulary scales, together with comparative data from earlier studies in the UK, US, Canada, Germany and Ireland. Oxford: Oxford University Press; San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Reitan R. M. (1958). Validity of the Trail Making test as an indicator of organic brain damage. *Percept. Mot Skills*, 8, 271-276.
- Rekimoto, J. (2002). SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 113-120). ACM.
- Rode, G., Pérennou, D., & Azouvi, P. (2017). Spatial cognition. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 60(3), 123.
- Romero-Ramirez, F. J., Muñoz-Salinas, R., & Medina-Carnicer, R. (2018). Speeded up detection of squared fiducial markers. *Image and vision Computing*, 76, 38-47.
- Rossit, S., Benwell, C. S. Y., Szymanek, L., Learmonth, G., McKernan-Ward, L., Corrigan, E., Muir, K., Reeves, I., Duncan, G., Birschel, P., Roberts, M., Livingstone, K., Jackson, H., Castle, P., & Harvey, M. (2019). Efficacy of home-based visuomotor feedback training in stroke patients with chronic hemispatial neglect. *Neuropsychol Rehabil*, 29(2), 251-272.

- Rousseaux, M., Beis, J., Pradat-Diehl, P., Martin, Y., Bartolomeo, P., Bernati, T., Chokron, S., Leclercq, M., LouisDreyfus, A., Marchal, F., et al. (2001). Presenting a battery for assessing spatial neglect. norms and effects of age, educational level, sex, hand and laterality. *Revue neurologique*, 157(11 Pt 1), 1385–1400.
- Sahakian, B. J., Owen, A. M. (1992). Computerized assessment in neuropsychiatry using CANTAB: discussion paper. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 85(7), pp. 399.
- Schenkenberg, T., Bradford, D. C., Ajax, E. T. (1980). Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment. *Neurology*, 30(5), 509-509.
- Sharlin, E., Itoh, Y., Watson, B., Kitamura, Y., Kitamura, Y., Sutphen, S., & Liu, L. (2002). Cognitive cubes: a tangible user interface for cognitive assessment. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 347-354). ACM.
- Sherman, E. M., Brooks, B. L., Iverson, G. L., Slick, D. J., & Strauss, E. (2011). Reliability and validity in neuropsychology. In *The little black book of neuropsychology* (pp. 873-892). Springer, Boston, MA.
- Sheslow, D., & Adams, W. (2003). *Wide Range Assessment of Memory and Learning (WRAML)*. NCS Pearson.
- Shmueli, G. (2017). Research dilemmas with behavioral big data. *Big data*, 5(2), 98-119.
- Siéroff, E., Decaix, C., Chokron, S., & Bartolomeo, P. (2007). Impaired orienting of attention in left unilateral neglect: A componential analysis. *Neuropsychology*, 21(1), 94.
- Slay, H., Phillips, M., Vernik, R., & Thomas, B. H. (2001). Interaction Modes for Augmented Reality Visualization. In *InVis. au* (pp. 71-75).

- Spence, I., & Feng, J. (2010). Video games and spatial cognition. *Review of General Psychology*, 14(2), 92-104.
- Spinnler, H., & Tognoni G. (1987). Standardizzazione e taratura italiana di test neuropsicologici. *Italian Journal of Neurological Sciences*, 6, 21-120.
- Stanton, D., Bayon, V., Neale, H., Ghali, A., Benford, S., Cobb, S., ... & Pridmore, T. (2001). Classroom collaboration in the design of tangible interfaces for storytelling. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 482-489). ACM.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests* (3rd edn). New York: Oxford University Press.
- Teive, H. A., Munhoz, R. P., & Caramelli, P. (2011). Historical aphasia cases: "Tan-tan", "Vot-vot", and "Cré nom!". *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 69(3), 555-558.
- 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.
- 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.
- Tham, K., Tegnér, R. (1996). The baking tray task: a test of spatial neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6(1), pp. 19-26.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189-208.
- Tortora, C., Browne, R. P., Franczak, B. C., & McNicholas, P. D. (2015). MixGHD: model based clustering, classification and discriminant analysis using the mixture of generalized hyperbolic distributions. R package version, 1.

- Ullmer, B., & Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM systems journal*, 39(3.4), 915-931.
- Umiltà, C. (1999). *Manuale di neuroscienze*, Bologna, Il Mulino.
- Urbanski, M., Angeli, V., Bourlon, C., Cristinzio, C., Ponticorvo, M., Rastelli, F., Thiebaut de Schotten, M., Bartolomeo, P. (2007). Négligence spatiale unilatérale: une conséquence dramatique mais souvent négligée des lésions de l'hémisphère droit. *Revue Neurologique*, 163(3), pp. 305-322.
- Urrutia, F. J. Z., Loyola, C. C., & Marín, M. H. (2019). A Tangible User Interface to Facilitate Learning of Trigonometry. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 14(23), 152-164.
- Warr, A., & O'Neill, E. (2007). Tools to support collaborative creativity. In *Tools to Support Collaborative Creativity workshop held as part of Creativity and Cognition conference*.
- Wechsler, D. (1955). *Manual for the Wechsler adult intelligence scale*.
- Weiss, L. G., Saklofske, D. H., Prifitera, A., & Holdnack, J. A. (2006). *WISC-IV advanced clinical interpretation*. Elsevier.
- Weiss, M., Jennings, R., Khoshabeh, R., Borchers, J., Wagner, J., Jansen, Y., & Hollan, J. D. (2009). SLAP widgets: bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3229-3234). ACM.
- Willer, L., Pedersen, P. M., Forchhammer, H. B., & Christensen, H. (2016). Cognitive assessment at bedside for iPad: a preliminary validation of a novel cognitive test for stroke patients. *European Stroke Journal*, 1(4), 294-301.
- Witelson S.F. (1988). *Brain Asymmetry, Functional Aspects*. In: *States of Brain and Mind. Readings from the Encyclopedia of Neuroscience*. Birkhäuser, Boston, MA

Wunsch, K., Weiss, D. J., Schack, T., & Weigelt, M. (2015). Second-order motor planning in children: insights from a cup-manipulation-task. *Psychological research*, 79(4), 669-677.

Yassin, A. F. (2006). U.S. Patent No. 7,136,826. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Zaehle, T., Jordan, K., Wüstenberg, T., Baudewig, J., Dechent, P., & Mast, F. W. (2007). The neural basis of the egocentric and allocentric spatial frame of reference. *Brain research*, 1137, 92-103.

Zhou, F., Duh, H. B. L., & Billinghurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In *Proceedings of the 7th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality* (pp. 193-202). IEEE Computer Society.

Zichermann, G. (2013). Gamification: the hard truths. *Huff Post. Tech*, 32(01), 2013.

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(3), pp. 179-191.

Zola-Morgan, S. (1995). Localization of brain function: The legacy of Franz Joseph Gall (1758-1828). *Annual review of neuroscience*, 18(1), 359-383.

Allegato 1: E-token - Manuale di Istruzioni



An Augmented Reality Platform
for Experiments on Visuo-Spatial Cognition

www.garage94.com/e-token

Developed by **Bartolomeo, Cerrato & Miglino**

UTILIZZO E INSTALLAZIONE:

Guida all'utilizzo e all'installazione di **E-token**, la piattaforma che tramite la realtà aumentata permette di studiare e valutare i comportamenti visuospatiali delle persone al fine di identificare un'eventuale compromissione della cognizione spaziale.

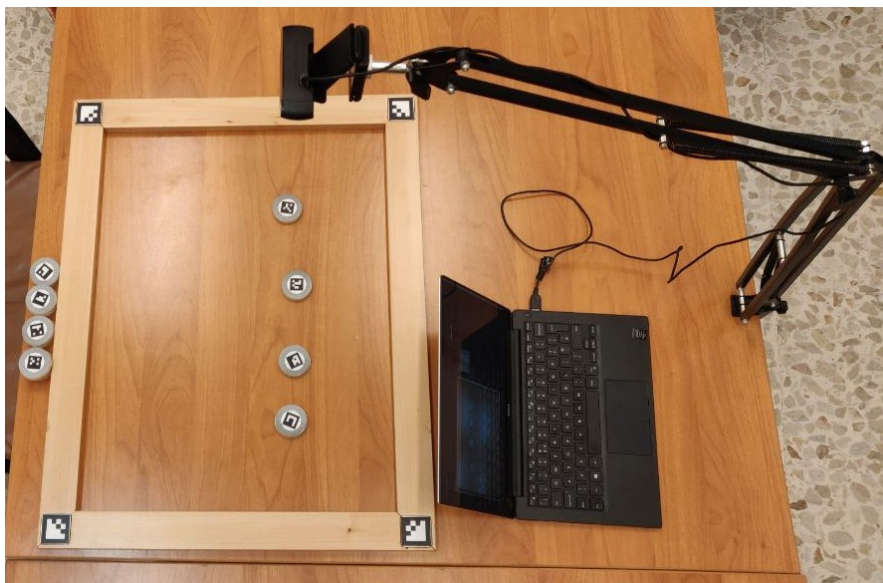
CONTENUTO DEL KIT:

1. Libretto d'istruzioni
2. Cornice di legno componibile
3. Tag quadrati da posizionare nei quattro angoli della cornice
4. Chiave a brugola esagonale per il montaggio della cornice
5. Venti dischetti di legno
6. Webcam Logitech C930e
7. Braccio a da tavolo regolabile per Webcam Logitech C930e



PREPARAZIONE DEL SETTING:

Per un corretto utilizzo di E-token occorre osservare alcuni accorgimenti di installazione del kit. Prima di tutto occorre agganciare il braccio in maniera stabile al piano di lavoro. Fermare la Webcam Logitech al braccio in dotazione e collegarla, tramite porta USB, al computer. Procedere al montaggio della cornice e posizionarla sul piano di lavoro perpendicolarmente al campo di visuale della Webcam Logitech C930. Braccio, cornice e dischetti dovranno trovarsi in posizione sagittale rispetto alla persona di cui si valuteranno i comportamenti spaziali.



INSTALLAZIONE SOFTWARE:

Requisiti minimi di Sistema

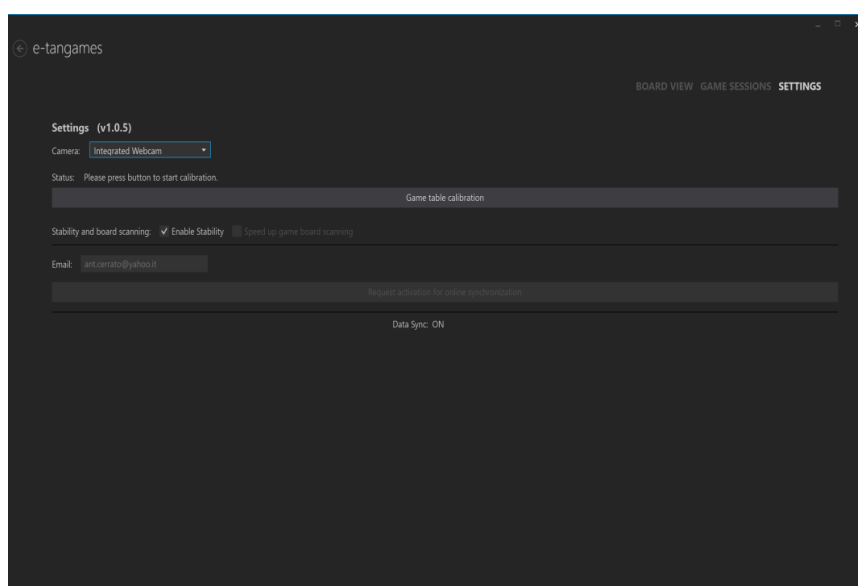
- Al momento il software che permette l'utilizzo di E-token supporta esclusivamente il Sistema Operativo Windows 10
- Monitor con risoluzione 1920x1080. In caso di risoluzioni dello schermo inferiori bisogna regolare manualmente le impostazioni relative allo schermo (**Ridimensionamento** e **Risoluzione**) dal menu di windows selezionando “*Impostazioni di Windows*” → “*Sistema*” → “*Schermo*”
- RAM 4 GB

Utilizzo software E-TanGames

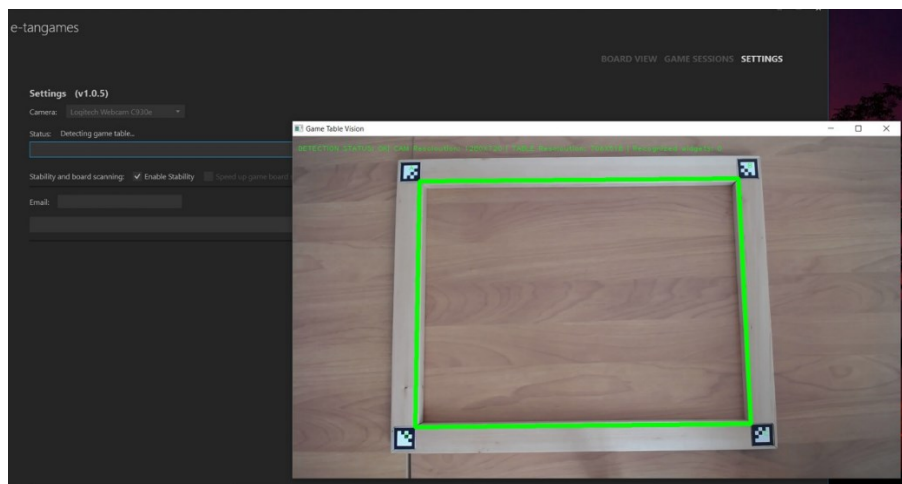
Installazione e primo utilizzo del software E-TanGames. Tale software supporta l'utilizzo di una Webcam capace di rilevare il posizionamento di determinati oggetti, corredati da specifici tag, che sono disposti dal soggetto di cui si intendere valutare le abilità spaziali all'interno di uno spazio predefinito (cornice di legno con tag) chiamato "Playground."

Istruzioni per l'installazione e primo utilizzo

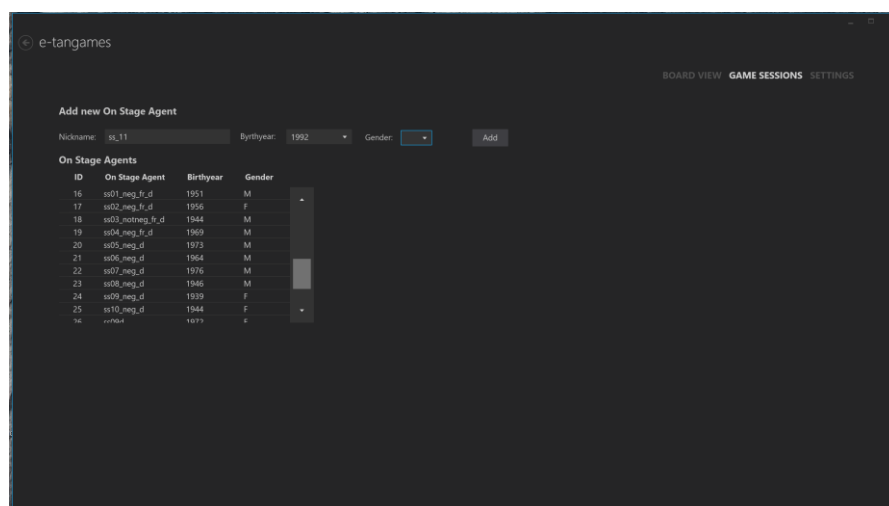
1. Collegarsi alla pagina www.garage94.com/e-token e scaricare il software da installare
2. Scompattare all'interno di una nuova cartella i contenuti del file compresso
3. Collegare la webcam Logitech al proprio computer
4. Lanciare l'applicazione *E-TanGames*
5. Selezionare l'opzione "Settings"
6. Nel campo "Email", procedere all'inserimento dell'indirizzo di posta elettronica col quale essere abilitati alla sincronizzazione dei dati e cliccare su "Request Activation for Online Synchronization"



7. Una volta abilitato il proprio account, dal menu a tendina “Camera” selezionare la Webcam Logitech C930e e procedere alla rilevazione del playground cliccando su “Game Table Calibration”. Se la procedura viene effettuata correttamente, apparirà su schermo un rettangolo verde sui 4 tag del Playground. Premere sulla tastiera il tasto “Esc” per chiudere la finestra di dialogo. In caso di visione sfocata da parte della telecamera, regolare manualmente le impostazioni tramite l’applicazione “LogiCamSettings_1.1.87.0” nella cartella “other”.

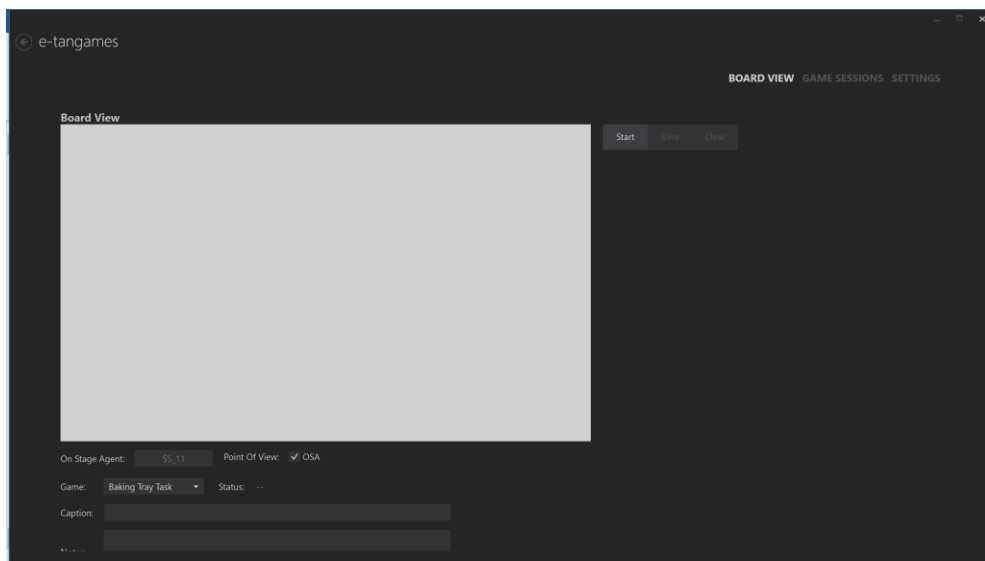


8. Selezionare l’opzione “Game Session” ed inserire il nome l’età e il genere dell’utente a cui si somministra l’attività e cliccare su “Add”



9. Selezionare il nuovo utente dalla lista degli “On Stage Agents - OSA” (in questa stessa lista saranno visionabili le varie prove effettuate)

10. Selezionare l'opzione "*Board View*" ed essere sicuri che il nome dell'OSA appaia nel campo in basso a sinistra
11. Selezionare nella casella "*Game*" il tipo di attività che si desidera somministrare (disponibile al momento solo Free Game e BTT Game; consultare il paragrafo **ATTIVITÀ TIPO** per ulteriori informazioni in merito)
12. Chiedere all'utente di tenersi pronto ad iniziare la valutazione e cliccare su "*Start*"



13. A questo punto il software rileverà le disposizioni degli oggetti disposti dall'utente all'interno del Playground
14. Al termine dell'attività cliccare su "*Save*". Se si vuole iniziare una nuova valutazione dello stesso utente cliccare su "*Clear*" e poi nuovamente su "*Start*".
15. Ripetere la procedura dal punto 8 per ogni utente di cui si intende effettuare la valutazione.
16. Una volta concluso l'utilizzo di E-TanGames cliccare sulla "X" in alto a destra per chiudere l'applicativo

Visionare i dati raccolti

Sul proprio computer dal quale viene eseguito E-TanGames si possono visionare le sessioni effettuate in locale, mentre dal sito <https://e-tan.games>, una volta effettuato l'accesso, si possono scaricare i dati in formato CSV di tutte le sessioni.

ATTIVITÀ TIPO:

L'attività/esperimento da poter riproporre tramite la piattaforma E-token e l'utilizzo del software E-TanGames è il Baking Tray Task (*BTT*; *Tham & Tegnér, 1996*). Il BTT è un test in cui viene chiesto ai partecipanti, nella sua versione originale, di disporre 16 cubetti nella maniera più uniforme possibile su una superficie/piano d'appoggio di 75x100 cm, ***come se fossero dei biscotti da mettere su una teglia da forno***. L'interpretazione diagnostica del BTT viene eseguita riportando la configurazione creata dal paziente su di un foglio e conteggiando quanti cubi sono stati posizionati sul lato destro e sul lato sinistro del piano d'appoggio. Disposizioni di 8 cubi per lato o di 7/9 (oppure 9/7) sono considerate non patologiche, mentre configurazioni di cubetti che eccedono questo range possono far pensare ad un problema di esplorazione spaziale. Il BTT è principalmente impiegato nella valutazione della Negligenza Spaziale Unilaterale (NSU, Neglect), un particolare disordine cognitivo, afferente alla classe dei disturbi della cognizione spaziale, che compromette l'elaborazione e l'esplorazione di un lato dello spazio, solitamente quello sinistro. Rispetto ai test convenzionali come la bisezione di linee o i test di cancellazione, il BTT si è dimostrato più sensibile nel diagnosticare NSU di lieve o modesta entità e non sembrerebbe essere influenzato dall'effetto pratica; infatti, mentre con i classici compiti cartacei c'è il rischio che i pazienti "imparino" a eseguire i test (a seguito di frequenti e ripetitive somministrazioni), nell'eseguire il BTT non esiste un modo univoco di disporre i cubetti, ma le strategie di disposizione sono molteplici.

Tramite il kit di E-token è possibile riproporre una versione del BTT potenziata dalla tecnologia seppur con piccole modifiche (l'utilizzo dei dischetti al posto dei cubetti e una superficie in cui disporli di dimensioni leggermente minori). Al

soggetto viene chiesto, riprendendo le istruzioni originali, di disporre i 16 dischetti posti di fronte a lui all'interno della cornice di legno, ***come se fossero dei biscotti da mettere su una teglia da forno***. Tramite il software in dotazione è possibile procedere ad una valutazione diagnostica più approfondita, acquisendo informazioni relative alle coordinate spaziali (X,Y) dei dischetti, al tempo (totale e per ciascun dischetto) impiegato per l'esecuzione del BTT e all'ordine con cui sono stati disposti i dischetti. Ad esempio, tramite le coordinate dei dischetti è possibile ricreare una traiettoria temporale della disposizione effettuata dall'utente, utile nel confrontare le diverse strategie di posizionamento e di esplorazione spaziale evidenziate dai soggetti.

Lavori di riferimento

Cerrato A., Ponticorvo M., Bartolomeo P., Miglino O. (2019- in press) *Btt-Scan: Uno Strumento Per La Valutazione Della Negligenza Spaziale Unilaterale*. SISTEMI INTELLIGENTI 2019, Il Mulino.

Tham, K., Tegnér, R. (1996). *The baking tray task: a test of spatial neglect*. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6(1), pp. 19-26.



La borsa di dottorato è stata cofinanziata con risorse del
Programma Operativo Nazionale Ricerca e Innovazione 2014-2020 (CCI 2014IT16M2OP005),
Fondo Sociale Europeo, Azione I.1 “Dottorati Innovativi con caratterizzazione Industriale”



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo



*Ministero dell'Istruzione,
dell'Università e della Ricerca*

