

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA GENERALE
CORSO DI LAUREA IN SCIENZE PSICOLOGICHE COGNITIVE E
PSICOBIOLOGICHE

**MEMORIA VISIVA A BREVE TERMINE IN
BAMBINI DI 2 ANNI NATI A TERMINE E
PREMATURI: UNO STUDIO EEG**

*Visual Short-Term Memory in 2-year-old toddlers born at term
and preterm: An EEG study*

Relatrice

Prof. Sabrina Brigadoi

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Laureando

Alfonso Verde

Correlatrice

Chiara Lasagni

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Data di laurea 05/09/2024

Alla mia famiglia.

Introduzione

Questa tesi si propone di indagare la memoria visiva a breve termine (VSTM) nei bambini di due anni, con un focus particolare sul confronto tra soggetti nati a termine e prematuri. La VSTM, ampiamente studiata nella popolazione adulta, rappresenta un campo di ricerca ancora poco esplorato nello sviluppo infantile, soprattutto per quanto riguarda le misurazioni di natura elettrofisiologica, come l'EEG. Questo approfondimento è stato possibile grazie all'esperienza di tirocinio svolta presso il Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione dell'Università di Padova, nell'ambito di un più ampio progetto di ricerca longitudinale denominato *BabyGlucoLight*, che mira a esplorare l'impatto a lungo termine di un controllo glicemico stretto nelle prime settimane di vita di neonati prematuri. L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi è analizzare le differenze nella VSTM tra i due gruppi di bambini (nati prematuri e nati a termine), valutando l'attività cerebrale mediante l'applicazione di tecniche EEG. A tal fine, viene impiegato un paradigma sperimentale, basato sul classico *Change Detection Task*, sviluppato appositamente per bambini di 24 mesi, integrato con il tracciamento dei movimenti oculomotori. L'elaborato si struttura in tre capitoli. Il primo capitolo offre una panoramica teorica sulla VSTM, focalizzandosi sulle principali prospettive e modelli teorici a riguardo e presentando una parte della letteratura attualmente disponibile relativa all'uso dell'EEG per lo studio di questa funzione cognitiva nella popolazione adulta. Inoltre, il capitolo esplora le principali traiettorie di sviluppo tipico e atipico associate alla VSTM, approfondendo le implicazioni che la nascita pretermine può comportare per il suo corretto sviluppo. Il secondo capitolo descrive dettagliatamente il contesto della ricerca, gli obiettivi e la metodologia adottata nello studio. Infine, il terzo capitolo presenta i risultati, analizzando le differenze comportamentali e neurali tra i due gruppi in esame, discutendo le limitazioni e proponendo direzioni per future ricerche.

Indice

1	Fondamenti Cognitivi	1
1.1	La Memoria Visiva a Breve Termine	1
1.1.1	Memoria a breve termine e memoria di lavoro	1
1.1.2	Suddivisione della memoria a breve termine	2
1.1.3	Il ruolo della VSTM nella percezione visiva	4
1.1.4	I Limiti della VSTM	5
1.2	Sviluppo della Memoria Visiva a Breve Termine	7
1.2.1	La nascita pretermine	7
1.2.2	Misurare la memoria in età adulta e in età evolutiva	8
1.2.3	Lo sviluppo tipico	8
1.2.4	Lo sviluppo atipico	9
1.3	L'EEG per lo studio della VSTM	10
1.3.1	La Negative Slow Wave (NSW)	11
1.3.2	La Controlateral Delay Activity (CDA)	11
2	La ricerca	13
2.1	Contesto della ricerca	13
2.2	Obiettivi dello studio	14
2.3	Metodi	14
2.3.1	Partecipanti	14
2.3.2	Procedure sperimentali e strumenti utilizzati	15
2.3.3	Paradigma sperimentale	15
2.4	Analisi dei dati	17
2.4.1	Analisi delle saccadi	17
2.4.2	Analisi del segnale EEG	18
3	Conclusioni	20
3.1	Risultati	20

3.1.1	Comportamentali	20
3.1.2	EEG	26
3.2	Limiti e prospettive future	31
3.3	Considerazioni finali	32

Bibliografia		35
---------------------	--	-----------

Elenco delle figure

2.1	Condizione sperimentale <i>Set Size 2</i> nel VSTM task in funzione dello scorrere del tempo	16
2.2	Condizione sperimentale <i>Set Size 3</i> nel VSTM task in funzione dello scorrere del tempo	16
2.3	Stimolo visivo e sonoro utilizzato per richiamare l'attenzione del bambino . . .	17
3.1	Numero di trial validi in rapporto al numero di trial totali nei due gruppi	21
3.2	Numero di trial validi in rapporto al numero di trial totali, per singolo partecipante	21
3.3	Numero di trial validi in rapporto alla condizione sperimentale nei due gruppi .	22
3.4	Confronto del <i>TLT</i> medio registrato nei due gruppi	22
3.5	Confronto del <i>TLT</i> registrato per singolo partecipante	23
3.6	Confronto tra valori medi di <i>Change Preference</i> nei due gruppi, nella condizione <i>Set Size 2</i>	24
3.7	Confronto tra valori medi di <i>Change Preference</i> per singolo partecipante, nella condizione <i>Set Size 2</i>	24
3.8	Confronto tra valori medi di <i>Change Preference</i> nei due gruppi, nella condizione <i>Set Size 3</i>	24
3.9	Confronto tra valori medi di <i>Change Preference</i> per singolo partecipante, nella condizione <i>Set Size 3</i>	25
3.10	Confronto tra valori medi dati da <i>CP – NCP</i> nei due gruppi, nella condizione <i>Set Size 3</i>	25
3.11	Confronto tra valori medi dati da <i>CP – NCP</i> per singolo partecipante, nella condizione <i>Set Size 3</i>	25
3.12	Confronto tra le ampiezze medie registrate nei due gruppi durante l'esecuzione del compito VSTM, nella condizione <i>Set Size 2</i> (primo grafico da sinistra) e <i>Set Size 3</i> (secondo grafico da sinistra)	27
3.13	Confronto tra le ampiezze medie registrate per singolo partecipante, nella condizione <i>Set Size 2</i>	27

3.14	Confronto tra le ampiezze medie registrate per singolo partecipante, nella condizione <i>Set Size 3</i>	28
3.15	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 3, gruppo di controllo	28
3.16	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 4, gruppo di controllo	28
3.17	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 3, gruppo di controllo	29
3.18	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 4, gruppo di controllo	29
3.19	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 5, gruppo di controllo	29
3.20	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 1, gruppo sperimentale	30
3.21	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 2, gruppo sperimentale	30
3.22	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 3, gruppo sperimentale	30
3.23	ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 4, gruppo sperimentale	31

Capitolo 1

Fondamenti Cognitivi

Il primo capitolo di questo studio si propone di esplorare i fondamenti cognitivi alla base della memoria visiva a breve termine (VSTM). Questa indagine si articolerà in diverse sezioni, ognuna delle quali avrà lo scopo di contestualizzare lo studio che verrà presentato nei capitoli successivi. Si inizierà con un'analisi approfondita dei fondamenti teorici della VSTM, esaminando i modelli classici e contemporanei che hanno plasmato la nostra comprensione di questo processo cognitivo. Successivamente, saranno tracciate le principali traiettorie dello sviluppo della VSTM durante l'infanzia, cercando di comprendere come questa funzione tenda a mutare e affinarsi nel corso dei primi anni di vita. Questa seconda sezione sarà infine arricchita da un'analisi comparativa tra lo sviluppo nei bambini nati a termine e quelli nati prematuri, evidenziando similitudini e differenze nei percorsi di maturazione cognitiva. Per concludere, nella sezione finale, sarà fatta una disamina delle principali Componenti Evento-Relate (ERP) legate al carico cognitivo della VSTM.

1.1 La Memoria Visiva a Breve Termine

1.1.1 Memoria a breve termine e memoria di lavoro

La memoria a breve termine (*Short Term Memory, STM*) si configura come la capacità degli individui di mantenere e richiamare temporaneamente un numero limitato di informazioni per brevi intervalli di tempo. È importante sottolineare che questa capacità si riferisce principalmente alla ritenzione passiva delle informazioni, costituendo una componente di un sistema più ampio noto come Memoria di Lavoro (*Working Memory, WM*). Uno dei primi tentativi di spiegare il funzionamento della STM è rappresentato dal *Modal Model*, elaborato da Atkinson e Shiffrin (1968). Questo modello teorizza che l'informazione proveniente dall'ambiente esterno venga inizialmente elaborata da una serie di sistemi di memoria sensoriale temporanea, per poi

confluire nella memoria a breve termine. In questo contesto, la STM viene concettualizzata come un deposito transitorio, deputato a due funzioni principali: l'immagazzinamento di informazioni brevi periodi di tempo, e il trasferimento delle informazioni alla memoria a lungo termine (*Long Term Memory, LTM*). Tuttavia, questo modello iniziò a mostrare delle lacune man mano che venivano raccolte nuove evidenze sperimentali. Una delle critiche principali riguardava l'assunto secondo cui la mera permanenza prolungata delle informazioni nella STM fosse sufficiente a garantirne il trasferimento alla LTM. Craik e Lockhart (1972) proposero una critica a questa compartimentalizzazione della memoria in "magazzini" distinti, basandosi primariamente sulla durata della ritenzione come criterio discriminante. Come alternativa, elaborarono la teoria dei livelli di elaborazione. Questa teoria postula che l'apprendimento sia maggiormente influenzato dalla modalità di elaborazione del materiale, piuttosto che dalla durata della sua permanenza nella STM. Un'ulteriore critica significativa emergeva dalle evidenze neuropsicologiche. In particolare riguardo alla relazione ipotizzata tra STM e LTM. Secondo questo modello, un deficit nella STM avrebbe dovuto compromettere gravemente la formazione di nuove memorie a lungo termine. Tuttavia, alcune ricerche hanno rivelato casi di pazienti con gravi deficit della STM che mantenevano intatta la capacità di formare nuovi ricordi a lungo termine, suggerendo che il trasferimento di informazioni dalla STM alla LTM non fosse così diretto e necessario come ipotizzato dal *Modal Model* (Vallar & Shallice, 1990). Per ovviare alle crescenti critiche mosse nei confronti del *Modal Model* venne introdotto per la prima volta il concetto di memoria di lavoro nel *Multiple Component Model* di Baddeley, che aggiungeva, alla semplice ritenzione, anche la manipolazione attiva delle informazioni (Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999). Il modello di memoria di lavoro comprende un esecutivo centrale, un sistema limitato dall'attenzione, responsabile della supervisione di vari sistemi subordinati e specializzati, denominati *slave systems*. I sistemi subordinati includono: il loop fonologico (*Phonological Loop*), che gestisce informazioni di natura verbale, ed il taccuino visuo-spaziale (*Visuo-Spatial Scratchpad* o *Sketchpad*), che gestisce informazioni visive e spaziali.

1.1.2 Suddivisione della memoria a breve termine

La letteratura scientifica evidenzia come la memoria a breve termine non sia un sistema unitario, ma piuttosto composto da due componenti distinte: la memoria verbale e la memoria visiva a breve termine. In ambito neuropsicologico, ad esempio, De Renzi e Nichelli (1975) hanno dimostrato come pazienti con danni all'emisfero sinistro, in particolare quelli afasici, presentino una compromissione significativa della memoria verbale a breve termine, senza tuttavia alcuna compromissione della loro memoria spaziale, che risulta invece compromessa da lesioni posteriori in entrambi gli emisferi. Più dibattuta è invece la possibile suddivisione della memoria

visiva a breve termine (*Visual Short Term Memory*, VSTM) in due sottosistemi: memoria spaziale (*Spatial Memory*) e memoria degli oggetti (*Object Memory*). Evidenza neurofisiologica su animali sembra supportare questa idea. Gnadt e Andersen (1988) hanno osservato come, durante la misurazione dell'attività di singoli neuroni nell'area LIP (corteccia intraparietale laterale) del cervello delle scimmie, alcuni neuroni rimanevano attivi durante il periodo in cui la scimmia doveva mantenere la posizione di un target nella memoria, suggerendo un coinvolgimento dell'area LIP non solo nella generazione di movimenti saccadici, ma anche nella memorizzazione di stimoli spaziali e pianificazione dei movimenti. In modo analogo, nel loro studio, Fuster e Jervey (1981) evidenziano invece l'attività di singole cellule della corteccia inferotemporale durante l'esecuzione di un compito di percezione e ritenzione temporanea di stimoli colorati nella scimmia. A supporto della suddivisione della VSTM in due sottosistemi vi è anche la letteratura relativa agli studi sull'interferenza. Hyun e Luck (2007) hanno mostrato come in un compito di rotazione mentale in cui è richiesta la memorizzazione di caratteristiche dell'oggetto (come colore o forma), si osservi una forte interferenza bidirezionale tra la memoria e la rotazione mentale, indicando che entrambe le attività si influenzano negativamente a vicenda, e che l'interferenza aumenta man mano che l'angolo di rotazione cresce. Non è stata, tuttavia, osservata un'interferenza significativa quando il compito di memoria di lavoro richiedeva la memorizzazione di informazioni spaziali (come la posizione degli oggetti), suggerendo dunque che il cervello potrebbe gestire separatamente le informazioni spaziali e quelle relative agli oggetti (si veda anche: Tresch et al., 1993; Woodman & Luck, 2004). Tuttavia, questa distinzione tra memoria spaziale e degli oggetti non è così chiara. Alcune evidenze supportano l'idea che la VSTM non memorizzi semplicemente le caratteristiche individuali degli oggetti (come il colore o la forma), ma come queste caratteristiche siano legate alle loro configurazioni spaziali. Infatti, quando la configurazione spaziale degli oggetti viene alterata, la memoria per le loro caratteristiche identitarie tende a deteriorarsi (Jiang et al., 2000). A riprova di ciò, anche le ricerche sulla corteccia prefrontale (PFC) non hanno trovato prove sufficienti per supportare una segregazione anatomica netta tra le funzioni di memoria visiva spaziale e degli oggetti (Postle & D'Esposito, 2000). Questa evidenza suggerisce che, nonostante l'elaborazione iniziale delle informazioni spaziali e degli oggetti avvenga in regioni cerebrali distinte, potrebbe verificarsi un'integrazione a livelli superiori di elaborazione. Il ruolo della corteccia prefrontale in questo processo è stato ulteriormente esplorato da Ranganath e Blumenfeld (2005), i quali hanno evidenziato come la PFC sia deputata non solo per il mantenimento e la manipolazione delle informazioni a breve termine, ma anche per l'integrazione amodale di informazioni provenienti da diversi domini cognitivi. La PFC sembrerebbe dunque svolgere un ruolo cruciale nel coordinare e integrare le informazioni della VSTM spaziale e degli oggetti in un formato coerente e utilizzabile dalla memoria di lavoro. L'insieme di queste evidenze suggerisce dunque l'esistenza di un sistema

ibrido, dove le rappresentazioni spaziali e degli oggetti nella memoria visiva a breve termine possano essere contemporaneamente segregate e interconnesse, con il grado di interazione funzionale tra questi domini che sembra variare in funzione della natura specifica del compito e delle condizioni contestuali.

1.1.3 Il ruolo della VSTM nella percezione visiva

Le caratteristiche distintive della VSTM includono la sua capacità limitata, la natura astratta delle sue rappresentazioni e la sua durata relativamente breve. Infatti, mentre la memoria a lungo termine può conservare informazioni per periodi di tempo estesi, che vanno da minuti a anni, la VSTM opera su una scala temporale molto più ridotta, nell'ordine di secondi. Questi attributi la differenziano anche dalla memoria iconica, che mantiene una vasta quantità di informazioni visive per frazioni di secondo. La capacità limitata della VSTM, è tipicamente quantificata in termini di numero di oggetti che possono essere simultaneamente mantenuti, ed è uno degli aspetti più studiati di questo sistema. Per una trattazione più approfondita sui limiti specifici della VSTM, si rimanda il lettore alla sezione 1.1.4. Tra le funzioni attribuite alla VSTM vi è un ruolo all'interno della percezione degli stimoli visivi. L'osservazione del mondo circostante implica un processo percettivo complesso che va oltre la semplice ricezione passiva degli stimoli visivi. Sebbene l'esperienza soggettiva suggerisca una percezione visiva continua e fluida, il processo percettivo sottostante è in realtà frammentato. Gli occhi compiono rapidi movimenti, le saccadi, intervallati da brevi pause, le fissazioni, durante le quali si formano immagini distinte dell'ambiente (Rayner, 1998; Rayner & McConkie, 1976). Durante i movimenti saccadici l'input visivo viene temporaneamente soppresso, consentendo all'informazione visiva di penetrare solamente durante i periodi di fissazione (Matin, 1974; Volkman, 1986). La costruzione di una rappresentazione efficace e coerente del mondo richiede che il sistema visivo integri le informazioni acquisite durante le singole fissazioni. Questo processo di sintesi, denominato integrazione transsaccadica (*transsaccadic integration*), è stato ampiamente studiato in letteratura (Currie et al., 2000; Irwin, 1992; Rayner & McConkie, 1976). In questo contesto, la VSTM sembra svolgere un ruolo cruciale, conservando le informazioni dello stimolo visivo pre-saccadico per consentirne la successiva integrazione con la fissazione seguente. Numerose evidenze empiriche, in particolare quelle raccolte in ambito laboratoriale da Irwin e collaboratori, supportano questa ipotesi (Irwin, 1991, 1992; Irwin et al., 1993; Irwin & Andrews, 1996; Irwin et al., 1988). Questi studi suggeriscono che la VSTM funga da "ponte" temporale tra le fissazioni successive, permettendo la creazione di una percezione visiva continua nonostante la natura discreta dei movimenti oculari. È stato inoltre proposto che la VSTM potrebbe essere essenziale per risolvere il "problema della corrispondenza", che consiste nell'identificare correttamente gli stessi oggetti nell'ambiente visivo prima e dopo una saccade

(Currie et al., 2000; Henderson & Hollingworth, 1999). La VSTM potrebbe anche servire ad ottimizzare l'esplorazione nell'ambiente visivo circostante. Alcune evidenze fornite da studi sull'inibizione di ritorno (*inhibition of return*), sembrano dimostrare che i tempi di reazione sono significativamente rallentati quando uno stimolo target viene presentato in posizioni del campo visivo precedentemente esplorate (Klein, 2000; Posner, 1984). Questa inibizione tende a ridursi quando la VSTM spaziale è impegnata in compiti concorrenti, confermando che la gestione di questo processo sia, almeno in parte, deputata alla VSTM

1.1.4 I Limiti della VSTM

La memoria visiva a breve termine è caratterizzata da due limiti fondamentali: la quantità di informazioni visiva che può mantenere e la durata per cui le può mantenere. Un primo esperimento che evidenziò queste limitazioni fu elaborato da Phillips (1974). Nel suo studio, Phillips presentava ai partecipanti una prima versione del *Change Detection Task* (1.2.2), costituito da schemi a scacchiera di complessità variabile, con dimensioni che andavano da 4x4 a 8x8 celle. Dopo intervalli di tempo che variavano da 0 a 9 secondi, i soggetti dovevano confrontare lo schema originale con uno potenzialmente modificato. I risultati evidenziarono come le prestazioni dei partecipanti erano quasi perfette nei test immediati, ma peggioravano progressivamente all'aumentare sia del tempo trascorso che della complessità degli schemi presentati. Questa scoperta fornì una prima e chiara indicazione dei limiti che caratterizzano la memoria visiva a breve termine (VSTM). Successivamente, Luck e Vogel (1997) hanno sviluppato una variante del *Change Detection Task* costituito da diversi array di numero variabile, composti da quadrati colorati. Nell'esperimento, è stato osservato che i partecipanti avevano una precisione quasi perfetta quando l'array conteneva un numero ridotto di oggetti target da memorizzare. Tuttavia, con l'aumento del numero di target, la precisione diminuiva in modo sistematico. Pashler (1988) ha formalizzato questo concetto, successivamente raffinato da Cowan e colleghi (2005), proponendo una formula che permettesse di stimare il numero di oggetti che possono essere mantenuti nella VSTM:

$$K = N \cdot (H - F) \quad (1.1)$$

dove:

- K rappresenta la stima del numero di oggetti memorizzabili
- N indica il numero totale di oggetti presentati nell'array
- H, o "hit rate", corrisponde alla percentuale di risposte corrette in cui il partecipante identifica accuratamente un cambiamento

- F, o "false alarm rate", rappresenta la percentuale di falsi positivi, ovvero i casi in cui il partecipante segnala erroneamente un cambiamento inesistente.

L'applicazione della formula di Pashler-Cowan ai dati raccolti da Luck e Vogel evidenzia l'esistenza di un plateau nel numero di oggetti che può essere efficacemente mantenuto, con una media che si attesta a circa $K = 4$. Un altro aspetto rilevante emerso da questo studio è che le prestazioni degli individui non sembravano essere influenzate dalla complessità degli oggetti, ma solo dalla loro quantità. Questi risultati iniziali hanno trovato conferma in studi successivi. Ricerche condotte da Cowan (2001) ed il più recente lavoro di Adam, Vogel e Awh (2017) forniscono ulteriore supporto a questa visione, oggi nota con il nome di *Fixed-resolution hypothesis*. Secondo questa ipotesi, gli individui sono in grado di rappresentare perfettamente solo un numero limitato di oggetti nella loro memoria. Quando un elemento viene codificato nella VSTM, la sua rappresentazione è considerata priva di errori, come se fosse un'immagine mentale esatta dell'oggetto originale. Tuttavia, questa teoria postula anche un limite netto: una volta superata la capacità massima della VSTM, non tutti gli oggetti possono essere rappresentati. Questa visione implica una sorta di "tutto o niente" nella memorizzazione degli stimoli visivi, dove alcuni oggetti sono ricordati perfettamente, indipendentemente dalla loro complessità, mentre altri non vengono affatto codificati. Studi successivi, come quello condotto da Alvarez e Cavanagh (2004) hanno osservato che per oggetti visivamente semplici, come quadrati monocromatici, la memoria dimostrava una robusta capacità di circa 4 unità. Tuttavia, questa cifra non rappresentava un limite assoluto, bensì un punto di partenza flessibile. Nel caso di stimoli visivamente densi, infatti, come cubi tridimensionali con ombreggiature complesse, la capacità si riduceva drasticamente, arrivando a circa 1,6 oggetti. Anche altra evidenza più recente non sembra confermare del tutto la visione proposta da Luck e Vogel, suggerendo anch'essi una riduzione del numero di oggetti mantenuti in memoria all'incrementare della complessità (Fougnie et al., 2010; Hardman & Cowan, 2015). Wilken e Ma (2004), nel loro esperimento, hanno provato ad indagare i limiti della VSTM attraverso l'applicazione di un metodo definito *continuous report*, creato allo scopo di ottenere una misura più dettagliata e sensibile della precisione del ricordo. Nel loro esperimento veniva chiesto ai partecipanti di mantenere in memoria una singola caratteristica, il colore. I soggetti dovevano poi indicare il colore ricordato su una ruota cromatica che rappresentava l'intero spettro. La performance veniva quantificata calcolando la deviazione angolare tra la risposta del partecipante e la posizione corretta del colore target sulla ruota. All'aumentare del numero di elementi da ricordare, la precisione delle risposte diminuiva gradualmente. Tuttavia, un aspetto cruciale emerso è che, le risposte, seppur meno precise, rimanevano centrate intorno al valore corretto. Questo suggerisce che la rappresentazione mnemonica, benché degradata, manteneva una certa accuratezza. Dunque, anche quando il numero di elementi superava la già menzionata soglia di 4 unità, i partecipanti continuavano a

mostrare evidenza di mantenimento per tutti gli elementi presentati, seppur con una qualità via via sempre più compromessa. La nuova proposta è dunque quella di una *Variable-Resolution Hypothesis*. Questa visione si discosta dal precedente modello, proponendo un meccanismo più flessibile e sfumato. Secondo Wilken e Ma, tutte le rappresentazioni degli oggetti vengono mantenute nella memoria, ma la loro precisione diminuisce progressivamente all'aumentare del numero di elementi da ricordare.

1.2 Sviluppo della Memoria Visiva a Breve Termine

1.2.1 La nascita pretermine

In questa sottosezione si andranno ad approfondire alcuni fondamenti del fenomeno della nascita pretermine. La nascita pretermine è definita come un parto che avviene prima del completamento della 37^a settimana di gestazione, o entro 259 giorni dall'inizio dell'ultimo ciclo mestruale della madre (Goldenberg et al., 2008; Vogel et al., 2018). Questo fenomeno, nonostante sia associato a una vasta gamma di fattori di rischio socio-demografici, medici, ostetrici, fetali e ambientali, si verifica in circa due terzi dei casi senza un'evidente causa predisponente (Vogel et al., 2018). Le principali cause di nascita pretermine possono essere ricondotte a tre categorie: parto spontaneo con membrane intatte, rottura prematura pretermine delle membrane (PPROM), e induzione del parto o taglio cesareo per ragioni materne o fetali (Vogel et al., 2018). L'incidenza della nascita pretermine varia significativamente tra diverse regioni geografiche. Negli Stati Uniti, il tasso è relativamente elevato, con stime che oscillano tra il 9,6% e l'11,3%, a seconda del metodo utilizzato per calcolare l'età gestazionale, con stime basate su tecniche più accurate, come l'ecografia precoce, che tendono a indicare tassi più bassi rispetto a quelle basate sulla data dell'ultimo ciclo mestruale (Vogel et al., 2018). In contrasto, l'Europa presenta tassi di nascita pretermine generalmente inferiori e più variabili, con una media che si attesta tra il 5% e il 10% a seconda del paese (Delnord et al., 2015). I neonati pretermine sono a maggior rischio di sviluppare complicazioni a breve termine, come problemi respiratori, e complicazioni a lungo termine, tra cui deficit neurocognitivi, difficoltà di apprendimento e problemi di comportamento, come sarà evidenziato successivamente. Recenti stime stabiliscono che le nascite pretermine sono la principale causa di mortalità infantile, responsabili circa del 35% della mortalità neonatale, e del 16% della mortalità infantile fino ai 5 anni di età (Vogel et al., 2018).

1.2.2 Misurare la memoria in età adulta e in età evolutiva

Come precedentemente esaminato, la memoria visiva a breve termine negli adulti è supportata da un corpus di evidenze scientifiche in costante espansione. Tra le diverse metodologie impiegate per investigare la VSTM, il paradigma del *Change Detection Task* emerge come il più ampiamente adottato. Questo compito consente ai ricercatori di valutare l'efficacia con cui gli individui mantengono informazioni visive per brevi intervalli temporali nella loro memoria, attraverso la rilevazione dei cambiamenti tra ciò che hanno visto e ciò che viene presentato loro successivamente. Tuttavia, le varianti di questo compito, originariamente concepite per soggetti adulti, risultano generalmente troppo complesse per l'applicazione in contesti evolutivi, in particolare nel caso di neonati. Per ovviare a tale limitazione, diversi studi hanno elaborato adattamenti del paradigma, basati su metodologie di abitudine e preferenza per la novità. Questo approccio si fonda su un'ipotesi ampiamente diffusa nella letteratura scientifica sullo sviluppo cognitivo infantile, inclusi gli studi sulla VSTM: i neonati tendono a focalizzare l'attenzione visiva per periodi più prolungati su stimoli nuovi o inattesi. Dunque, le varianti del *Change Detection Task* per l'età evolutiva, che saranno esaminate in dettaglio successivamente, sfruttano proprio questo principio, inferendo che quando un bambino osserva più a lungo uno stimolo la cui posizione e/o colore è stato alterato rispetto a quelli rimasti invariati, ha codificato in memoria l'oggetto invariato a cui è stato precedentemente abituato.

1.2.3 Lo sviluppo tipico

Durante la crescita, la capacità di conservare informazioni nella memoria visuo-spaziale (sia VSTM che VWM) aumenta notevolmente (Astle & Scerif, 2011). Questo potenziamento della VSTM nei bambini potrebbe essere, almeno in parte, attribuito a una migliore selezione delle informazioni rilevanti (Astle et al., 2012). Questo concetto trova riscontro negli studi sugli adulti, che evidenziano una correlazione positiva tra efficienza del controllo attentivo e prestazioni della VSTM, come suggerito, ad esempio dalla ricerca di Vogel (2005), che ha rilevato come gli individui con maggiori capacità nella VSTM siano più abili nel discriminare stimoli rilevanti da quelli irrilevanti. Anche diversi studi di neuroimaging evidenziano come i processi di controllo attentivo e la VSTM condividano reti neurali, principalmente nelle aree fronto-parietali (Curtis & D'Esposito, 2003). Queste reti maturano con l'età, contribuendo all'espansione della VSTM (Wendelken et al., 2011). È inoltre interessante far notare come, nei bambini, si osservi un'attivazione più diffusa in queste aree rispetto agli adulti, suggerendo una progressiva specializzazione funzionale (Casey et al., 2005).

Studi più recenti indicano che la memoria visiva a breve termine sembra emergere nei bambini già agli 8 mesi di età. Nel loro studio Oakes et al. (2017) esplorano lo sviluppo della memoria

visiva a breve termine (VSTM) in infanti di 8 e 10 mesi. La ricerca utilizza un paradigma di rilevamento del cambiamento (*One-Shot Change Detection Task*) combinato con la tecnologia di eye-tracking. L'esperimento di Oakes prevedeva l'utilizzo di stimoli visivi costituiti da quadrati colorati, presentati in diverse posizioni sullo schermo. La procedura era poi articolata in tre fasi: inizialmente, gli stimoli venivano esposti per un periodo sufficiente a consentire ai infanti di codificare le informazioni relative a colore e posizione (*Sample array*). Seguiva un breve intervallo durante il quale lo schermo rimaneva vuoto, permettendo di valutare la capacità dei neonati di mantenere le informazioni nella VSTM (*Retention interval*). Infine, nella fase di test, veniva presentata una nuova serie di oggetti, che poteva essere identica alla precedente o modificata in termini di colore, posizione spaziale o entrambi gli aspetti (*Test array*). L'impiego di eye-tracking ha consentito di registrare la durata e la focalizzazione dello sguardo degli infanti, in modo da stimare la loro preferenza al cambiamento, che, come precedentemente spiegato, è subordinata alla loro capacità di ricordare il *sample array*. I risultati raccolti forniscono evidenza che ad 8 mesi, seppur in modo meno efficace rispetto ai 10 mesi, gli infanti mostrano la capacità di rilevare cambiamenti, suggerendo dunque che la loro VSTM possa, già a questa età, mantenere e processare informazioni visive legate a oggetti e alle loro posizioni per brevi lassi di tempo.

Come precedentemente discusso, la VSTM negli adulti presenta dei limiti definiti, con una capacità di ritenzione di circa 4 oggetti semplici simultaneamente. Nel caso dei bambini, invece, le capacità di VSTM sono tendenzialmente inferiori, e mostrano una progressione evolutiva graduale. Nella fascia d'età compresa tra i 3 e i 5 anni, la capacità si attesta generalmente sui 2-3 elementi. Successivamente, tra i 5 e i 7 anni, si osserva un incremento, raggiungendo i 3-4 elementi (Simmering, 2012), paragonabile quindi a quella degli adulti.

1.2.4 Lo sviluppo atipico

Lo sviluppo dei bambini prematuri non è semplicemente in ritardo, ma segue traiettorie atipiche. Il neurocostruttivismo, così come altre teorie moderne, evidenzia come il loro sviluppo derivi da complesse interazioni tra fattori genetici, neurali, ambientali e sociali. Ciò comporta modalità di sviluppo qualitativamente diverse dai nati a termine, e non solo più lente, richiedendo una visione che tenga in considerazione le divergenti modalità di adattamento (Karmiloff-Smith, 1998; Sansavini et al., 2011; Westermann et al., 2007). La nascita pretermine influisce significativamente sullo sviluppo precoce, aumentando il rischio di compromissione delle capacità percettive, motorie, linguistiche e cognitive del bambino. Nonostante non siano comuni gravi danni neuromotori e sensoriali, sono frequenti disabilità di bassa gravità tra i bambini nati pretermine (Sansavini et al., 2011). Queste alterazioni iniziali non sono isolate, ma possono avere effetti "a cascata" sullo sviluppo successivo, influenzando l'evoluzione delle competen-

ze in diverse aree funzionali, anche se inizialmente non compromesse (Behrman, Butler et al., 2007). Ad esempio, esiste evidenza che supporta l'esistenza di un legame significativo tra la memoria visiva e lo sviluppo del vocabolario nei bambini, in particolare per quanto riguarda l'elaborazione di dettagli visuo-percettivi (Pickering et al., 2023). Questo nesso è più evidente nel vocabolario ricettivo ¹ rispetto a quello espressivo ² (Nickisch & Von Kries, 2009). Nello specifico, le attività di memoria visiva che coinvolgono il flusso ventrale ³, mostrano una forte correlazione con l'acquisizione del vocabolario, contrariamente ai compiti che attivano il flusso dorsale ⁴, che presentano invece correlazioni meno significative (Pickering et al., 2023).

Nel periodo che va dall'età scolare all'adolescenza, nei bambini nati pretermine, si osserva una tendenza al recupero in alcune aree cognitive più semplici, come il vocabolario ricettivo o alcune abilità motorie grossolane, che spesso tendono a normalizzarsi, avvicinandosi ai livelli dei coetanei nati a termine. Tuttavia, le difficoltà persistono in ambiti che richiedono una maggiore integrazione cognitiva, come ad esempio: l'uso e la comprensione del linguaggio avanzato, Il ragionamento matematico astratto e la risoluzione di problemi complessi, o anche la coordinazione fine-motoria (Sansavini et al., 2011).

Gli individui nati pretermine presentano una capacità di memoria visiva a breve termine significativamente inferiore rispetto ai coetanei nati a termine (Finke et al., 2015). Lo studio di Finke et al. (2015) ha dimostrato che le alterazioni nella connettività funzionale, particolarmente nelle regioni occipitali e parietali del cervello, sono strettamente associate alle prestazioni della VSTM in adulti nati pretermine di età compresa tra i 25 e i 27 anni. A questo riguardo, i soggetti che mostrano differenze più pronunciate nella connettività tra queste aree cerebrali tendono a esibire una migliore capacità di VSTM. Questi risultati ci suggeriscono che le alterazioni cerebrali dovute alla prematurità potrebbero portare a un "reclutamento compensatorio" di reti cerebrali alternative, permettendo al cervello di riorganizzarsi per mitigare i potenziali deficit.

1.3 L'EEG per lo studio della VSTM

Nello studio relativo ai limiti della memoria di lavoro visiva, due componenti elettrofisiologiche hanno assunto un ruolo centrale: la Negative Slow Wave (NSW) e la Contralateral Delay Activity (CDA). Questa sezione si propone di esaminare una selezione rilevante della letteratura scientifica attualmente disponibile su queste due componenti, analizzandone le caratteristiche, le applicazioni e le implicazioni per la comprensione dei processi di memoria visiva.

¹deputato alla comprensione delle parole

²deputato alla produzione verbale

³nel cervello responsabile del riconoscimento di forme e colori

⁴nel cervello responsabile dell'elaborazione spaziale e del movimento

1.3.1 La Negative Slow Wave (NSW)

In uno studio, Ruchkin e collaboratori (1992), in una variante del *Change Detection Task*, richiedevano a dei partecipanti di ricordare un pattern bidimensionale composto da 3, 4 o 5 elementi non collegati, presentati al centro dello schermo. Durante l'esperimento, si osservava che l'ampiezza dell'ERP⁵ diventava sempre più negativa all'aumentare del carico mnemonico, indicato dal numero di elementi da ricordare, si manifestava un incremento proporzionale dell'ampiezza negativa dell'ERP, particolarmente pronunciato nelle regioni parieto-temporali del cervello. Questa componente EEG è oggi nota con il nome di *Negative Slow Wave* (NSW). Un aspetto rilevante della *Negative Slow Wave* è la sua correlazione con la capacità individuale di VSTM. L'ampiezza della NSW aumenta con l'aumento del numero di target che viene richiesto al soggetto di mantenere in memoria, il *Set Size*, ma raggiunge un livello di saturazione quando il numero di target supera la capacità di memoria del soggetto (Fukuda et al., 2015). Questo sembra essere coerente con quanto discusso nella sezione relativa ai limiti della VSTM. Dunque, soggetti con maggiore capacità mostrano una NSW più pronunciata, e l'ampiezza di questa componente raggiunge un asintoto quando si avvicina al limite della capacità individuale. Nel suo studio Feldmann-Wüstefeld 2021 osserva che la capacità media della memoria visiva misurata, in cui la NSW raggiungeva la saturazione era di $K = 2.5$ (1.1.4). Questa componente è stata osservata in diversi studi, con un'ampia varietà di stimoli esplorati (Feldmann-Wüstefeld, 2021; Fukuda et al., 2015; Klaver et al., 1999; D. Ruchkin et al., 1997), e la sua topografia varia in base alla natura del compito: è più evidente negli elettrodi posteriori durante compiti di memoria di lavoro spaziale, mentre presenta una controparte positiva nelle aree frontali per compiti di memoria di oggetti (Mecklinger & Pfeifer, 1996). Contrariamente alla *Contralateral Delay Activity* (CDA), esaminata in seguito (1.3.2), la NSW può essere rilevata indipendentemente dalla posizione degli stimoli nel campo visivo.

1.3.2 La Contralateral Delay Activity (CDA)

Vogel e Machizawa (2004), nel loro studio, introdussero per la prima volta la *Contralateral Delay Activity* (CDA). La ricerca si basava su una versione modificata del *Change Detection Task*, dove i partecipanti dovevano memorizzare oggetti presentati in un solo emicampo visivo alla volta. La CDA si manifesta come una negatività rilevata contralateralmente rispetto all'emicampo visivo in cui sono presentati i target da ricordare, e la sua ampiezza, analogamente alla NSW, cresce in relazione al *Set Size* (Feldmann-Wüstefeld et al., 2018; Vogel & Machizawa, 2004). Una caratteristica della CDA, che la rende una misura tendenzialmente più accurata rispetto alla NSW, è che viene calcolata dalla differenza tra l'attività ipsilaterale e quel-

⁵potenziale evento-relato

la controlaterale. Questa caratteristica contribuisce all'eliminazione di rumore indesiderato nel segnale raccolto, riducendo le influenze dovute a processi percettivi di basso livello o precoci. A differenza della NSW, la CDA tradizionalmente richiede che i partecipanti siano informati in anticipo sulla posizione degli stimoli target; questo ha portato ad una generale implementazione di cue spaziali all'interno dei compiti proposti ai partecipanti, introducendo in questo modo una serie di possibili criticità legate alla presenza del cue stesso (Cooreman et al., 2015). Tuttavia, ricerche più recenti hanno dimostrato la possibilità di replicare la CDA anche in assenza di cue spaziali, offrendo una soluzione al problema (Feldmann-Wüstefeld, 2021). Il concetto di *net load*, invece, riguarda lo squilibrio nel numero di target che devono essere memorizzati tra i due emicampi visivi. Evidenza recente suggerisce che la CDA tenda ad aumentare anche in modo proporzionale al *net load* (Feldmann-Wüstefeld, 2021). Questo sembra essere coerente con quanto scoperto in precedenza, in quanto uno squilibrio maggiore tra i due lati richiede più lavoro al cervello per gestire la memoria degli oggetti nel lato con più target.

Capitolo 2

La ricerca

2.1 Contesto della ricerca

Lo studio che sarà discusso nelle sezioni successive fa parte del progetto di ricerca longitudinale *BabyGlucLight*, avviato nel 2020 e al momento ancora in corso, che ha lo scopo di indagare l'impatto di un intervento glicemico mirato nei neonati prematuri durante la loro prima settimana di vita. Infatti, in questo gruppo di pazienti, la capacità di mantenere l'omeostasi del glucosio è limitata a causa delle scarse riserve di glicogeno e grasso, che si sviluppano principalmente durante il terzo trimestre di gravidanza, aumentando il rischio di ipoglicemia e/o iperglicemia (Mitanchez, 2007). Il progetto si propone di valutare l'efficacia di un controllo glicemico più stretto, rispetto all'attuale pratica clinica, e di osservare gli effetti delle variazioni glicemiche sullo sviluppo neuropsicologico e cognitivo dei bambini a 12 e 24 mesi di età corretta. Il design sperimentale prevede un trial clinico che coinvolge due gruppi di neonati pretermine: un gruppo *unblinded*, sottoposto a controllo glicemico stretto, e un gruppo *blinded*, che viene gestito in base alla pratica clinica standard. Inoltre, lo studio include un gruppo di controllo composto da bambini nati a termine. Oltre al follow-up ospedaliero a 12 mesi di età corretta presso l'Unità di Terapia Intensiva Neonatale (UTIN) dell'Azienda Ospedaliera di Padova, il progetto prevede anche una valutazione aggiuntiva a 24 mesi di età corretta, condotta presso il Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione dell'Università di Padova, mirata a indagare più nel dettaglio lo sviluppo complessivo dei bambini coinvolti nello studio, attraverso la somministrazione di scale di sviluppo standardizzate, paradigmi sperimentali progettati per una valutazione delle funzioni attentive e mnestiche dei partecipanti (2.3.3) e misurazione di segnali elettroencefalografici (2.4.2).

2.2 Obiettivi dello studio

La presente tesi prenderà in esame solo una piccola parte dei dati raccolti durante il progetto BabyGlucLight. In particolare, si propone di indagare in modo specifico il solo sviluppo della memoria visiva a breve termine (VSTM) nei bambini nati prematuri rispetto a quelli nati a termine, entrambi valutati all'età corretta di 24 mesi. A tal fine, è stato utilizzato il paradigma sperimentale *Visual Short-Term Memory (VSTM) Task* (2.3.3), accompagnato dalla registrazione dei Potenziali Evento-Correlati (ERP) durante l'esecuzione del compito. In studi condotti sugli adulti, è stato osservato che un carico maggiore della VSTM è associato a due componenti ERP specifiche: la *Negative Slow Wave (NSW)* e la *Contralateral Delay Activity (CDA)* (1.3). Lo scopo principale di questo studio è, innanzi tutto, di verificare se anche nei bambini un aumento del carico di memoria si traduca in un incremento dell'attività negativa in aree parietali e parieto-occipitali. Inoltre, lo studio si propone di esaminare come queste misure neurali possano variare tra i bambini nati prematuri e quelli nati a termine, offrendo un confronto tra i due gruppi. Va sottolineato che, come già specificato, questo elaborato si inserisce all'interno di un più ampio progetto di ricerca longitudinale ancora in corso, il che conferisce ai risultati qui discussi un carattere esplorativo e provvisorio. Essendo stato condotto su un campione di dimensioni ridotte, l'indagine non consentirà inoltre di trarre conclusioni di natura inferenziale. Per questo motivo, l'analisi dei dati adotterà un approccio esclusivamente descrittivo, mirando a identificare tendenze e pattern emergenti all'interno dei gruppi esaminati.

2.3 Metodi

2.3.1 Partecipanti

Il campione preso in esame in questa indagine è composto da 9 bambini in totale: 4 fanno parte del gruppo sperimentale (nati prematuri), di cui 2 maschi e 2 femmine, e 5 costituiscono il gruppo di controllo (nati a termine), tutti maschi. Tutti i partecipanti sono stati valutati all'età corretta di 24 mesi. Nello specifico, il gruppo sperimentale include 2 bambini del gruppo *unblinded* e 2 del gruppo *blinded*. Questi bambini prematuri sono stati reclutati alla nascita presso l'Unità di Terapia Intensiva Neonatale (UTIN) dell'Azienda Ospedaliera di Padova, presentando un'età gestazionale rispettivamente di 30+0, 31+1, 31+5 e 31+5 settimane e un peso di 1310g, 1220g, 1810g e 1560g.

2.3.2 Procedure sperimentali e strumenti utilizzati

Conclusa la fase preliminare di accoglienza in un'apposita area, il bambino, accompagnato dal caregiver, veniva condotto in un laboratorio predisposto alla registrazione di segnali EEG. In questo spazio, erano presenti diverse attrezzature: una videocamera per monitorare i movimenti oculari del bambino durante l'esecuzione dei paradigmi sperimentali, un monitor che permetteva la riproduzione in tempo reale di tali paradigmi, e un impianto *HD-EEG Geodesic* finalizzato alla registrazione dei potenziali evento-correlati. Inoltre, lo sperimentatore gestiva due computer desktop: uno dedicato alla presentazione degli stimoli, collegato al monitor visibile al soggetto, ed un altro adibito alla gestione della registrazione video e dell'acquisizione dei dati EEG. Nel corso della sperimentazione vera e propria, al bambino venivano somministrati due paradigmi sperimentali: il *Visual Short Term Memory Task*, che sarà approfondito successivamente nella sezione 2.3.3, e il *Gap-Overlap Task*, che invece non verrà analizzato in questo studio. Gli stimoli relativi a tali paradigmi venivano presentati su un monitor gestito manualmente dal ricercatore tramite il software *E-prime*. L'ordine di somministrazione dei paradigmi era controbilanciato tra soggetti. Le reazioni del bambino durante l'esecuzione dei compiti erano costantemente monitorate attraverso una registrazione video. Inoltre, nel caso in cui il bambino mostrasse segni di distrazione, lo sperimentatore poteva far comparire sullo schermo uno stimolo visivo interessante accompagnato da uno stimolo sonoro, allo scopo di richiamare nuovamente la sua attenzione sul compito (Figura 2.3). Per concludere, la procedura sperimentale comprendeva anche una fase finale adibita alla somministrazione delle scale *Bayley-III*. Tuttavia, i risultati ottenuti da tale valutazione non verranno discussi all'interno del presente studio.

2.3.3 Paradigma sperimentale

Il paradigma usato per testare la *Visual Short Term Memory* rappresenta una variante del *Change Detection Task* (esplorato nella sezione 1.2.2), appositamente sviluppata per l'infanzia. In modo analogo ad altri paradigmi già impiegati in precedenti studi, come quello utilizzato da Oakes et al. (2017), questo task si basa sull'osservazione della preferenza mostrata dal bambino verso lo stimolo cambiato (*Change Preference*). Tale approccio permette di indagare le sue capacità di memorizzare stimoli visivi per brevi intervalli di tempo. Come stimoli visivi, l'esperimento impiegava quadrati colorati presentati su uno sfondo grigio uniforme, con i colori degli elementi che variavano casualmente da una prova all'altra. Il task si articolava in due distinte configurazioni, ciascuna caratterizzata dal numero di elementi presentati simultaneamente. Nella prima, definita d'ora in avanti *Set Size 2*, i soggetti interagivano con due quadrati colorati (Figura 2.1), presentati ai due lati dello schermo. Nella seconda, invece, d'ora in avanti *Set Size*

3, veniva introdotto anche un terzo elemento (2.2), aggiunto agli altri due, e posizionato nella parte bassa dello schermo. Il paradigma sperimentale adottato in questo studio era articolato in tre fasi distinte per ciascuna prova. Inizialmente, vi era una prima fase di codifica, in cui i bambini erano esposti al *Memory array*, una configurazione di stimoli la cui complessità¹ variava in funzione della condizione sperimentale, come descritto in precedenza, ed in cui gli stimoli venivano presentati raggruppati al centro dello schermo, in modo da massimizzarne la visibilità al partecipante. Questa fase di esposizione aveva una durata prestabilita di 500 millisecondi, permettendo ai soggetti di codificare gli stimoli presentati. Successivamente, si passava a una fase di ritenzione, durante la quale lo schermo rimaneva completamente vuoto per un intervallo di 1500 millisecondi. Questo periodo fungeva da intervallo di mantenimento, durante il quale i partecipanti dovevano trattenere in memoria le informazioni precedentemente codificate. La sequenza si concludeva con una fase di verifica, caratterizzata dalla presentazione del *Test array*. Il *Test array* era identico al *Memory array*, tranne che nel colore di uno degli stimoli, ma a differenza del *Memory array*, gli stimoli venivano qui presentati in modo più distanziato, per consentire una migliore analisi dei movimenti saccadici. Questa fase finale aveva una durata di 2000 millisecondi, fornendo ai partecipanti un tempo sufficiente per confrontare gli stimoli presentati con quelli memorizzati e per esplorare tutti gli stimoli presenti sullo schermo.

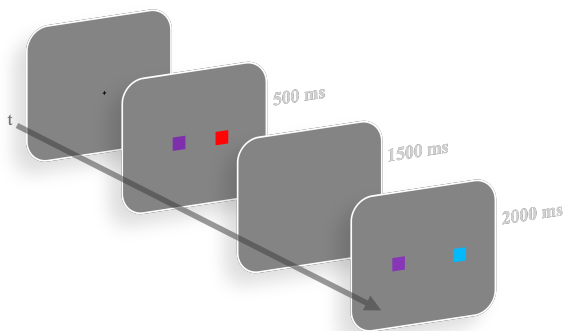


Figura 2.1: Condizione sperimentale *Set Size* 2 nel VSTM task in funzione dello scorrere del tempo

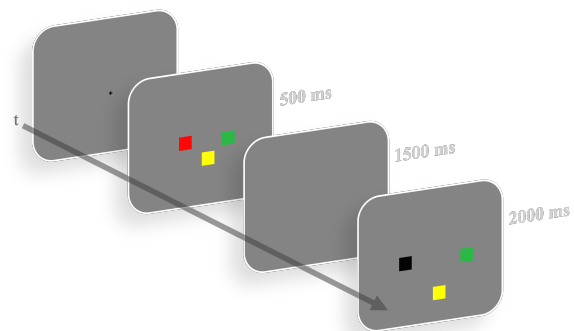


Figura 2.2: Condizione sperimentale *Set Size* 3 nel VSTM task in funzione dello scorrere del tempo

¹intesa come numero di item



Figura 2.3: Stimolo visivo e sonoro utilizzato per richiamare l'attenzione del bambino

2.4 Analisi dei dati

2.4.1 Analisi delle saccadi

I dati raccolti durante l'esperimento sono stati successivamente registrati e organizzati utilizzando un foglio di calcolo creato con il software *Microsoft Excel*. In questo foglio di calcolo, oltre ai dati identificativi del partecipante, veniva annotato il numero di trial completati sul totale di 72. Per considerare un trial valido, era essenziale che il bambino avesse prestato attenzione allo schermo sia durante il *Memory array* che il *Test array*; in caso contrario, il trial veniva escluso manualmente. Per ogni trial, si analizzavano i singoli frame video delle fasi *Memory array* e *Test array*. Si registravano manualmente i tempi esatti, in millisecondi dall'inizio del video, in cui gli stimoli target apparivano sullo schermo, distinguendo inoltre tra le due condizioni sperimentali. Dopo la presentazione degli stimoli del *Test array*, si annotavano due momenti chiave: l'*Engage*, cioè il momento in cui il bambino agganciava visivamente lo stimolo, e il *Disengage*, il momento in cui il bambino distoglieva lo sguardo dallo stimolo. La differenza tra questi due momenti, definita *Detection*, rappresentava il tempo di attenzione visiva del bambino su quello specifico stimolo:

$$D_i = T_{Disengage} - T_{Engage} \quad (2.1)$$

dove:

- D indica la Detection per uno stimolo i
- $T_{Disengage}$ indica il momento di Disengage
- T_{Engage} indica il momento di Engage

Partendo dai valori di *Detection*, è possibile calcolare l'indicatore che rappresenta il tempo complessivo durante il quale il soggetto ha fissato lo schermo, noto come *Total Looking Time* (*TLT*), utilizzando il seguente procedimento:

$$TLT = \sum_{i=1}^n D_i \quad (2.2)$$

Sulla base dei valori relativi ai parametri precedentemente illustrati è possibile stimare l'indice di *Change Preference* (*CP*) relativo al trial specifico, che misura il rapporto tra il tempo di fissazione sullo stimolo variabile (*Detection* dello stimolo variabile) e il tempo totale di fissazione per quel trial (*TLT*):

$$CP = \frac{D_{changed}}{TLT} \quad (2.3)$$

Nella condizione *Set Size 2*, si può determinare una preferenza verso lo stimolo cambiato qualora: $CP > 0,5$. Questo indicherebbe che, durante quello specifico trial, il bambino ha mostrato una propensione a fissare più a lungo lo stimolo che ha subito un cambiamento. Solo per la condizione di *Set Size 3*, è necessario stimare anche l'indice di *No Change Preference* (*NCP*), che misura il rapporto tra la *Detection* relativa allo stimolo non cambiato che è stato fissato più a lungo, e il tempo totale di fissazione:

$$NCP = \frac{D_{unchanged+}}{TLT} \quad (2.4)$$

In questo caso, non basta calcolare il *CP* per capire le preferenze del bambino, perché il tempo di fissazione sugli stimoli non variabili potrebbe essere distribuito tra due stimoli differenti. Per determinare se il bambino ha una preferenza per lo stimolo variabile rispetto a quelli non variabili, è dunque necessario confrontare l'indice di *CP* con l'indice di *NCP*. Se $CP > NCP$, è possibile concludere che lo stimolo variabile ha catturato maggiormente l'attenzione del bambino rispetto agli stimoli non variabili.

2.4.2 Analisi del segnale EEG

Il segnale EEG è stato acquisito da una cuffia *HydroCel Geodesic Sensor Net*, posizionata sullo scalpo del bambino solo dopo esser stata immersa in una soluzione composta da acqua, sale e shampoo per una durata di circa 15 minuti immediatamente precedenti l'applicazione. La cuffia comprendeva 128 elettrodi, con l'elettrodo in posizione *Cz* che fungeva da riferimento per tutti gli altri. La registrazione iniziava dopo aver verificato che l'impedenza di ciascun elettrodo fosse inferiore a $100k\Omega$, per assicurare un'acquisizione ottimale del segnale. I segnali elettrici raccolti dagli elettrodi venivano trasmessi a un amplificatore *NetAmps 300*, che permetteva di

amplificare e digitalizzare i segnali acquisiti. La registrazione avveniva con una frequenza di campionamento di 500Hz , equivalente all'acquisizione di 500 campioni al secondo per ciascun elettrodo. I criteri per selezionare i trial validi nell'analisi del segnale sono diversi da quelli usati per l'analisi delle saccadi. Per questa analisi, un trial era considerato valido solo se il partecipante aveva osservato il *Memory array*, indipendentemente da quello che succedeva poi durante il *Test array*. Una volta completata la registrazione, i dati EEG sono stati pre-processati tramite EEGLAB all'interno dell'ambiente MATLAB. Inizialmente, è stato applicato un filtro passa-banda per eliminare i segnali al di fuori dell'intervallo di frequenza compreso tra 0,3 e 30Hz . Successivamente, il segnale continuo è stato suddiviso in segmenti di 1400 millisecondi a partire dall'inizio di ciascun stimolo, includendo un periodo di 200 millisecondi precedente allo stimolo per permettere la correzione della baseline. Successivamente è stata fatta l'identificazione automatica degli artefatti: i segmenti di segnale che presentavano variazioni di tensione superiori a $200\mu\text{V}$ venivano automaticamente scartati. È stata inoltre utilizzata l'Analisi delle Componenti Indipendenti (ICA), allo scopo di identificare e separare le componenti del segnale EEG associate ai movimenti oculari. Queste componenti sono state identificate attraverso l'analisi di grafici topografici e poi rimosse manualmente. Infine, se meno di 12 elettrodi presentavano problemi o dati mancanti, veniva applicata un'interpolazione lineare utilizzando i segnali dei cinque elettrodi più vicini per ricostruire i dati mancanti.

Capitolo 3

Conclusioni

3.1 Risultati

3.1.1 Comportamentali

Questa sottosezione presenta i risultati relativi all'analisi dei movimenti saccadici, la cui procedura è stata descritta nella sezione 2.4.1. I dati discussi di seguito si riferiscono esclusivamente a 8 dei 9 partecipanti totali (vedi sezione 2.3.1), poiché un partecipante è stato escluso dall'analisi per l'assenza di trial validi, dovuta a un nistagmo. Tuttavia, questo partecipante ha comunque preso parte alla raccolta dei dati EEG, i cui risultati saranno presentati nella prossima sezione (3.1.2). Per definire un trial valido, come già descritto in precedenza, è indispensabile che il partecipante abbia mantenuto l'attenzione visiva durante l'intera presentazione sia del *Memory Array* che del *Test Array*. Inoltre, il trial deve permettere un'accurata identificazione dei momenti di *Engage* e *Disengage*. Nel campione preliminare analizzato, la percentuale media di trial validi rispetto al totale di trial somministrati è stata del 54.1% su una media di trial totali pari a 53.2, per il gruppo di controllo, e del 43.5% su una media di trial totali pari a 66.6, per il gruppo sperimentale. (Figure 3.1 e 3.2). È inoltre possibile evidenziare una relazione tra la complessità del compito (*Set Size*) e il numero di trial validi. Nella condizione *Set Size 2*, il gruppo di controllo ha mostrato una media di 18.4 trial validi, ed il gruppo sperimentale ne ha registrati 16. Tuttavia, con l'incremento della complessità nella condizione *Set Size 3*, si è osservata una notevole riduzione della media relativa al numero di trial validi in entrambi i gruppi, con il gruppo di controllo che ha registrato una media di 10.4 trial validi, ed il gruppo sperimentale con 13 trial validi. (Figura 3.3).

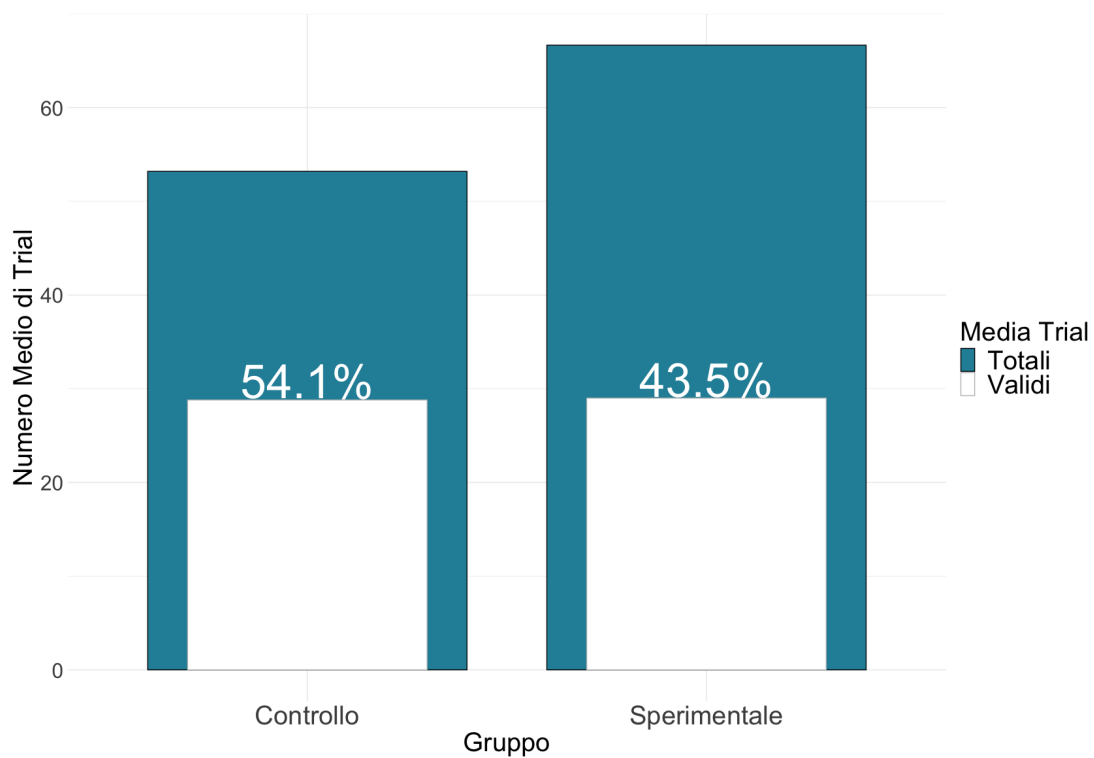


Figura 3.1: Numero di trial validi in rapporto al numero di trial totali nei due gruppi

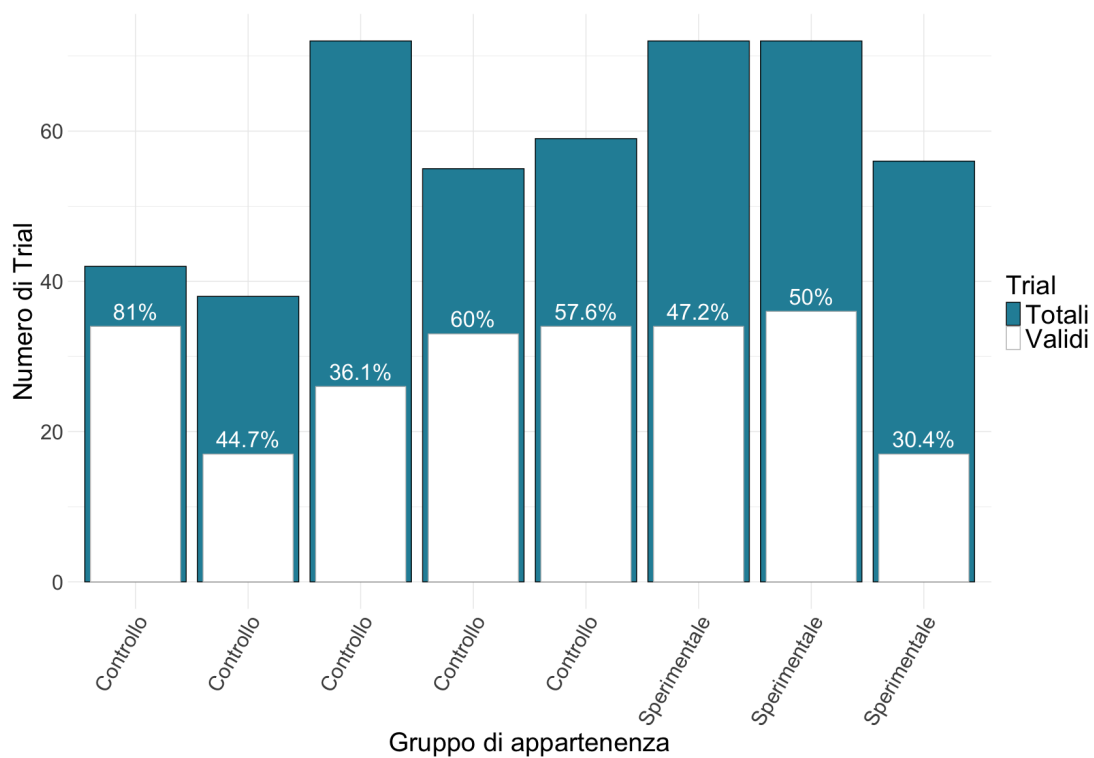


Figura 3.2: Numero di trial validi in rapporto al numero di trial totali, per singolo partecipante

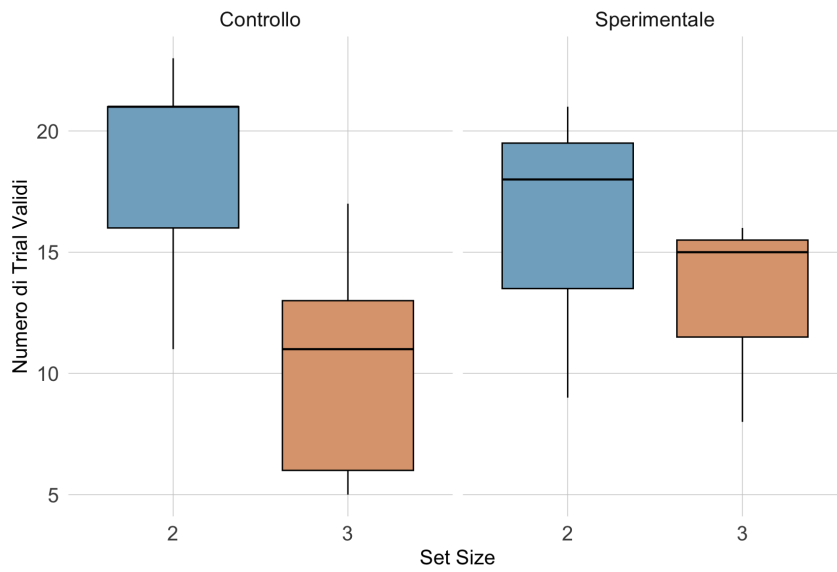


Figura 3.3: Numero di trial validi in rapporto alla condizione sperimentale nei due gruppi

Nel confronto dell'indice relativo alla *TLT* media registrata nei due gruppi, si è riscontrata una tendenza del gruppo di controllo ($TLT = 47240ms$) a registrare valori leggermente maggiori rispetto al gruppo sperimentale ($TLT = 39497ms$) (Figura 3.4).

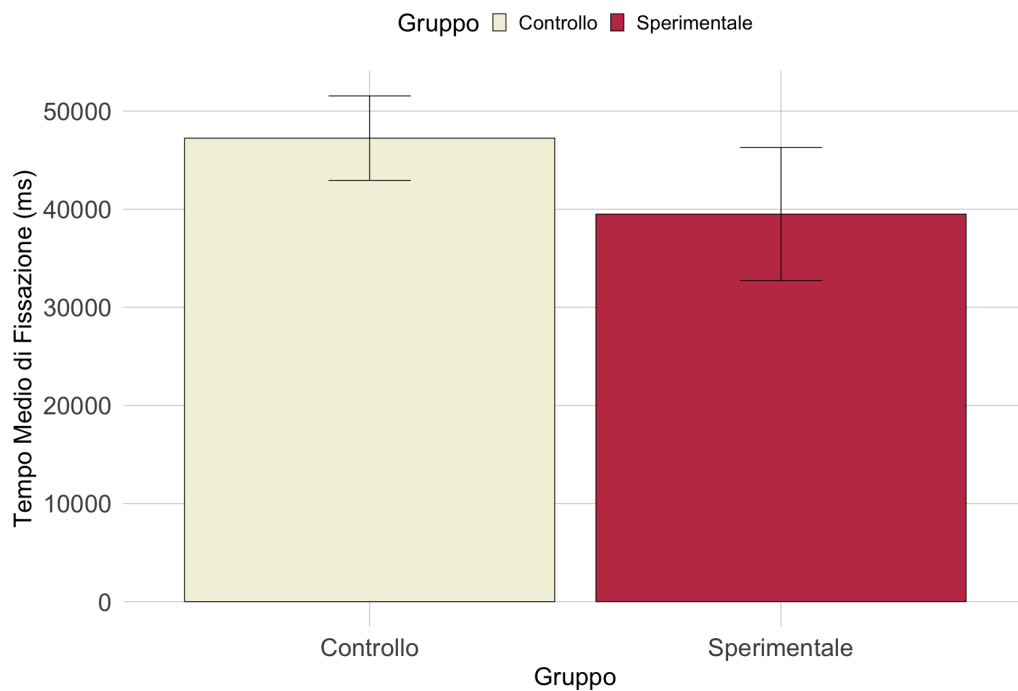


Figura 3.4: Confronto del *TLT* medio registrato nei due gruppi

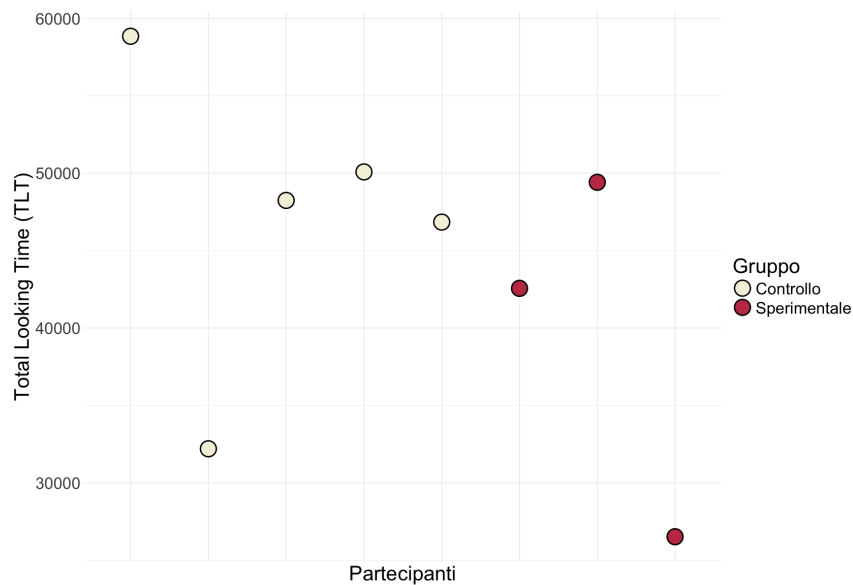


Figura 3.5: Confronto del *TLL* registrato per singolo partecipante

I risultati relativi agli indici di *Change Preference* (CP) e *No Change Preference* (NCP) evidenziano ulteriormente come la complessità del compito influenzi la capacità dei bambini di memorizzare e riconoscere gli stimoli. Nella condizione *Set Size 2*, il valore medio è stato di $CP_{SS2} = 0,58$ per i bambini nati pretermine e $CP_{SS2} = 0,56$ per quelli nati a termine, indicando una leggera preferenza per lo stimolo cambiato in entrambi i gruppi (Figura 3.6). Tuttavia, con l'incremento della complessità del compito, nella condizione *Set Size 3*, si osserva una notevole diminuzione dell'indice di CP, con valori medi di $CP_{SS3} = 0,35$ per i bambini nati pretermine e $CP_{SS3} = 0,43$ per i bambini nati a termine. Questo suggerisce una maggiore difficoltà nel rilevare e concentrarsi sullo stimolo variabile man mano che il compito diventa più complesso (Figura 3.8), in particolar modo per il gruppo dei bambini pretermine. Questo fenomeno è ulteriormente supportato dal confronto tra CP e NCP per *Set Size 3*. In questa condizione solo pochi bambini hanno manifestato il verificarsi della condizione $CP > NCP$. Nel gruppo di controllo sono stati riscontrati valori medi di $CP - NCP = -0,03$, mentre per il gruppo sperimentale valori medi di $CP - NCP = -0,16$ (Figure 3.10 e 3.11). Mentre le differenze nella performance dei due gruppi nella condizione *Set Size 2* non sembrano indicare l'esistenza di differenze nella VSTM di bambini nati a termine rispetto ai pretermine, nella condizione *Set Size 3* emerge invece una lieve tendenza di miglioramento nel gruppo di controllo, che mostra, come osservato nella figura 3.10, valori medi più prossimi allo 0. Tale risultato potrebbe suggerire che i bambini nati a termine abbiano una maggiore capacità di distinguere e preferire lo stimolo cambiato, anche in contesti più complessi e seppure non in modo del tutto sviluppato. Tuttavia, è da notare che queste differenze non sono abbastanza pronunciate da indicare un vantaggio netto e potrebbero non essere confermate da una raccolta dati su un campione più ampio di partecipanti.

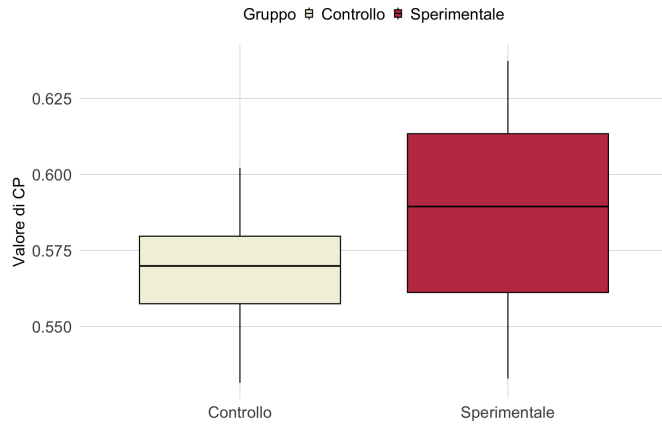


Figura 3.6: Confronto tra valori medi di *Change Preference* nei due gruppi, nella condizione *Set Size 2*

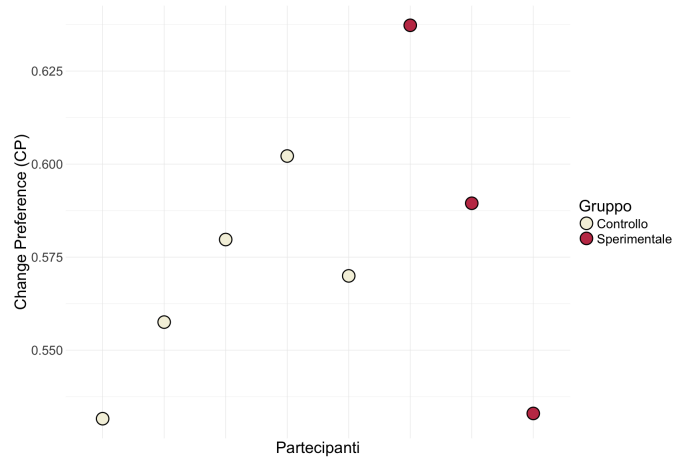


Figura 3.7: Confronto tra valori medi di *Change Preference* per singolo partecipante, nella condizione *Set Size 2*

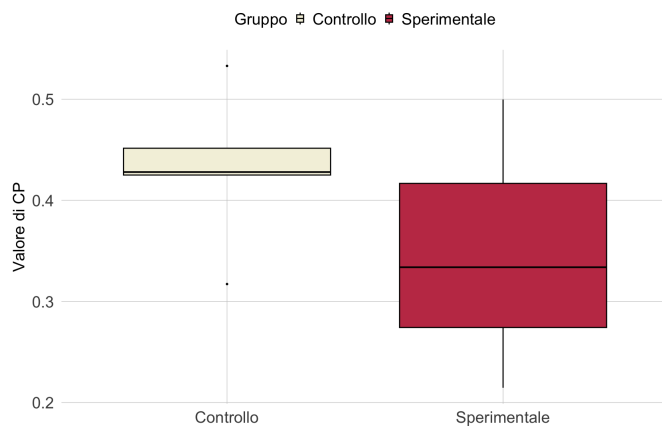


Figura 3.8: Confronto tra valori medi di *Change Preference* nei due gruppi, nella condizione *Set Size 3*

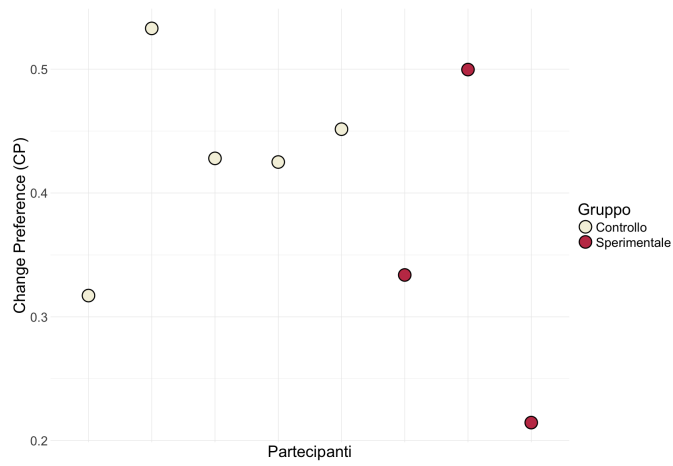


Figura 3.9: Confronto tra valori medi di *Change Preference* per singolo partecipante, nella condizione *Set Size 3*

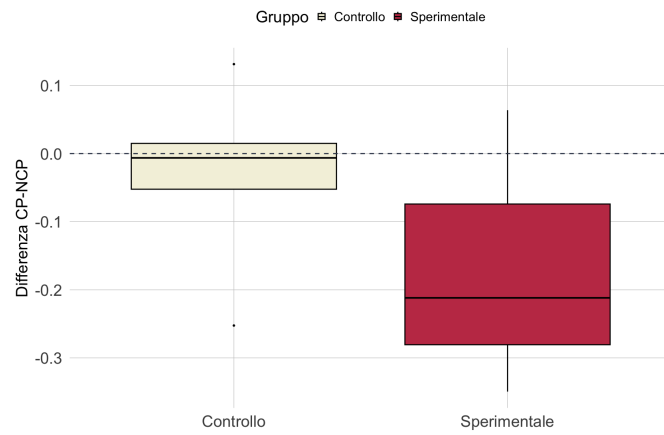


Figura 3.10: Confronto tra valori medi dati da *CP – NCP* nei due gruppi, nella condizione *Set Size 3*

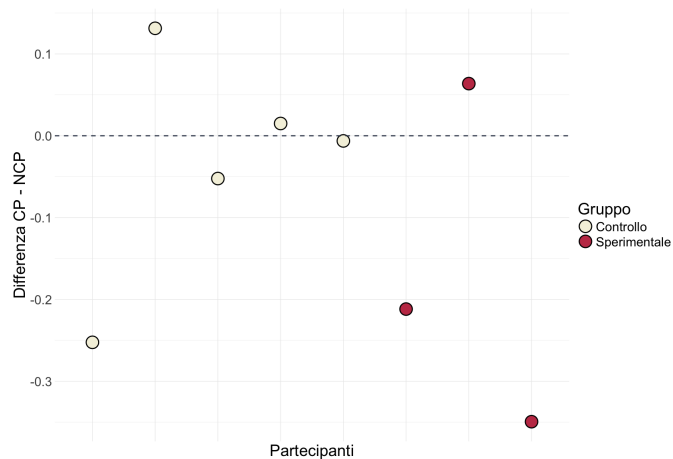


Figura 3.11: Confronto tra valori medi dati da *CP – NCP* per singolo partecipante, nella condizione *Set Size 3*

3.1.2 EEG

In questa sottosezione si presentano i risultati ottenuti dalle analisi dei segnali EEG, la cui metodologia è stata descritta nella sezione 2.4.2. È importante segnalare la presenza in questi dati di un'ampia variabilità individuale tra i partecipanti di entrambi i gruppi. I segnali EEG raccolti non evidenziano pattern di attivazione uniformi e chiaramente definiti tra i soggetti esaminati (Tabelle 3.1 e 3.2).

ID	Group	O1	OZ	O2	I1	IZ	I2	PO7	PO8	PO9	PO10	P7	P8	P9	P10
1	Controllo	13.93	15.12	11.46	11.37	14.94	20.88	9.72	12.86	6.88	18.01	4.40	10.84	4.94	14.27
2	Controllo	-4.78	-2.95	-1.42	-4.32	0.94	2.29	-6.85	1.88	-4.47	4.85	-8.93	2.75	-4.87	2.98
3	Controllo	5.10	5.86	2.25	1.85	1.64	0.51	2.93	-1.66	1.50	-2.19	-0.52	-2.14	0.05	-3.77
4	Controllo	8.48	8.78	9.40	6.23	8.61	10.14	2.71	8.11	1.96	11.49	-7.35	9.08	-3.01	13.17
5	Controllo	-5.13	-3.10	-1.39	-4.99	-4.93	-4.27	-5.20	-3.29	-5.71	-3.60	-6.10	-2.23	-6.23	-3.10
1	Sperimentale	-6.58	-1.53	0.74	-13.71	-5.36	0.91	-7.89	-3.29	-15.60	1.78	-6.80	-4.62	-15.08	3.49
2	Sperimentale	0.05	-1.57	-1.53	-0.97	-0.51	0.36	1.80	1.78	-0.80	2.07	1.91	6.81	-0.68	2.20
3	Sperimentale	-8.63	-9.67	-7.32	-12.53	-13.34	-12.20	-6.17	-9.25	-8.83	-11.54	-4.03	-6.75	-6.55	-7.66
4	Sperimentale	-5.68	-3.70	-2.89	-6.49	-4.44	-3.81	-5.14	-4.33	-4.17	-3.41	0.07	-3.22	-1.64	-4.43

Tabella 3.1: Ampiezza media degli elettrodi nella condizione *Set Size 2*, in tutti i partecipanti

ID	Group	O1	OZ	O2	I1	IZ	I2	PO7	PO8	PO9	PO10	P7	P8	P9	P10
1	Controllo	2.64	7.94	11.85	-1.80	5.77	14.91	-0.84	10.36	-6.38	8.00	-5.03	6.69	-7.60	4.93
2	Controllo	-9.80	-6.78	7.29	-16.19	-3.97	1.68	-1.03	10.40	-9.36	3.06	7.14	0.28	-8.07	6.22
3	Controllo	0.95	2.31	2.89	1.13	2.01	2.28	0.18	2.61	-0.20	2.34	-1.12	0.44	-1.19	2.61
4	Controllo	-11.35	-13.25	-14.57	-8.89	-11.10	-11.52	-4.89	-15.31	-5.16	-10.91	4.54	-11.94	0.13	-5.32
5	Controllo	-1.75	-1.68	-3.48	-1.56	-3.89	-4.05	-1.09	-3.97	-0.48	-2.16	-0.68	-1.64	-0.15	-0.46
1	Sperimentale	5.90	-0.03	-3.45	-0.46	2.53	3.66	6.43	-1.35	-1.31	2.38	3.25	0.34	-5.86	0.48
2	Sperimentale	0.18	0.63	1.05	0.62	0.59	0.08	0.18	0.45	0.57	-0.92	0.48	-1.67	-1.02	-2.59
3	Sperimentale	-4.85	-7.67	-8.78	-2.66	-2.98	-4.67	-1.55	-7.22	-2.25	-5.13	1.08	-8.33	-0.62	-4.89
4	Sperimentale	-3.46	-3.93	-3.86	-8.42	-10.04	-10.97	0.02	-2.30	-11.39	-7.65	-6.79	-2.70	-15.54	0.94

Tabella 3.2: Ampiezza media degli elettrodi nella condizione *Set Size 3*, in tutti i partecipanti

Nella condizione *Set Size 2*, si osservano delle differenze nei valori medi di ampiezza tra il gruppo di controllo e quello sperimentale. Il gruppo di controllo tende a mostrare valori più positivi, suggerendo una potenziale differenza nella gestione del compito di memoria. In quasi tutti i soggetti, l'esecuzione del compito in questa condizione è associata a un'attività negativa negli elettrodi situati nelle aree parietali, con un'attività media più negativa in P7 e P9 nel gruppo di controllo e in PO8 e P9 nel gruppo sperimentale (Figura 3.13). Nella condizione *Set Size 3*, si nota una diminuzione dell'ampiezza media nel gruppo di controllo rispetto alla condizione *Set Size 2*, con una marcata negatività nelle aree parietali e parieto-occipitali, particolarmente evidente negli elettrodi PO9, P9, PO7 e P8 (Figure 3.12 e 3.14). Nel gruppo sperimentale si nota, tuttavia, una minore negatività delle ampiezze rispetto alla condizione *Set Size 2*, nelle aree interessate, come è possibile osservare nelle Figure 3.12 e 3.14. Sebbene l'ampia variabilità individuale e la ridotta dimensionalità del campione non consentano di trarre conclusioni definitive, è possibile evidenziare alcune tendenze che potrebbero trovare supporto in future

estensioni del campione in analisi. La letteratura sugli adulti, come discusso nella sezione 1.3, associa l'incremento di carico cognitivo nei compiti di VSTM (in termini di incremento del *Set Size*) ad un'attivazione negativa in aree parietali e parieto-occipitali (Feldmann-Wüstefeld, 2021). I dati qui presentati sembrano confermare solo parzialmente questa tendenza, evidenziandola principalmente nel gruppo di controllo e con una certa eterogeneità tra i partecipanti. Il gruppo sperimentale, contrariamente alle aspettative e ai dati comportamentali, non ha mostrato la prevista maggiore attivazione negativa nella condizione più complessa (*Set Size 3*).

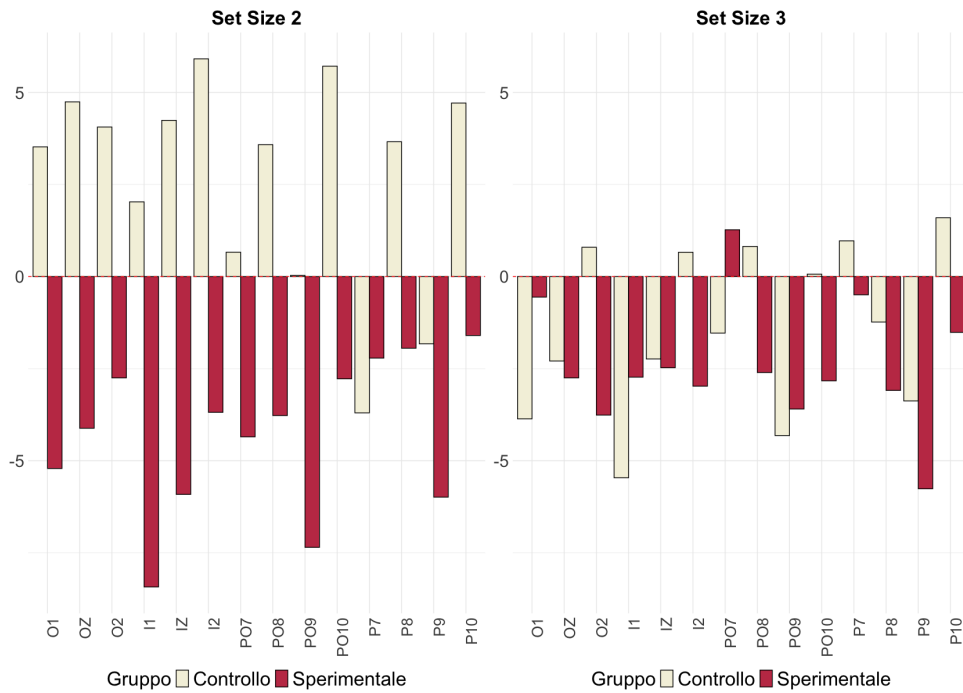


Figura 3.12: Confronto tra le ampiezze medie registrate nei due gruppi durante l'esecuzione del compito VSTM, nella condizione *Set Size 2*(primo grafico da sinistra) e *Set Size 3*(secondo grafico da sinistra)

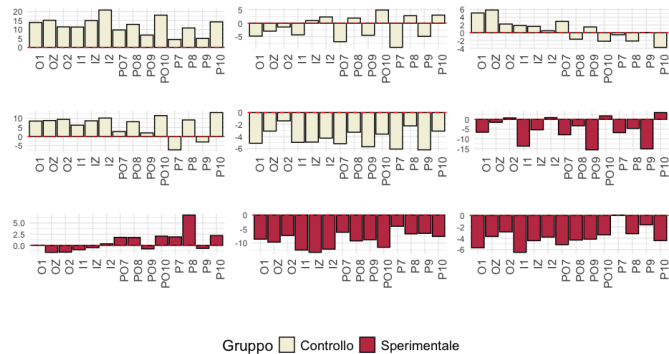


Figura 3.13: Confronto tra le ampiezze medie registrate per singolo partecipante, nella condizione *Set Size 2*

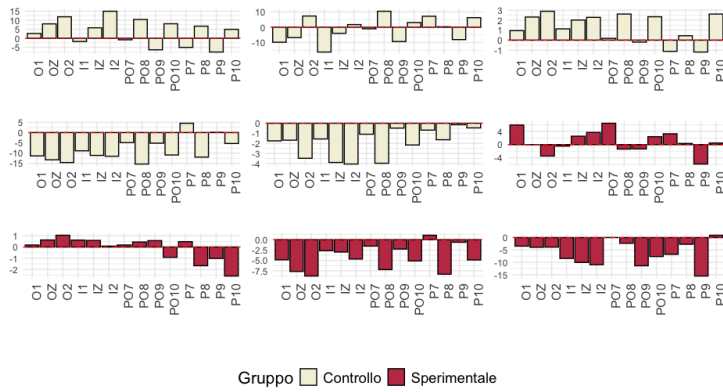


Figura 3.14: Confronto tra le ampiezze medie registrate per singolo partecipante, nella condizione *Set Size 3*

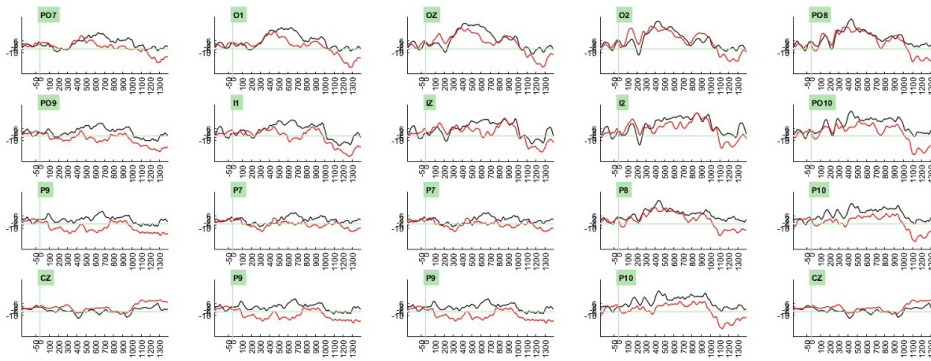


Figura 3.15: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 3, gruppo di controllo

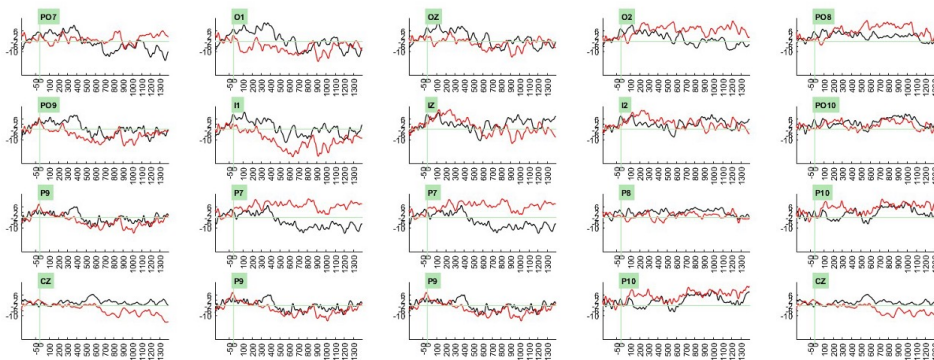


Figura 3.16: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 4, gruppo di controllo

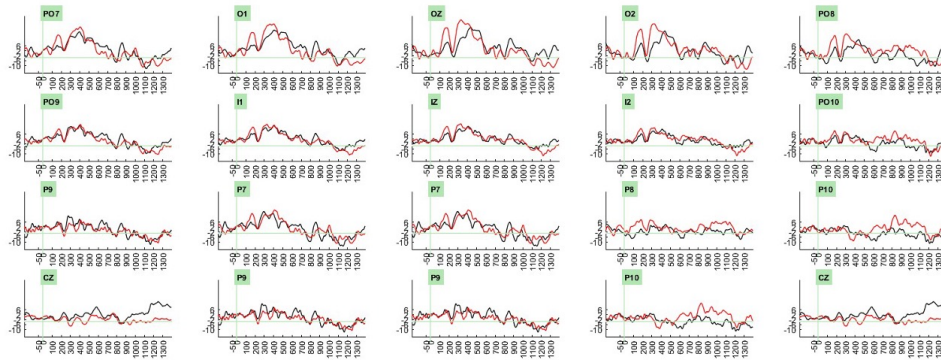


Figura 3.17: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 3, gruppo di controllo

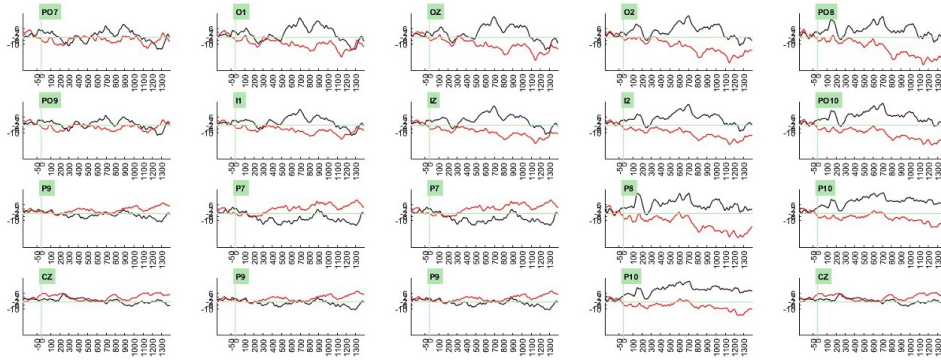


Figura 3.18: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 4, gruppo di controllo

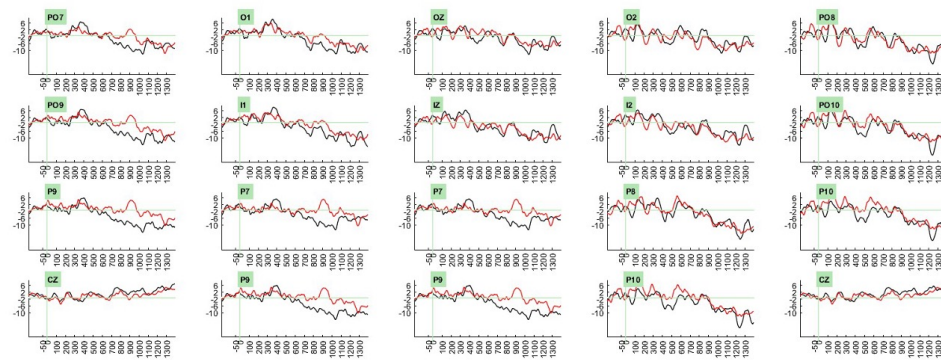


Figura 3.19: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 5, gruppo di controllo

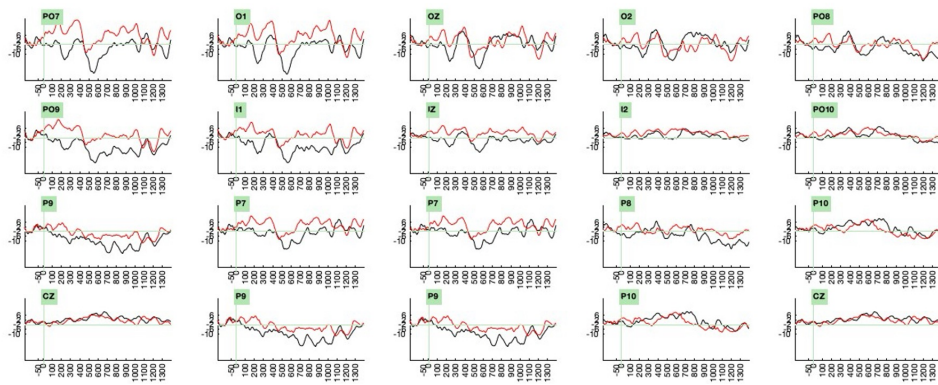


Figura 3.20: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 1, gruppo sperimentale

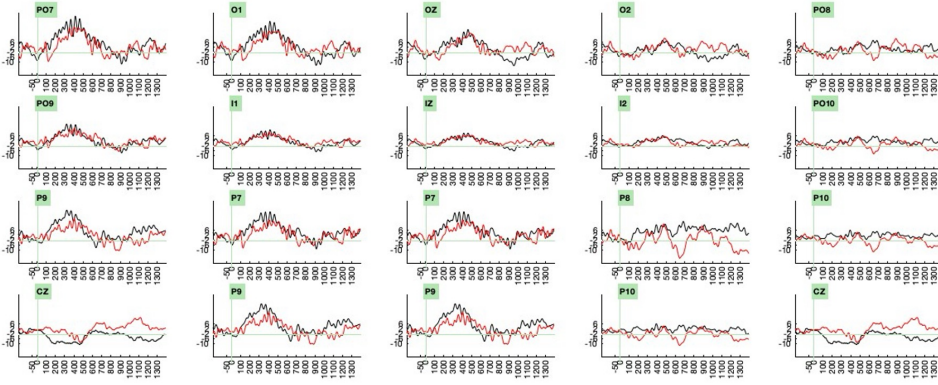


Figura 3.21: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 2, gruppo sperimentale

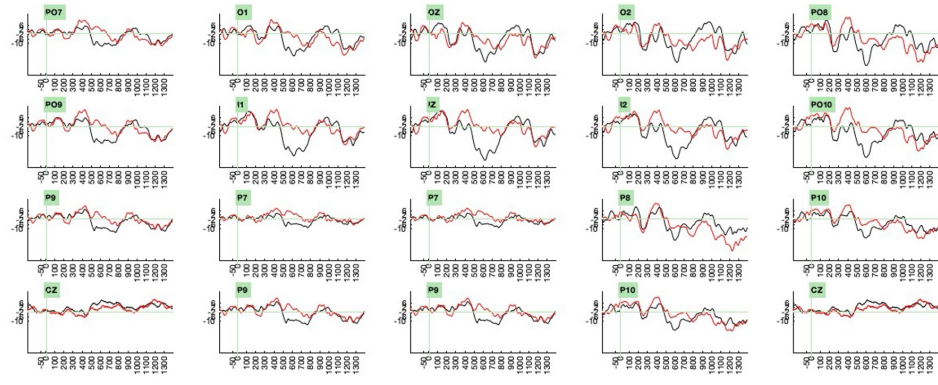


Figura 3.22: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 3, gruppo sperimentale

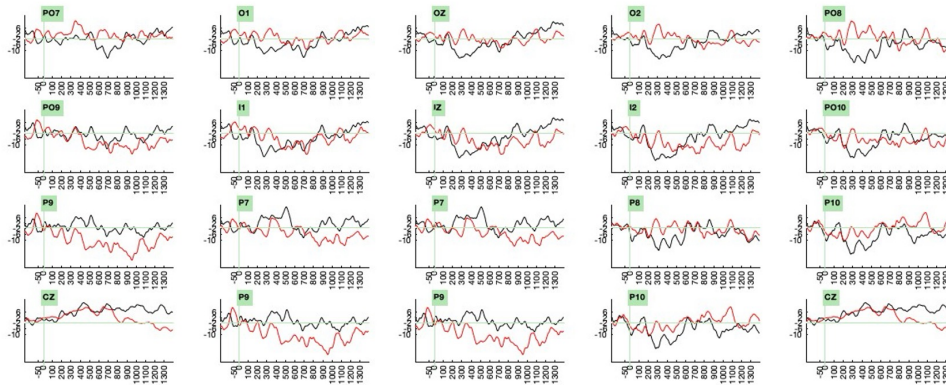


Figura 3.23: ERP estratti durante lo svolgimento del compito del soggetto 4, gruppo sperimentale

3.2 Limiti e prospettive future

In questa sezione saranno descritte alcune delle limitazioni metodologiche che questo studio presenta, passaggio necessario per una corretta interpretazione dei risultati esposti nella sezione 3.1. In primis, come già descritto in precedenza, l'analisi dei dati si è basata esclusivamente su metodi descrittivi, senza l'impiego di statistiche inferenziali. Questa scelta metodologica esclude la possibilità di verificare formalmente delle ipotesi di ricerca e di estendere le conclusioni oltre il piccolo campione esaminato. È inoltre fondamentale sottolineare la natura preliminare dei risultati presentati, parte di uno studio non ancora concluso. Dunque, tutte le tendenze e le osservazioni discusse richiedono una valutazione cauta, in quanto non possono ancora essere considerate definitive, rendendo necessari ulteriori approfondimenti e studi di replicazione per delineare un quadro più accurato e affidabile della situazione presa in esame. Una delle cause di tali limitazioni riguarda il numero ridotto di partecipanti inclusi nel campione. Questo limite è particolarmente significativo poiché un campione di dimensioni ridotte comporta una maggiore variabilità dei risultati e un'impossibilità di generalizzare tali risultati ad una popolazione più ampia. A questo, si aggiunge che la popolazione valutata comporta intrinsecamente una serie di sfide metodologiche, soprattutto nella raccolta di dati neurofisiologici, come quelli derivanti dall'EEG. I bambini in età prescolare, come quelli di 24 mesi qui testati, hanno span attentivi molto brevi, con conseguenti scarse abilità di attenzione selettiva e una ancora limitata capacità di risolvere conflitti tra stimoli rilevanti e irrilevanti (Garon et al., 2008; Ruff & Capozzoli, 2003). Ciò implica una ridotta capacità di rimanere fermi e concentrati per periodi di tempo prolungati sul compito presentato, e l'essere facilmente soggetti a distrazioni dall'ambiente. Questi fattori, oltre a rendere più complessa l'interpretazione dei dati di natura comportamentale, come è possibile osservare dalla riduzione nel numero di trial ritenuti validi

(Figura 3.3), possono inoltre introdurre rumore nel segnale EEG acquisito, sotto forma di movimenti muscolari o artefatti legati ai movimenti oculari. Nonostante l'adozione di misure per minimizzare questi artefatti, è inevitabile che la raccolta dati su una popolazione così giovane comporti una certa variabilità individuale, così come osservato nella sezione 3.1, aumentando in questo modo l'incertezza nei risultati. I dati presi in analisi sono, inoltre, fortemente limitati dalla presenza di singoli partecipanti con tendenze diverse rispetto al resto del gruppo (outliers). Questi, abbinati all'ampia variabilità individuale del campione, generano dei dati che possono distorcere le analisi complessive, compromettendo la capacità di trarre conclusioni stabili. La presenza di outlier può infatti amplificare la variabilità dei risultati, rendendo difficile identificare pattern consistenti all'interno del campione studiato e aumentando il rischio di sovra- o sotto-interpretare i fenomeni osservati. Un'altra limitazione significativa deriva dalla scarsa letteratura relativa allo studio EEG in relazione a compiti di VSTM in età evolutiva. La mancanza di studi precedenti comparabili rende difficile confrontare e contestualizzare i risultati ottenuti, aggiungendo un ulteriore livello di incertezza alla loro interpretazione. In assenza di dati preesistenti su cui basarsi, ed in attesa di ulteriori studi, ogni risultato deve essere per questo interpretato con cautela, poiché non è chiaro se le risposte neurali osservate riflettano realmente i processi cognitivi previsti o siano influenzate da fattori di terza natura. Per ottenere una comprensione più esaustiva dei meccanismi che regolano la VSTM in età evolutiva, risulta fondamentale affrontare e, laddove possibile, superare gli attuali vincoli metodologici e di campionamento. Questo approccio potrebbe condurre a una visione più completa dello sviluppo della VSTM, permettendo di delineare meglio le traiettorie evolutive di questa funzione cognitiva. Tale avanzamento nella ricerca di base assume particolare rilevanza in contesti di sviluppo atipico, come nel caso dei bambini nati prematuri. Come osservato nella sezione 1.2.4, la nascita pretermine può compromettere diverse aree funzionali, tra cui quelle percettive, motorie, linguistiche e cognitive. Queste alterazioni iniziali possono avere ripercussioni significative su altre aree correlate, anche se apparentemente non coinvolte in prima istanza. Una comprensione più dettagliata di questi processi potrebbe quindi fornire basi più solide per lo sviluppo di interventi mirati ed efficaci, sia in ambito educativo che terapeutico.

3.3 Considerazioni finali

Alla luce dei risultati discussi in precedenza, in questa ultima sezione saranno tratte delle considerazioni finali allo scopo di contestualizzare i fenomeni osservati. Nella condizione *Set Size 2*, non è stato possibile osservare differenze significative tra il gruppo di controllo e quello sperimentale (Figura 3.6). Questo contrasta con le marcate differenze nelle ampiezze medie dei segnali EEG tra i due gruppi (Figura 3.12), che sembrano invece suggerire diverse modalità di

gestione del carico cognitivo. Nella condizione *Set Size 3* il quadro si complica ulteriormente. Il gruppo di controllo mostra una capacità superiore nell'individuazione del cambiamento, seppure leggermente sotto il valore $CP - NCP = 0$ (Figura 3.10). Si osserva inoltre una netta negativizzazione delle ampiezze medie rispetto alla condizione *Set Size 2* (Figura 3.12). Questi risultati sono coerenti con l'ipotesi che un aumento del carico di memoria, in termini di numero di oggetti da mantenere, sia associato ad un incremento della negatività media del segnale, particolarmente nelle aree parietali e parieto-occipitali. Il gruppo sperimentale, invece, presenta una situazione più complessa. La performance nella rilevazione del cambiamento nella condizione *Set Size 3* ($CP - NCP$) è nettamente inferiore alla soglia dello zero (Figura 3.10), indicando una scarsa preferenza per il cambiamento. Contemporaneamente, si osserva una riduzione della negatività media dei tracciati rispetto alla condizione *Set Size 2* (Figura 3.12). Queste osservazioni aprono la strada a molteplici interpretazioni. Una possibilità è che i pattern elettrofisiologici riscontrati nel gruppo sperimentale possano riflettere una maggiore difficoltà nel processo di mantenimento e manipolazione delle informazioni nella VSTM del gruppo sperimentale. La riduzione della negatività nel segnale EEG, in contrasto con l'aumento del carico cognitivo, potrebbe indicare dunque una ridotta capacità di allocare efficacemente risorse cognitive aggiuntive in risposta all'incremento della complessità del task. Un'altra possibile ipotesi è che il gruppo sperimentale utilizzi strategie di elaborazione e gestione del carico cognitivo differenti e meno efficaci rispetto al gruppo di controllo, effetto che si rende più evidente in condizioni *Set Size* con più elementi. È anche plausibile ipotizzare che le differenze esistenti nel segnale EEG registrato possano essere un riflesso diretto di dinamiche legate a fluttuazioni di natura attentiva e motivazionale nei confronti del compito svolto. A supporto di ciò, è possibile osservare le differenze nel rapporto tra trial totali e trial validi in entrambi i gruppi (Figura 3.3). Inoltre, nello specifico per la condizione *Set Size 3*, il gruppo sperimentale ha mostrato una sensibile riduzione nella quantità di trial validi, sia rispetto alla condizione *Set Size 2*, che rispetto al gruppo di controllo (Figura 3.3). Anche il confronto del *Total Looking Time (TLT)* registrato tra i due gruppi potrebbe fornire ulteriore sostegno a questa possibilità. Come illustrato nella Figura 3.4, il gruppo di controllo ha mantenuto lo sguardo sullo schermo per un periodo più prolungato rispetto al gruppo sperimentale. Queste osservazioni congiuntamente suggeriscono che l'aumento della complessità del task possa aver impattato differenzialmente sui due gruppi, con il gruppo sperimentale che mostra segni più evidenti di affaticamento o disimpegno cognitivo all'aumentare delle richieste del compito.

In conclusione, non è possibile, al momento, fornire una spiegazione valida dei fenomeni osservati sulla base dei dati disponibili. Le ipotesi appena discusse rimangono quindi di natura prettamente esplorativa e richiedono ulteriori approfondimenti per essere validate.

Bibliografia

- Adam, K. C., Vogel, E. K., & Awh, E. (2017). Clear evidence for item limits in visual working memory. *Cognitive psychology*, *97*, 79–97.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects. *Psychological science*, *15*(2), 106–111.
- Astle, D. E., Nobre, A. C., & Scerif, G. (2012). Attentional control constrains visual short-term memory: Insights from developmental and individual differences. *Quarterly journal of experimental psychology*, *65*(2), 277–294.
- Astle, D. E., & Scerif, G. (2011). Interactions between attention and visual short-term memory (VSTM): What can be learnt from individual and developmental differences? *Neuropsychologia*, *49*(6), 1435–1445.
- Atkinson, R., & Shiffrin, R. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Cur.). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley. (1986). *Working Memory*. Clarendon Press.
- Baddeley & Hitch. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Cur.). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley & Logie. (1999). Working Memory: The Multiple-Component Model. In A. Miyake & P. Shah (Cur.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (pp. 28–61). Cambridge University Press.
- Behrman, R. E., Butler, A. S., et al. (2007). Preterm birth: causes, consequences, and prevention.
- Casey, B. J., Tottenham, N., Liston, C., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in cognitive sciences*, *9*(3), 104–110.
- Cooreman, B., Wiegand, I., Petersen, A., Vangkilde, S., & Bundesen, C. (2015). Cue-it? We say: block-it. *J Vis*, *15*, 1335.
- 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., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conway, A. R. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive psychology*, *51*(1), 42–100.
- Craik, F. I., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, *11*(6), 671–684.
- Currie, C. B., McConkie, G. W., Carlson-Radvansky, L. A., & Irwin, D. E. (2000). The role of the saccade target object in the perception of a visually stable world. *Perception & psychophysics*, *62*, 673–683.
- Curtis, C. E., & D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in cognitive sciences*, *7*(9), 415–423.
- De Renzi, E., & Nichelli, P. (1975). Verbal and non-verbal short-term memory impairment following hemispheric damage. *Cortex*, *11*(4), 341–354.
- Delnord, M., Blondel, B., & Zeitlin, J. (2015). What contributes to disparities in the preterm birth rate in European countries? *Current Opinion in Obstetrics and Gynecology*, *27*(2), 133–142.
- Feldmann-Wüstefeld, T. (2021). Neural measures of working memory in a bilateral change detection task. *Psychophysiology*, *58*(1), e13683.
- Feldmann-Wüstefeld, T., Vogel, E. K., & Awh, E. (2018). Contralateral delay activity indexes working memory storage, not the current focus of spatial attention. *Journal of cognitive neuroscience*, *30*(8), 1185–1196.
- Finke, K., Neitzel, J., Bäuml, J. G., Redel, P., Müller, H. J., Meng, C., Jaekel, J., Daamen, M., Scheef, L., Busch, B., et al. (2015). Visual attention in preterm born adults: specifically impaired attentional sub-mechanisms that link with altered intrinsic brain networks in a compensation-like mode. *Neuroimage*, *107*, 95–106.
- Fougnie, D., Asplund, C. L., & Marois, R. (2010). What are the units of storage in visual working memory? *Journal of vision*, *10*(12), 27–27.
- Fukuda, K., Mance, I., & Vogel, E. K. (2015). α power modulation and event-related slow wave provide dissociable correlates of visual working memory. *Journal of Neuroscience*, *35*(41), 14009–14016.
- Fuster, J. M., & Jervey, J. P. (1981). Inferotemporal neurons distinguish and retain behaviorally relevant features of visual stimuli. *Science*, *212*(4497), 952–955.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological bulletin*, *134*(1), 31.
- Gnadt, J. W., & Andersen, R. A. (1988). Memory related motor planning activity in posterior parietal cortex of macaque. *Experimental brain research*, *70*, 216–220.

- Goldenberg, R. L., Culhane, J. F., Iams, J. D., & Romero, R. (2008). Epidemiology and causes of preterm birth. *The lancet*, *371*(9606), 75–84.
- Hardman, K. O., & Cowan, N. (2015). Remembering complex objects in visual working memory: Do capacity limits restrict objects or features? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(2), 325.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). The role of fixation position in detecting scene changes across saccades. *Psychological Science*, *10*(5), 438–443.
- Hyun, J.-S., & Luck, S. J. (2007). Visual working memory as the substrate for mental rotation. *Psychonomic bulletin & review*, *14*(1), 154–158.
- Irwin, D. E. (1991). Information integration across saccadic eye movements. *Cognitive psychology*, *23*(3), 420–456.
- Irwin, D. E. (1992). Memory for position and identity across eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(2), 307.
- Irwin, D. E., et al. (1993). Perceiving an integrated visual world. *Attention and performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience*, 121–142.
- Irwin, D. E., & Andrews, R. V. (1996). Integration and accumulation of information across saccadic eye movements.
- Irwin, D. E., Brown, J. S., & Sun, J.-s. (1988). Visual masking and visual integration across saccadic eye movements. *Journal of Experimental Psychology: General*, *117*(3), 276.
- Jiang, Y., Olson, I. R., & Chun, M. M. (2000). Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, *26*(3), 683.
- Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in cognitive sciences*, *2*(10), 389–398.
- Klaver, P., Smid, H. G., & Heinze, H.-J. (1999). Representations in human visual short-term memory: an event-related brain potential study. *Neuroscience letters*, *268*(2), 65–68.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in cognitive sciences*, *4*(4), 138–147.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*(6657), 279–281.
- Matin, E. (1974). Saccadic suppression: a review and an analysis. *Psychological bulletin*, *81*(12), 899.
- Mecklinger, A., & Pfeifer, E. (1996). Event-related potentials reveal topographical and temporal distinct neuronal activation patterns for spatial and object working memory. *Cognitive Brain Research*, *4*(3), 211–224.
- Mitanez, D. (2007). Glucose regulation in preterm newborn infants. *Hormone research*, *68*(6), 265–271.

- Nickisch, A., & Von Kries, R. (2009). Short-term memory (STM) constraints in children with specific language impairment (SLI): are there differences between receptive and expressive SLI?
- Oakes, L. M., Baumgartner, H. A., Kanjlia, S., & Luck, S. J. (2017). An eye tracking investigation of color–location binding in infants’ visual short-term memory. *Infancy*, 22(5), 584–607.
- Pashler, H. (1988). Familiarity and visual change detection. *Perception & psychophysics*, 44, 369–378.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16, 283–290.
- Pickering, H. E., Peters, J. L., & Crewther, S. G. (2023). A role for visual memory in vocabulary development: a systematic review and meta-analysis. *Neuropsychology Review*, 33(4), 803–833.
- Posner, M. (1984). Components of visual orienting. *Attention and performance X: Control of language processes/Lawrence Erlbaum*.
- Postle, B. R., & D’esposito, M. (2000). Evaluating models of the topographical organization of working memory function in frontal cortex with event-related fMRI. *Psychobiology*, 28(2), 132–145.
- Ranganath, C., & Blumenfeld, R. S. (2005). Doubts about double dissociations between short- and long-term memory. *Trends in cognitive sciences*, 9(8), 374–380.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological bulletin*, 124(3), 372.
- Rayner, K., & McConkie, G. W. (1976). What guides a reader’s eye movements? *Vision research*, 16(8), 829–837.
- Ruchkin, D. S., Johnson Jr, R., Grafman, J., Canoune, H., & Ritter, W. (1992). Distinctions and similarities among working memory processes: An event-related potential study. *Cognitive Brain Research*, 1(1), 53–66.
- Ruchkin, D., Johnson Jr, R., Grafman, J., Canoune, H., & Ritter, W. (1997). Multiple visuospatial working memory buffers: Evidence from spatiotemporal patterns of brain activity. *Neuropsychologia*, 35(2), 195–209.
- Ruff, H. A., & Capozzoli, M. C. (2003). Development of attention and distractibility in the first 4 years of life. *Developmental psychology*, 39(5), 877.
- Sansavini, A., Guarini, A., & Caselli, M. C. (2011). Preterm birth: Neuropsychological profiles and atypical developmental pathways. *Developmental disabilities research reviews*, 17(2), 102–113.

- Simmering, V. R. (2012). The development of visual working memory capacity during early childhood. *Journal of experimental child psychology*, *111*(4), 695–707.
- Tresch, M. C., Sinnamon, H. M., & Seamon, J. G. (1993). Double dissociation of spatial and object visual memory: Evidence from selective interference in intact human subjects. *Neuropsychologia*, *31*(3), 211–219.
- Vallar, G. E., & Shallice, T. E. (1990). Neuropsychological impairments of short-term memory. *Comprises chapters based on papers presented at a conference held in Villa Olmo, Como, Italy, Sep 14-16, 1987*.
- Vogel, Chawanpaiboon, S., Moller, A.-B., Watananirun, K., Bonet, M., & Lumbiganon, P. (2018). The global epidemiology of preterm birth. *Best practice & research Clinical obstetrics & gynaecology*, *52*, 3–12.
- 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 & Machizawa. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, *428*(6984), 748–751.
- Volkman, F. C. (1986). Human visual suppression. *Vision research*, *26*(9), 1401–1416.
- Wendelken, C., Baym, C., Gazzaley, A., & Bunge, S. (2011). Neural indices of improved attentional modulation over middle childhood. *Developmental cognitive neuroscience*, *1*(2), 175–186.
- Westermann, G., Mareschal, D., Johnson, M. H., Sirois, S., Spratling, M. W., & Thomas, M. S. (2007). Neuroconstructivism. *Developmental science*, *10*(1), 75–83.
- Wilken, P., & Ma, W. J. (2004). A detection theory account of change detection. *Journal of vision*, *4*(12), 11–11.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic bulletin & review*, *11*, 269–274.