



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione**

**Corso di laurea in Scienze Psicologiche dello sviluppo, della Personalità e delle  
Relazioni Interpersonali**

**Elaborato finale**

**Differenze individuali nella memoria di lavoro**

***Individual differences in working memory***

***Relatore***

**Prof. Dell'Acqua Roberto**

***Laureando: Ernesto Caselli***

***Matricola: 1221361***

Anno Accademico 2021/2022

## INDICE

CAPITOLO 1– LA MEMORIA DI LAVORO .....	3
1.1– COS'È LA MEMORIA DI LAVORO? .....	3
1.2– EVOLUZIONE DEI MODELLI DELLA MEMORIA DI LAVORO.....	3
1.3- MEMORIA DI LAVORO E MEMORIA A BREVE TERMINE: UNO O DUE SISTEMI.....	6
CAPITOLO 2- DIFFERENZE INDIVIDUALI NELLA MEMORIA DI LAVORO.....	9
2.1– INTRODUZIONE .....	9
2.2– LIMITI DI CAPACITA' E MEMORIA DI LAVORO.....	9
2.2.1- INTRODUZIONE.....	9
2.2.2- NATURA DEI LIMITI DI CAPACITA' .....	10
2.2.3- COSA SONO I CHUNK? .....	11
2.2.4- CAPACITA' DI MEMORIA PURA E COMPOSTA .....	12
2.2.5- METODI DI MISURA DELLA CAPACITA' DI MEMORIA PURA .....	13
2.3- BASI E MISURE NEURALI.....	17
2.3.1- INTRODUZIONE .....	17
2.3.2- CDA E ABILITA' DI SELEZIONE .....	17
2.3.3- FMRI E SPIEGAZIONE STRUTTURALE .....	20
2.4- ELABORAZIONE E ARCHIVIAZIONE DELLA MEMORIA DI LAVORO ..	22
2.5– CONTROLLO ATTENTIVO E MEMORIA DI LAVORO .....	25
2.6– MEMORIA SECONDARIA E MEMORIA DI LAVORO.....	26
CONCLUSIONI.....	28
BIBLIOGRAFIA .....	29

## CAPITOLO 1– LA MEMORIA DI LAVORO

### 1.1– COS'È LA MEMORIA DI LAVORO?

La memoria di lavoro è un costrutto che è stato ed è tutt'ora indagato, e la cui concettualizzazione si

è molto evoluta nel tempo, ma necessita ancora di maggiori approfondimenti. Miller et al. (1960) usano il termine “memoria di lavoro” per riferirsi alla memoria usata per pianificare e condurre un comportamento. In accordo con la definizione di Miller basti pensare a quanto facciamo uso della memoria di lavoro nella vita quotidiana, ad esempio quando dobbiamo svolgere calcoli a mente, o più semplicemente quando dobbiamo seguire una ricetta evitando di aggiungere due volte uno stesso ingrediente. Può essere definita in tre modi differenti (Cowan, 2008):

- (1) Memoria a breve termine applicata a compiti cognitivi;
- (2) Sistema multicomponente che contiene e manipola le informazioni nella memoria a breve termine;
- (3) Uso dell'attenzione per gestire la memoria a breve termine.

La memoria di lavoro è misurata attraverso compiti di span complessi, cioè compiti di span semplice, che richiedono di mantenere in memoria elementi, simboli, o posizioni spaziali, ma con l'aggiunta di un compito secondario, come operazioni matematiche, stabilire se una frase è semanticamente o sintatticamente corretta etc. (Unsworth, 2010).

### 1.2– EVOLUZIONE DEI MODELLI DELLA MEMORIA DI LAVORO

Il modello più accettato per interpretare la memoria di lavoro è quello di Baddeley (2010).

Questo modello si è sviluppato nel corso del tempo perfezionandosi, e diventando uno dei più accettati. È attraverso questo modello, ed in particolare col passaggio da un modello unitario ad un modello multicomponente, che è entrato in uso il termine “memoria di lavoro” per descrivere l’intero sistema. La sua costruzione è iniziata con lo studio di pazienti con danno alla corteccia temporo-parietale, i quali riportavano deficit della memoria a breve termine, ma preservavano la funzione della memoria a lungo termine. Ciò portò Atkinson e Shiffrin (1968). a teorizzare un modello di memoria di lavoro composto da diversi sistemi di archiviazione. Secondo questo modello l’informazione che arriva dall’ambiente attraversa dei buffer sensoriali temporali, e giunge al deposito di memoria a breve termine, il quale va ad alimentare la memoria a lungo termine. Fu proposto che questo sistema a breve termine funzionasse come una memoria di lavoro capace di controllare il flusso di informazioni in entrata ed in uscita dalla memoria a lungo termine, e giocando un ruolo cruciale nell’apprendimento e nella cognizione. Questa spiegazione presentava però alcune criticità:

- a) L’assunzione che basti il mantenimento nella memoria a breve termine per garantire l’apprendimento nella memoria a lungo termine, infatti è necessario osservare anche la natura del processamento. Processare le informazioni attraverso l’apparenza percettiva o il suono del parlato è meno efficace di un processamento con codifica sulla base di significato e tono emozionale ( Craik & Lockhart, 1972). Un singolo modulo non può essere sufficiente per tutte le tipologie di memoria temporanea.
- b) Pazienti con deficit alla memoria a breve termine dovrebbero rapidamente perdere

l'informazione e non potrebbero essere capaci di apprendere. A causa di ciò sarebbero seriamente compromessi a livello cognitivo, tuttavia questi pazienti mostravano un normale apprendimento a lungo termine, ed erano capaci di svolgere attività quotidiane (Shallice & Warrington, 1970).

Queste problematiche condussero all'abbandono del modello unitario, ed alla proposta di un modello dotato di tre componenti (A. D. Baddeley & Hitch, 1974):

- a) attentional control system (esecutivo centrale) che, assistito dalle altre due componenti, le organizza e manipola.
- b) visuo-spatial sketchpad per materiale visivo;
- c) phonological loop per materiale acustico-verbale.

Nel seguente modello questi tre sottosistemi sono separati ma interagenti, e non si tratta più di una serie di passaggi che si susseguono come nel modello precedente. La nuova spiegazione fornita riguardo ai pazienti con deficit alla memoria a breve termine era che avessero solamente la componente fonologica compromessa, e che con i test si fosse andati a sovraccaricare più questa che il resto del sistema.

Cowan nel 1988 propose un altro modello che manteneva la struttura multicomponentiale che però non si impegnava nello specificarne i moduli, ma semplicemente vedeva come sottocomponenti della memoria di lavoro quelle del deposito a breve termine. In questo modello c'è un sistema esecutivo centrale che guida l'attenzione creando un suo focus all'interno della porzione di memoria attivata. Il sistema esecutivo centrale manipola le informazioni immagazzinate dirigendo il focus d'attenzione che è capacità limitato (Cowan, 1988).

Baddeley (2000) aggiunse al modello precedentemente elaborato con Hitch una necessaria quarta componente, cioè il buffer episodico:

- a) Episodico in quanto capace di mantenere episodi multidimensionali o elementi composti da informazioni visive e uditive.
- b) Buffer in quanto provvede un deposito temporaneo in cui le varie componenti della memoria di lavoro possono interagire, ed interfacciarsi con informazioni percettive e della memoria a lungo termine.

Questa componente spiegava la memoria a breve termine di caratteristiche che non erano adatte agli altri depositi. Questo modello è ancora molto utilizzato in quanto il suo punto di forza è la semplicità, la quale consente sviluppi teorici futuri più dettagliati senza il bisogno di un suo costante cambiamento.

In definitiva la memoria di lavoro è vista come la combinazione di diverse componenti che interagiscono. Include la memoria a breve termine e altri meccanismi di processamento per aiutare l'utilizzo della memoria a breve termine. La memoria a lungo termine è coinvolta perché aiuta a ridurre il carico della memoria di lavoro organizzando e raggruppando le informazioni in unità più piccole (Ericsson & Kintsch, 1995; G. A. Miller, 1956).

### 1.3- MEMORIA DI LAVORO E MEMORIA A BREVE TERMINE: UNO O DUE SISTEMI

Nella letteratura odierna i termini “memoria a breve termine” e “memoria di lavoro” stanno sovrapponendosi, tuttavia è bene distinguerle date le loro diverse funzioni. La prima si riferisce alla capacità della mente umana di mantenere un numero limitato di

informazioni in uno stato altamente accessibile e per un periodo limitato di tempo, mentre con la seconda ci si riferisce alla capacità di mantenere risultati parziali durante lo svolgimento di un compito, e alla manipolazione delle informazioni. La sovrapposizione che si è creata non è però casuale, ed è dovuta alla “confusione” avvenuta in precedenti studi, in cui compiti di span complessi e semplici sono stati spesso usati in modo intercambiabile (e.g., Courtney et al., 1997; Klingberg et al., 2002), oppure in cui sono stati creati nuovi compiti specifici per gli obiettivi degli studi che intendevano misurare uno dei due costrutti, ma inavvertitamente misuravano l’altro (e.g., Todd & Marois, 2004). Altro motivo per cui non si è riusciti a rendere chiara la distinzione tra le due è a causa di studi e teorie discordanti:

- 1) Degli studi hanno dimostrato che memoria di lavoro e memoria a breve termine sono quasi sovrapponibili, ed hanno proposto che l’intelligenza fluida correli perfettamente con entrambi i costrutti (Hornung et al., 2011; Martínez et al., 2011), mentre altri hanno rilevato che la memoria di lavoro correli maggiormente con attitudini intellettuali (specialmente con l’intelligenza fluida) rispetto alla memoria a breve termine (e.g., Conway et al., 2005; Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merikle, 1996; Engle et al., 1999; Kyllonen & Christal, 1990).
- 2) Anderson ha suggerito che si tratti di costrutti simili (Anderson, 1990)
- 3) Seamon e Kenrick hanno postulato che la memoria di lavoro è una sottocomponente della memoria a breve termine ((Seamon & Kenrick, 1994)
- 4) Cowan ha proposto che la memoria a breve termine è una sottocomponente della memoria di lavoro (Cowan, 1995)

Per quanto riguarda la relazione tra i due costrutti degli studi hanno mostrato una rilevante correlazione a livello di variabili latenti, talmente elevata da mettere in dubbio se effettivamente questi costrutti siano o meno distinguibili (Colom et al., 2005, 2006). Kane e collaboratori nel 2004 hanno costruito un dataset con i risultati ottenuti da compiti di span di memoria spaziali e verbali (Kane et al., 2004). Questo dataset è stato successivamente analizzato da Colom e collaboratori che hanno riscontrato una correlazione di 0.99 tra memoria di lavoro e memoria a breve termine a livello di variabili latenti, una correlazione quasi perfetta. Per quanto riguarda invece le correlazioni grezze tra le misure di span queste andavano da 0.31 a 0.73, punteggi che non sostengono l'ipotesi che i due costrutti siano sovrapponibili (Colom et al., 2006).

Colom et al. (2006) in un ulteriore studio, hanno fatto svolgere vari compiti ad un ampio campione di partecipanti per misurarne memoria di lavoro e memoria a breve termine. I risultati hanno condotto a ipotizzare l'esistenza di due componenti della memoria di lavoro, una dominio generale ed una dominio specifica. Si tratta di uno studio che supporta la visione gerarchica, caratterizzata da un fattore generale (componente dominio generale) del sistema della memoria di lavoro, e da fattori specifici (componente dominio specifica). La varianza legata alla componente dominio generale è risultata essere del 37%, mentre quella legata alla componente dominio specifica è risultata essere del 7,3% e 5,5%, quindi la componente dominio generale è risultata essere più importante in modo rilevante. Ciò ha condotto alla conclusione che i limiti di capacità sottostanti siano gli stessi. Questo fattore generale è stato interpretato da Engle et al. (1999) non come un limite di capacità, bensì come l'abilità di controllo attentivo. Quindi entrambe sembrano



attingere alla stessa fonte di risorse quando utilizzate.

## CAPITOLO 2- DIFFERENZE INDIVIDUALI NELLA MEMORIA DI LAVORO

### 2.1– INTRODUZIONE

Sono molti gli studi che hanno indagato le differenze individuali nella memoria di lavoro, e la questione non è affatto semplice dal momento che i fattori implicati sembrano molteplici. In questo capitolo sono riportati studi e teorie che tentano di spiegare a cosa siano dovute le differenze esistenti e sono indagati abilità di selezione, capacità, abilità di archiviazione e processamento, memoria secondaria, controllo attentivo, e basi neurali come fonti di variazione.

### 2.2– LIMITI DI CAPACITA' E MEMORIA DI LAVORO

#### 2.2.1- INTRODUZIONE

Limite di capacità è definito come il numero di elementi memorizzabili (Cowan et al., 2005; Unsworth et al., 2010). Recenti studi suggeriscono che le differenze nella memoria di lavoro sono dovuti ai limiti di capacità. Individui con grande capacità possono mantenere più informazioni nella memoria di lavoro, e viceversa. La capacità della memoria di lavoro è essenziale nei compiti cognitivi dal momento che mantiene informazioni utili ai fini del loro svolgimento. In media il numero di elementi mantenuti è di circa quattro, ma esistono grandi differenze individuali (Awh et al., 2007; Cowan, 2001; Luck & Vogel, 1997; Vogel & Awh, 2008).

### 2.2.2- NATURA DEI LIMITI DI CAPACITA'

La natura dei limiti di capacità è stata grande argomento di discussione, cioè si è cercato di comprendere se questo costrutto fosse caratterizzato da un tempo di decadimento o da un deposito con capacità limitata. La questione del tempo di decadimento non è però trattabile (Cowan, Saults, et al., 1997; Cowan, Wood, et al., 1997; Neath & Nairne, 1995; Service, 1998) poichè può essere spiegata come il prodotto di interferenze proattive e retroattive degli stimoli col passare del tempo, e la questione del limite di capacità è anch'essa controversa. Una spiegazione potrebbe essere che il focus d'attenzione sia capacità limitato, e che esistano dei meccanismi supplementari con tempo di decadimento che si attivano nel momento in cui sposto il focus attentivo dagli elementi di interesse (Cowan, 1988). Miller era tra coloro che supportavano l'esistenza di un limite di capacità, infatti affermava che esistesse un limite di  $7 \pm 2$  elementi, e che fosse possibile incrementarlo attraverso un raggruppamento intelligente, tuttavia questa era una stima piuttosto grezza usata come espediente teorico (G. A. Miller, 1956). Attraverso questo espediente teorico è stato capace di costruire le basi per i successivi studi sui limiti di capacità. Ad oggi 4 elementi sono i più supportati, tuttavia esistono ben sette diverse viste che vi si oppongono:

- (1) Miller che supporta  $7 \pm 2$  item;
- (2) limite della memoria a breve termine causato dal tempo trascorso (e.g., Baddeley 1986);
- (3) non c'è una capacità in generale, ma si tratta di regole di mutua interferenza e distintività degli item (Crowder, 1993);

- (4) non esiste un limite di capacità in sé, ma ci sono conflitti di programmazione e strategie per farvi fronte (Meyer & Kieras, 1997);
- (5) esistono limiti di capacità multipli per differenti tipi di materiale (e.g., Wickens 1984);
- (6) esistono limiti di capacità differenti per processamento e deposito (Daneman & Carpenter, 1980; Service, 1998);
- (7) esistono limiti di capacità completamente compito-specifici.

### 2.2.3- COSA SONO I CHUNK?

Per parlare di elementi mantenuti in memoria è importante definire i chunk, infatti senza questo concetto non potremmo avere idea del modo in cui siamo capaci di organizzare e mantenere le informazioni in memoria. Questi possono essere definiti come una collezione di concetti che hanno forti associazioni gli uni agli altri, e associazioni più deboli rispetto a quelli contemporaneamente in uso (Cowan, 2001). I chunk possono essere formati in tre diversi modi (McLean & Gregg, 1967, pag. 456):

- a) componimento degli item in un'unità familiare al soggetto;
- b) caratteristiche esterne degli stimoli possono servire a creare raggruppamenti dei singoli elementi;
- c) il soggetto può imporre una struttura attraverso attenzione selettiva, rehearsal, o altri metodi.

È necessario sottolineare che solo i chunk formati sulla base della memoria a lungo termine non hanno un numero limite di elementi costituenti (McLean & Gregg, 1967, pag. 459) mentre se i chunk sono formati rapidamente con nuove associazioni, assenti

prima della presentazione degli item, allora la loro grandezza è limitata a quattro (Baars, 1993; Cowan, 1998). Nel primo caso il chunk può essere ingrandito progressivamente e senza limiti, infatti dati due elementi nel focus di attenzione (vecchio chunk e nuovo item) si può formare un'associazione tra essi attraverso la memoria a lungo termine (Baars, 1993; Cowan, 1998). C'è chi è molto abile nel costruire chunk di grandi dimensioni, infatti gli esperti sono capaci di formare dei “template”, cioè un grande pattern di informazione conservato come un singolo e complesso chunk. Ciò è stato osservato attraverso uno studio che ha confrontato giocatori di scacchi comuni ed esperti, e i cui risultati hanno suggerito che giocatori esperti erano capaci di costruire chunk più grandi rispetto all'altro gruppo. È importante sottolineare che non si tratta del numero dei chunk, ma della loro dimensione (Gobet & Simon, 1996, 1998).

Altra caratteristica dei chunk è nella loro organizzazione gerarchica. Nel richiamo di item si distinguono infatti due livelli entro i quali avviene lo spostamento gerarchico dell'attenzione, cioè un top level dotato di caratteristiche segnale che permettono all'individuo di selezionare il chunk adeguato al compito, ed un lower level che segue la selezione del chunk ed è composto dagli elementi che lo costituiscono. Il lower level consente il richiamo degli item di una categoria che successivamente diventeranno la risposta verbale (McLean & Gregg, 1967).

#### 2.2.4- CAPACITA' DI MEMORIA PURA E COMPOSTA

È importante chiarire la distinzione tra stime della capacità di memoria pura e stime di capacità di memoria a breve termine composte. La prima si riferisce alla nostra capacità

di ricordare un numero limitato di item che corrisponde circa a quattro (es. ricordare le quattro lettere r-s-t-v) senza l'utilizzo delle associazioni della memoria a lungo termine, abilità linguistiche, problem solving, o comprensione, mentre la seconda fa utilizzo di questi metodi permettendo il richiamo di più item (es. ricordare quattro parole) (Cowan, 2001). Ad oggi la letteratura scientifica supporta l'idea che in media siamo capaci di mantenere quattro elementi, e non  $7\pm 2$  come suggeriva Miller. Questa discrepanza può essere spiegata proprio in termini di memoria pura e composta, infatti Miller non prese le dovute precauzioni per studiare la prima.

#### 2.2.5- METODI DI MISURA DELLA CAPACITA' DI MEMORIA PURA

Per stimare la capacità di memoria pura bisogna adottare metodi per far sì che non siano utilizzate strategie mnemoniche. Adottare questi metodi non è però sufficiente, infatti affinché la stima sia valida è anche necessario che le associazioni intra-chunk siano forti, mentre quelle inter-chunk siano assenti. Definiamo quindi i diversi metodi per osservare i limiti di capacità pura:

(1) Creare un sovraccarico di informazioni, cioè presentare molti stimoli, o attirare altrove l'attenzione durante la presentazione. Per esempio in un esperimento Cowan et al. (Cowan, 1999) hanno limitato l'elaborazione di cifre (presentate attraverso le cuffie) facendo svolgere parallelamente un compito. In questo compito si doveva confrontare il nome di un'immagine centrale con quelle di altre quattro per trovare la rima. Sedici volte in una sessione il gioco era interrotto, e dopo un secondo compariva una schermata per il richiamo delle cifre presentate precedentemente. Nella condizione di controllo di ascolto

i numeri richiamati aumentano all'aumentare della lista, mentre nella condizione sperimentale, dove i numeri sono ignorati, il numero di item richiamati è basso indipendentemente dalla lista (media=4, sd=2). Nella condizione di ascolto si possono formare chunk più grandi, e non è ricavato un limite di capacità puro. Sono state fatte diverse supposizioni per comprendere la migliore prestazione di 6 item di alcuni soggetti:

- a) Attenzione residua rivolta alla lista che sarebbe da ignorare, tuttavia la curva di prestazione di questi soggetti dovrebbe essere simile a quella di coloro che hanno rivolto la loro attenzione ai numeri, e ciò non accade.
- b) Scambio tra memoria e prestazione del compito visivo durante la condizione di non ascolto, ma ciò non è accaduto. La tendenza mostrava che soggetti con migliore memoria mostravano anche tempi di reazione più brevi.

I risultati non supportano queste supposizioni, e sembrano mostrare l'esistenza di differenze individuali di capacità.

(2) Osservazione della discontinuità della performance. Il soggetto è capace di svolgere un compito mnemonico superati circa i 4 item, tuttavia qualità e velocità di esecuzione mostrano un calo. Kaufman et al. definirono il "subitize" (Kaufman et al., 1949), cioè il modo in cui entro un certo range di item è possibile memorizzare ed enumerare in modo molto rapido. Mandler e Shebo hanno osservato che il subitize è stato analizzato attraverso due vie (Mandler & Shebo, 1982):

- a) Durata dell'array limitata con variabile dipendente corrispondente alla proporzione di errori commessi nella stima. Con array da uno a quattro item con

tempo di presentazione di 200msec la proporzione di errori era vicina allo 0 (1982, p.8), ed aumentava del 15% per ogni elemento aggiunto, fino a raggiungere il 100% con 11 item. Il tempo di reazione aumentava lentamente nel range di 1-3 item mentre aumentava più velocemente con più elementi

- b) Array resta visibile con variabile dipendente corrispondente al tempo di reazione per rispondere col corretto numero. Il tempo di reazione ha continuato a crescere con la stessa velocità all'aumentare degli item

(3) Limitare il rehearsal, cioè la reiterazione che permette la ricodifica e il mantenimento dell'informazione. Ciò è possibile farlo in diversi modi:

- a) Soppressione articolatoria (A. Baddeley, 1992; Murray, 1968) con utilizzo dello stesso piccolo set di stimoli nel richiamo seriale. La soppressione articolatoria è un compito secondario in cui il soggetto ricodifica e mantiene in memoria una frase durante la presentazione degli item. La presentazione degli item attiva tutte le rappresentazioni di elementi in memoria dato che il set di stimoli è ripetuto e piccolo, e ciò non permette di distinguere l'elenco attuale da quelli precedenti (Cowan et al., 1998).
- b) Running memory span. Procedura che consiste nella presentazione di un lungo elenco di item, ed il soggetto non conosce il punto di inizio della prova. Nell'esperimento di Pollack et al. (Pollack et al., 1959) erano presentati elenchi di 25,30,35, e 40 cifre ed il compito del soggetto era riportare i numeri più recenti nel corretto ordine seriale. Dal loro esperimento è risultata una capacità media di 4,2 cifre.

(4) Richiedendo l'elaborazione tra gli item. Un esempio di questa procedura lo abbiamo con l'esperimento di Daneman e Carpenter (Daneman & Carpenter, 1980), dove il soggetto deve leggere le frasi e mantenere in memoria l'ultima parola di ognuna. Dal loro esperimento è risultata una capacità media di mantenimento di 3,15 parole.

(5) Studio degli effetti indiretti del limite di capacità. Un esempio lo abbiamo con l'esperimento di Nairne (1991) sulla "positional uncertainty in recall". Gli item mantenuti nel deposito contemporaneamente stabiliscono tra loro associazioni (Raaijmakers & Shiffrin, 1981), le quali sono utili nel richiamo libero, ma creano interferenza nel momento in cui vi è da ricordare anche la posizione seriale. Nairne (1991), nel suo esperimento, ha presentato 5 elenchi di parole, tra loro distanziate di 2,5 secondi. Ciascun elenco era seguito da un compito distrattore di 2 minuti, e poi da un test nel quale le parole dovevano essere inserite nel corretto elenco e nella corretta posizione seriale. I risultati hanno mostrato che le posizioni seriali erano confuse con al massimo altre tre posizioni dell'elenco. Ciò accadeva anche ritardando la presentazione del test, cioè aumentava la difficoltà di richiamo, ma non vi era evidenza della diffusione dell'incertezza oltre i tre elementi (Nairne, 1992).

Tutti i metodi riportati permettono di studiare la capacità di memoria pura. Attraverso la loro applicazione possiamo osservare dai vari esperimenti che la stima di capacità non è sempre uguale, ma tende a variare entro un range di 3-6 elementi. Questo range non è stato sempre riscontrato negli esperimenti, ed un esempio ne è lo studio di Zhang e Simon (1985). In questo esperimento hanno ottenuto una stima più bassa per materiale non reiterabile usando il cinese. Ai partecipanti sono stati presentati due tipi di item:



- a) Radicali senza nomi familiari pronunciabili
- b) Personaggi con nomi pronunciabili e reiterabili

Nel secondo caso gli item richiamati erano 6.38, ed una stima di questo tipo ce la si poteva aspettare, ma nel primo caso gli item richiamati erano 2.71. Per spiegare ciò è stata supposta la somiglianza visiva tra alcuni radicali che interferiva nel richiamo, impedendo il loro mantenimento come blocchi indipendenti. Si tratta di una ricerca speculativa, ma insieme ad altre ricerche mostra come la memoria di lavoro sia un costrutto ancora molto da indagare.

## 2.3- BASI E MISURE NEURALI

### 2.3.1- INTRODUZIONE

Esistono delle spiegazioni neuroscientifiche per le differenze individuali nella memoria di lavoro. L'osservazione dell'attività cerebrale e misure neurali hanno infatti condotto ad una comprensione maggiore del perché esistano queste differenze. La CDA ci ha permesso di comprendere come l'abilità di selezione influenzi la memoria di lavoro, mentre le tecniche di neuroimmagine hanno permesso la comprensione delle aree cerebrali coinvolte alla base di queste differenze.

### 2.3.2- CDA E ABILITA' DI SELEZIONE

Nei paragrafi precedenti abbiamo osservato le evidenze che supportano l'esistenza di differenze individuali nella capacità di memoria di lavoro. Anche Vogel e collaboratori hanno condotto degli studi che hanno mostrato come la capacità vari da 1.5 a 5 item tra

gli individui (Vogel et al., 2001; Vogel & Machizawa, 2004) , ma la capacità non è la sola fonte di differenze, infatti bisogna anche considerare l'abilità di selezionare gli item rilevanti e limitare gli irrilevanti. È la selezione degli stimoli che decide cosa mantenere nel deposito capacità-limitato (Kane & Engle, 2003; Rainer et al., 1998).

Vogel ha esaminato la questione in più esperimenti attraverso la misurazione della CDA (controlateral delay activity) (Vogel & Machizawa, 2004). Si tratta di un'onda di potenziale evento relata a voltaggio negativo sull'emisfero controlaterale all'emicampo memorizzato. Riflette la codifica e il mantenimento degli item in memoria, infatti all'aumentare degli item mantenuti aumenta la sua ampiezza, raggiungendo un valore asintotico che varia di soggetto in soggetto (Vogel et al., 2005). Questo limite è registrato come la differenza nell'ampiezza tra un array di 4 item e un array di 2 item. Soggetti con alta capacità hanno valore limite più alto perché l'ampiezza dell'onda con l'array di due item è più piccola, mentre soggetti con bassa capacità viceversa. Ciò dimostra che la ritenzione di due item è più dispendiosa per individui a bassa capacità. Vogel in diversi esperimenti ha usato quest'onda per osservare se gli item distrattori consumassero memoria inutilmente. Nell'esperimento è stato chiesto ai soggetti di ricordare gli orientamenti di item rossi di un emicampo (sinistro o destro) specificato da una freccia. In una successiva presentazione l'array variava per un orientamento o restava invariato, ed il compito del soggetto era stabilire ciò attraverso la scelta di un pulsante (Vogel et al., 2005). L'esperimento era diviso in tre parti, in ciascuna delle quali variava la presentazione degli stimoli:

- a) Array di due item rossi erano presentati assieme a due item blu in ciascun

emicampo

- b) Array di due item rossi erano presentati da soli per ciascun emicampo
- c) Array di quattro item rossi erano presentati da soli per ciascun emicampo

Il campione è stato diviso in soggetti con bassa e alta capacità stimate:

- a) Soggetti con alta capacità avevano ampiezza d'onda molto più piccola nella condizione distrattori-presenti rispetto a quella di presentazione di 4 item rossi, e non molto differente rispetto alla condizione con due item rossi da soli. Erano quindi molto abili nella selezione.
- b) Soggetti con bassa capacità avevano ampiezza d'onda molto simile nelle condizioni distrattori-presenti e nella condizione di presentazione di 4 item rossi, e maggiore rispetto alla condizione di presentazione di due item da soli. Erano quindi poco abili nella selezione.

Vogel ha voluto verificare se la relazione tra capacità e abilità di filtraggio fosse dovuta solo alla variabile colore, o se si potesse generalizzare in una condizione basata sulla locazione degli item, la cui selezione risulta più facile per il soggetto (Anllo-Vento & Hillyard, 1996). Per fare ciò ha svolto un altro esperimento (Vogel et al., 2005) organizzato come il precedente, ma dove le istruzioni sono di ricordare i colori degli item di uno specifico quadrante segnalato dell'emicampo. Nei due gruppi:

- a) Soggetti con alta capacità mostravano ampiezza d'onda nella condizione distrattori-presenti uguale a quella della condizione di presentazione di due item rossi da soli, e molto più piccola dell'ampiezza nella condizione di

presentazione di 4 item rossi;

- b) Soggetti con bassa capacità mostravano ampiezza d'onda nella condizione distrattori-presenti molto più piccola rispetto a quella di presentazione di 4 item rossi, ma molto più alta rispetto alla condizione di presentazione di due item rossi da soli.

Nel complesso migliorano le prestazioni di entrambi i gruppi, ma i soggetti ad alta capacità restano comunque molto più efficienti dei soggetti a bassa capacità.

Quindi non solo la capacità, ma anche l'abilità di selezionare gli stimoli può influenzare la memoria di lavoro (Vogel et al., 2005).

### 2.3.3- FMRI E SPIEGAZIONE STRUTTURALE

Si è tentato di comprendere le differenze individuali anche alla luce delle attivazioni cerebrali, attraverso l'uso di tecniche di neuroimmagine quali la fMRI (Osaka et al., 2003). In un esperimento del 2003 Osaka ha diviso i soggetti in due gruppi, 9 soggetti ad alta capacità (capaci di richiamare dai 4.0 ai 5.0 item) e 9 soggetti a bassa capacità (capaci di richiamare tra i 2.0 e i 2.5 item), attraverso un compito di span di lettura. I soggetti sono stati poi sottoposti a tre diverse condizioni sperimentali:

- a) Compito di span d'ascolto, che richiedeva di ricordare la prima parola di ciascuna frase giudicando se quest'ultima fosse semanticamente corretta.  
L'accuratezza dei soggetti ad alta capacità era significativamente maggiore rispetto all'altro gruppo.
- b) Condizione di ascolto, che richiedeva di ascoltare una frase e giudicare se fosse

semanticamente corretta. Non sono state rilevate differenze di prestazione significative tra i due gruppi.

- c) Condizione di richiamo, dove era presentata una parola seguita da una di due non parole. Ai soggetti era richiesto di ricordare una parola e discriminare quale delle due non parole corrispondesse ad essa. Non sono state rilevate differenze significative di prestazione tra i due gruppi.

Durante i compiti erano registrate le attivazioni delle aree cerebrali attraverso la fMRI.

È stata rilevata l'attivazione di:

- a) Giro temporale superiore, il quale si attiva necessariamente in quanto si occupa dell'elaborazione semantica e della comprensione delle frasi (Just et al., 1996).
- b) Corteccia prefrontale, la quale è risultata attivarsi maggiormente in compiti di span d'ascolto. Ciò conferma studi precedenti, infatti quest'area incrementa la sua attività quando svolgiamo parallelamente due compiti, e non durante un singolo compito (Bunge et al., 2000; D'Esposito et al., 1995). Quindi l'incremento di attivazione è spiegato dalla divisione dell'attenzione tra i compiti, e rappresenta il sistema di controllo attentivo. Nello specifico degli studi hanno dimostrato il coinvolgimento della corteccia prefrontale dorsolaterale con la memoria di lavoro, infatti in compiti di richiamo, durante l'intervallo di ritenzione, c'è un'intensa attivazione di quest'area (Courtney et al., 1998; Jha & McCarthy, 2000; Leung et al., 2002; Sakai et al., 2002; Zarahn et al., 1999), e quando la sua attività è ridotta la prestazione si abbassa (Funahashi et al., 1993; Pessoa et al., 2002; Sakai et al., 2002). Quindi

quest'area risulta facilitare il mantenimento in memoria (Curtis & D'Esposito, 2003).

- c) Area dorsale della corteccia cingolata anteriore. Raichle e colleghi hanno individuato l'attivazione di quest'area solo in individui con buone performance, e ciò potrebbe suggerire la sua implicazione in differenze nell'uso di strategie (Raichle, 1993).

Degli studi di neuroimmagine hanno evidenziato come la corteccia cingolata anteriore e la corteccia prefrontale dorsolaterale siano legate al sistema di controllo attentivo (Smith & Jonides, 1999), che è stato suggerito occuparsi dell'allocazione delle risorse all'area del linguaggio (A. Baddeley, 1996). Ciò ha condotto Osaka e colleghi a concludere che le differenze individuali potrebbero essere spiegate dalla presenza o meno del supporto della corteccia cingolata anteriore al sistema di controllo attentivo, che organizza le risorse dell'area del linguaggio. Nel caso di presenza di supporto (gruppo di individui con grande capacità) il sistema attentivo è più efficiente e le risorse saranno allocate più efficacemente facilitando la comprensione linguistica, mentre nel caso di assenza di supporto (gruppo di individui con bassa capacità) è meno efficiente e le risorse saranno allocate meno efficacemente complicando la comprensione linguistica (Osaka et al., 2003).

#### 2.4- ELABORAZIONE E ARCHIVIAZIONE DELLA MEMORIA DI LAVORO

Come riportato in precedenza la memoria di lavoro è stata vista correlare particolarmente con l'intelligenza fluida meglio di misure della memoria a breve termine (Conway et al.,

2005; Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merikle, 1996; Engle et al., 1999; Kyllonen & Christal, 1990). Si è pensato che ciò potesse riflettere l'uso di misure non solo di archiviazione, ma anche di processamento, che assistono la capacità della memoria di lavoro in un modo legato all'intelligenza fluida, ed è in questo modo che si giunti allo studio di abilità di elaborazione ed archiviazione.

Daneman e Carpenter per primi usarono un compito di span complesso per esaminare le differenze individuali nell'abilità di lettura (Daneman & Carpenter, 1980). Nel loro esperimento il soggetto doveva semplicemente leggere delle frasi o determinare se fossero vere o false, e mantenere in memoria l'ultima parola che le componeva.

Trovarono che questa misura di span complesso correlava con le misure di abilità di lettura degli individui. Argomentavano i risultati dicendo che la qualità dell'immagazzinamento e del richiamo di parole dipendeva principalmente dall'efficienza di elaborazione delle frasi (Daneman & Hannon, 2001; Daneman & Tardif, 1987), la quale è una delle due spiegazioni possibili, infatti possiamo distinguere:

- a) Resource-sharing (e.g. Daneman & Carpenter, 1980) che vede la memoria di lavoro come un singolo spazio di lavoro cognitivo. Avviene una condivisione delle risorse disponibili della memoria di lavoro, e se l'abilità di elaborazione individuale non è efficiente, allora sarà lì che queste risorse si andranno a concentrare a discapito della capacità di archiviazione. Se la capacità di elaborazione è buona, allora saranno disponibili più risorse per la capacità di archiviazione. Secondo questa spiegazione la memoria di lavoro può essere

definita come un compromesso dinamico tra elaborazione ed archiviazione (Unsworth et al., 2014). La memoria di lavoro è vista come dominio-generale, e la capacità di archiviazione è completamente determinata dall'efficienza di processamento (Jarrold & Towse, 2006). Le teorie più recenti si sono allontanate da questa visione.

- b) Task switching (e.g. Towse et al., 1998), cioè elaborazione ed archiviazione fanno parte di due diversi sistemi mentali, e suggerisce che i partecipanti ricorrono ad una delle due in momenti differenti. Più un individuo utilizza la capacità di elaborazione, più la loro attenzione sarà lontana dall'attività di archiviazione (Jarrold & Towse, 2006). In questo caso l'efficienza di elaborazione non è totalmente predittiva della capacità di archiviazione, e sono implicati anche altri fattori come ad esempio l'età (Fry & Hale, 1996, 2000). Non si tratta solo di velocità di elaborazione o di capacità di archiviazione, ma la questione è più complessa. Questa spiegazione segue il modello di Baddeley (Kane et al., 2004), cioè vede la memoria di lavoro come composta da sistemi multipli dominio specifici, e da un sistema centrale esecutivo che dirige l'attenzione. Kane et al. hanno portato risultati a favore di questa spiegazione presentando a soggetti adulti 12 compiti di memoria che comprendevano materiale spaziale, verbale, o di conservazione. Il modello che meglio spiegava i risultati era dotato di tre fattori, cioè due depositi di capacità (verbale e spaziale), ed un fattore esecutivo dominio generale (Kane et al., 2004). Ad oggi è la visione con più seguito.



## 2.5– CONTROLLO ATTENTIVO E MEMORIA DI LAVORO

Il controllo dell'attenzione consente di inibire le distrazioni e mantenere le informazioni rilevanti. Individui con buona memoria di lavoro hanno miglior controllo dell'attenzione e migliori capacità inibitorie, rispetto a individui con abilità di memoria di lavoro bassa. Ciò è stato evidenziato da diversi studi in cui memoria di lavoro e controllo attentivo correlavano (Engle & Kane, 2004; McVay & Kane, 2012; Unsworth & Spillers, 2010). Questo stretto legame è osservabile anche con il compito antisaccade dove, nonostante i livelli di attenzione richiesta siano bassi, la capacità della memoria di lavoro è capace di prevedere la prestazione (Kane et al., 2001; Unsworth et al., 2004). Questo compito richiede ai soggetti di mantenere l'attenzione facendo sì che non venga catturata dall'apparizione di uno stimolo segnale, e attenzionando invece il target presentato nell'emicampo opposto a quello segnalato. Dai risultati si è osservato che i soggetti con più alta capacità di memoria di lavoro sono meno soggetti alla cattura dell'attenzione da parte del distrattore, rispetto a persone con capacità più bassa (Kane et al., 2007). Due componenti dell'attenzione esecutiva legate alle capacità di memoria di lavoro influenzano la prestazione, cioè mantenimento dell'obiettivo e risoluzione del conflitto creato dai distrattori (Engle & Kane, 2004; Kane et al., 2007; Kane & Engle, 2003). Il primo è proattivo e fa sì che sia minimizzata l'interferenza creata dai distrattori mantenendo il controllo attentivo, mentre il secondo è reattivo e risponde alle esperienze conflittuali create dalle interferenze (Braver, Gray, & Burgess, 2007). Oltre agli stimoli segnale propri del compito, altri distrattori possono

essere ambiente e pensieri irrilevanti (mind wandering). Il mind wandering è definito come uno spostamento dell'attenzione dallo stimolo e dalle rappresentazioni mentali associate all'attività che l'individuo sta svolgendo (e.g., Antrobus, Singer, & Greenberg, 1966; Giambra, 1995; Smallwood et al., 2003). È possibile studiarlo empiricamente attraverso sonde del pensiero, cioè brevi interruzioni del compito per richiedere al soggetto di classificare il suo pensiero come riferito al compito o meno (Smallwood & Schooler, 2006). Quindi si tratta di un fallimento del controllo attentivo, che inevitabilmente si riflette in variazioni della capacità della memoria di lavoro. Kane, Brown, et al. (2007) per primi hanno dimostrato la relazione tra TUT (task unrelated thoughts) e capacità di memoria di lavoro, osservando che soggetti con più elevata capacità riportavano minori episodi di mind wandering, mentre soggetti con bassa capacità avevano maggiore difficoltà nel mantenere l'attenzione sul compito (Kane et al., 2007).

## 2.6– MEMORIA SECONDARIA E MEMORIA DI LAVORO

La memoria secondaria è necessaria per recuperare elementi non mantenibili a causa delle capacità attentive e di deposito limitate. Individui con migliore memoria di lavoro saranno più abili nelle capacità di ricerca controllata, rispetto a individui con bassa memoria di lavoro. La ricerca controllata include l'impostazione di un piano di recupero generale, la generazione di segnali di recupero, e decisioni di monitoraggio (Unsworth & Engle, 2007). Una serie di studi hanno dimostrato la relazione tra memoria di lavoro e memoria secondaria (Unsworth, 2010; Unsworth et al., 2009). La memoria

secondaria è utilizzata quando non è mantenuta l'attenzione sugli item oppure quando sono presenti più di 4 item (ad esempio durante lo svolgimento di un compito secondario), ed è quindi necessario spostare gli item dalla memoria primaria, e richiamarli attraverso un processo di ricerca controllata "cue-dependent" (Shiffrin, 1970). Per un buon richiamo è necessario limitare il processo di ricerca alle sole informazioni rilevanti attraverso dei segnali, esaminare e richiamare le rappresentazioni. Per restringere la ricerca c'è l'utilizzo di segnali temporali-contestuali (Unsworth & Engle, 2006) che variano in un continuum (Glenberg et al., 1980), ma che è possibile distinguere in tre livelli all'interno di una gerarchia (Unsworth & Engle, 2007). Attraverso segnali contestuali dei livelli più inferiori la ricerca è meglio focalizzata, a differenza di segnali dei livelli più superiori. Dal livello più alto a quello più basso distinguiamo:

- a) Elementi globali contestuali associati a caratteristiche del contesto che non tendono al cambiamento (es. stanza dell'esperimento)
- b) Elementi contestuali associati alla specifica lista
- c) Elementi contestuali che variano rapidamente e associati agli item da ricordare

La qualità del richiamo dipende anche dalla somiglianza degli elementi contestuali alla codifica e al richiamo (Tulving & Thomson, 1973). Più codifica e richiamo saranno vicini, più saranno gli elementi contestuali che condivideranno, e maggiore sarà la probabilità di richiamo (Glenberg, 1987; Glenberg & Swanson, 1986). Al contrario più codifica e richiamo saranno distanziate, minori saranno gli elementi contestuali che condivideranno, minori saranno le probabilità di richiamo, e maggiori quelle di

richiamare item di liste precedenti a causa di intrusioni. Gli errori di richiamo sono dovuti a item interferenti delle liste precedenti, o a rappresentazioni interferenti estranee associate fonologicamente o semanticamente alla parola target. Individui con bassa capacità di memoria di lavoro sono più soggetti ad intrusioni rispetto a individui con alta capacità. A prova di ciò Kane ed Engle hanno sottoposto individui con alta e bassa capacità ad un compito di richiamo di una lista con 10 categorie di esemplari, seguito da un compito distrattore, e successivamente dal richiamo della lista (Kane & Engle, 2000). Nella prima prova i due gruppi hanno riportato lo stesso numero di item, ma nei successivi tentativi individui con bassa capacità richiamaivano sempre meno item rispetto all'altro gruppo. La differenza di prestazione può essere spiegata in due modi:

- a) Individui con bassa capacità sono più soggetti a intrusioni dal momento che si attivano anche item delle liste precedenti che compromettono la prestazione (Kane & Engle, 2000).
- b) Individui con alta capacità sono più efficienti nell'utilizzo di segnali contestuali, e riescono a concentrare la ricerca sulle rappresentazioni degli item correnti escludendo per la maggior parte quelle irrilevanti. Usano segnali della gerarchia che permettono una ricerca più focalizzata. Al contrario individui con bassa capacità usano segnali contestuali più in alto nella gerarchia, che conducono ad un richiamo più povero essendo meno focalizzati (Unsworth & Engle, 2007).

## CONCLUSIONI

La memoria di lavoro è un costrutto complesso e soggetto ad alcune controversie. Tutt'ora è un argomento “caldo” non solo perché vi sono delle criticità da risolvere, ma anche

perché si tratta di una funzione cui ricorriamo costantemente nella vita quotidiana quando svolgiamo dei compiti cognitivi, infatti il suo ruolo nel problem solving è anche dimostrato da studi nei quali la memoria di lavoro correla con l'intelligenza fluida. Nel seguente elaborato abbiamo potuto osservare l'esistenza di diverse e numerose teorie, studi discordanti, dibattiti sulla sua natura che mettono in dubbio anche se sia distinguibile dalla memoria a breve termine, tuttavia abbiamo anche osservato come le ricerche abbiano condotto a delle importanti delucidazioni nel corso degli anni riguardo al suo funzionamento e alle sue fonti di variazione. Le fonti di variazione qui riportate sono state abilità di selezione, capacità, abilità di archiviazione e processamento, memoria secondaria, controllo attentivo, e basi neurali. Nonostante il gran numero di fattori implicati ad oggi indagati, c'è comunque bisogno di maggiori approfondimenti e non sembra da escludere la possibilità futura di scoprire ulteriori fonti di variazione.

## BIBLIOGRAFIA

- Anllo-Vento, L., & Hillyard, S. A. (1996). Selective attention to the color and direction of moving stimuli: Electrophysiological correlates of hierarchical feature selection. *Perception & Psychophysics*, 58(2), 191–206.
- Antrobus, J. S., Singer, J. L., & Greenberg, S. (1966). Studies in the stream of consciousness: Experimental enhancement and suppression of spontaneous cognitive processes. *Perceptual and Motor Skills*, 23(2), 399-417.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control. *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 2, pagg. 89–195).
- Awh, E., Barton, B., & Vogel, E. K. (2007). Visual Working Memory Represents a

- Fixed Number of Items Regardless of Complexity. *Psychological Science*, 18(7), 622–628.
- Baars, B. J. (1993). *A Cognitive Theory of Consciousness*. Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D. (1986) *Working memory*. Clarendon Press.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255(5044), 556–559.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 5–28.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), R136–R140
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (A c. Di), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pagg. 47–89). Academic Press.
- Bunge, S. A., Klingberg, T., Jacobsen, R. B., & Gabrieli, J. D. E. (2000). A resource model of the neural basis of executive working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(7), 3573–3578.
- Bush, G., Whalen, P. J., Rosen, B. R., Jenike, M. A., McInerney, S. C., & Rauch, S. L. (1998). The counting stroop: An interference task specialized for functional neuroimaging—validation study with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 6(4), 270–282.
- Colom, R., Abad, F. J., Rebollo, I., & Chun Shih, P. (2005). Memory span and general intelligence: A latent-variable approach. *Intelligence*, 33(6), 623–642.
- Colom, R., Shih, P. C., Flores-Mendoza, C., & Quiroga, M. Á. (2006). The real

- relationship between short-term memory and working memory. *Memory*, 14(7), 804–813.
- Colom, R., & Flores-Mendoza, C. E. (2006). Short-term storage and processing speed explain the relationship between working memory and the intelligence g factor. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 22(1), 113-122.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769–786.
- Courtney, S. M., Petit, L., Maisog, J. Ma., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1998). An Area Specialized for Spatial Working Memory in Human Frontal Cortex. *Science*, 279(5355), 1347–1351.
- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1997). Transient and sustained activity in a distributed neural system for human working memory. *Nature*, 386(6625), 608–611.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104(2), 163–191.
- Cowan, N. (1995). Oxford psychology series, No. 26. Attention and memory: An integrated framework.
- Cowan, N. (1998). *Attention and Memory: An Integrated Framework*. Oxford University Press.
- Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of working memory. In *Models of*

- working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pagg. 62–101). Cambridge University Press.
- 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.
- Cowan, N. (2005). Working memory capacity limits in a theoretical context. In *Human learning and memory: Advances in theory and application. The 4th Tsukuba international conference on memory* (pp. 155-175). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Cowan, N. (2008). Chapter 20 What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in Brain Research* (Vol. 169, pagg. 323–338).
- Cowan, N., Saults, J. S., & Nugent, L. D. (1997). The role of absolute and relative amounts of time in forgetting within immediate memory: The case of tone-pitch comparisons. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(3), 393–397.
- Cowan, N., Wood, N. L., Nugent, L. D., & Treisman, M. (1997). There Are Two Word-Length Effects in Verbal Short-Term Memory: Opposed Effects of Duration and Complexity. *Psychological Science*, 8(4), 290–295.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671–684.
- Crowder, R. G. (1993). Short-term memory: Where do we stand? *Memory & Cognition*, 21(2), 142–145.
- Curtis, C. E., & D’Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(9), 415–423.



- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450–466.
- Daneman, M., & Hannon, B. (2001). Using working memory theory to investigate the construct validity of multiple-choice reading comprehension tests such as the SAT. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 208–223.
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422–433.
- Daneman, M., & Tardif, T. (1987). Working memory and reading skill re-examined. In *Attention and performance 12: The psychology of reading* (pagg. 491–508).
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural Mechanisms of Selective Visual Attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193–222.
- D’Esposito, M., Detre, J. A., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S., & Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, 378(6554), 279–281.
- Druzgal, T. J., & D’Esposito, M. (2003). Dissecting Contributions of Prefrontal Cortex and Fusiform Face Area to Face Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(6), 771–784.
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a Two-Factor Theory of Cognitive Control. In *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory, Vol. 44* (pagg. 145–199). Elsevier Science.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working

- memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 309–331.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102(2), 211–245.
- Everling, S., Tinsley, C. J., Gaffan, D., & Duncan, J. (2002). Filtering of neural signals by focused attention in the monkey prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 5(7), 671–676.
- Fry, A. F., & Hale, S. (1996). Processing Speed, Working Memory, and Fluid Intelligence: Evidence for a Developmental Cascade. *Psychological Science*, 7(4), 237–241.
- Fry, A. F., & Hale, S. (2000). Relationships among processing speed, working memory, and fluid intelligence in children. *Biological Psychology*, 54(1), 1–34.
- Funahashi, S., Chafee, M. V., & Goldman-Rakic, P. S. (1993). Prefrontal neuronal activity in rhesus monkeys performing a delayed anti-saccade task. *Nature*, 365(6448), 753–756.
- Giambra, L. M. (1995). A Laboratory Method for Investigating Influences on Switching Attention to Task-Unrelated Imagery and Thought. *Consciousness and Cognition*, 4(1), 1–21.
- Glenberg, A. M. (1987). Temporal context and recency. In *Memory and learning: The Ebbinghaus Centennial Conference* (pagg. 173–190). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Glenberg, A. M., Bradley, M. M., Stevenson, J. A., Kraus, T. A., Tkachuk, M. J., Gretz,

- A. L., Fish, J. H., & Turpin, B. M. (1980). A two-process account of long-term serial position effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(4), 355–369.
- Glenberg, A. M., & Swanson, N. G. (1986). A temporal distinctiveness theory of recency and modality effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12(1), 3–15.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in Chess Memory: A Mechanism for Recalling Several Boards. *Cognitive Psychology*, 31(1), 1–40.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1998). Expert Chess Memory: Revisiting the Chunking Hypothesis. *Memory*, 6(3), 225–255.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 6(3), 316–322.
- Heitz, R. P., Unsworth, N., & Engle, R. W. (2005). Working memory capacity, attention control, and fluid intelligence. *Handbook of understanding and measuring intelligence*, 61-77.
- Hornung, C., Brunner, M., Reuter, R. A. P., & Martin, R. (2011). Children's working memory: Its structure and relationship to fluid intelligence. *Intelligence*, 39(4), 210–221.
- Jarrold, C., & Towse, J. N. (2006). Individual differences in working memory. *Neuroscience*, 139(1), 39–50.
- Jha, A. P., & McCarthy, G. (2000). The Influence of Memory Load Upon Delay-Interval Activity in a Working-Memory Task: An Event-Related Functional MRI Study.

*Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(Supplement 2), 90–105.

Just, M. A., Carpenter, P. A., Keller, T. A., Eddy, W. F., & Thulborn, K. R. (1996). Brain Activation Modulated by Sentence Comprehension. *Science*, 274(5284), 114–116.

Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169–183.

Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For Whom the Mind Wanders, and When: An Experience-Sampling Study of Working Memory and Executive Control in Daily Life. *Psychological Science*, 18(7), 614–621.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2000). Working-memory capacity, proactive interference, and divided attention: Limits on long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(2), 336–358.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47–70.

Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The Generality of Working Memory Capacity: A Latent-Variable Approach to Verbal and Visuospatial Memory Span and Reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(2), 189–217.

- Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W., & Volkman, J. (1949). The Discrimination of Visual Number. *The American Journal of Psychology*, 62(4), 498–525.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Increased Brain Activity in Frontal and Parietal Cortex Underlies the Development of Visuospatial Working Memory Capacity during Childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(1), 1–10.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, 14(4), 389–433.
- Leung, H.-C., Gore, J. C., & Goldman-Rakic, P. S. (2002). Sustained Mnemonic Response in the Human Middle Frontal Gyrus during On-Line Storage of Spatial Memoranda. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(4), 659–671.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281.
- Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111(1), 1–22.
- Martínez, K., Burgaleta, M., Román, F. J., Escorial, S., Shih, P. C., Quiroga, M. Á., & Colom, R. (2011). Can fluid intelligence be reduced to ‘simple’ short-term storage? *Intelligence*, 39(6), 473–480.
- McLean, R. S., & Gregg, L. W. (1967). Effects of induced chunking on temporal aspects of serial recitation. *Journal of Experimental Psychology*, 74(4, Pt.1), 455–459.
- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Why does working memory capacity predict variation in reading comprehension? On the influence of mind wandering and

- executive attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(2), 302–320.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part I. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104(1), 3–65.
- Miller, E. K., Erickson, C. A., & Desimone, R. (1996). Neural Mechanisms of Visual Working Memory in Prefrontal Cortex of the Macaque. *Journal of Neuroscience*, 16(16), 5154–5167.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. Henry Holt and Co.
- Murray, D. J. (1968). Articulation and acoustic confusability in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, 78(4, Pt.1), 679–684.
- Nairne, J. S. (1991). Positional uncertainty in long-term memory. *Memory & Cognition*, 19(4), 332–340.
- Nairne, J. S. (1992). The Loss of Positional Certainty in Long-Term Memory. *Psychological Science*, 3(3), 199–202.
- Neath, I., & Nairne, J. S. (1995). Word-length effects in immediate memory: Overwriting trace decay theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 429–441.
- Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T., & Shibasaki, H. (2003). The neural basis of individual differences in working memory

- capacity: An fMRI study. *NeuroImage*, 18(3), 789–797.
- Pessoa, L., Gutierrez, E., Bandettini, P. A., & Ungerleider, L. G. (2002). Neural Correlates of Visual Working Memory: FMRI Amplitude Predicts Task Performance. *Neuron*, 35(5), 975–987.
- Pollack, I., Johnson, L. B., & Knaff, P. R. (1959). Running memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 57(3), 137–146.
- Postle, B. R., Berger, J. S., & D’Esposito, M. (1999). Functional neuroanatomical double dissociation of mnemonic and executive control processes contributing to working memory performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(22), 12959–12964.
- Raaijmakers, J. G., & Shiffrin, R. M. (1981). Search of associative memory. *Psychological Review*, 88(2), 93–134.
- Raichle, M. E. (1993). The scratchpad of the minds. *Nature*, 363, 583-584.
- Rainer, G., Asaad, W. F., & Miller, E. K. (1998). Selective representation of relevant information by neurons in the primate prefrontal cortex. *Nature*, 393(6685), 577–579.
- Rypma, B., Berger, J. S., & D’Esposito, M. (2002). The Influence of Working-Memory Demand and Subject Performance on Prefrontal Cortical Activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(5), 721–731.
- Rypma, B., & D’Esposito, M. (1999). The roles of prefrontal brain regions in components of working memory: Effects of memory load and individual differences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 6558–

6563.

- Sakai, K., Rowe, J. B., & Passingham, R. E. (2002). Active maintenance in prefrontal area 46 creates distractor-resistant memory. *Nature Neuroscience*, *5*(5), 479–484.
- Seamon, J. G., & Kenrick, D. T. (1994). *Psychology, 2nd ed* (pagg. xliii, 732). Prentice-Hall, Inc.
- Service, E. (1998). The Effect of Word Length on Immediate Serial Recall Depends on Phonological Complexity, Not Articulatory Duration. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *51*(2), 283–304.
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *22*(2), 261–273.
- Shiffrin, R. M. (1970). Memory search. *Models of human memory*, 375–447.
- Smallwood, J., Obonsawin, M., & Heim, D. (2003). Task unrelated thought: The role of distributed processing. *Consciousness and Cognition*, *12*(2), 169–189.
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, *132*(6), 946–958.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and Executive Processes in the Frontal Lobes. *Science*, *283*(5408), 1657–1661.
- Todd, J. J., & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, *428*(6984), 751–754.
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (1998). A Reevaluation of Working Memory



- Capacity in Children. *Journal of Memory and Language*, 39(2), 195–217.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, 80(5), 352–373.
- Unsworth, N. (2010). On the division of working memory and long-term memory and their relation to intelligence: A latent variable approach. *Acta Psychologica*, 134(1), 16–28.
- Unsworth, N., Brewer, G. A., & Spillers, G. J. (2009). There's more to the working memory capacity—Fluid intelligence relationship than just secondary memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(5), 931–937.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2006). Simple and complex memory spans and their relation to fluid abilities: Evidence from list-length effects. *Journal of Memory and Language*, 54(1), 68–80.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, 114(1), 104–132.
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working memory and fluid intelligence: Capacity, attention control, and secondary memory retrieval. *Cognitive Psychology*, 71, 1–26.
- Unsworth, N., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2004). Working Memory Capacity and the Antisaccade Task: Individual Differences in Voluntary Saccade Control.

*Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(6), 1302–1321.

Unsworth, N., & Spillers, G. J. (2010). Working memory capacity: Attention control, secondary memory, or both? A direct test of the dual-component model. *Journal of Memory and Language*, 62(4), 392–406.

Unsworth, N., Spillers, G. J., & Brewer, G. A. (2010). The contributions of primary and secondary memory to working memory capacity: An individual differences analysis of immediate free recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(1), 240–247.

Vogel, E. K., & Awh, E. (2008). How to Exploit Diversity for Scientific Gain: Using Individual Differences to Constrain Cognitive Theory. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2), 171–176.

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748–751.

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.

Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 92–114.

Wickens, C. (1984). Processing resources and attention, varieties of attention. R. Parasuraman and D. Davis, Eds. Academic Press.

Zarahn, E., Aguirre, G. K., & D'Esposito, M. (1999). Temporal isolation of the neural correlates of spatial mnemonic processing with fMRI. *Cognitive Brain Research*, 7(3), 255–268.

Zhang, G., & Simon, H. A. (1985). STM capacity for Chinese words and idioms: Chunking and acoustical loop hypotheses. *Memory & Cognition*, 13(3), 193–201.