



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale (DPG)

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione (DPSS)

Corso di laurea in Scienze Psicologiche Cognitive e Psicobiologiche

Elaborato finale

*Un confronto tra capacità individuale di memoria
visiva per stimoli presentati in posizioni centrali e
stimoli lateralizzati*

*A comparison between individual visual memory capacity for
centrally presented and lateralized stimuli*

Relatrice:

Prof.ssa Sabrina Brigadoi

Laureanda: *Elisa Pasina*

Matricola n. 1204653

INDICE

1. Introduzione.....	4
1.1 La memoria: un unico costrutto multicomponentiale.....	4
1.2. Allocazione selettiva delle risorse in memoria visiva a breve termine.....	9
1.3 Scopo della ricerca	15
2. Materiali e metodi.....	16
2.1 Campione sperimentale.....	16
2.2 Procedura e stimoli.....	17
2.3. Analisi dei dati	21
3. Risultati.....	23
3.1 Accuratezza.....	23
3.2 K di Cowan	26
4. Discussione e conclusione.....	28

CAPITOLO I – INTRODUZIONE

1.1 La memoria: un unico costrutto multicomponenziale

Prima di analizzare in modo più specifico l'ipotesi alla base del lavoro descritto in questo elaborato, è opportuno approfondire ciò che si intende con il termine memoria e, in particolare, fornire alcune conoscenze importanti su una componente di tale costrutto: la memoria a breve termine.

L'enciclopedia Treccani definisce la memoria come “la capacità, comune a molti organismi, di conservare traccia più o meno completa e duratura degli stimoli esterni sperimentati e delle relative risposte”. Si tratta quindi di una funzione cognitiva che ci permette di immagazzinare, in modo più o meno permanente, delle informazioni. Ci fornisce inoltre la capacità di rievocarle nel momento in cui ce ne sia necessità.

Ciò che rende la memoria un costrutto tanto interessante quanto complesso è la sua struttura multicomponenziale. Si tende spesso a pensare alla memoria come una funzione unitaria ed analoga per tutti gli stimoli ambientali, ma anni di studi in neuroscienze e ricerche sperimentali in ambito cognitivo hanno dimostrato che la memoria è suddivisa in più sottosistemi, ognuno dei quali svolge una funzione distinta. Atkinson e Shiffrin (1968), nel loro modello modale, ipotizzarono l'esistenza di tre diversi tipi di memoria: la memoria sensoriale, la memoria a breve termine e la memoria a lungo termine. La memoria sensoriale è una memoria di brevissima durata (circa 100 millisecondi) e capacità illimitata che può essere considerata come una traccia fotografica di ciò che catturano i nostri sensi. La memoria a lungo termine (MLT), al contrario, è formata da un archivio di memoria permanente con disponibilità quasi illimitata, sia per quanto riguarda

la totalità delle esperienze che facciamo, sia in termini di tempo trascorso: siamo in grado di ricordare, in modo più o meno nitido, episodi, profumi e sensazioni vissuti anche molti anni prima. La memoria a lungo termine è, a sua volta, divisa in altri sottosistemi: memoria esplicita (semantica ed episodica) e memoria implicita (procedurale). Infine c'è la memoria a breve termine (MBT), la quale si pone nel mezzo tra gli altri due tipi di memoria appena considerati. Si tratta di un ridotto (in media 3-4 oggetti) magazzino di memoria temporaneo, con una durata non superiore ai 10 secondi, il quale può fungere da tramite per il passaggio dell'informazione nella memoria a lungo termine oppure essere utilizzato per la semplice ritenzione e/o "per la manipolazione dell'informazione durante l'esecuzione di differenti compiti cognitivi, come la comprensione, l'apprendimento e il ragionamento" (Baddeley, 1986). Per questa sua caratteristica di essere una sorta di spazio di lavoro mentale in stato attivo e dinamico è anche definita memoria di lavoro (dall'inglese working memory).

Il primo modello di memoria di lavoro (ML), elaborato da Baddeley e Hitch nel 1974, prevedeva l'esistenza di due componenti funzionalmente differenti, il "loop fonologico" e il "taccuino visuo-spaziale", gestiti e coordinati da un processore denominato "esecutivo centrale". Il loop fonologico è responsabile della ritenzione di sequenze di stimoli acustici o verbali; invece il taccuino visuo-spaziale svolge una funzione simile ma per tutti quegli oggetti codificati visivamente e/o spazialmente, ad esempio, quindi, informazioni che riguardano la forma, il colore, la dimensione, la posizione, l'orientamento di una figura ecc. Questo modello fu poi rivisto dallo stesso Baddeley (2000), che aggiunse un ulteriore componente, il buffer episodico, adibito allo scambio di informazioni tra i sotto sistemi della memoria di lavoro con la memoria a lungo termine.

Negli anni, molti ricercatori si sono posti l'obiettivo di capire in che modo venissero memorizzati gli stimoli visuo-spaziali all'interno del taccuino visuo-spaziale, ma purtroppo, ad oggi, non si è ancora giunti ad una teoria condivisa. La letteratura è spaccata principalmente in due scuole di pensiero: una considera la memoria come una risorsa limitata ma flessibile poiché ipotizza che tutti gli elementi vengano archiviati nella MBT, ma che la qualità delle rappresentazioni dei singoli elementi diminuisca con l'aumento del numero di elementi in memoria a causa, appunto, di limitazioni delle risorse (Bays & Husain, 2008); in altre parole, la quantità va a discapito della qualità che peggiora progressivamente in rapporto al numero di articoli aggiunti o all'aumento della loro complessità. La seconda scuola di pensiero presuppone invece che la memoria sia formata da un limitato e definito numero di slot, ognuno dei quali contiene un singolo elemento o un singolo blocco di elementi legati tra loro da qualche caratteristica (indipendentemente dalla complessità). Quando l'input sensoriale supera il numero di slot disponibili, un sottoinsieme di elementi viene memorizzato con una ragionevole precisione, ma nessuna informazione viene conservata degli altri elementi (Luck & Vogel, 2013).

Sicuramente saranno necessarie ulteriori ricerche per fornire prove universalmente condivise che distinguano tra queste due ampie classi di modelli quella che maggiormente si avvicina alla realtà. In questo elaborato ci soffermeremo maggiormente sulla teoria a slot discreti, suggerita per la prima volta da Miller nel 1956, approfondendo alcuni paradigmi e procedure di calcolo basate su questo modello.

Oltre alla modalità di ritenzione degli stimoli da parte della memoria di lavoro visiva, anche la capacità vera e propria, in termini di numero massimo di item memorizzabili, è stata ampiamente oggetto di ricerca. Ad oggi, tuttavia, sembra essere condivisa l'idea, supportata da molteplici evidenze empiriche, di una capacità media di

circa quattro elementi contemporaneamente presenti nel magazzino di memoria (Cowan, 2001). La misurazione di tale capacità, basata sul modello a slot discreti, avviene attraverso la trasformazione della prestazione del partecipante, in un compito di memoria, in una stima di capacità di memoria (K), vale a dire nella stima individuale del numero di elementi che possono essere conservati con successo in MBT (Cowan, 2001; Pashler, 1988).

Il paradigma convenzionalmente utilizzato, da cui si può ricavare questo indicatore, introdotto per la prima volta da Phillips (1974) e reso popolare da Luck e Vogel (1997), prende il nome di “change detection task” (in italiano “paradigma di riconoscimento del cambiamento”). Di detto paradigma esistono principalmente due versioni, delle quali sono poi state create ulteriori varianti. In entrambe le versioni originarie, viene visualizzato, su un display, un insieme di elementi che devono essere memorizzati (memory array). Successivamente, dopo un breve intervallo di ritenzione, viene presentato il display di test (test array). Nel primo paradigma, chiamato in italiano “riconoscimento dell'intero display”, una serie completa di elementi viene presentata nella fase test. Questo test array può essere identico al memory array, o, in alternativa, uno degli elementi del memory array può essere stato sostituito da un elemento nuovo. Nel secondo paradigma, invece, definito “singolo array test”, un solo elemento viene presentato nella fase test in una posizione precedentemente occupata da un elemento del memory array. Questo elemento può essere identico all'elemento occupante quella posizione nel memory array o può aver cambiato identità. Il partecipante deve esprimere un giudizio di riconoscimento, ovvero indicare se il test array è uguale o diverso dal memory array (Rouder et al., 2011).

In letteratura sono state proposte numerose varianti di questo paradigma. Ad esempio Brigadoi e colleghi (2017) hanno utilizzato una variante del paradigma “singolo array test” in uno studio con la risonanza magnetica funzionale. Per ridurre l’attivazione cerebrale dovuta all’esposizione sensoriale del test array e per svincolare la memoria visiva da quella spaziale (ovvero per rendere la posizione spaziale degli stimoli irrilevante al compito), hanno presentato il test array come singolo oggetto al centro dello schermo. Compito del partecipante era indicare se l’oggetto presentato fosse presente o meno tra quelli memorizzati, indipendentemente dalla sua posizione spaziale nel memory array. Un’altra variante del “change-detection task” molto utilizzata in letteratura è quella adoperata negli studi con tecniche di neuroimmagine, in particolare con l’elettroencefalografia (EEG). In questo contesto, per poter misurare il correlato neurale del mantenimento dell’informazione in MBT, è necessario creare uno sbilanciamento emisferico di cariche elettriche, che permetta quindi di calcolare un potenziale evocato che correla con la capacità di memoria individuale. Per creare questo sbilanciamento di cariche, è necessario usare un paradigma lateralizzato, ovvero presentare il memory array sia a destra che sinistra del punto di fissazione centrale, chiedendo al partecipante di memorizzare gli oggetti presentati solo in uno dei due emicampi visivi. La differenza tra l’attività elettrica misurata negli elettrodi parieto-occipitali contro-laterali al lato di memorizzazione e quella misurata in quelli ipsilaterali, crea un potenziale evocato che si chiama SPCN o CDA, che rappresenta il mantenimento in memoria e la cui ampiezza aumenta all’aumentare degli oggetti memorizzati, arrivando a plateau alla capacità individuale.

In questo elaborato, verranno utilizzati e presi in considerazione quest’ultimo paradigma e il paradigma “singolo array test” con presentazione centrale degli stimoli.

1.2. Allocazione selettiva delle risorse in memoria visiva a breve termine

Come introdotto nel primo paragrafo, è ormai noto, seppur con pareri discordanti sulle modalità di memorizzazione, che la nostra capacità di memoria a breve termine è ridotta ad un numero limitato di elementi. Sono state molteplici le ricerche volte ad indagare e conoscere più a fondo le caratteristiche, individuali e proprie degli stimoli, che vanno ad incidere su questo limite.

Numerose ricerche scientifiche si sono focalizzate sulle differenze di prestazione individuali, con l'obiettivo di individuare cosa ci sia alla base di una tanto ampia variabilità di capacità da persona a persona (da circa due fino a sei elementi). Diversi studi hanno dimostrato che non ci sono solo le dimensioni del magazzino alla base di queste diversità. Balaban et al. (2019), a riguardo, sostengono che lo spazio di archiviazione, in termini di numero di elementi, potrebbe avere delle dimensioni simili tra gli individui. Ciò che causa le differenze potrebbe essere la capacità di utilizzare questo spazio in modo ottimale, favorendo l'ingresso solo a quegli stimoli ritenuti rilevanti. È stato dimostrato, con uno studio supportato anche da misurazioni neurofisiologiche (Vogel et al., 2005), che l'efficienza della selezione dei soli elementi rilevanti ai fini del compito richiesto è fortemente predetta dalla capacità di memoria di ogni persona. In particolare, in questo studio, i partecipanti sono stati sottoposti ad un test di memoria (con un change-detection task lateralizzato), al fine di verificare le capacità individuali di memoria visiva. Attraverso l'analisi dei risultati sono stati formati due gruppi: partecipanti ad alta capacità di memoria e partecipanti a bassa capacità. Durante l'esperimento sono stati, inoltre, registrati i potenziali evento-relati dei partecipanti, mentre eseguivano tre diversi compiti di memoria visiva in cui era necessario ricordare

selettivamente solo alcuni elementi rilevanti all'interno di un array. In particolare, nel primo esperimento, in un terzo delle prove veniva presentato bilateralmente un insieme di due rettangoli blu e due rossi, con orientamento variabile. Ai partecipanti veniva chiesto di ricordare l'orientamento dei soli rettangoli rossi nell'emicampo visivo indicato da una freccia. Nelle prove restati invece potevano comparire due o quattro item rossi per ciascun emicampo. Nel secondo esperimento, gli autori hanno voluto testare se questa relazione si possa generalizzare anche ad un compito in cui i soggetti debbano filtrare i distrattori in base alla posizione, vale a dire un attributo di selezione ritenuto più semplice della selezione per colore. In ogni prova è stato presentato loro un insieme di quadratini colorati in posizioni variabili, preceduti da una freccia che indicava al partecipante a quale lato (o quadrante) dello schermo prestare attenzione. Potevano essere presentati o due o quattro quadratini colorati in ogni emicampo visivo, preceduti da una freccia indicante l'emicampo visivo a cui prestare attenzione (condizione senza distrattori) oppure potevano essere presentati due quadratini colorati in ogni quadrante, preceduti da una freccia che indicava a quale quadrante prestare attenzione (condizione con distrattori presenti nell'altro quadrante dell'emicampo visivo a cui si stava prestando attenzione). Infine, nel terzo esperimento, è stato esaminato se i soggetti a bassa capacità fossero anche limitati nella loro capacità di aggiungere con successo elementi alla memoria, o se i loro limiti fossero principalmente circoscritti a situazioni che richiedono l'esclusione di elementi irrilevanti dalla memoria. Ai soggetti è stato chiesto di ricordare l'orientamento dei soli elementi rossi nell'emicampo indicato da una freccia. In metà delle prove, ai soggetti è stato presentato un unico memory array che consisteva in due o quattro elementi rossi nell'emicampo indicato, nell'altra metà delle prove, ai soggetti è stata presentata una sequenza di due memory array separati da 500 ms: il primo consisteva in due elementi

rossi e il secondo invece o in due elementi rossi che dovevano essere aggiunti (“aggiungere rosso”) o due elementi verdi che fungevano da distrattori e dovevano quindi essere ignorati (“escludere il verde”). I risultati hanno dimostrato che “gli individui ad alta capacità sono molto più efficienti nell’archiviare solo gli elementi rilevanti rispetto agli individui a bassa capacità, che codificano e conservano in modo inefficiente informazioni sugli elementi irrilevanti presenti nel display” (sprecando risorse cognitive). Questi risultati forniscono la prova che in molte circostanze individui a bassa capacità possono effettivamente immagazzinare più informazioni, rispetto a individui ad alta capacità, a discapito però dell’accuratezza. Queste abilità diventerebbero critiche in complesse situazioni di vita reale, che includono grandi quantità di informazioni significative da cui solo un piccolo sottoinsieme dovrebbe essere accuratamente selezionato per entrare nella MBT. Questa allocazione accessoria della capacità di memoria per oggetti irrilevanti può essere una fonte primaria di presunte differenze nella capacità di archiviazione complessiva. Gli autori sono quindi arrivati alla conclusione che “i processi di controllo che regolano l’accesso alla memoria visiva sono fondamentali per evitare che le informazioni irrilevanti consumino risorse cognitive”.

I risultati di tale esperimento mostrano inoltre che esiste una variabilità sistematica tra gli individui umani riguardo la capacità di controllare ciò che è memorizzato nella memoria di lavoro in un dato momento, ovvero i partecipanti con alta capacità hanno il potenziale per memorizzare tutti gli stimoli ma, ad ogni prova, scelgono attivamente quali elementi non prendere in considerazione per l’archiviazione. La capacità individuale è quindi dipendente dal controllo attivo che ogni soggetto riesce a mettere in atto, in base anche alle proprie capacità cognitive generali; sembrerebbe infatti, che tale capacità sia strettamente correlata a misure di intelligenza fluida, controllo dell’attenzione e molte

altre misure attitudinali (ad es. Cowan et al., 2005; Fukuda, Vogel, Mayr e Awh, 2010; Vogel, McCollough e Machizawa, 2005). Esiste una forte connessione tra memoria e attenzione, in particolare le stime della capacità di memoria possono essere distorte da cali di attenzione e/o vagabondaggio mentale. Balaban et al. (2019), hanno condotto uno studio molto interessante in cui sono state create delle mappe di calore le quali hanno rivelato che “alcune posizioni beneficiano di una maggiore allocazione dell'attenzione, in particolare quelle più vicine alla fissazione nella parte superiore dello schermo, seguite dalle postazioni che le circondano. Queste preferenze potrebbero originarsi in una delle diverse possibili fasi di elaborazione e/o, forse, in più fasi insieme. Gli elementi privilegiati potrebbero avere più attenzione o meno rumore nella codifica, un migliore mantenimento una volta in MBT o un recupero più semplice e queste opzioni non si escludono a vicenda” (Figura 1.1).

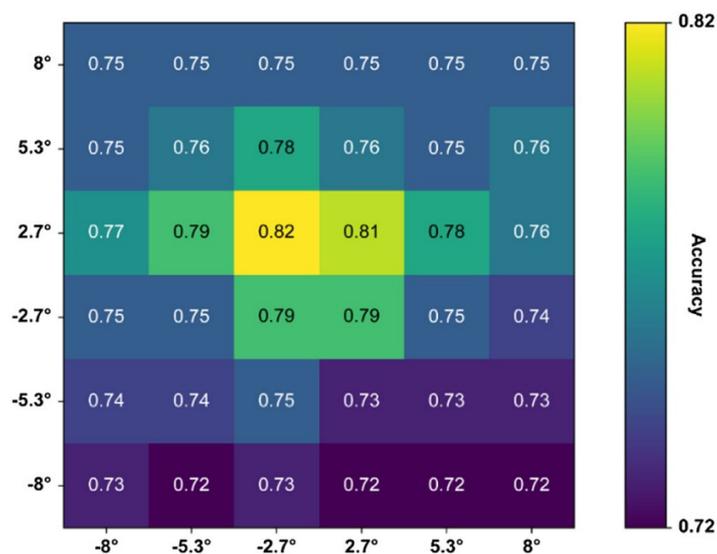


Figura 1.1: Una mappa termica dell'accuratezza, per 3.849 set di dati raggruppati insieme, in base alla posizione spaziale dell'elemento sondato (Balaban et al., 2019).

Questo risultato è, sì, una prova di preferenza di allocazione dell'attenzione, ma anche una conferma del modello a slot discreti, poiché un semplice modello di risorse flessibili dovrebbe prevedere che la capacità sia equamente distribuita tra tutti gli elementi, che, in quanto ugualmente importanti, possono entrare tutti nella MBT (sebbene con una risoluzione inferiore, Bays & Husain, 2008). Contrariamente a questo punto di vista, la maggior parte delle attuali teorie sulla memoria di lavoro visiva postula che quando si trovano di fronte a array sovracapacitivi, i partecipanti devono dare la priorità ad alcuni elementi a scapito di altri. Gli elementi senza priorità non entreranno affatto nel MBT (Zhang W., & Luck, S. J. (2008).

Il lavoro condotto da Feuerstahler et al. (2019) ha dimostrato che i paradigmi di rilevamento del cambiamento nelle forme canoniche non possono essere utilizzati per stimare il coinvolgimento attenzionale; tuttavia, è bene specificare che, se l'obiettivo principale di uno studio è stimare la capacità della memoria a breve termine in modo imparziale dal grado di coinvolgimento attenzionale e non stimare il coinvolgimento attenzionale di per sé, le varianti canoniche potrebbero essere più appropriate rispetto ai modelli che forniscono due misurazioni separate. L'attenzione quindi è, sì, un processo fondamentale alla base della memoria, ma le sue oscillazioni, come anche nella vita reale, sono implicite e imprescindibili nella nostra capacità di memoria in quel preciso momento. È comunque bene specificare che nonostante il ruolo centrale che il controllo dell'attenzione gioca nelle differenze individuali della capacità di MBT, esso non è probabilmente la fonte del limite di capacità stesso. I due processi si influenzano a vicenda, ma rimangono comunque due costrutti distinti ed indipendenti.

Il paradigma del rilevamento del cambiamento rimane quindi il più solido per le misurazioni di stima della capacità di memoria visiva a breve termine. Tuttavia, negli

ultimi anni è stata creata una variante che si propone di migliorare l'affidabilità di tale misurazione: il partecipante non è forzato a compiere una scelta, oltre alle risposte "uguale" e "diverso" esiste una terza alternativa "non so". In questo modo è possibile eliminare tutte quelle risposte, corrette o errate, dovute al caso. (Kyllingsbæk & Bundesen, 2009)

1.3 Scopo della ricerca

Come illustrato negli studi precedentemente citati, sono molti i fattori che vanno ad incidere sulla capacità di memoria. Tenendo in considerazione le differenze di allocazione delle risorse, ovvero l'efficienza nell'ignorare gli elementi irrilevanti, e la diversa attenzione riposta agli elementi in base alla loro posizione sul display, l'obiettivo alla base di questo studio è quello di vedere come possa variare la capacità di memoria (\hat{K}_c , Cowan, 2001) tra una condizione in cui gli stimoli sono presentati in posizioni centrali senza distrattori e una condizione in cui gli stimoli da memorizzare vengono presentati lateralmente con la presenza, nell'emicampo visivo opposto, di stimoli irrilevanti ai fini del compito. Per testare questa ipotesi, abbiamo utilizzato rispettivamente la versione "singolo array test" (dall'inglese "single-probed recognition") con stimoli del memory array presentati centralmente, e la sua versione lateralizzata, comunemente utilizzata negli studi in cui si misura l'attività neurale con l'EEG. La capacità di memoria individuale è stata calcolata usando la formula proposta da Rouder per il calcolo del K di Cowan (Rouder et al., 2011).

A parità di tutte le restanti condizioni sperimentali, una discrepanza nei risultati dei due compiti, sia in termini di accuratezza generale che di capacità, sarebbe attribuibile alla sola posizione di presentazione degli stimoli da memorizzare. Il confronto tra i due compiti permette quindi di esaminare se e come la capacità di memoria individuale possa variare in base ai diversi disegni sperimentali utilizzati e consente inoltre di valutare se la capacità di memoria stimata durante gli esperimenti EEG differisca o meno da quella calcolata con il classico paradigma centrale.

CAPITOLO II – MATERIALI E METODI

2.1 Campione sperimentale

L'esperimento è stato svolto da 35 partecipanti aventi un'età compresa tra i 18 e i 29 anni ed appartenenti, per la maggior parte, alla Scuola di Psicologia dell'Università di Padova. Un soggetto maschio ha abbandonato il compito durante lo svolgimento, riferendo una difficoltà visiva eccessiva, quindi i suoi dati non sono stati presi in considerazione. Dunque sono stati sottoposti ad analisi statistica i risultati di 34 soggetti (29 femmine e 5 maschi, età media: $22,264 \pm 2,317$ anni).

L'esperimento è stato svolto presso il laboratorio "Attenzione e percezione" del Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione dell'Università di Padova.

Gli unici prerequisiti richiesti per la selezione dei partecipanti sono stati una buona conoscenza della lingua italiana, tale da consentire la comprensione della consegna e una corretta visione dei colori (ad esempio, non essere daltonici).

Una volta letto attentamente il modulo informativo e firmato il modulo di consenso informato, il partecipante poteva leggere le istruzioni relative al compito che avrebbe dovuto eseguire sullo schermo del computer.

L'esperimento è stato approvato dal comitato etico per la ricerca psicologica dell'Università degli Studi di Padova (n. di protocollo: 4680).

2.2 Procedura e stimoli

Subito dopo un'attenta lettura delle istruzioni da parte del partecipante, lo sperimentatore glielo riproponeva a voce allo scopo di chiarire eventuali dubbi e di accertarne l'esatta comprensione. Inoltre una breve sessione di pratica, precedente l'inizio di ognuno dei due blocchi dell'esperimento vero e proprio, illustrava il paradigma e permetteva ai partecipanti di familiarizzare con il compito.

L'esperimento è composto da due compiti sperimentali: uno propone il paradigma single-probed recognition nella sua versione originale, l'altro, invece, una sua versione lateralizzata.

Nel primo compito, ovvero nella versione classica, vengono presentati sullo schermo, tutt'intorno al punto centrale di fissazione, un gruppo di quadratini dei quali il partecipante dovrà memorizzarne il colore (memory array). Successivamente, dopo un breve intervallo durante il quale è presente solo il pallino di fissazione, compare al centro dello schermo un solo quadratino colorato (test array); viene quindi chiesto al partecipante di indicare, attraverso l'utilizzo dei due tasti A ed L (rispettivamente "presenza"/"assenza", controbilanciati tra soggetti), se il colore di quel quadratino fosse presente o non presente nell'array poco prima memorizzato.

Nel secondo compito i quadratini colorati, invece che apparire in posizioni centrali, appaiono ai lati dello schermo. In questa condizione il partecipante non deve memorizzare tutti i quadratini presenti, ma solo quelli che compaiono nella metà dello schermo indicata poco prima da una freccia. Successivamente, di nuovo, compare al centro dello schermo un solo quadratino colorato e si chiede al partecipante di indicare, tramite il tasto

associato, la presenza o l'assenza di tale quadratino nella sezione di schermo segnalato dalla freccia.

Specifico che in questa condizione il punto di fissazione divide in due il monitor creando una parte destra e parte sinistra ben distinte. Il partecipante vede quindi lo stesso numero di quadratini su entrambi i lati dello schermo, ma deve memorizzare solo quelli del lato indicato; gli altri, presentati sul lato opposto, fungono da distrattori e devono essere ignorati.

Per entrambi i casi, il compito del partecipante era premere il tasto A se il test array era presente tra gli item memorizzati oppure premere il tasto L se non era presente (tasti controbilanciati tra soggetti).

L'esperimento è diviso in due blocchi sperimentali (uno in cui gli stimoli vengono presentati in posizioni centrali e l'altro in cui vengono presentati ai lati dello schermo) composti da 216 trial ciascuno. L'ordine di presentazione dei compiti è stato controbilanciato tra soggetti. In entrambi i compiti, il punto di fissazione viene presentato per un intervallo variabile di 400-500 ms, seguito poi dal memory array che viene visualizzato sullo schermo per 500 ms. Successivamente, viene visualizzata una schermata contenente solo il punto centrale di fissazione per 1000 ms ed infine compare il test array, che rimane sullo schermo fino a che il partecipante non preme uno dei due tasti indicati (entro un tempo massimo di 2 secondi). L'intervallo inter-trial varia in maniera casuale tra i 900 e i 1200 ms. Nel caso del compito lateralizzato, prima della presentazione del memory array viene presentata una freccia per 500 ms, indicante o il lato destro o il lato sinistro dello schermo, per segnalare al partecipante a quale lato dello schermo debba prestare attenzione e quindi quali item memorizzare e quali ignorare. In Figura 2.1 è rappresentato il paradigma sperimentale.

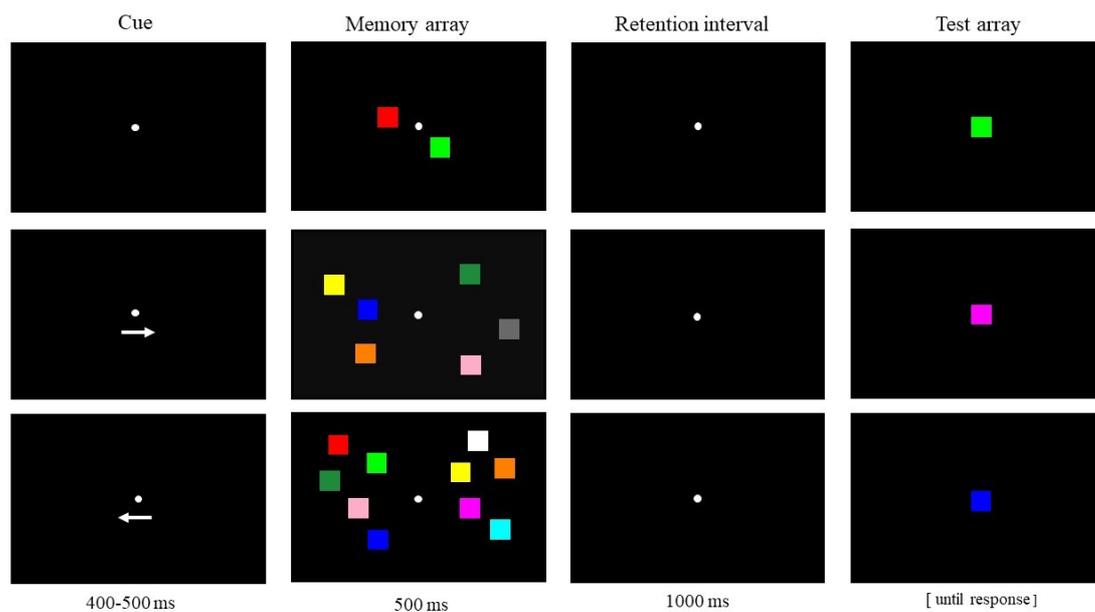


Figura 2.1: Rappresentazione del paradigma somministrato attraverso tre esempi. Dall'alto verso il basso: trial set size 2, condizione "no change" nel compito single-probed recognition in versione centrale; trial set size 3, condizione "change" nel compito single-probed recognition in versione lateralizzata; trial set size 5, condizione "no change" nel compito single-probed recognition in versione lateralizzata.

Durante tutto l'esperimento viene chiesto di mantenere lo sguardo fisso al centro, indicato tramite il punto di fissazione, e di concentrarsi sull'accuratezza di risposta piuttosto che sulla velocità, al fine di raccogliere dei risultati il più possibile affidabili. Al partecipante viene infatti lasciato un tempo abbastanza ampio (massimo 2 secondi) per premere il tasto ritenuto corretto.

Per entrambi i compiti il numero di item presentati può variare tra due, tre o cinque, per un totale di tre condizioni differenti (rispettivamente set size 2, set size 3 e set size 5), presentate in maniera casuale all'interno dei due blocchi sperimentali. I diversi set size sono utili per poter manipolare al meglio il carico di memoria.

Nella condizione di single-probed recognition con presentazione centrale, i quadratini vengono visualizzati in posizioni casuali all'interno di un quadrato invisibile di grandezza

7x7 gradi di angolo visivo, posizionato al centro dello schermo. Nessun quadratino colorato può comparire nella posizione centrale del quadrato invisibile.

Nella condizione di lateralizzazione, gli stimoli erano presentati in due rettangoli di 3.5 x 7 gradi di angolo visivo, localizzati 2.5 gradi a destra e sinistra del punto di fissazione.

In entrambi i casi, i quadratini avevano una dimensione di 1 x 1 gradi di angolo visivo e la distanza minima tra quadratini, misurata come distanza tra angoli in alto a sinistra, era di almeno 1.5 gradi di angolo visivo.

I quadratini presentati contemporaneamente erano tutti di colori diversi, scelti a caso tra undici possibili tonalità altamente distinguibili (giallo RGB: 255, 255, 0; blu RGB: 0, 0, 255; verde RGB: 30, 140, 60; rosso RGB: 255, 0, 0; grigio RGB: 105, 105, 105; azzurro RGB: 0, 255, 255; fucsia RGB: 255, 0, 255; arancione RGB: 255, 128, 0; verde chiaro RGB: 0, 255, 0; bianco RGB: 255, 255, 255 e rosa RGB: 255, 174, 201). Lo sfondo utilizzato era nero (Figura 2.2).

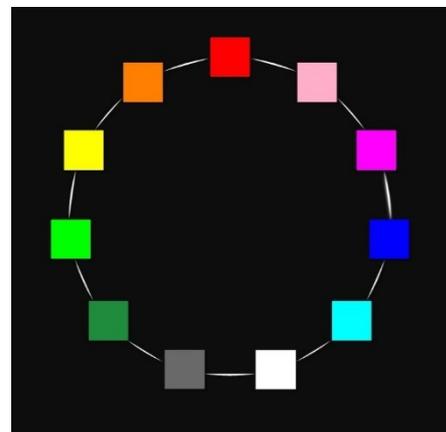


Figura 2.2: Gamma di possibili colori che i quadratini potevano assumere in entrambi i compiti sperimentali.

In metà dei trial, il colore del test array non era presente tra quelli memorizzati (condizione “change”) mentre nell’altra metà dei trial il colore del test array era presente tra quelli precedentemente memorizzati (condizione “no change”). Anche in questo caso la presentazione dei trial change/no change avveniva in maniera randomizzata.

Per ogni set size, e in ognuna delle due condizioni sperimentali (presentazione centrale vs. lateralizzata), abbiamo ottenuto 36 trial (divisi equamente tra presentazione a destra – 18 trial – e sinistra – 18 trial – nella condizione lateralizzata).

2.3. Analisi dei dati

I risultati di ogni partecipante sono stati importati in un file excel e per ognuno di essi è stata calcolata l'accuratezza e il K di Cowan, un indice del numero di slot disponibili in memoria (in altre parole, la sua capacità; (Rouder et al., 2011)). È stata poi fatta la media dei 34 partecipanti per ogni condizione sperimentale.

Il calcolo dell'accuratezza presenta, per ciascuno dei due compiti richiesti, sei diverse condizioni sperimentali: i tre livelli del set size (2, 3 e 5) e le condizioni "change" e "no change" (abbreviate nei risultati rispettivamente con C/NC). Di conseguenza, per ogni set size troviamo due risultati di accuratezza. I due risultati ottenuti, oltre che per ragionamenti in termini di accuratezza, sono necessari per il calcolo della capacità individuale di memoria visiva.

Il paradigma di ricerca utilizzato richiede l'applicazione di questa formula per il calcolo del K:

$$\widehat{k}_c = N(\widehat{h} - \widehat{f})$$

dove N indica il numero di item da memorizzare (il set size); h è il numero di hit, ovvero di tutte quelle volte in cui il soggetto ha indicato la presenza di un cambiamento e questo effettivamente era avvenuto. Nella nostra ricerca corrisponde quindi alla condizione "change", in particolare ai trial in cui il partecipante ha risposto correttamente alla condizione change; la lettera f indica invece il numero di falsi allarmi, cioè tutti quei casi in cui il partecipante ha rilevato un cambiamento ma questo non era presente. Nella nostra ricerca corrisponde al numero di risposte sbagliate fornite dal soggetto nella condizione "no change".

Una volta calcolato il K per ogni set size, sia per il compito di presentazione centrale degli stimoli sia per quello lateralizzato, abbiamo condotto un'analisi statistica con l'ausilio del software Jasp. Sia i risultati ottenuti dall'accuratezza di risposta che quelli del K sono stati sottoposti ad analisi della varianza con un'ANOVA a misure ripetute. Nel caso dell'accuratezza, l'ANOVA 3 x 2 x 2 è stata condotta considerando come fattori within-subject il set size (2 vs. 3 vs. 5), la presenza del cambiamento (C vs. NC) e la posizione di presentazione degli stimoli (centrale vs. laterale). Nel caso del K, l'ANOVA 3 x 2 è stata condotta considerando come fattori within-subject il set size (2 vs. 3 vs. 5) e la posizione di presentazione degli stimoli (centrale vs. laterale). È stata applicata la correzione di Greenhouse-Geisser in caso di mancanza di sfericità. Infine, sono stati utilizzati dei test post hoc, corretti con test di Holm Bonferroni, per avere un'analisi dei dati più dettagliata riguardo alle differenze statistiche tra le varie condizioni sperimentali.

CAPITOLO III – RISULTATI

3.1 Accuratezza

Di seguito saranno illustrati i risultati relativi all'accuratezza. Analizzeremo i risultati ottenuti dall'ANOVA, presentando sia gli effetti principali dei tre fattori (set size, C/CN, posizione di presentazione degli stimoli) che i risultati delle loro interazioni, integrandoli man mano con gli esiti dei test post hoc.

Confermando un risultato consolidato in letteratura, l'accuratezza diminuisce significativamente all'aumentare degli elementi da memorizzare ($F(2, 66) = 194,993, p < ,001$); anche il confronto tra le due condizioni "change" e "no change" mostra una differenza significativa ($F(1, 33) = 62,264, p < ,001$), in particolare i partecipanti hanno riscontrato minore difficoltà a rispondere in modo corretto nella condizione "change". È emersa inoltre una interazione significativa tra questi due fattori, set size e C/CN, ($F(1,42, 46, 93) = 21,694, p < ,001$) che, combinata alle analisi post hoc, ha evidenziato come i partecipanti fornissero in media risposte più accurate, per tutti e tre i possibili set size, nella condizione "change" rispetto a quella "no change" con un aumento della differenza in accuratezza tra le due condizioni all'aumentare del set size (set size 2: 0,97 vs. 0,92, $p = ,025$; set size 3: 0,94 vs. 0,84, $p < ,001$; set size 5: 0,86 vs. 0,69, $p < ,001$, rispettivamente per "change" and "no change"). Le prestazioni nelle condizioni C/CN sono differenti anche quando si vanno a confrontare le prestazioni nei diversi set size, all'interno di ognuna delle due condizioni: mentre per la condizione "no change" è presente una differenza significativa nel confronto di tutti i possibili set size (set size 2 vs. set size 3, $p < ,001$; set size 2 vs. set size 5, $p < ,001$; set size 3 vs. set size 5, $p < ,001$), nella condizione

“change” sono significativi solo i confronti tra set size 2 vs. set size 5 ($p < ,001$) e set size 3 vs. set size 5 ($p < ,001$); non è quindi verificata una differenza significativa quando si confrontano i risultati relativi a set size 2 vs. set size 3 ($p = ,149$), a conferma del fatto che la condizione “no change” crea maggiori difficoltà al partecipante in termini di accuratezza. Per quanto riguarda invece la posizione di presentazione degli stimoli, se centrale o laterale, in generale troviamo una tendenza alla significatività ($F(1, 33) = 3,793, p = ,060$), sono verificate inoltre delle interazioni significative tra set size e lato di presentazione degli stimoli ($F(2,0) = 4,95, p = ,010$), tra C/CN e lato di presentazione degli stimoli ($F(1,33) = 5,28, p = ,03$), nonché la tripla interazione ($F(1,61, 53,27) = 5,45, p = ,011$). In particolare, mettendo in relazione i livelli del fattore lato di presentazione degli stimoli con i livelli del fattore C/CN troviamo che, mentre l’accuratezza è significativamente minore quando la condizione “no change” si verifica nel compito lateralizzato rispetto a quando avviene nel paradigma classico centrale ($p = ,008$), l’accuratezza nei due paradigmi non differisce significativamente nella condizione “change” ($p = .935$). Approfondendo, dalla tripla interazione emerge un decremento significativo dell’accuratezza quando gli stimoli sono presentati lateralizzati rispetto a centrali solo nella condizione set size 5 “no change” ($p = ,002$). Possiamo quindi affermare che vi è una diminuzione significativa di accuratezza dipendente dalla tipologia di presentazione degli stimoli (centrale vs. laterale) la quale però si presenta solo quando il set size è maggiore (ovvero quando il numero di elementi presentati è maggiore della capacità media di memoria) e solo per la condizione “no change”, ovvero quando il memory array e il test array sono in realtà identici.

Dal grafico (Figura 3.1) si nota molto chiaramente che l’accuratezza decresce all’aumentare del set size, è inferiore nella condizione “no change” rispetto alla

condizione “change” e infine si può vedere un particolare decremento in accuratezza nella condizione “no change” lateralizzata con set size 5.

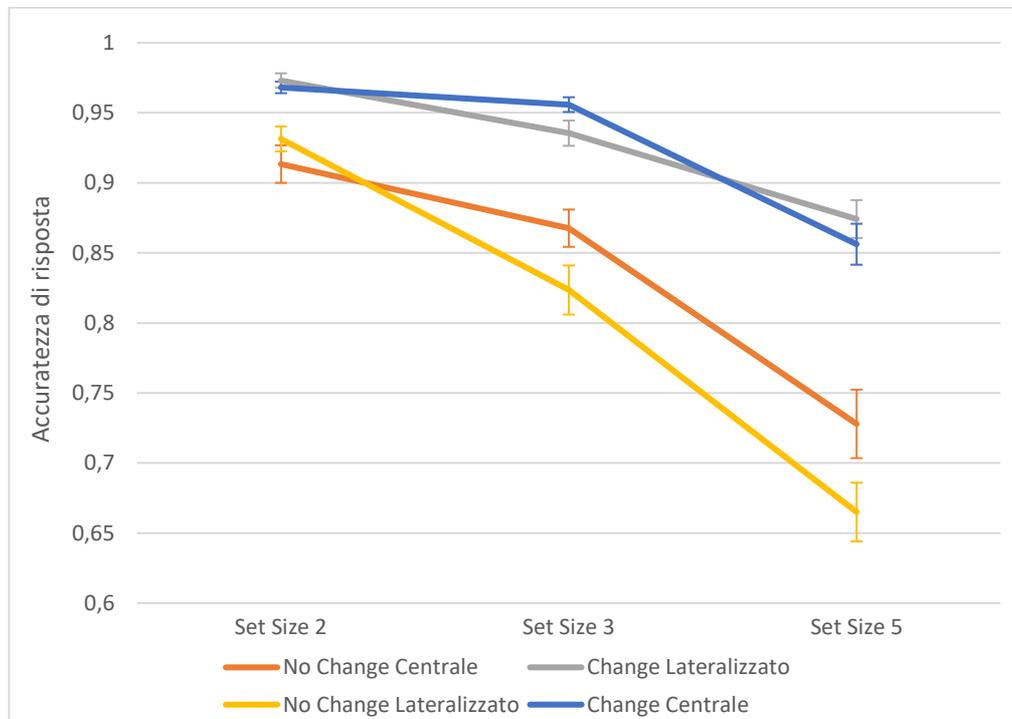


Figura 3.1: Accuratezza media per ognuna delle possibili condizioni sperimentali. Le barre di errore rappresentano l'errore standard.

3.2 K di Cowan

Proseguiamo ora con l'analisi della capacità di memoria media dei partecipanti, per i due diversi compiti. La formula di Cowan ci permette di stimare il numero di elementi tenuti in memoria per ogni soggetto sperimentale, distintamente per i diversi set size.

Da una prima analisi descrittiva (Tabella 1) possiamo già notare che, come ipotizzato, la media di K cresce all'aumentare del set size in entrambi i compiti sperimentali. Tuttavia solo pochi partecipanti si avvicinano ad una capacità di quattro elementi. È inoltre ben visibile che nella condizione in cui gli stimoli vengono presentati lateralizzati i partecipanti riportano valori più bassi rispetto a quando gli stimoli vengono presentati centrali, rispettivamente per ogni set size.

SetSize	Centro/Lat	Mean	SD	N
2	Centro	1.763	0.189	34
	Lat	1.809	0.125	34
3	Centro	2.471	0.256	34
	Lat	2.277	0.371	34
5	Centro	2.921	0.756	34
	Lat	2.696	0.664	34

Tabella 1. Analisi descrittiva dei risultati relativi alla capacità di memoria (K)

Passiamo ora ad analizzare i risultati dell'ANOVA, integrati con quelli dei test post hoc. Per quanto riguarda il set size, troviamo un effetto principale significativo ($F(1,26, 41,54) = 87,381, p < ,001$) il quale, se associato alle medie del K nei vari set-size e ai confronti tra K di set-size diversi (confronti post hoc - set size), indica che la capacità di memoria aumenta da set size 2 a 5 e da set size 3 a 5, sia che gli stimoli vengano presentati al centro sia che vengano presentati lateralmente ($p < ,001$, per tutte le condizioni). Anche il fattore posizione presenta un effetto principale significativo ($F(1, 33) = 4,458, p = ,042$) quindi,

tenendo in considerazione anche le medie riportate per i due diversi compiti, possiamo affermare che il K, e quindi la capacità di memoria, è più alta quando dobbiamo memorizzare stimoli centrali rispetto a stimoli laterali. Come si può notare anche dal grafico (Figura 3.2), la differenza, a parità di set size, tra il K per stimoli centrali e quello per stimoli laterali, non è costante. Infatti, l'interazione tra questi due fattori presenta un valore tendente alla significatività ($F(1,43, 47,47) = 2,990, p = ,076$), significa quindi che tendenzialmente è presente una differenza tra queste due condizioni. Tenendo in considerazione questi dati e associandoli all'analisi più approfondita dei test post hoc, troviamo un valore tendente alla significatività nel confronto tra K per stimoli centrali vs. laterali solo per il confronto tra set size con cinque elementi ($p = ,063$). Possiamo quindi concludere che, tendenzialmente, per set size con un numero limitato di item (2 e 3), la capacità di memoria per stimoli laterali e centrali è molto simile; per set size con un numero di elementi in media sopra la capacità di memoria individuale (set size 5), facciamo più fatica in generale e ne memorizziamo meno quando gli stimoli sono presentati lateralmente, rispetto a quando gli stimoli sono presentati in posizioni centrali.

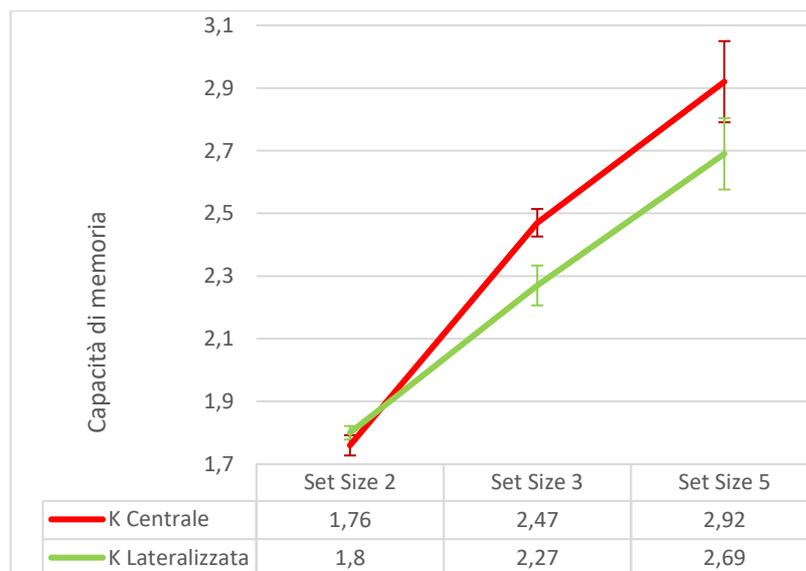


Figura 2.2: Capacità media di memoria per compiti con presentazione centrale e laterale degli stimoli, distinti per numero di elementi presentati.

CAPITOLO IV – DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

L'intento di questo studio è stato quello di confrontare la capacità di memoria visiva a breve termine individuale nei due compiti considerati, diversi per disegno sperimentale, utilizzando lo stesso stimatore (\hat{K}_c), al fine di individuare se e in che modo, la capacità sia dipendente dal tipo di paradigma utilizzato. In particolare, l'unica differenza tra i due paradigmi, in questo caso, era la posizione di presentazione del memory array, se centrale oppure lateralizzato (con presenza di analogo array di distrattori nell'emicampo visivo opposto).

I risultati hanno mostrato che, a parità di tutte le restanti condizioni, la posizione di presentazione degli stimoli e la presenza di eventuali distrattori hanno effettivamente un'influenza sulla prestazione, soprattutto quando il numero di elementi presentato è superiore al numero di elementi medi memorizzabili in memoria visiva a breve termine. La condizione di lateralizzazione, proposta in questa ricerca, dimostra che la capacità di memoria è influenzata dalla posizione di apparizione degli item e/o dalla presenza di distrattori nell'emicampo visivo opposto.

Questi risultati, seppur in parte, si avvicinano all'idea di una distribuzione preferenziale, per alcune zone, nel controllo dell'attenzione (Balaban et al., 2019). Lo studio in questione prendeva in considerazione solo i risultati di un compito con presentazione centrale. Nel nostro caso, i due rettangoli invisibili laterali in cui potevano apparire gli stimoli erano presentati ad un grado di angolo visivo leggermente più ampio rispetto agli stimoli centrali di Balaban e colleghi (2019), per cui ci aspettiamo che alcune zone (quelle più lateralizzate) presentino un grado di accuratezza ulteriormente minore. I risultati possono considerarsi derivabili poiché, nonostante la differenza di gradi di angolo visivo,

nel nostro esperimento veniva specificato al partecipante di tenere lo sguardo fisso al centro, come condizione sine qua non per la verificabilità dell'effetto riscontrato.

Sempre nello studio appena citato è stata portata come prova di modello a slot discreti una distorsione del criterio verso risposte "diverse" (che nel nostro studio corrisponde alla condizione "change"). Tale distorsione viene giustificata dagli autori nel seguente modo: "se alcuni degli elementi semplicemente non entrano nella MBT, è naturale che i soggetti li trattino come non corrispondenti ai contenuti della MBT e quando verranno presentati di nuovo (invariati) il soggetto li identificherà come diversi". Risultati analoghi sono stati trovati nello studio alla base di questo elaborato, sia per il paradigma centralizzato sia per quello con presentazione lateralizzata, condizione nella quale questa distorsione va addirittura accentuandosi.

I risultati ottenuti con questo studio, inoltre, possono essere considerati come una prova a supporto del fatto che gli individui che dimostrano di avere un'alta capacità di memoria sono anche più bravi ad ignorare elementi irrilevanti al fine del compito, mentre una bassa capacità di memoria a breve termine è correlata ad una inefficienza nel memorizzare solo gli stimoli rilevanti (Vogel et al., 2005). In particolare, dividendo il nostro campione in due gruppi, sulla base della capacità dimostrata nel "change detection task" centrale e utilizzando una divisione mediana come nello studio in questione, è emerso che la media dei risultati ottenuti dai soggetti ad alta capacità nel compito con lateralizzazione degli stimoli e presenza di distrattori, è più alta della stessa media per i soggetti a bassa capacità (rispettivamente 2,99 vs 2,40). Tuttavia, analizzando e comparando i dati di ogni partecipante nel set size 5 (set size che va oltre alla stima di capacità media), si nota che la differenza tra K centrale e K lateralizzato è molto ampia (indicando prestazioni effettivamente diverse) per quei soggetti che superano la capacità

media nel compito centralizzato, ovvero quei soggetti che, in tale compito, mostrano una capacità superiore o molto vicina ai quattro elementi ($4 \pm 0,5$); invece, la differenza è minima (e quindi le prestazioni nei due compiti sono molto simili) nei soggetti che hanno capacità di circa tre elementi ($3 \pm 0,5$). Suddividendo secondo questi parametri, troviamo che la differenza media per il primo gruppo è 1,11 mentre la differenza media per il secondo è circa la sua metà, 0,51. Questi risultati si pongono quindi in contrapposizione a quanto riportato sopra e alle ipotesi di Vogel e colleghi (2005). Le spiegazioni a questo fenomeno possono essere molteplici, si può supporre che la fascia di partecipanti appartenente al secondo gruppo non abbia mantenuto lo sguardo fisso al centro, andando a snaturare il compito e rendendolo molto simile al compito centralizzato, oppure, con molta cautela, provare ad ipotizzare che la stima di capacità calcolata attraverso la prestazione nel paradigma lateralizzato possa essere in realtà biased e quindi non un indice valido per stimare la sistematicità, tra gli individui umani, della capacità di memoria.

Il nostro esperimento potrebbe essere quindi considerato come un'ulteriore prova dell'esistenza di una variabilità sistematica nella capacità di controllare ciò che è memorizzato nella memoria a breve termine in un dato momento, nel caso in cui, alcuni soggetti non abbiano mantenuto lo sguardo fisso al centro; oppure una prova che, invece, il paradigma lateralizzato non è adatto a questo tipo di misurazione se i partecipanti avessero rispettato le istruzioni.

L'esperimento condotto aggiunge un piccolo contributo a tutte quelle ricerche riguardanti le innumerevoli possibilità di modulazione dei disegni sperimentali che possono andare ad incidere sulla capacità di memoria.

Sarebbe interessante poter ampliare il campione sperimentale, in quanto la non significatività di alcuni effetti (con tendenza alla significatività) potrebbe essere dovuta al piccolo campione sperimentale. La non significatività potrebbe anche essere dovuta a partecipanti che non hanno eseguito il compito sperimentale lateralizzato mantenendo lo sguardo al centro (e quindi semplificando il compito e rendendolo più simile a quello centrale). Futuri studi potrebbero utilizzare un dispositivo di eye-tracking per monitorare i movimenti oculari ed escludere questa ipotesi. Un ulteriore miglioramento, in termini di popolazione, potrebbe essere fatto sottoponendo a questo test persone non provenienti dalla Scuola di Psicologia. Alcuni studenti di questo ramo sembrano infatti presentare una sorta di familiarizzazione con questo genere di test, che persone provenienti da ambiti diversi non presentano. Sarebbe opportuno estendere il campione anche ad altre fasce di età poiché i partecipanti testati rappresentano una categoria privilegiata: si tratta infatti del periodo in cui la memoria dovrebbe essere al proprio livello massimo di sviluppo e, per di più, allenata dagli anni di studio.

I risultati di questa ricerca mettono in guardia tutti gli studi, in particolare quelli EEG, che usano solo il paradigma lateralizzato ed utilizzano il K di Cowan come indice di capacità di memoria, da correlare con i correlati neurali del mantenimento in memoria. Data la non linearità della differenza tra il K stimato con il paradigma centrale e quello stimato con il paradigma lateralizzato nei diversi set size, si potrebbe supporre che le conclusioni tratte da questi studi non possano essere scevre da un coinvolgimento della capacità di selezione degli elementi in ingresso alla MBT. Ovvero che la stima del K in tale condizione non possa fornire l'indice reale della capacità di memoria individuale, ma una stima dipendente dal compito e dalla stimolazione, che comprende anche la capacità di filtraggio del partecipante.

Si potrebbero applicare degli ulteriori accorgimenti al paradigma, come ad esempio: la possibilità di premere un tasto “non so” (Kyllingsbæk & Bundesen, 2009) in alternativa ai due esistenti (“uguale”/“diverso”) per eliminare tutte quelle risposte dettate dal caso; oppure aggiungere la richiesta di un giudizio di metamemoria subito dopo la fase di memorizzazione (Cowan et al., 2016) in modo da verificare la percezione soggettiva che un individuo ha sulle proprie risorse mnemoniche. Infine, sarebbe interessante proporre agli stessi partecipanti i due compiti di questo esperimento, utilizzando, però, l’altra versione del paradigma: il “whole display task”; a parità di condizioni, si potrebbe verificare se esiste una correlazione tra prestazioni calcolate con \widehat{K}_c (ricavato da questa ricerca) e \widehat{K}_p (richiesto da tale paradigma), sia per compiti centrali che lateralizzati, al fine di ottenere o meno un’ulteriore prova della sistematicità della capacità di memoria.

BIBLIOGRAFIA

- Atkinson, R. C., e Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence e J. T. Spence (eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. (Vol. 2). New York: Academic Press, pp. 89- 195. *
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A., e Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent Advances in Learning and Motivation* (Vol. 8). Academic Press, pp. 47-90.
- Balaban, H., Fukuda, K., & Luria, R. (2019). What can half a million change detection trials tell us about visual working memory? *Cognition*, 191. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.05.021> *
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic Shifts of Limited Working Memory Resources in Human Vision. *Science*, 321(5890), 851–854. <https://doi.org/10.1126/science.1158023>
- Brigadoi, S., Cutini, S., Meconi, F., Castellaro, M., Sessa, P., Marangon, M., Bertoldo, A., Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (2017). On the Role of the Inferior Intraparietal Sulcus in Visual Working Memory for Lateralized Single-feature Objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(2), 337–351. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01042
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922> *
- Cowan, N., Elliott, E. M., Scott Saults, J., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conway, A. R. A. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in

- working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51(1), 42–100.
<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.12.001>
- Feuerstahler, L. M., Luck, S. J., MacDonald, A., III, & Waller, N. G. (2019). A note on the identification of change detection task models to measure storage capacity and attention in visual working memory. *Behavior Research Methods*, 51(3), 1360–1370. Scopus.
<https://doi.org/10.3758/s13428-018-1082-z> *
- Fukuda, K., Vogel, E., Mayr, U., & Awh, E. (2010). Quantity, not quality: The relationship between fluid intelligence and working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(5), 673–679. <https://doi.org/10.3758/17.5.673>
- Kyllingsbæk, S., & Bundesen, C. (2009). Changing change detection: Improving the reliability of measures of visual short-term memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(6), 1000–1010. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.6.1000> *
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281. <https://doi.org/10.1038/36846>
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2013). Visual working memory capacity: From psychophysics and neurobiology to individual differences. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(8), 391–400.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.06.006>
- Miller, George A. “The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information.” *Psychological Review*, vol. 63, no. 2, Macmillan and Co., 1956, pp. 81–97, <https://doi.org/10.1037/h0043158>.
- Pashler, H. (1988). Familiarity and visual change detection. *Perception & Psychophysics*, 44(4), 369–378. <https://doi.org/10.3758/BF03210419>
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 283–290.
<https://doi.org/10.3758/BF03203943>

- Rouder, J. N., Morey, R. D., Morey, C. C., & Cowan, N. (2011). How to measure working memory capacity in the change detection paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(2), 324–330. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0055-3> *
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, *428*(6984), 748–751. <https://doi.org/10.1038/nature02447>
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, *438*(7067), 500–503. <https://doi.org/10.1038/nature04171> *
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, *453*(7192), 233–235. <https://doi.org/10.1038/nature06860>

Articoli e opere prese in considerazione per la ricerca bibliografica, ma non citati:

- Baddeley, Alan D. La memoria. Il mulino, 2011.
- He, X., Zhang, W., Li, C., & Guo, C. (2015). Precision requirements do not affect the allocation of visual working memory capacity. *Brain Research*, *1602*, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.01.028>
- Cowan, N., Hardman, K., Saults, J. S., Blume, C. L., Clark, K. M., & Sunday, M. A. (2016). Detection of the number of changes in a display in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*(2), 169–185. <https://doi.org/10.1037/xlm0000163>

* indica le opere direttamente consultate

RINGRAZIAMENTI

Il primo grazie va a tutta la mia famiglia, per essermi sempre stata vicina durante questo percorso, gioendo con me per ogni piccolo traguardo raggiunto.

Un ringraziamento particolare va al mio ragazzo, Elia, che mi ha sempre sostenuto con tanto affetto.

Vorrei inoltre ringraziare la mia relatrice, la Dott.ssa Sabrina Brigadoi, per avermi seguito in questi mesi dimostrando sempre disponibilità e cortesia.

Infine, un grazie speciale va a mia nonna che ha sempre creduto in me.