



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione (DPSS)

Corso di laurea Magistrale in Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di laurea Magistrale

La memoria di lavoro nella prima infanzia: analisi del legame tra  
sviluppo del linguaggio e memoria fonologica tramite un nuovo  
test *online*

*Working memory in infancy: analysis of the link between language  
development and phonological memory by a new online test*

*Relatrice:*

Prof.ssa Silvia Elena Benavides Varela

*Correlatrice:*

Dott.ssa Natalia Reoyo Serrano

*Laureanda:* Tania Reato

*Matricola:* 2087608

Anno Accademico: 2023-2024



## Indice

Abstract .....	1
Introduzione.....	3
Capitolo I - La memoria di lavoro dall'adulto alla prima infanzia.....	5
1.1. Modelli di memoria nell'adulto.....	5
1.1.1 Limiti del modello modale .....	6
1.1.2 Sistemi di memoria a lungo termine .....	7
1.2. Modelli di Memoria di Lavoro.....	8
1.2.1 Una distinzione tra memoria a breve termine e memoria di lavoro.....	8
1.2.2 Modello multicomponenziale della memoria di lavoro .....	9
1.2.3. Teoria degli <i>embedded processes</i> di Cowan (1988) .....	12
1.2.4. Modularità o unitarietà della memoria di lavoro .....	13
1.2.5 Differenze individuali nella memoria di lavoro.....	14
1.2.6 Basi neurali della memoria di lavoro in età adulta.....	15
1.3 La memoria di lavoro in età evolutiva .....	17
1.3.1 Memoria di lavoro in età pre-scolare e scolare.....	17
1.3.2 Differenze individuali nella memoria di lavoro in età evolutiva .....	19
1.3.3 Presupposti teorici e di ricerca per lo studio della cognizione nell'infanzia e nella prima infanzia .....	20
1.3.4 Memoria uditiva e memoria fonologica alla nascita .....	24
1.3.5 Memoria di lavoro nella prima infanzia (0 – 2 anni) .....	27
Capitolo II - Lo sviluppo del linguaggio in relazione allo sviluppo della memoria di lavoro fonologica.....	33
2.1 Linguaggio: definizione e prospettive teoriche.....	33
2.1.1 Periodo sensibile per l'acquisizione del linguaggio.....	35
2.2 Elementi costitutivi del linguaggio e tappe di sviluppo linguistico .....	36
2.3 Meccanismi precoci di percezione del parlato e di sviluppo neurale .....	38
2.4. Il ruolo della sillaba nello sviluppo del linguaggio .....	43
2.5 Relazione tra linguaggio e memoria.....	45
2.5.1 Ipotesi del <i>loop</i> fonologico in relazione allo sviluppo linguistico .....	48
Capitolo III - ADAM, un test di memoria fonologica nella sua applicazione <i>online</i> .....	55
3.1 Introduzione e obiettivi di ricerca.....	55
3.2 Ipotesi di ricerca .....	55

3.3 Partecipanti.....	56
3.4 Metodo e procedura .....	58
3.4.1 Questionari e Diario del sonno .....	58
3.4.2 Test ADAM .....	59
3.5 Analisi dei dati.....	62
3.6 Risultati.....	65
3.6.1 Risultati delle analisi descrittive .....	65
3.6.2 Risultati delle analisi correlazionali .....	68
3.7 Discussione .....	75
3.7.1 Limiti e punti di forza dello studio.....	79
3.8 Conclusioni e prospettive future.....	80
Bibliografia.....	85

## Abstract

All'interno del presente elaborato, i primi due capitoli sono volti ad analizzare la letteratura riguardante lo sviluppo della memoria e lo sviluppo del linguaggio dall'infanzia all'età adulta. In particolare, il primo capitolo mira ad illustrare brevemente i principali modelli di memoria (a breve termine, a lungo termine e di lavoro), con un focus specifico sui dati sperimentali inerenti alla memoria uditiva e alla memoria di lavoro nel range d'età che va dalla nascita ai due anni. Il secondo capitolo analizza il tema dello sviluppo linguistico, esaminando i meccanismi percettivi, cognitivi, neurali e ambientali che ne costituiscono i prodromi sin dai primi momenti di vita. In particolare, questo capitolo approfondisce il legame tra memoria fonologica e sviluppo del linguaggio durante gli anni pre-scolari. Infine, il terzo capitolo si pone l'obiettivo di illustrare i dati raccolti su un piccolo campione di bambini/e dai 5 ai 26 mesi tramite un test *online* di memoria fonologica. I dati raccolti sono stati poi correlati con le informazioni emerse da un questionario compilato dai genitori inerenti allo sviluppo del linguaggio e dei/lle loro bambini/e.



## Introduzione

A partire dagli anni Novanta del secondo scorso, l'avvento delle Neuroscienze cognitive dello sviluppo, ha permesso di rilevare ed approfondire le precoci capacità cognitive che emergono nei bambini sin dalla nascita, se non prima di essa. Già dalle 30 settimane gestazionali, infatti, grazie alla rapida maturazione dell'apparato uditivo e tramite l'applicazione di paradigmi sperimentali che prendono in considerazione come variabile dipendente i movimenti e il battito cardiaco fetali, si è evidenziata la capacità dei feti di riconoscere il suono della voce materna e distinguerla rispetto a quella di uno sconosciuto (Kisilevsky et al., 2003). Inoltre, neonati e bambini nei primi mesi di vita dimostrano capacità cognitive tutt'altro che scontate, come la capacità di discriminare fonemi di lingue differenti senza esservi mai stati esposti (Mehler et al., 1998; Khul et al., 2005) e la capacità di segmentare stimoli linguistici differenti e differenziarli sulla base della loro numerosità sillabica (Bijeljac-Babi et al., 1993; Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). La progressiva consapevolezza che sin dalla nascita la mente dei bambini non possa essere definita una "tabula rasa" ma che di fatto siano presenti abilità implicite anche molto complesse, ha portato all'amplificarsi dell'interesse verso le competenze cognitive precoci dei bambini. Su questa linea, il presente elaborato ha come oggetto l'indagine della memoria fonologica nella prima infanzia, nello specifico nel periodo che va dai 5 mesi ai 24 mesi. Con il termine "memoria fonologica" si intende riferirsi a quel processo mnestico che consente l'immagazzinamento e l'elaborazione di stimoli linguistici, che nei modelli adulti viene tipicamente fatto rientrare in una funzione della memoria di lavoro (Baddeley & Hitch, 1974). Anche se nella prima infanzia può sembrare improprio parlare di una capacità cognitiva tanto complessa come la memoria di lavoro, numerosi studi (Ross-Sheey, 2003; Kibbe & Leslie, 2013; Benavides-Varela et al., 2011; Benavides-Varela & Reoyo Serrano, 2021;) suggeriscono che essa possa essere di fatto presente, anche se in forma rudimentale. La maggior parte dei dati ad oggi disponibili per questa fascia d'età riguardano la componente visiva della memoria di lavoro (Ross-Sheey, 2003; Kibbe & Leslie, 2013; (Zosh & Feigenson, 2015)), ma grazie allo sviluppo di nuove tecniche e paradigmi di ricerca anche la componente fonologica inizia ad essere approfondita (Benavides-Varela et al., 2011; Benavides-Varela & Reoyo Serrano, 2021): si ritiene, infatti, che nella prima infanzia essa sia presente nella forma di magazzino fonologico, ossia quella componente che consente la ritenzione temporanea di materiale

verbale, e che la componente di reiterazione subvocalica emerga all'incirca verso i 7 anni (Baddeley et al., 2017). In questo studio (presentato all'interno del terzo capitolo), la memoria fonologica nella prima infanzia è stata testata tramite un compito *online*, denominato ADAM, basato sulla precoce capacità dei bambini/e che già dai 5 mesi si dimostrano in grado di eseguire compiti complessi in cui viene richiesta una certa capacità di rappresentazione e manipolazione di stimoli linguistici (Kabdebon & Dehaene-Lambertz, 2019). Gli obiettivi della ricerca presentata all'interno di questo elaborato sono quindi di comprendere se l'ADAM possa essere un test adatto alla misurazione della memoria fonologica e, di conseguenza, analizzare i dati derivati dalle prestazioni al test per comprendere se ci siano variazioni dovute all'età o ad altre variabili socio-anagrafiche nella capacità della memoria fonologica. Inoltre, i dati raccolti tramite questo compito verranno correlati anche con le informazioni inerenti allo sviluppo linguistico di ciascun bambino, raccolte tramite una forma breve del questionario "Primo Vocabolario del Bambino" (Caselli et al., 2015) somministrato ai genitori. Questo in ragione del fatto che la letteratura analizzata nel secondo capitolo mette in luce la presenza di una correlazione significativa tra magazzino fonologico e sviluppo del linguaggio (in particolare nei termini di ampiezza del vocabolario e correttezza della sintassi) a partire dai 2/3 anni di vita. Tuttavia, per problematiche di natura metodologica, risultano ancora piuttosto complicate la rilevazione e la misurazione di abilità cognitive complesse come la memoria di lavoro nei/lle bambini/e preverbali, ambito che si è appunto cercato di indagare tramite questo paradigma innovativo implementato nella sua versione *online*.

## Capitolo I - La memoria di lavoro dall'adulto alla prima infanzia

### 1.1. Modelli di memoria nell'adulto

La memoria può essere definita come l'insieme delle abilità cognitive che permettono di codificare, immagazzinare e recuperare esperienze e informazioni. Essa è essenziale per la realizzazione di diverse altre funzioni, come ad esempio il pensiero e il linguaggio, e si lega strettamente ad altri processi di tipo cognitivo, come l'attenzione e l'apprendimento.

È a partire dagli anni Cinquanta e Sessanta del secolo scorso, con l'accrescersi dell'influenza della teoria dell'elaborazione dell'informazione e della corrente cognitivista, che inizia ad affermarsi l'idea che la memoria non sia un costrutto unitario ma multicomponenziale, suddivisibile in strutture (i magazzini), all'interno delle quali transita l'informazione per mezzo di processi cognitivi, operati all'interno della mente, quella che i comportamentisti chiamavano “*black box*” (Macchi Cassia et al., 2012). Un assunto teorico centrale del cognitivismo e della teoria dell'elaborazione dell'informazione, nati come approcci sperimentale per lo studio del funzionamento della mente adulta, prevede che l'organizzazione e il funzionamento del sistema cognitivo vengano descritto tramite la “metafora del computer”, grazie alla quale viene posto un parallelismo tra la mente e il computer (Macchi Cassia et al., 2012). L'*hardware*, ossia la struttura del computer, è l'insieme di magazzini in cui transita l'informazione prima che venga emesso un output, mentre il *software* è l'insieme dei processi che elaborano l'informazione (Macchi Cassia et al., 2012). Per quanto riguarda l'aspetto funzionale del sistema cognitivo (il *software*), esso si compone di alcuni processi di base quali la codifica, l'immagazzinamento e il recupero che trasformano l'informazione in entrata in diversi formati rappresentazionali, nonché di alcuni processi di controllo che monitorano e pianificano l'esecuzione dell'attività cognitiva in linea con i limiti di tempo e spazio del sistema (Macchi Cassia et al., 2012). Per quanto riguarda l'aspetto strutturale del sistema cognitivo (l'*hardware*), un modello particolarmente influente e rappresentativo dell'approccio cognitivista elaborato verso la fine degli anni Sessanta, il modello modale di Atkinson e Shiffrin (1968) prevede che l'informazione in entrata dall'ambiente venga processata in modo sequenziale all'interno di tre sistemi fissi: la memoria sensoriale, la memoria a breve termine (MBT) e la memoria a lungo termine (MLT). Secondo questo

modello (Atkinson & Shiffrin, 1968), la memoria sensoriale è il primo magazzino in cui accede l'informazione acquisita dall'ambiente, ma essendo un sistema che trattiene per pochi millisecondi un'informazione visiva (memoria iconica) o uditiva (memoria ecoica) presentata rapidamente, ha molto a che fare con la percezione sensoriale piuttosto che con la memoria vera e propria (Baddeley et al., 2011). In seguito, l'informazione transita nella MBT che permette la ritenzione temporanea (15-30 secondi) di una piccola quantità di informazioni testata dopo un breve intervallo di tempo (Atkinson, & Shiffrin, 1968). Il compito usato classicamente per testare la capacità di questo magazzino, che si attesta attorno alle 7 +/- 2 unità, è lo span di cifre che richiede di ricordare le cifre presentate e il loro ordine (Baddeley et al., 2011). Atkinson e Shiffrin (1968) specificano inoltre che, applicando la ripetizione come strategia per ricordare gli *item* presentati, l'informazione acquisita può permanere nella MBT per il tempo desiderato dal soggetto e, nello specifico, per il tempo necessario a far transitare l'informazione nella MLT. Quest'ultimo è un magazzino a capacità (teoricamente) illimitata che consente di trattenere le informazioni per lunghi periodi di tempo (Atkinson & Shiffrin, 1968).

#### 1.1.1 Limiti del modello modale

Ad oggi questo modello (Atkinson & Shiffrin, 1968), pur rimanendo valido nella separazione generale dei tre sistemi di memoria, è ormai superato in favore di modelli che prendono in considerazione il fatto che il flusso per la memorizzazione di nuove informazioni non procede unicamente in senso unidirezionale (dall'ambiente alla MLT passando necessariamente per la MBT) ma anche in senso bidirezionale. Ne è una prova il fatto che l'esperienza del mondo immagazzinata nella memoria a lungo termine può influenzare il focus attentivo e determinare quindi la tipologia di informazione in entrata nel magazzino sensoriale (Baddeley et al., 2011). Inoltre, dati neuropsicologici raccolti in anni successivi hanno evidenziato come pazienti con una MBT gravemente danneggiata non sempre mostravano deficit generali nella memoria di lavoro e questo contrasta con la concezione alla base del modello modale per la quale la MBT coincide con lo spazio globale di memoria di lavoro (Baddeley et al., 2011). Secondo Baddeley et al. (2011) inoltre, un ulteriore limite del modello modale risiede nell'assunto che la reiterazione di un'informazione in MBT sia una strategia che garantisce l'apprendimento e quindi il trasferimento alla MLT. Mentre, ad oggi, la ricerca nell'ambito della Psicologia dello Sviluppo ha messo in luce come la reiterazione verbale sia solo una delle possibili

strategie, ma anche la più semplice e non sempre la migliore, che viene attuata in modo consapevole e spontaneo a partire dai 7 anni (Macchi Cassia et al., 2012). Altre strategie maggiormente efficienti, che migliorano i processi di codifica, immagazzinamento e recupero delle informazioni sono, ad esempio, il *chunking*, che consiste nel raggruppamento di informazioni per ridurre il numero di unità da memorizzare, e la creazione di collegamenti semantici tra il materiale da ricordare e quello già presente in MLT (Macchi Cassia et al., 2012). In generale, il ricorso alle strategie per migliorare il ricordo dipende soprattutto dall'efficienza del funzionamento esecutivo del soggetto, poiché richiede la capacità di selezionare e usare una strategia in modo appropriato e focalizzato al raggiungimento di un obiettivo attraverso processi di controllo, pianificazione e monitoraggio (Macchi Cassia et al., 2012).

### 1.1.2 Sistemi di memoria a lungo termine

Altri modelli di memoria elaborati nel corso degli anni si sono concentrati nell'approfondire la suddivisione della MLT. Il modello di Tulving (1972, citato in Baddeley, 2011) propone l'esistenza di due sistemi di memoria a lungo termine indipendenti: la memoria episodica e la memoria semantica. La prima consente l'immagazzinamento di ricordi ed esperienze della propria vita, con specifiche coordinate spazio-temporali, mentre la seconda permette l'immagazzinamento della conoscenza fattuale del mondo, ed è organizzata in modo tassonomico e associativo anziché cronologico (Baddeley et al, 2011). Pur essendo due sistemi indipendenti, uno stesso evento può essere registrato in entrambi, anche se con formati rappresentazionali diversi (Baddeley et al, 2011).

Una seconda differenziazione nella MLT è quella proposta da Squire (2004): egli distingue tra memoria dichiarativa (o esplicita) e memoria procedurale (o implicita). La prima, che ingloba al suo interno la memoria semantica ed episodica della classificazione di Tulving (1972, citato in Baddeley, 2011), si riferisce al richiamo intenzionale e/o consapevole di esperienze che possono essere recuperate dalla memoria "sotto forma di immagini o preposizioni" (Macchi Cassia et al., 2012, p. 94). La seconda si manifesta invece come una facilitazione, ossia un miglioramento di prestazione, in compiti di tipo percettivo, motorio o cognitivo. Essa fa quindi riferimento ad abilità inconsapevoli, non verbalizzabili, ed è alla base di moltissime funzioni complesse quali, ad esempio, il

condizionamento classico, il priming, l'apprendimento procedurale (Baddeley et al., 2011). Da un punto di vista evolutivo, la memoria implicita e la memoria esplicita hanno tappe di sviluppo molto differenti: mentre la prima è presente sin dalla nascita (se non prima), la memoria esplicita non emergerebbe prima della fine del primo anno di vita (Macchi Cassia et al., 2012). A tal proposito, Nelson (1995) ha proposto l'introduzione di un terzo sistema di memoria presente sin dalla nascita, la memoria pre-esplicita, che supportata dalla maturazione dell'ippocampo e dalla creazione di nuove connessioni tra questo e le aree corticali (soprattutto frontali), favorirebbe il passaggio tra i 6 e i 12 mesi, alla memoria esplicita (Nelson, 1995). Il primo esempio rappresentativo di come i due sistemi di MLT (implicita ed esplicita) siano separati anche a livello neuroanatomico, proviene dal caso del paziente H.M. (Milner, 1966 citato in Baddeley et al., 2011) il quale, in seguito alla resezione chirurgica bilaterale della formazione ippocampale, riportava una grave forma di amnesia nella componente esplicita ma non in quella implicita, rimasta preservata. Con l'avanzare della ricerca si sono poi aggiunti altri esempi clinici di dissociazioni semplici e doppie dissociazioni che hanno avvalorato la tesi a supporto di un cervello adulto avente moduli cognitivi e neuroanatomici specifici per la memoria. Ad esempio, l'area tegmentale ventrale (composta da ippocampo, corteccie entorinale e corteccia peririnale) risulta fondamentale per l'integrazione e il consolidamento delle memorie dichiarative, che in ultima battuta sembrano depositarsi permanentemente nella neocorteccia (Squire & Zola, 1996). Mentre la MLT implicita risulta supportata da strutture neuroanatomiche differenti e maggiormente distribuite nel cervello, come il cervelletto, il nucleo striato, l'amigdala e la neocorteccia (Squire & Zola, 1996).

## 1.2. Modelli di Memoria di Lavoro

Il focus di questa trattazione riguarda una specifica componente della memoria di lavoro (la componente fonologica), declinata in un range d'età specifico e precoce (5 – 24 mesi): in ragione di ciò si proseguirà nell'approfondire i modelli di memoria di lavoro nell'adulto per poi passare ad approfondire i modelli nell'infanzia.

### 1.2.1 Una distinzione tra memoria a breve termine e memoria di lavoro

Nel parlare di memoria di lavoro è necessario porre un'importante distinzione con la MBT poiché i due sistemi, anche se spesso sovrapposti a livello concettuale, non coincidono. Come già accennato nel paragrafo precedente, nel modello modale di Atkinson e Shiffrin

(1968) la MBT veniva concepita come spazio di lavoro globale per l'elaborazione delle informazioni. Ma questo modello è andato a scontrarsi negli anni successivi con altri dati di ricerca e teorie. In primo luogo, l'assunzione che la reiterazione di un *item* fosse sufficiente per il trasferimento in MLT venne messa in discussione dal principio dei livelli di elaborazione di Craik & Lockhart (1972, citato in Baddeley et al, 2011), per il quale la memorizzazione dipende in misura maggiore dalla profondità dei livelli di elaborazione (ad esempio, elaborazione visiva, fonologica o semantica) piuttosto che dalla semplice ripetizione. Questo principio è stato confermato come un effetto affidabile e robusto dalla ricerca negli anni successivi (Baddeley et al., 2011). Il secondo problema nel modello modale consiste nel fatto che si scontra con alcuni dati neuropsicologici emersi a partire dagli anni Settanta (Shallice & Warrington, 1970), che evidenziavano come deficit anche gravi a carico della MBT non corrispondessero con una disfunzione generale della memoria di lavoro, poiché i processi cognitivi complessi come il ragionamento e la comprensione ne rimanevano preservati. A partire da questi dati, negli anni Settanta Baddeley e Hitch (1974) studiarono sperimentalmente la separatezza tra questi due sistemi tramite il test di *span* di cifre (per la misurazione della MBT) associato ad un compito di ragionamento semantico (che impiega la memoria di lavoro), arrivando alla formulazione del modello multicomponenziale della memoria di lavoro (Baddeley & Hitch, 1974).

### 1.2.2 Modello multicomponenziale della memoria di lavoro

Il termine "memoria di lavoro" fa riferimento, all'interno del modello di Baddeley e Hitch (1974), ad un sistema di memoria temporaneo volto all'elaborazione attiva di informazioni, alla base di attività cognitive complesse come il ragionamento e l'apprendimento. Esso si discosta quindi dalla semplice funzione di ritenzione e immagazzinamento della MBT. Nella prima elaborazione del modello (Baddeley & Hitch, 1974) la memoria di lavoro si compone di tre sistemi differenti ma allo stesso tempo cooperanti tra loro: il *loop* fonologico, il taccuino visuo-spaziale e l'esecutivo centrale.

Il *loop* fonologico è un modello di MBT verbale composto, a sua volta, da due sottocomponenti: un magazzino di ritenzione temporaneo e un processo di ripetizione articolatorio (Baddeley & Hitch, 1974). Le informazioni in entrata nel magazzino

fonologico sono soggette a decadimento nel giro di qualche secondo, a meno che non intervenga il processo di ripetizione vocale o subvocale che consente di “rinfrescare” le informazioni e ritenerle nel magazzino per il tempo desiderato (Baddeley & Hitch, 1974). All’interno di questo sistema è possibile ritenere un numero limitato di *item* presentati in modalità sia uditiva che visiva (nel caso di quest’ultima modalità, la condizione necessaria per l’accesso al *loop* è che gli *item* possano essere denominati tramite articolazione vocalica o subvocalica, come nel caso di cifre, oggetti, ecc.). Il *loop* fonologico è soggetto ad alcuni effetti caratteristici: in primo luogo l’effetto di similarità fonologica (Conrad, 1964, citato in Baddeley et al., 2011), per il quale lo *span* di *item* uditivi o visivi diminuisce quando gli *item* hanno suoni simili, poiché avendo meno caratteristiche distintive è più facile confonderli tra loro nel processo di ripetizione; in secondo luogo, l’*effetto di soppressione articolatoria*, per il quale il processo di ripetizione viene annullato se contestualmente è richiesto al soggetto di ripetere una parola irrilevante (Baddeley et al., 2011). In ultimo, l’*effetto di lunghezza della parola* per il quale, a mano a mano che la lunghezza delle parole da ricordare aumenta, la prestazione peggiora (Baddeley et al., 2011). Questo avviene perché il tempo di articolazione delle parole aumenta con la lunghezza delle stesse lasciando più spazio al decadimento.

L’importanza del *loop* fonologico si rende evidente se analizzato alla luce della sua funzione evolutiva, che non consiste ovviamente nella mera ripetizione di liste di parole o numeri (Baddeley et al., 2011). Grazie allo studio del paziente P.V. (Baddeley et al., 1988, citato in Baddeley et al., 2011), che riportava un deficit neuropsicologico puro del *loop* fonologico in concomitanza con la difficoltà ad apprendere una nuova lingua, gli autori hanno formulato l’ipotesi di una correlazione tra acquisizione del linguaggio e funzionamento del *loop* fonologico. A conferma di questa correlazione, lo studio di Gathercole e Baddeley (1990) ha evidenziato un chiaro legame tra la prestazione al test di ripetizione di non-parole (a carico del *loop* fonologico) e il livello di sviluppo linguistico: bambini di 8 anni con Disturbo Primario del Linguaggio (DPL) mostravano una prestazione al test di non-parole equivalente a quella di bambini di 4 anni. Negli anni a seguire, altri studi hanno avvalorato l’ipotesi del legame tra *loop* fonologico e acquisizione del vocabolario, nonché del legame tra *loop* fonologico e apprendimento della grammatica e della sintassi, nonostante queste siano competenze molto complesse dipendenti da numerose abilità (Gathercole et al., 1992; Baddeley et al., 2017).

Il secondo sistema illustrato nel modello multicomponenziale di Baddeley e Hitch (1974) è il taccuino visuo-spaziale, responsabile della ritenzione di item codificati in modalità visiva o spaziale. Salway e Logie (1995) hanno ipotizzato che questo secondo sistema si componga (in modo simile al *loop* fonologico) di due sottocomponenti: il *visual cache* per la ritenzione passiva degli item visuo-spaziali e l'*inner scribe*, un processo di ripetizione degli item che consente di “rinfrescare” la traccia mnestica (Salway & Logie, 1995).

Il modello multicomponenziale (Baddeley & Hitch, 1974) assume che la memoria di lavoro sia controllata dall'esecutivo centrale, un sistema attentivo a capacità limitata che funge da processo di controllo, di selezione e di manipolazione dei contenuti dei due sottosistemi precedentemente descritti. L'esecutivo centrale opera secondo due modalità di controllo: una automatica, basata su abitudini pregresse e poco dispendiosa in termini attentivi; l'altra basata su un Sistema Attentivo Supervisore (SAS), a capacità limitata, che entra in gioco nella risoluzione di situazioni nuove o conflitti decisionali (Baddeley et al., 2011). Inoltre, il SAS correla fortemente con il funzionamento dei lobi frontali: ne è una prova il fatto che pazienti con lesioni frontali (soprattutto se bilaterali) possono incorrere in problemi di controllo attentivo, di monitoraggio e di appropriatezza del comportamento (Baddeley et al., 2011).

#### *Revisione del modello multicomponenziale*

Il modello multicomponenziale di memoria di lavoro presenta alcuni ordini di problemi, primo su tutti lo spiegare come la memoria di lavoro e la MLT interagiscano tra loro (Baddeley, 2000). Baddeley ha quindi introdotto nel modello una quarta componente, il *buffer* episodico, che consiste in un sistema di immagazzinamento temporaneo e limitato capace di supportare informazioni in entrata da entrambi i sottosistemi della memoria di lavoro (*loop* fonologico e taccuino visuo-spaziale) e dalla MLT, in grado inoltre di creare rappresentazioni integrate e coerenti in codice multimodale (per l'appunto, in forma episodica) (Baddeley, 2000). L'autore ipotizza che questa nuova componente sia posta sotto il controllo dell'esecutivo centrale e che sia accessibile alla consapevolezza della persona (Baddeley, 2000). In questa revisione del modello Baddeley ha inoltre esplicitato i nessi bidirezionali presenti tra i sottosistemi di memoria di lavoro e i sistemi di memoria a lungo termine, quali semantica visiva, linguaggio e MLT episodica, evidenziando quindi

un sistema di memoria di lavoro, oltre che multicomponenziale, anche dinamico e fluido tra le diverse componenti (Baddeley, 2000).

### 1.2.3. Teoria degli *embedded processes* di Cowan (1988)

Nonostante il grande successo riscontrato negli anni e i numerosi dati sperimentali e neuropsicologici a sostegno, il modello multicomponenziale non è l'unico modello di memoria di lavoro esistente. Un altro modello molto influente elaborato verso la fine degli anni Ottanta è il modello degli *embedded processes* di Cowan (1988, citato in Cowan et al., 2021). Secondo l'autore, la memoria si compone di un magazzino sensoriale che trattiene le informazioni per pochi millisecondi prima che queste abbiano accesso alla MLT. La memoria di lavoro, in questo modello, consiste nell'"*insieme delle componenti che trattengono temporaneamente una quantità limitata di informazioni in uno stato di attivazione necessario a processarle*" (Logie et al., 2021, p. 45). In questo senso, quindi, essa è posta sotto il controllo di processi attentivi, paragonabili all'esecutivo centrale del modello multicomponenziale, che riattivano la localizzazione in memoria a lungo termine delle informazioni desiderate. Ne consegue che un'informazione non può avere accesso alla memoria di lavoro se prima il focus attentivo non ha "preso contatto" con la sua localizzazione in MLT (Logie et al., 2021). Nel suo modello Cowan, inoltre, assume che le informazioni riattivate dalla MLT abbiano un codice multidimensionale simile a quello postulato da Baddeley per il *buffer* episodico, e che la capacità della memoria di lavoro sia in media di 4 *item* o *chunks*, invece che di 7 come classicamente ipotizzato da Miller (1956). Come nel modello multicomponenziale, anche nel modello degli *embedded processes* viene proposto che gli *item* in memoria di lavoro vadano incontro a decadimento qualora non vengano reiterati oppure aggiornati dal focus attentivo (Adams et al., 2018). Inoltre, anche Cowan (2021) assume l'esistenza dell'effetto di interferenza dato dalla contemporanea elaborazione di *item* dello stesso tipo, affermando che proprio questo effetto sia la prova che all'interno della memoria di lavoro vi sia un'elaborata tassonomia di magazzini, di cui però non approfondisce la suddivisione. Com'è possibile notare, all'interno di questo modello viene posto un forte accento sugli aspetti attentivi e di sviluppo della capacità della memoria, a differenza del modello multicomponenziale di Baddeley e Hitch che si focalizza sul dettagliare le sottocomponenti della memoria di lavoro e avvalorare questi dati con evidenze derivate da casi di dissociazioni neuropsicologiche (Baddeley et al., 2011).

#### 1.2.4. Modularità o unitarietà della memoria di lavoro

Una questione molto dibattuta inerente ai modelli di memoria di lavoro sopra presentati è se essi possano definirsi modulari oppure unitari. Per modularità si intende l'organizzazione e il livello di compartimentazione del sistema cognitivo, mentre per unitarietà il livello di non-compartimentazione dello stesso (Adams et al., 2018). Entrambi i modelli sopra citati sono stati formulati avendo come sistema di riferimento la mente dell'adulto che, secondo l'approccio cognitivista, ha la caratteristica pregnante di essere costituita da un insieme di elaboratori dominio-specifici, ossia processi specializzati nell'elaborazione di specifiche tipologie di informazione (Macchi Cassia et al., 2012). Adams et al (2018) hanno quindi realizzato un confronto tra i diversi modelli per evidenziare il grado di modularità o unitarietà di ognuno di essi. Viene così evidenziato come il modello modale di Atkinson e Shiffrin (1968) si ponga esattamente nel mezzo tra i due estremi, in quanto differenzia i tre magazzini di memoria ma non effettua una suddivisione ulteriore all'interno della memoria a breve termine o di lavoro (Adams et al., 2018). Il modello degli *embedded processes* di Cowan (1988) viene invece spostato verso un'organizzazione unitaria, poiché descrive la memoria di lavoro incorporata all'interno della MLT e dipendente dal focus attentivo (Adams et al., 2018). Tuttavia, neanche in questo si può parlare di un modello completamente unitario poiché anche Cowan assume l'esistenza dell'effetto di interferenza tra informazioni dello stesso tipo che è tipico dei modelli modulari (Adams et al., 2018). Il modello multicomponenziale viene invece posto verso un grado di modularità intermedio, in quanto opera una dettagliata suddivisione tra i sistemi e i sottosistemi di memoria di lavoro sulla base sia della capacità di immagazzinamento che del tempo di decadimento (Adams et al., 2018). A questo riguardo è importante notare come nella concezione di Baddeley (2017) la descrizione data da Fodor nel suo libro "*The modularity of mind*" (1983) riguardo alla modularità dell'architettura cognitiva sia troppo estrema e rigida per adattarsi ai modelli teorici e sperimentali di memoria: egli infatti, concepiva i moduli cognitivi come unità di elaborazione degli input esterni altamente specifiche per il tipo di informazione, specializzate e incapsulate anche a livello neurale (Fodor, 1983 citato in Logie et al., 2021). Questo non toglie che, secondo Baddeley (2017), il modello multicomponenziale di memoria di lavoro sia un modello modulare, nella misura in cui è composto di un certo numero di sistemi connessi tra di loro che variano nel loro grado di

compartimentazione. Questa spiegazione acquisisce ancora più validità se si tiene in considerazione che il cervello è strettamente interconnesso a livello neurale, e che queste connessioni sono alla base di un funzionamento altamente ordinato, efficiente ma anche creativo del sistema cognitivo (Baddeley, 2017). L'autore specifica, inoltre, che dal suo punto di vista è più proficuo concentrarsi nell'approfondire le connessioni tra i diversi sistemi e i processi percettivi e di più alto livello (come il linguaggio e il pensiero), piuttosto che indagare il livello di modularità di una singola unità o modulo (Baddeley, 2017). A questo riguardo, un ulteriore approccio alla memoria di lavoro nato negli anni Ottanta si è concentrato sullo studio delle differenze individuali nella capacità di immagazzinare ed elaborare le informazioni, evidenziando così la stretta correlazione tra funzionamento della memoria di lavoro e capacità cognitive di alto livello (Baddeley et al., 2011).

#### 1.2.5 Differenze individuali nella memoria di lavoro

Questo nuovo approccio alla memoria di lavoro è nato grazie ad uno studio di Daneman & Carpenter (1980), i quali hanno elaborato un particolare test per indagare la memoria di lavoro: esso richiedeva ai soggetti di ricordare, a mano a mano che venivano lette, le ultime parole di una serie di frasi, con l'obiettivo ultimo di correlare le prestazioni a questo compito con le prestazioni, degli stessi soggetti, in compiti di comprensione del linguaggio. Questa tipologia di test, insieme ad altri creati successivamente, ha preso il nome di "test di span complesso". Per test di span complesso si intende un compito che prevede il ricorso sia alla capacità di immagazzinamento/reiterazione (che avviene da parte del *loop* fonologico o del taccuino visuo-spaziale a seconda della tipologia di *input*), sia alla capacità di manipolazione delle informazioni (ad opera dell'esecutivo centrale) nella memoria di lavoro. Al contrario, test di *span* semplici richiedono l'impiego della sola capacità di immagazzinamento in termini verbali o visuo-spaziali: un classico esempio, come già accennato nei paragrafi precedenti, è il test di *span* di cifre, come anche il test di memoria di parole. Grazie allo studio di Daneman e Carpenter (1980) e ad altri sviluppati successivamente, si è evidenziata una robusta correlazione tra prestazioni ai test di *span* complesso e numerose capacità cognitive, tra cui comprensione del linguaggio, composizione di testi scritti e capacità di apprendimento (Baddeley et al., 2011).

Questo ha portato a domandarsi quali fattori possano esserci alla base di questa correlazione. Secondo la teoria del controllo inibitorio di Engle (1989, citato in Baddeley et al., 2011), alla base dei compiti di *span* complesso vi è la difficoltà a salvaguardare il ricordo degli item dall'effetto di interferenza proattiva, ossia la tendenza degli *item* precedenti a competere per il recupero con gli item da rievocare. Ad esempio, in compiti di *span* complesso di operazioni, in cui viene chiesto di eseguire delle operazioni aritmetiche tenendo a mente le parole che le precedono, l'interferenza data dall'esecuzione delle operazioni compete con il recupero delle parole (Baddeley et al., 2011). Engle (1989, citato in Baddeley et al., 2011) riconduce questo effetto alla capacità di controllo inibitorio, ossia alla capacità di inibire informazioni irrilevanti a favore del mantenimento di informazioni importanti per il compito, una funzione cognitiva che rientra all'interno delle più variegate funzioni esecutive. Il termine ombrello "funzioni esecutive" indica per l'appunto l'insieme dei processi di alto livello implicati nel controllo cognitivo *top-down* (ossia, dall'alto verso il basso), con l'obiettivo di facilitare il comportamento diretto ad uno scopo, ed includono ad esempio la pianificazione, lo *switch* attentivo e la memoria di lavoro (Gathercole et al., 2008). Proprio la necessità di alternare l'attenzione tra due compiti (*task switching*) è stato proposto da altri autori (Towse & Hitch, 1995, citato in Baddeley et al., 2011) come possibile processo alla base della difficoltà dei compiti di *span* complesso, poiché ai soggetti viene richiesto di spostare l'attenzione dal mantenimento della traccia al compito secondario e viceversa, e questo favorirebbe il decadimento della traccia stessa. Quest'ultima ipotesi si lega inoltre all'ipotesi della condivisione delle risorse (Lepine, 1995, citato in Baddeley et al. 2011), per la quale i compiti di *span* complesso sono eseguiti grazie alla *refresh* in termini attentivi (più che di reiterazione subvocalica) degli *item* da tenere a mente, che si rende possibile solo se tra i due compiti contingenti il soggetto ha il tempo necessario di rivolgere di tanto in tanto l'attenzione agli *item target* (le cui tracce tendono ad affievolirsi in modo proporzionale con l'aumentare del tempo) (Baddeley et al., 2011).

#### 1.2.6 Basi neurali della memoria di lavoro in età adulta

Come esemplificato nel corso dei precedenti paragrafi, lo studio della memoria di lavoro avviene tramite paradigmi comportamentali e, in età adulta, anche tramite lo studio di singole o doppie dissociazioni neuropsicologiche. Si sono aggiunte poi tecniche di registrazione di singolo neurone all'interno dell'ambito della psicologia animale e

tecniche di *neuroimaging*, che hanno permesso di entrare nel dettaglio delle basi neurali della memoria di lavoro. Nell'ambito delle tecniche di neuroimmagine, grazie all'impiego della tomografia a emissione di positroni (PET) che permette di rilevare i livelli di attività di diverse regioni cerebrali connesse all'esecuzione di un compito, si sono individuate due regioni distinte sottostanti al funzionamento del *loop* fonologico: l'immagazzinamento di materiale verbale in MBT sarebbe infatti supportato da aree temporo-parietali dell'emisfero sinistro mentre il processo di ripetizione subvocale appare connesso al funzionamento dell'Area di Broca, in sede più frontale, implicata notoriamente nella produzione del linguaggio parlato (Baddeley et al., 2011). Per quanto riguarda invece la componente visuo-spaziale della memoria di lavoro, le basi neurali si differenziano tra regioni ventrali per l'elaborazione di oggetti/configurazioni e regioni dorsali per l'elaborazione delle componenti spaziali (Smith & Jonides, 1997, citato in Baddeley et al., 2011).

Per quanto riguarda le basi neurali della componente esecutiva della memoria di lavoro, che nel modello multicomponenziale si configura come l'esecutivo centrale, la ricerca ha messo in luce da tempo come le aree frontali sono alla base di questo tipo di funzioni. Già i dati neuropsicologici classici avevano fornito supporto a questa tesi, evidenziando come una disfunzione di queste aree comporti una disfunzione esecutiva. A questo riguardo, negli anni Novanta lo psicologo Damasio ha ripreso la trattazione del caso di Phineas Gage (Damasio et al., 1994), uomo vissuto nella seconda metà dell'Ottocento che, dopo una lesione selettiva delle aree cerebrali prefrontali ventro-mediali, aveva riportato una forte disinibizione sociale e discontrollo comportamentale, a fronte però di una memoria di lavoro preservata. Questa trattazione (Damasio et al., 1994) ha messo in luce come le funzioni esecutive siano parzialmente dissociabili tra componenti "calde" (ad esempio: inibizione comportamentale, comportamento socialmente appropriato, controllo dell'impulsività) e componenti "fredde" (ad esempio: memoria di lavoro, pianificazione, flessibilità cognitiva, *problem solving*), anche nel loro substrato neurale. In seguito, grazie all'utilizzo di tecniche di neuroimmagine funzionale, si è arrivati a distinguere tre diversi *network* alla base delle funzioni esecutive: un *network* frontale dorso-laterale coinvolto nelle funzioni esecutive *cold* (ossia, indipendente da componenti emozionali), un *network* frontale ventro-mediale coinvolto nei processi motivazionali delle funzioni esecutive e un circuito orbito-frontale, che sottende alle funzioni esecutive *hot* (che vengono influenzati

da componenti emozionali) e quindi ad un comportamento socialmente appropriato (Vicari & Maria Cristina Caselli, 2010). Ad oggi, quindi, appare più appropriato parlare di *network* invece che di singole aree cerebrali, nella consapevolezza che, se anche un'area risulta necessaria per un particolare processo cognitivo, questo non la rende esaustiva del suo funzionamento, essendo il cervello connesso attraverso reti neurali che lo rendono estremamente interattivo a livello funzionale (Vicari & Maria Cristina Caselli, 2010).

### 1.3 La memoria di lavoro in età evolutiva

In questo paragrafo viene proposto un'iniziale approfondimento della letteratura in merito alla memoria di lavoro in età prescolare; successivamente vengono introdotti i principi che guidano la ricerca in Psicologia dello sviluppo in età evolutiva, al fine di entrare nel vivo, nell'ultimo sottoparagrafo, delle scoperte inerenti alla memoria nella prima infanzia.

#### 1.3.1 Memoria di lavoro in età pre-scolare e scolare

Gathercole et al. (2004) hanno indagato lo sviluppo memoria di lavoro in bambini/e dai 4 ai 15 anni tramite una batteria di test in grado di approfondire vari aspetti della memoria di lavoro. Gli obiettivi di questo studio erano principalmente due (Gathercole et al., 2004): innanzitutto, cercare di capire se il modello multicomponenziale di memoria di lavoro, creato a partire dalle evidenze sulla memoria dell'adulto, potesse essere implementato anche in età evolutiva e, in secondo luogo, approfondire come cambiano le prestazioni ai test di memoria di lavoro durante lo sviluppo (Gathercole et al., 2004). I risultati di questo studio hanno portato alla conclusione che, a partire dai 6 anni, la memoria di lavoro può essere intesa alla stregua del modello multicomponenziale adulto, quindi composto da una struttura tripartita, governata dall'esecutivo centrale collegato a due sottocomponenti (il *loop* fonologico e il taccuino visuo-spaziale) (Gathercole et al., 2004). Differentemente, prima dei 6 anni la struttura della memoria di lavoro resta più sfumata, più simile ad una funzione cognitiva dominio-generale (Gathercole et al., 2004). Inoltre, gli autori hanno rilevato che le prestazioni ai test, che consistevano sia nella valutazione separata della capacità di ciascuna sottocomponente che in compiti di span complesso, migliorano in modo simil-lineare con l'aumentare dell'età fino ai 15 anni (Gathercole et al., 2004). Nello specifico, per quanto riguarda il *loop* fonologico, i dati disponibili

indicano che esso migliori in modo consistente a partire dai 7 anni grazie alla capacità dei bambini di ricorrere ad alcune strategie mnestiche, *in primis* la reiterazione subvocalica spontanea, che permette un ampliamento in termini quantitativi e temporali del materiale che è possibile ritenere in formato verbale (Gathercole et al., 2004). Altre strategie che influenzano la capacità di questo sottosistema e che migliorano in età scolare sono un aumento nella velocità di scansione del materiale durante il recupero e un miglioramento nei processi di *output* (Gathercole et al., 2004).

È stato riscontrato come anche il taccuino visuo-spaziale migliora in termini prestazionali durante gli anni scolastici: alcune ipotesi a spiegazione di questo riguardano l'aumento delle informazioni in MLT che permettono di creare collegamenti con il materiale visivo in entrata, il miglioramento delle strategie di elaborazione e recupero in forma visiva e l'aumentare delle capacità dell'esecutivo centrale (Gathercole et al., 2004). Prima dei 7 anni, i bambini ricorrono al taccuino visuo-spaziale per richiamare le caratteristiche fisiche degli stimoli presentati ma dopo questa età è stato riscontrato come si faccia sempre più affidamento (quando possibile) al *loop* fonologico per codificare e reiterare il materiale visivo (Gathercole et al., 2004).

In generale, quindi, lo sviluppo della memoria di lavoro consente un graduale miglioramento dello *span* di ogni sottosistema (*loop* fonologico e taccuino visuo-spaziale), della capacità organizzativa delle informazioni codificate delle strategie che possono essere implementate per la codifica, l'immagazzinamento e il recupero. Un fattore sovraordinato che permette un generico incremento di tutti questi aspetti è un miglioramento nel funzionamento esecutivo. Dopo i 5 anni, infatti, esso mostra un netto miglioramento dovuto in parte alla maturazione del substrato neurale (aumento della connettività tra lobi prefrontali e altre aree cerebrali) e in parte a fattori ambientali (inizio della scuola primaria) (Ahmed et al., 2019). Tuttavia, i prodromi delle funzioni esecutive sono molto precoci ed emergono sin dai primissimi mesi di vita, ad esempio:

- forme di controllo attentivo endogeno (ossia, volontario) e inibizione di un comportamento automatico (spostamento riflesso dello sguardo) emergono già a partire dai 4 mesi (Csibra et al., 1998);

- forme rudimentali di memoria di lavoro e inibizione motoria iniziano ad emergere tra gli 8 e i 12 mesi come evidenziato da compiti di *detour reaching* (Diamond, 2006);
- a partire dai 4-5 anni si evidenzia l'emergere di flessibilità cognitiva, che permette di passare da un compito all'altro e di adattarsi velocemente ai cambiamenti durante un compito (Zelazo et al., 1995).

In generale, è possibile affermare che il funzionamento esecutivo è cruciale per il successo scolastico e per la vita di tutti i giorni, che richiede spesso abilità di *problem solving*. Le FE, inoltre, si dimostrano migliori predittori della performance scolastica rispetto al quoziente intellettivo e al livello socio-economico (Ahmed et al., 2019). Bambini con deficit nelle FE mostrano problemi a livello comportamentale e, negli adulti, gli stessi deficit si possono tradurre in comportamenti devianti (Gathercole et al., 2004).

### 1.3.2 Differenze individuali nella memoria di lavoro in età evolutiva

All'interno della loro ricerca, Gathercole e Pickering (2000) si sono soffermate sull'indagare la correlazione tra il funzionamento della memoria di lavoro e le fragilità inerenti la sfera degli apprendimenti in età scolare, dimostrando come bambini con Bisogni Educativi Speciali (BES) mostrino prestazioni scadenti nei test di memoria di lavoro e come difficoltà di lettura o nell'aritmetica siano associate a prestazioni peggiori nei test di MBT fonologica e nei compiti di span complesso (Gathercole & Pickering, 2000). Un'ulteriore correlazione, quella tra memoria di lavoro e DPL, ha evidenziando come il magazzino a breve termine fonologico sia particolarmente deficitario nel gruppo di bambini con tale disturbo, mentre il processo di ripetizione vocale e subvocale non appare differire rispetto al gruppo di controllo (Gathercole & Baddeley, 1990). I risultati appena elencati sono estremamente rilevanti non solo per la ricerca in ambito psicologico ma anche per l'applicazione clinica e in ambito scolastico di queste scoperte. Se, infatti, alla base di un deficit nella scrittura, nella lettura o nel calcolo risulta esserci una fragilità di base nella memoria di lavoro, risulterà proficuo impostare un percorso che rinforzi questa componente piuttosto che agire unicamente o in maniera diretta nell'abilità complessa, che peraltro è solo una delle abilità in cui si evidenzia il deficit. Uno studio successivo (Gathercole et al., 2008) ha infatti evidenziato come bambini con prestazioni deficitarie ai test di memoria di lavoro, che presentano quindi diversi livelli di difficoltà negli apprendimenti scolastici, vengono descritti dalle insegnanti come distratti, incapaci

di portare a termine le consegne e di monitorare la qualità del loro lavoro e, in generale, con grandi difficoltà attentive e di *problem solving* che si riflettono sul comportamento tenuto in classe. Gathercole et al. (2008) hanno rilevato come questi bambini molto spesso, nel corso degli anni scolastici, ricevano una diagnosi di Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD) (Gathercole et al., 2008): in questa forma di atipicità del neurosviluppo, la memoria di lavoro è una delle funzioni esecutive deficitarie che si ripercuote in modo preponderante nella sfera dei problemi attentivi (Gathercole et al., 2008). Gathercole et al. (2008) ipotizzano che il deficit di memoria di lavoro e il deficit attentivo co-occorrano, in quanto il deficit nella capacità di memoria di lavoro conduce ad una perdita di informazioni in entrata compromettendo la possibilità dei bambini di portare a termine le consegne e complicando di conseguenza l'apprendimento e la performance scolastiche. In ragione di ciò, il bambino non è in grado di mantenere il focus attentivo sul compito e agli occhi di un osservatore esterno (come può essere un insegnante o un genitore) appare poco attento e distratto (Gathercole et al., 2008).

### 1.3.3 Presupposti teorici e di ricerca per lo studio della cognizione nell'infanzia e nella prima infanzia

La trattazione inerente ai modelli di memoria di lavoro e alle basi neurali, sviluppata all'interno del paragrafo 1.2, fa riferimento ad una particolare tipologia di popolazione, ossia la popolazione in età adulta. Le cose cambiano sensibilmente se si prende come riferimento la popolazione in età evolutiva, e ancor più se il range considerato riguarda la fascia di bambini in età pre-verbale (neonati e primi mesi di vita).

Prima di entrare nel vivo dello studio della memoria fonologica nella prima infanzia, una premessa importante va fatta sui presupposti teorici che accompagnano la ricerca nell'ambito della Psicologia dello Sviluppo. Un contributo fondamentale in tal senso è stato fornito negli anni Settanta dalla corrente HIP e dall'approccio cognitivista, che hanno permesso di spostare il focus sulle competenze percettive precoci che il bambino ha sin dalla nascita (e, come vedremo, anche prima della nascita), che erano state enormemente sottovalutate nel passato e dai precedenti approcci teorici, come ad esempio dalla corrente costruttivista, che considerava le limitate capacità di risposta dei bambini come una prova della loro immaturità cognitiva (Macchi Cassia et al., 2012). L'affermarsi dell'approccio dello HIP ha permesso invece di considerare come le abilità percettive

siano rappresentate sin dalle primissime fasi dello sviluppo, dal momento che i sistemi sensoriali si sviluppano con un certo anticipo rispetto ad altri sistemi, come ad esempio quello motorio (Macchi Cassia et al., 2012). Oltre a ciò, l'affinarsi delle tecniche di ricerca degli ultimi decenni ha permesso di focalizzarsi sulle precoci competenze percettive, attentive e cognitive dei neonati e dei bambini nei primi mesi (Macchi Cassia et al., 2012). È comunque importante considerare che i bambini, soprattutto nelle fasi precoci dello sviluppo, sono soggetti sperimentali "difficili", per una serie di ragioni (Macchi Cassia et al., 2012): innanzitutto, non controllano i loro stati neurocomportamentali, che sono altamente variabili (dal sonno profondo alla veglia) e si alternano frequentemente nell'arco della giornata (Macchi Cassia et al., 2012); in secondo luogo, i bambini possiedono un ridotto repertorio comportamentale, motivo per cui è molto più complesso inferire le loro capacità cognitive (Macchi Cassia et al., 2012). In ultimo, quando la ricerca coinvolge bambini in età preverbale non è possibile ricorrere a prove che prevedano la somministrazione di istruzioni verbali, lasciando come variabile osservata le risposte emesse spontaneamente dal bambino (Macchi Cassia et al., 2012).

Alla luce di queste complicazioni, sono stati elaborati paradigmi sperimentali *ad hoc* per lo studio della cognizione nella prima infanzia, basati su compiti controllati e al contempo sufficientemente attrattivi per i bambini che permettono di inferire i processi cognitivi sottostanti alle loro risposte comportamentali spontanee (Macchi Cassia et al., 2012). Per quanto concerne la modalità visiva (ossia la modalità di ricerca utilizzata nello studio approfondito nel terzo capitolo di questo elaborato), due dei paradigmi sperimentali più utilizzati nella prima infanzia sono il paradigma di preferenza visiva e il paradigma di familiarizzazione (o abituação) visiva. In entrambe le procedure, la fissazione visiva è la risposta comportamentale considerata informativa dei processi cognitivi sottostanti, e viene declinata nella misurazione dei seguenti parametri attentivi (Macchi Cassia et al., 2012):

- numero degli orientamenti dello sguardo nella direzione di ciascuno stimolo presentato;
- durata della fissazione verso ogni stimolo;
- tempo di fissazione totale degli stimoli presentati.

Per quanto concerne la tecnica di preferenza visiva, essa consiste nella presentazione simultanea di due stimoli visivi che differiscono per alcune caratteristiche percettive, e nella registrazione, tramite i parametri sopra elencati, della preferenza del bambino per uno dei due stimoli (Macchi Cassia et al., 2012). Alla preferenza visiva sottendono alcuni processi attentivi precoci, quali: la codifica delle informazioni contenute in entrambi gli stimoli, la discriminazione delle caratteristiche che li differenziano e la preferenza spontanea di uno dei due (Macchi Cassia et al., 2012). Questo paradigma, tanto semplice quanto informativo, ha permesso di rilevare la presenza, nei neonati e a pochi mesi di vita, sia di vincoli innati determinati biologicamente (ad esempio, la preferenza per i volti umani), che di preferenze acquisite per effetto dell'esperienza individuale (ad esempio, la preferenza per il volto materno) (Macchi Cassia et al., 2012).

La tecnica della familiarizzazione visiva consiste invece nella misurazione del decremento del tempo di fissazione in seguito alla ripetuta presentazione di uno stesso stimolo. Questa tecnica si articola classicamente in due fasi: una fase di familiarizzazione, in cui uno stesso stimolo viene presentato ripetutamente per un tempo prefissato, e una fase test, in cui lo stimolo "familiarizzato" viene presentato contestualmente ad uno stimolo nuovo (Macchi Cassia et al., 2012). Questo paradigma si fonda sulla naturale tendenza dei bambini a preferire la novità che in termini sperimentali questo si traduce in un maggiore tempo di fissazione dello stimolo nuovo, ammesso però che il bambino sia riuscito a codificare lo stimolo in fase di familiarizzazione e quindi a discriminare in due stimoli in fase test. Questo paradigma viene utilizzato per lo studio di numerose capacità percettive e cognitive della prima infanzia, come la capacità di discriminazione visiva, la categorizzazione percettiva e la memoria di riconoscimento (Macchi Cassia et al., 2012). All'interno del terzo capitolo di questo elaborato verrà presentata una variante innovativa del paradigma di familiarizzazione, realizzato nel tentativo di indagare la memoria di lavoro fonologica nei bambini dai 5 ai 24 mesi.

### *Il contributo delle Neuroscienze cognitive dello sviluppo*

Al di là della corrente HIP e del cognitivismo, che hanno dato un enorme contributo allo studio della Psicologia dello Sviluppo, negli anni Novanta ha iniziato ad emergere un ulteriore approccio allo studio dello Sviluppo: le Neuroscienze Cognitive dello Sviluppo (NCS). Esse rappresentano la cornice teorica e metodologica all'interno delle quali si

articolano le correnti teoriche contemporanee, soprattutto neurocostruttivismo, connessionismo ed *embodied cognition*, e costituiscono un approccio innovativo, interdisciplinare e dinamico allo studio della relazione bidirezionale tra sviluppo cerebrale e sviluppo dei processi cognitivi (Macchi Cassia et al., 2012). Le NCS derivano dalla commistione di diverse discipline, quali ad esempio; biologia, genetica, etologia, neuroscienze evolutive, neuropsicologia e psicologia dello sviluppo (Macchi Cassia et al., 2012). Proprio in questa interdisciplinarietà risiede il punto di forza di questo approccio, che ha come matrice il *cambiamento*, inteso in termini sia qualitativi che quantitativi, nel corso dello sviluppo (Macchi Cassia et al., 2012). Nel corso degli anni le NCS hanno dato prova del legame bidirezionale che vincola lo sviluppo cerebrale a quello cognitivo sin dai primi mesi di vita, effettuando progressivamente un cambiamento rispetto ai modelli neuropsicologici classici (Mento & Benavides Varela, 2017). Si è passati infatti da una concezione secondo cui l'emergere dei processi cognitivi dell'adulto dipende dalla rigida maturazione cerebrale ed estrinsecazione di moduli dominio-specifici determinati a livello genetico, ad una concezione dello sviluppo come processo epigenetico probabilistico e bidirezionale dovuto alla reciproca interazione tra i diversi possibili livelli di spiegazione dello sviluppo (livelli: genetico, neurobiologico, cognitivo, comportamentale e fenotipico) (Mento & Benavides Varela, 2017). Con il termine "epigenesi probabilistica bidirezionale" si fa riferimento al fatto che il percorso di sviluppo individuale, in modo simile a quanto teorizzava il costruttivismo piagetiano, non è determinato dalla nascita dalla presenza di alcuni geni ma dipende dalla complessa interazione tra fattori genetici, strutture neurobiologiche, processi cognitivi ed esperienza ambientale (Macchi Cassia et al., 2012). Questa interazione porta ad un'espressione fenotipica altamente variabile e probabilistica, quindi non pre-determinata (Macchi Cassia et al., 2012). Inoltre, l'influenza che l'ambiente ha sullo sviluppo ontogenetico non ha lo stesso impatto nel corso di tutta la vita dell'individuo ma si massimizza all'interno di alcune finestre di sviluppo, chiamate periodi sensibili (Macchi Cassia et al., 2012). Essi sono dei momenti nel corso dello sviluppo durante i quali l'organismo, sulla base della plasticità cerebrale, è particolarmente sensibile a specifiche esperienze ambientali che hanno quindi la massima probabilità di far emergere competenze motorie, sensoriali e cognitive (Macchi Cassia et al., 2012). Ad esempio, il periodo che va dalla nascita ai 2

anni è un periodo sensibile per l'emergere di numerose competenze nel bambino (Macchi Cassia et al., 2012).

Oltre a quanto già esposto, è importante notare come l'assunzione di una prospettiva neurocostruttivista abbia permesso di arrivare ad una concezione per cui l'architettura modulare della mente, che rende la mente dell'adulto un elaboratore di informazioni così efficiente, sia il risultato di una graduale modularizzazione di un substrato neurale che procede in sinergia con il processo di sviluppo (Macchi Cassia et al., 2012). Nella prima infanzia, infatti, sembra più appropriato parlare di un substrato neurale indifferenziato, e i moduli cognitivi (che appaiono ben visibili nell'adulto) sono in realtà un prodotto del processo di sviluppo stesso (Macchi Cassia et al., 2012).

In sintesi, lo sviluppo dal punto di vista delle NCS è quindi un processo estremamente complesso, che prende in causa molte variabili e ancor più le influenze che queste hanno le une sulle altre. Per questo nel corso degli anni le NCS hanno fatto affidamento su tecniche e strumenti di ricerca sempre più raffinati, in grado di misurare l'attività emodinamica ed elettrofisiologica cerebrale fin dai primi momenti di vita fetale e post-natale, evidenziando così la presenza di *network* cerebrali attivi molto precocemente, sia a riposo che in risposta a specifici stimoli sensoriali (Mento & Benavides Varela, 2017). I risultati di queste ricerche verranno approfonditi nei paragrafi successivi.

#### 1.3.4 Memoria uditiva e memoria fonologica alla nascita

In linea con gli aspetti teorici e di ricerca presentati sin qui, ad oggi la ricerca ha riscontrato come le funzioni cognitive, quali ad esempio memoria, attenzione, pensiero e linguaggio, siano plasmate sin dalle prime fasi dello sviluppo grazie all'interazione tra processi genetici, neurobiologici e di esperienza ambientali. Inoltre, numerosi studi evidenziano come il substrato neurale implicato in questi processi precoci coinvolge aree, come la corteccia frontale e prefrontale, che la ricerca per molti anni aveva ipotizzato attivarsi in fasi di sviluppo molto più tardive, che ora invece risultano implicate in processi cognitivi e di apprendimento estremamente precoci (Mento & Benavides Varela, 2017).

A partire dagli anni Novanta del secolo scorso l'affinarsi degli strumenti di indagine ha permesso di migliorare lo studio delle abilità percettive e mnestiche in epoca prenatale: è stato ad esempio dimostrato come già dalle 30 settimane gestazionali lo sviluppo

dell'apparato uditivo permetta al feto di reagire a stimoli uditivi esterni o interni mediati dal liquido amniotico, mentre una sufficiente maturazione dell'apparato visivo si ha solo dopo la nascita, in conseguenza dell'esposizione all'ambiente esterno (Kisilevsky et al., 2003). Ad esempio Kisilevsky e coll. (2003) hanno evidenziato come il feto nell'ultimo trimestre di gravidanza mostri un aumento del battito cardiaco quando in ascolto della voce materna rispetto alla voce di un estraneo, a conferma del fatto che la ripetuta esperienza della voce materna influenza i processi di memorizzazione e riconoscimento impliciti di stimoli uditivi. Inoltre, lo studio di Lecanuet & Garnier-Deferre (1993, citato in Guasti, 2007) ha evidenziato come già tra le 36-40 settimane i feti riconoscono i cambiamenti in una nuova sequenza di sillabe (ad es. "babi") presentata in fase test rispetto ad una sequenza con cui erano stati familiarizzati per alcuni minuti (ad es. "biba"): infatti, quando veniva presentata la nuova sequenza il battito cardiaco dei feti diminuiva, indice dell'avvenuta discriminazione dei suoni (Lecanuet & Garnier-Deferre, 1993, citato in Guasti, 2007). Questo risultato è stato confermato anche in un altro studio (Dehaene-Lambertz, 1998), in cui neonati prematuri nati a 35-36 settimane gestazionali dimostravano di saper discriminare tra due diverse sillabe.

Un'ulteriore ricerca, quella di Partanen et al. (2022) ha dimostrato, tramite rilevazione della componente *Mismatch Negativity*<sup>1</sup>, come i bambini a poche ore dalla nascita preferiscano la voce materna rispetto a quella paterna e come riescano a discriminare una ninna nanna ripetuta durante le ultime settimane di gestazione da una simile ma con alcune note alterate (Partanen et al., 2022). Questo permette di inferire che, durante l'esposizione prenatale alla ninna nanna, abbiano avuto luogo processi di apprendimento e memorizzazione impliciti che hanno reso possibile, alla nascita, la discriminazione tra voci diverse e caratteristiche acustiche differenti (Partanen et al., 2022). Un ulteriore paradigma spesso usato per indagare la memoria uditiva alla nascita è il paradigma *oddball*, una procedura sperimentale che prevede l'analisi dei potenziali evento-relati (ERP) in cui viene somministrato ripetutamente uno stimolo standard (ad esempio, una sillaba, un suono, una frequenza) a cui si aggiunge casualmente la comparsa di uno stimolo deviante (che differisce dallo stimolo standard per una qualche caratteristica)

---

<sup>1</sup> Mismatch Negativity (MMN): "componente del tracciato EEG di polarità negativa con picco massimo a circa 150-200 ms, generata dalla discrepanza tra la traccia sensoriale di memoria estratta durante la ripetizione dello stimolo standard e l'input sensoriale deviante" (Mento & Benavides Varela, 2017b)

(Mento & Bisiacchi, 2012). Contestualmente, viene rilevata l'attività elettroencefalografica e si dimostra come, alla comparsa dello stimolo deviante, sul tracciato compaia la componente MMN che non comparirebbe se il bambino non avesse codificato lo stimolo standard riuscendo quindi a discriminarlo dagli stimoli devianti (Mento & Bisiacchi, 2012). Grazie a questo paradigma non-invasivo ed implementabile anche in bambini molto piccoli, si sono raggiunte importanti scoperte per quanto riguarda diverse capacità presenti dalla nascita, inerenti memorizzazione di stimoli sensoriali, discriminazione di contrasti fonetici, riconoscimento del ritmo e delle informazioni prosodiche del linguaggio parlato (Mento & Bisiacchi, 2012). Una particolare categoria di stimoli uditivi, quella dei suoni del linguaggio, sembra godere di una sensibilità specifica ed estremamente precoce nei bambini, che a pochi giorni di vita mostrano una preferenza per il linguaggio parlato rispetto ad altri stimoli uditivi o al silenzio (Guasti, 2007).

La capacità di memorizzazione è un prerequisito alla base di numerosi processi cognitivi, tra cui l'apprendimento linguistico che sarà il focus principale del secondo capitolo di questo elaborato. Riguardo a questo tema, la ricerca di Benavides-Varela et al., (2011) mette in luce come già a pochi giorni dalla nascita siano presenti processi di memorizzazione a breve termine in modalità uditiva. In questo studio (Benavides-Varela et al., 2011), a neonati di poche ore di vita veniva ripetuta una parola bisillabica per un tempo di abituação di sei minuti e dopo due minuti di pausa veniva ripetuta la stessa parola oppure una parola con proprietà strutturali simili. Dai risultati emerge come la parola ascoltata in fase di abituação suscitava una risposta emodinamicamente inferiore in aree fronto-temporo-parietali, indice di un'avvenuta abituação e quindi del fatto che i neonati sono in grado di ricordare il suono specifico di questi stimoli uditivi (Benavides-Varela et al., 2011). I suoni del linguaggio sembrano godere di uno *status* privilegiato rispetto ad altri *input* uditivi, alla stregua di altri stimoli di rilevanza sociale come i volti umani e il movimento biologico. In merito a ciò, lo studio di Dehaene-Lambertz et al. (2002) ha impiegato la risonanza magnetica funzionale (fMRI) per rilevare quali aree cerebrali si attivino i bambini di tre mesi in risposta a parole e non-parole della lingua madre (Dehaene-Lambertz et al., 2002). I risultati indicano che già ad un'età così precoce le aree che si attivano in risposta alle parole sono molto simili a quelle che si attivano nel cervello adulto, con una lateralizzazione dell'emisfero sinistro (presente anche nel

cervello adulto) che non si evidenzia in risposta alle non-parole (Dehaene-Lambertz et al., 2002). Questi ed altri risultati inerenti alla relazione precoce tra linguaggio e memoria verranno ripresi all'interno del secondo capitolo.

Essendo le capacità di memoria presenti sin prima della nascita ed essendo la memoria di lavoro un processo da cui dipendono molte abilità cognitive nel corso dello sviluppo che, come già evidenziato, risulta compromessa nei casi di fragilità nell'apprendimento, nel linguaggio, nella comprensione o nel comportamento, un interesse di ricerca consiste nell'indagare come questo sistema si sviluppi nel corso della prima infanzia (Cowan, 2016).

### 1.3.5 Memoria di lavoro nella prima infanzia (0 – 2 anni)

Il numero di *item* che un adulto o un bambino può ritenere in memoria di lavoro non sempre coincide con il numero di *slot* disponibili (Cowan, 2016). Ad esempio, un *item* molto complesso può essere suddiviso in più parti o, al contrario, diversi *item* possono essere raggruppati in un unico *chunk*: entrambi i metodi sono validi per favorire il ricordo, e differiscono nel carico in memoria di lavoro (Cowan, 2016). La strategia del *chunking* permette generalmente di aumentare lo spazio in memoria di lavoro, diminuendo il numero di posti occupati tramite raggruppamento degli *item* stessi. Cowan (2010) ha dimostrato che se negli adulti viene impedito di utilizzare la strategia del *chunking* durante test di misurazione dello span di MBT, lo span medio di un adulto si attesta attorno alle 3/4 *item*, mentre quello di bambini/e nei primi anni di scuola si attesta attorno ai 2/2.5 *item*.

Per quanto riguarda la prima infanzia (0-2 anni), i dati ad oggi disponibili riguardano soprattutto la modalità visiva e indicano che la capacità di memoria di lavoro subisce un notevole miglioramento tra i 6 e gli 8 mesi, quando i bambini passano dal rispondere correttamente a procedure sperimentali in cui devono ritenere 1 solo *item*, all'eseguire con successo procedure in cui devono ricordare più *item* o insiemi di *item* (Cowan, 2016). Bambini di circa 1 anno sembrano inoltre in grado di ricordare 3 *item*, che è anche lo span numerico medio degli adulti, ovviamente se presupponiamo come equivalenti i paradigmi sperimentali utilizzati nella prima infanzia e quelli usati in età adulta (Cowan, 2016). In linea con ciò, anche Ross-Sheehy (2015) ha dimostrato che bambini di 6 mesi hanno uno span di 1 *item* in memoria a breve termine visiva, mentre in bambini di 10 mesi lo span

aumenta fino a 4 item. Questo dato contrasta però con il fatto che i bambini nei primi anni di scuola, testati con gli stessi compiti usati negli adulti, sembrano avere uno span di MBT inferiore (Cowan, 2016). L'ipotesi più accreditata per spiegare questi dati controintuitivi consiste nella possibilità che i paradigmi utilizzati nella prima infanzia tendano a sovrastimare lo span di memoria di lavoro rispetto ai test utilizzati per misurarlo in età scolare e in età adulta (Cowan, 2016). Al di là di questo *bias* intrinseco delle procedure applicabili ai bambini nei primi mesi, altri studi hanno dato prova delle capacità mnestiche e rappresentazionali dei bambini nella prima infanzia, come gli studi di Oakes et al. (2013) e di Kibbe e Leslie (2011). Il primo di questi ha utilizzato un paradigma di preferenza visiva per evidenziare come bambini a 6 mesi abbiano uno span in MBT di 1 item, mentre a 8 mesi lo span aumenta di una unità (Oakes et al., 2013). Lo studio di Kibbe e Leslie (2013) ha invece utilizzato un paradigma di violazione dell'aspettativa in bambini di 6 mesi dimostrano come essi si stupiscono della scomparsa di 2 oggetti con cui hanno familiarizzato all'inizio che in seguito venivano nascosti dietro un occlusore, anche se le rappresentazioni che i bambini testati avevano di questi oggetti erano abbastanza rudimentali e non permettevano di identificare nello specifico gli oggetti presentati in fase iniziale rispetto a dei nuovi stimoli molto simili. Dai risultati dello studio appena presentato, viene supportato il dato per cui bambini preverbali posseggono un sistema di rappresentazione implicito che, seppur rudimentale, riesce a tenere traccia della numerosità degli oggetti in una scena. Secondo l'ipotesi di Spelke (1990, citato in Macchi Cassia et al., 2012) la capacità di rappresentazione della numerosità è uno dei *core knowledge* innati della conoscenza, ossia un nucleo di conoscenze presente nei neonati umani (e nei cuccioli di diverse specie animali), che consiste nella capacità di formarsi una rappresentazione numerica e quindi di sviluppare abilità numeriche astratte nel corso dello sviluppo. Più nello specifico, i sistemi di quantificazione presenti sin dalla nascita sono due: l'*Approximate Number System* (ANS), che consente di discriminare due insiemi numerici sulla base del loro rapporto numerico, l'*Object File System* (OFS), che permette di formarsi delle rappresentazioni in parallelo di una quantità di oggetti limitata ma molto dettagliata, ad esempio per tenere traccia delle informazioni spazio-temporali degli oggetti, di modifiche di proprietà e caratteristiche e per tenere conto di ogni nuovo oggetto introdotto nella scena (Benavides-Varela & Reoyo-Serrano, 2021). A conferma di ciò, Wynn (1992) ha dimostrato, tramite un paradigma di violazione dell'aspettativa, che

bambini di cinque mesi hanno delle conoscenze implicite sulla matematica e, nel caso specifico di questo studio, sull'operazione dell'addizione, rilevando un aumento dei tempi di fissazione per condizioni sperimentali in cui il numero di oggetti aggiunti nella scena non corrispondeva con il numero finale di oggetti rimasti.

Nei bambini preverbali, l'OFS riesce a rappresentare in parallelo un numero massimo di due oggetti, mentre negli adulti di quattro oggetti, almeno per quanto riguarda la modalità visiva. Kobayashi et al. (2005) e Benavides Varela & Reoyo Serrano (2021) hanno dimostrato come anche in modalità mista (uditiva-visiva) e in modalità uditiva, sia presente questa capacità di discriminazione di piccoli insiemi di quantità numeriche, discriminazione che presuppone la capacità di salvare brevemente in memoria le rappresentazioni degli oggetti per effettuare una distinzione sulla base delle loro caratteristiche. Lo studio di Kobayashi et al. (2005) ha utilizzato un paradigma di violazione dell'aspettativa in bambini di sei mesi, dimostrando che quando i bambini udivano un insieme di due toni susseguiti dalla presentazione di tre oggetti visivi, o tre toni susseguiti da due oggetti, guardavano per un tempo significativamente maggiore gli stimoli visivi, rispetto alla condizione in cui c'era corrispondenza tra il numero di toni e il numero di oggetti visivi (Kobayashi et al., 2005). Si è così inferito che le condizioni di non-corrispondenza tra numero di toni e numero di oggetti si scontravano con l'aspettativa generata dalle rappresentazioni mentali numeriche dei bambini (memoria), anche se i diversi stimoli erano presentati in modalità inter-sensoriale. Sulla stessa linea, la ricerca di Benavides-Varela e Reoyo Serrano (2021) ha dimostrato, tramite quattro esperimenti contenenti un test di memoria di lavoro in modalità inter-sensoriale (uditiva e visiva), che bambini di 9 e 10 mesi riescono a discriminare insiemi di due e tre sillabe presentati in modalità uditiva, mentre falliscono nel discriminare insiemi di due e tre toni nella stessa modalità e falliscono altresì nel discriminare sequenze di tre e quattro sillabe, indicando che probabilmente il limite per l'OFS a quell'età è effettivamente di due item, in questo caso di suoni linguistici (Benavides-Varela & Reoyo Serrano, 2021). I risultati di quest'ultimo studio e il paradigma di ricerca utilizzato per gli esperimenti a suo interno verranno approfonditi nel secondo capitolo inerente allo sviluppo del linguaggio.

Per quanto riguarda il limite di item che possono essere contenuti in memoria di lavoro o a breve termine, lo studio di Zosh e Feigenson (2015) ha evidenziato che quando viene presentata una matrice visiva di oggetti che eccede la capacità di memoria di lavoro

(superiore quindi ai tre item), bambini preverbali non rappresentano alcun oggetto di quella matrice, piuttosto che ricordare tanti oggetti quanti ne consentirebbe il limite di span come avviene negli adulti (Zosh & Feigenson, 2015). Questo fenomeno è stato denominato *catastrophic forgetting* data la drammaticità della perdita di informazioni in memoria di lavoro. Le autrici (Zosh & Feigenson, 2015) hanno testato con successo l'ipotesi secondo cui, creando un contrasto qualitativo tra gli oggetti che compongono le matrici, bambini di 13 mesi riescano a mantenere in memoria di lavoro fino a tre oggetti, anche se la sequenza iniziale eccede lo span complessivo. Questo risultato dimostra come la presentazione di oggetti molto diversi per le caratteristiche che li compongono faciliti il recupero delle rappresentazioni degli oggetti stessi e che quindi oggetti molto contrastanti sono ricordati in modo migliore rispetto a una matrice di oggetti omogenei (Zosh & Feigenson, 2015). Un'ipotesi a spiegazione di questo fenomeno concerne il fatto che bambini preverbali non sembrano ancora aver acquisito la capacità di identificazione degli oggetti, come dimostrato dallo studio già citato di Kibbe & Leslie (2011), ma riescono a discriminare tra un oggetto e l'altro sulla base dei contrasti tra singole caratteristiche (ad esempio, colore, forma, grandezza), che presuppone comunque la capacità di rappresentazione in memoria e un certo carico in memoria di lavoro (Zosh & Feigenson, 2015).

Per quanto riguarda la modalità uditiva, lo studio di Stahl e Feigenson (2018) ha invece rilevato che bambini di 16 mesi possono ricorrere al *chunking* per aumentare lo span in memoria di lavoro. Sia negli adulti che nei bambini, il *chunking* riguarda la riorganizzazione gerarchica delle rappresentazioni in memoria creando dei legami tra le rappresentazioni dei singoli item per formare dei gruppi che permettano al soggetto di rappresentare sia il *chunk* sovraordinato sia i singoli item al suo interno (Zosh & Feigenson, 2018). Gli autori (Zosh & Feigenson, 2018) hanno indagato l'uso che i bambini hanno della conoscenza sociale implicita (ossia, l'innata tendenza a favorire comportamenti prosociali) unita alla versatilità nella discriminazione linguistica a 13 mesi, come facilitatore per il *chunking* in compiti di memoria di lavoro. In quattro esperimenti bambini di 16 mesi sono stati testati sulla loro capacità di discriminazione tra lingue differenti con il fine di creare dei *chunk* tra gli elementi di una matrice. Come già dimostrato dallo studio di Zosh & Feigenson (2015) se gli *item* presentati in una scena eccedono il numero di item che i bambini possono ritenere in memoria di lavoro, essa va

incontro al *catastrophic forgetting*. Al contrario, nelle condizioni sperimentali in cui le bambole mostravano di attuare uno scambio linguistico a coppie (comportamento prosociale), i bambini mostravano di avere una rappresentazione di tutte e quattro le bambole, dato che quando venivano nascoste dallo sperimentatore mostravano comportamenti di ricerca per ognuna di esse (Stahl & Feigenson, 2018). Questo accadeva quando almeno una coppia di bambole emetteva delle frasi nella lingua madre del bambino, mentre quando entrambe le coppie di bambole erano associate a lingue straniere, il bambino non mostrava di ritenere alcuna rappresentazione delle bambole (Stahl & Feigenson, 2018). I risultati di questo studio permettono di concludere che i bambini possono ricorrere alla loro precoce sensibilità nella discriminazione tra stimoli linguistici per riorganizzare gerarchicamente le proprie rappresentazioni ed ampliare lo span in memoria di lavoro (Stahl & Feigenson, 2018). Come verrà approfondito nel capitolo successivo, il linguaggio fornisce spesso un input privilegiato che facilita molti meccanismi e processi cognitivi nel corso dello sviluppo.



## Capitolo II - Lo sviluppo del linguaggio in relazione allo sviluppo della memoria di lavoro fonologica

### 2.1 Linguaggio: definizione e prospettive teoriche

Il linguaggio può essere definito come una delle abilità più complesse appartenente al repertorio di competenze dell'essere umano perché consente l'elaborazione e la trasmissione dei concetti, ossia rappresentazioni simboliche e astratte, secondo diversi livelli di flessibilità e complessità grammaticale (Mento & Benavides Varela, 2017). In generale, il linguaggio può essere definito come: “una forma di comunicazione parlata, scritta o a gesti basata su un sistema di simboli, che consiste nelle parole usate da una data comunità e nelle regole per modificarle e combinarle tra loro” (Santrock, 2014, p. 278).

Un fatto interessante dello sviluppo del linguaggio è che esso avviene in modi e tempi approssimativamente identici indipendentemente dalla lingua di esposizione e dalle modalità in cui la lingua è espressa (Guasti, 2007). Un bambino esposto alla lingua dei segni acquisisce il linguaggio secondo le stesse tappe di un bambino esposto alla lingua orale: a partire dai 6/7 mesi circa, bambini esposti a una lingua orale producono una lallazione orale e bambini esposti a una lingua dei segni producono una lallazione gestuale (Guasti, 2007); a 18-24 mesi entrambe le categorie di bambini riescono a combinare assieme due parole (in modalità vocale o gestuale) e a 24-36 mesi ha luogo lo sviluppo grammaticale e semantico (Guasti, 2007). Inoltre, anche quando l'input linguistico risulta alterato o impoverito per variazioni nel tipo di informazioni accessibili ai bambini come nei casi di bambini cechi alla nascita (per cui nel corso dello sviluppo hanno un accesso più limitato agli oggetti circostanti che possono fungere da riferimento per la creazione di un collegamento parola-significato), è comprovato che le tappe di acquisizione del linguaggio sono molto simili (Guasti, 2007).

In linea con queste evidenze, quindi, è possibile affermare che nel processo di acquisizione del linguaggio agisce anche una componente innata. Ad oggi la maggior parte delle teorie danno per assodato che ci sia una certa complementarità tra ciò che è innato e ciò che è appreso nel corso dello sviluppo, tuttavia il dibattito è ancora aperto e concerne quali componenti possono effettivamente dirsi innate all'interno del processo di acquisizione del linguaggio (Guasti, 2007).

Secondo la teoria più diffusa fino agli anni Sessanta del secolo scorso, ossia la teoria Comportamentista, i meccanismi alla base dell'acquisizione del linguaggio potevano essere identificati nell'imitazione e nel condizionamento (Guasti, 2007). Successivamente si fece strada la teoria innatista, che criticava al comportamentismo di Skinner di non aver dato una spiegazione ad una caratteristica pregnante del linguaggio, ossia la sua intrinseca creatività e generatività che è alla base, ad esempio, della continua creazione di neologismi all'interno di una lingua (Guasti, 2007). Inoltre, i meccanismi di apprendimento e imitazione sarebbero spiegazioni troppo semplicistiche di come i bambini acquisiscono così precocemente i principi astratti e le regole che sottendono al funzionamento di una lingua (Santrock, 2008). Secondo questa nuova prospettiva, il linguaggio non è un fatto culturale ma una capacità determinata a livello biologico che si esplica nella presenza di un sistema cognitivo specifico per l'acquisizione del linguaggio, che Chomsky (capostipite della teoria innatista dell'acquisizione del linguaggio), ha denominato Dispositivo di Acquisizione del Linguaggio (LAD). Secondo l'autore, il LAD è un dispositivo innato responsabile del fatto che il linguaggio si acquisisce secondo tempi e modi identici a prescindere dalle variazioni ambientali ed opera in sinergia con la Grammatica Universale (GU), che consiste in un insieme di conoscenze innate inerenti i principi che regolano il funzionamento di tutte le lingue (Santrock, 2008). Ad oggi, tuttavia, il LAD si configura unicamente come concetto teorico, non avendo trovato corrispondenza in un substrato neurale specifico (Santrock, 2014). Un'ulteriore prospettiva, quella cognitivo-funzionalista, ammette l'esistenza di una predisposizione innata ad apprendere il linguaggio ma ipotizza che questa predisposizione non sia un modulo dominio-specifico (come il LAD) quanto più un insieme di meccanismi dominio-generalisti che influiscono anche nello sviluppo di abilità non-linguistiche (Tomasello, 2003, citato in Guasti, 2007, p. 52). Secondo la prospettiva neurocostruttivista (Karmiloff Smith 2002, citato in Guasti, 2007) invece, lo sviluppo del linguaggio avviene grazie alla complessa interazione tra vincoli innati cerebrali (specializzazione emisferica), vincoli attentivi precoci (che predispongono ad attenzionare stimoli di natura sociale come i volti e la voce umani) e vincoli cognitivi (come i principi di *statistical learning* e *rule learning* che verranno approfonditi più avanti), in interazione con un ambiente specie-specifico e individuale che permette di specializzarsi sui suoni della propria lingua. Il termine "innato" in questa prospettiva non assume l'accezione di "presente sin dalla nascita" o

“dominio-specifico”, quanto più di una componente che solo attraverso specifici input dall’ambiente e attraverso un processo di graduale modularizzazione entra a far parte del nostro patrimonio biologico (Macchi Cassia et al., 2012). Nei casi in cui non è presente un ambiente che fornisce un input specifico entro una certa finestra temporale, il modulo per lo sviluppo del linguaggio non emerge o emerge solo in forma rudimentale, come dimostrano i casi di Genie (Curtiss, 1977, citato in Guasti, 2007) e di Chelsea (Curtiss, 1989, citato in Guasti, 2007), due ragazze cresciute in contesti di forte deprivazione dell’input linguistico (oltre che, nel caso di Genie, di deprivazione sociale ed emotiva), che ha portato ad effetti pressoché irreparabili sulla possibilità di acquisire il linguaggio.

### 2.1.1 Periodo sensibile per l’acquisizione del linguaggio

I termini periodo critico e periodo sensibile vengono spesso usati in modo intercambiabile ma non denotano esattamente lo stesso fenomeno (Guasti, 2007). Con periodo critico ci si riferisce “*all’esistenza di finestre temporali molto ristrette nel corso dello sviluppo in cui una specifica esperienza deve avvenire affinché una particolare funzione si sviluppi in modo ottimale*” (Macchi Cassia et al., 2012, p. 245); mentre con il termine periodo sensibile si fa riferimento a “*quei momenti nel corso dello sviluppo durante i quali l’organismo è particolarmente sensibile a specifiche esperienze senza escludere che queste possano continuare ad esercitare la loro influenza anche in momenti successivi dello sviluppo*” (Macchi Cassia et al., 2012, p. 245).

Per quanto riguarda lo sviluppo del linguaggio, il periodo critico di acquisizione sembra andare dalla nascita fino all’adolescenza, come evidenziato da casi clinici di deprivazione dell’input linguistico su adolescenti e su adulti (Guasti, 2007). Nel caso in cui l’*input* linguistico venga fornito a partire dalla prima adolescenza i dati sembrano indicare un parziale sviluppo del linguaggio, mentre se la deprivazione perdura fino all’età adulta il recupero linguistico permette di raggiungere un livello solo rudimentale (Guasti, 2007). Nel caso invece di bambini deprivati dell’*input* linguistico ma sottoposti ad una riabilitazione sin dall’infanzia, lo sviluppo del linguaggio è molto rapido e raggiunge livelli normativi sulla base dell’età (Guasti, 2007). Dati a conferma dell’ipotesi del periodo critico per lo sviluppo del linguaggio sono stati trovati anche per quanto riguarda la lingua dei segni e confermano le ipotesi della necessità di interazione, nel corso dell’ontogenesi, tra vincoli innati predisponenti allo sviluppo linguistico e *input*

ambientali specifici, ossia l'esposizione ad una lingua (Guasti, 2007). Nel caso invece dell'apprendimento di una seconda lingua sembra più appropriato parlare di periodo sensibile essendo che la sua acquisizione può avvenire a qualsiasi età (Guasti, 2007). A questo riguardo sono state formulate diverse ipotesi, tra cui l'ipotesi della soppressione, secondo la quale quanto più tardi si inizia ad acquisire la seconda lingua tanto più sviluppata sarà la lingua natia e di conseguenza saranno necessarie maggiori risorse cognitive per sopprimere l'influenza della prima lingua (Guasti, 2007).

## 2.2 Elementi costitutivi del linguaggio e tappe di sviluppo linguistico

All'interno del linguaggio è possibile distinguere alcune componenti fondamentali (Santrock, 2008):

- i fonemi, ossia i suoni che all'interno di una certa lingua producono distinzioni di significato e che nel loro insieme costituiscono la fonologia, ossia il sistema di suoni di una certa lingua e le loro possibili combinazioni (regole fonotattiche);
- i morfemi, ossia le unità minime dotate di significato che non possono essere suddivise ulteriormente se non perdendone il senso intrinseco;
- la sintassi, ossia il modo in cui le parole possono essere combinate tra loro per ottenere delle frasi dotate di significato;
- la semantica, che riguarda il significato di parole e frasi di una certa lingua
- la pragmatica, ossia il sistema che regola l'appropriatezza del linguaggio a seconda del contesto in cui si è inseriti.

Come accennato nel primo paragrafo, le tappe di sviluppo linguistico sono pressoché identiche indipendentemente dalla lingua e dalla modalità linguistica, anche se le tempistiche di acquisizione di ogni tappa possono variare anche di molto per ogni bambino per effetto della variabilità individuale all'interno di ogni traiettoria evolutiva (Guasti, 2007).

I bambini producono attivamente suoni sin dalla nascita con l'obiettivo di mettere in movimento il mondo circostante, nonché ricevere cure e attenzioni (Santrock, 2008). Le vocalizzazioni che si susseguono a partire dai primi 2 mesi di vita sono il pianto (tipologie di pianti diversi esprimono bisogni e stati emotivi diversi), il *cooing* (emissione di suoni come "gu" o "cu" soprattutto nelle interazioni con i *caregiver*) e la lallazione (o *babbling*) (Santrock, 2008). La lallazione ha inizio in media tra i 6 e gli 8 mesi, quando i bambini

iniziano a balbettare combinando tra loro sequenze di consonanti e vocali, in forma prima canonica o reduplicata (ad esempio: “ba” o “baba”) e successivamente in forma variata (ad esempio: “bagu” o “dadu”) (Santrock, 2008). I bambini sordi utilizzano un balbetto a gesti all’incirca negli stessi mesi (Bloom, 1998, citato in Santrock, 2008). A 8-10 mesi le abilità comunicative dei bambini incrementano ulteriormente quando iniziano ad usare i gesti per indicare o mostrare (*pointing* dichiarativo), e per richiedere qualcosa (*pointing* richiestivo) (Santrock, 2008). La competenza gestuale viene considerata un indice molto importante del progressiva acquisizione della competenza sociale del bambino, che nel corso dello sviluppo si fa rapidamente sempre più raffinata grazie all’emergere del fenomeno di attenzione condivisa (ossia, il mantenimento dell’interazione adulto-bambino nonostante l’attenzione sia spostata verso un oggetto o un evento esterni), che a sua volta costituisce un elemento imprescindibile per lo sviluppo di una teoria della mente (ossia, la capacità del bambino di pensare e riflettere sui propri e altrui stati mentali). È importante notare come dai 6 ai 12 mesi le abilità percettive e di discriminazione dei fonemi della propria lingua subiscono un netto miglioramento grazie al fenomeno noto come *perceptual narrowing* (vedi par. 2.3), che permette di conseguenza una migliore segmentazione del flusso del parlato della lingua natia (*statistical learning*, vedi par. 2.3) e un rapido apprendimento delle regole che governano la costruzione di frasi (*rule learning*). Grazie al raggiungimento progressivo di queste tappe, tra gli 8 e i 12 mesi i bambini iniziano a mostrare un’iniziale comprensione prima e produzione poi, delle prime parole (Santrock, 2008). Tuttavia, come già accennato, c’è una grande variabilità tra le tappe di acquisizione linguistica di ogni bambino: Caselli e coll. (2001, citato in Santrock, 2008) hanno evidenziato come tra i 18 e i 36 mesi in media i bambini italiani comprendono sulle 107 parole ma ci sono bambini che non ne comprendono neanche una e bambini che ne comprendono più del doppio. In generale, il vocabolario ricettivo incrementa più rapidamente del vocabolario produttivo fino ai 18-20 mesi circa quando si verifica la cosiddetta “esplosione del vocabolario”, ossia un rapido aumento della produzione delle parole. A 18 mesi i bambini producono in media 50 parole ma a 5 anni l’ampiezza del vocabolario produttivo è in media di 10.000 parole. Alcuni autori considerano parlanti tardivi (*late talkers*) bambini che a 24 mesi producono meno di 50 parole e, anche se questo ritardo sembra risolversi spontaneamente per una parte dei bambini, un’altra parte (25-50%) manifesta in seguito un DPL (Santrock, 2008). Nel

periodo di esplosione del vocabolario, come manifestazione tipiche dello sviluppo lessicale e semantico, i bambini possono compiere errori di sovraestensione o sottoestensione, ossia estendono o restringono il significato delle parole che utilizzano: ad esempio, possono utilizzare la parola “mamma” per riferirsi non solo alla propria madre ma anche ad altre donne o ragazze (sovraestensione) o utilizzare la parola “ragazza” solo per una specifica persona, non riuscendo a generalizzare il termine ad altre (sottoestensione) (Santrock, 2008). Tra i 18 e i 24 mesi circa, i bambini passano dalla produzione di olofrasi (ossia, frasi composte da una sola parola il cui significato implicito equivale a quello di una frase completa) alla costruzione di espressioni con 2 parole e successivamente di 3, 4 e 5 parole fino arrivare a frasi complete e sempre più complesse nel periodo che va dai 2/3 anni fino agli anni della scuola primaria di primo grado (Santrock, 2008). Nel corso degli anni prescolastici i bambini acquisiscono progressivamente la morfologia e la sintassi della lingua natia, nonché la pragmatica del linguaggio (Santrock, 2008).

### 2.3 Meccanismi precoci di percezione del parlato e di sviluppo neurale

Come accennato nel paragrafo precedente, i bambini nel corso del primo anno di vita diventano estremamente abili nel discriminare i suoni appartenenti alla lingua madre. Come evidenziato da Kuhl et al. (2005) a partire dai primi giorni di vita fino ai 6 mesi circa, i bambini possono essere definiti “ascoltatori universali” poiché riconoscono i contrasti fonemici della maggior parte delle lingue, ovvero non solo contrasti tra i fonemi della propria lingua madre ed un straniera ma anche tra 2 lingue straniere. Riguardo a questo fenomeno precoce, lo studio di Mehler et al. (1988) ha dimostrato come bambini francesi di 4 giorni riescano a discriminare i suoni dell’inglese e dell’italiano senza essere mai stati esposti a queste lingue. A partire dalla seconda metà del primo anno di vita, tuttavia, i bambini migliorano la percezione dei suoni della propria lingua madre, perdendo gradualmente la capacità di riconoscere i contrasti fonemici delle lingue straniere (Tsao et al., 2004). Ad esempio, neonati giapponesi prima dei 6 mesi di vita riescono a distinguere il suono della “r” da quello della “l”, ma tra i 6 e i 12 mesi perdono progressivamente questa capacità dal momento che fanno poca esperienza della distinzione sonora tra questi due foni, che non è presente nella lingua giapponese degli adulti (Tsushima et al., 1994, citato in Guasti, 2007). Questo fenomeno prende il nome di

*perceptual narrowing* (ossia, restringimento percettivo), e rende bene l'idea di come l'*input* ambientale specie-specifico (esposizione alla lingua dei genitori) sin dai primi mesi di vita attivi una predisposizione innata per il linguaggio restringendo l'orizzonte percettivo iniziale dei suoni da un lato, e migliorando l'abilità percettiva interna al proprio panorama linguistico dall'altro (Guasti, 2007). Il restringimento percettivo non si verifica solo per stimoli di tipo uditivo ma anche per stimoli visivi: ad esempio, lo studio di Kelly et al. (2005) ha evidenziato come alla nascita i bambini siano in grado di distinguere volti diversi appartenenti a un'etnia straniera rispetto alla propria ma perdono progressivamente questa capacità dai 3 mesi, diventando sempre più abili nel captare le differenze tra volti diversi appartenenti alla propria etnia ma non riuscendo più a discriminare tra volti di etnie straniere, fenomeno che si rileva massimamente anche negli adulti e prende il nome di *Other Race Effect* (Kelly et al., 2005). Similmente a come accade per i suoni del linguaggio, anche nel caso dei volti l'esposizione alle caratteristiche somatiche della propria etnia comporta una maggiore specializzazione in tal senso, a discapito di una peggiore differenziazione delle caratteristiche percettive di cui il bambino fa una ridotta esperienza, ossia i volti di etnie straniere.

Alcuni ricercatori (Tsao et al., 2004; Kuhl et al., 2005) si sono chiesti se potesse esserci una relazione tra la competenza percettiva precoce di discriminazione fonemica e l'acquisizione del linguaggio nel corso dello sviluppo. In uno studio longitudinale (Tsao et al., 2004), gli autori hanno testato le capacità di percezione fonemica di un gruppo di bambini a 6 mesi, per poi rilevare l'ampiezza del vocabolario in comprensione e produzione a diverse età (13, 16 e 24 mesi). Nella prima parte dello studio, un gruppo di bambini di 6 mesi venivano testati sulle loro abilità di percezione di suoni vocalici tramite un compito di spostamento condizionato della testa (*head-turning conditioning technique*). In seguito, i genitori dello stesso gruppo di bambini hanno compilato il *McArthur Communicative Development Inventory* (CDI) a 13, 16 e a 24 mesi in funzione di ottenere dati inerenti all'andamento del loro sviluppo linguistico (Tsao et al., 2004). Il CDI consiste in un questionario composto da liste di parole, routine e suoni (ad es. "bau" per l'abbaiare del cane) per ognuno dei quali i genitori devono indicare se il loro bambino lo produceva e/o lo comprendeva (Guasti, 2007). I risultati di questo studio (Tsao et al., 2004), hanno confermato per la prima volta l'esistenza di una relazione statisticamente significativa tra le capacità di percezione del parlato degli infanti a 6 mesi e la competenza

linguistica nei mesi successivi. In poche parole, la capacità di percezione dei suoni linguistici in età precoci predice l'ampiezza del vocabolario ricettivo e produttivo ad età successive. In seguito, lo studio di (Kuhl et al., 2005) ha evidenziato una relazione significativa tra *perceptual narrowing* per i fonemi della propria lingua e sviluppo linguistico (Kuhl et al., 2005). L'obiettivo di questo studio era rilevare se la performance in un paradigma di spostamento condizionato della testa in risposta ai contrasti fonemici nativi e non-nativi a 7 mesi fosse un predittore significativo dell'acquisizione del linguaggio a 2 anni (Kuhl et al., 2005). I risultati di questo studio hanno rilevato che l'abilità di discriminare contrasti fonemici della lingua madre a 7 mesi è inversamente proporzionale all'abilità di discriminare contrasti fonemici stranieri alla stessa età (a conferma del *perceptual narrowing*) e che la capacità nella discriminazione dei fonemi della propria lingua a 7 mesi è un forte predittore della capacità linguistica a 2 anni in termini di parole prodotte, lunghezza media delle espressioni prodotte e, in generale, velocità dello sviluppo linguistico (Kuhl et al., 2005): infatti, nei bambini che a 7 mesi non mostrano un vantaggio nella percezione dei fonemi della propria lingua si evidenzia uno sviluppo linguistico più lento e impoverito a 24 mesi (Kuhl et al., 2005). I risultati di questi studi (Kuhl et al., 2005; Tsao et al., 2004) permettono quindi di affermare che esiste una relazione significativa tra percezione e discriminazione dei suoni del parlato (in particolare della lingua natia) e sviluppo linguistico.

La progressiva specializzazione funzionale (*perceptual narrowing*) che si verifica sin dai primi mesi di vita trova corrispondenza in fenomeni di specializzazione nel substrato neurale, in particolare nei termini di un restringimento nell'ampiezza delle porzioni di corteccia che si attivano in risposta agli input specifici dall'ambiente. Nei primi mesi di vita, l'esposizione ai volti (come a qualsiasi altro oggetto visivo) attiva nei bambini ampie aree corticali in entrambi gli emisferi ma già a partire dai 6 mesi si rileva una maggiore attivazione dell'emisfero destro (lateralizzazione emisferica) (Macchi Cassia et al., 2012); in seguito, al termine del primo anno di vita, l'elaborazione dei volti attiva un'area più ristretta in sede temporale destra (per effetto della progressiva specializzazione cerebrale) e nel corso dell'adolescenza quest'area, denominata *Fusiform Face Area*, ulteriormente localizzata nel giro fusiforme destro, si attiva selettivamente per l'elaborazione dei volti (Macchi Cassia et al., 2012). Allo stesso modo, anche nel caso dello sviluppo linguistico si verifica specializzazione emisferica, a favore però

dell'emisfero sinistro: ad esempio, è stato dimostrato (Milss et al., 1993, citato in Macchi Cassia et al., 2012) che dal momento in cui i bambini riescono a comprendere circa 200 parole, indipendentemente dall'età cronologica, si verifica un restringimento progressivo dell'area di attivazione nel lobo temporale sinistro, che negli adulti è ulteriormente localizzata e prende il nome di area di Wernicke (specializzata nella comprensione del parlato). Una delle ipotesi più accreditate per cui si verifica specializzazione emisferica risiede nel diverso ritmo di maturazione dei due emisferi cerebrali (Macchi Cassia et al., 2012): sembra infatti che l'emisfero destro maturi più rapidamente del sinistro nel corso del primo anno di vita e questo fa sì che le funzioni visuo-spaziali (che iniziano a svilupparsi molto velocemente subito dopo la nascita) vengano assunte dall'emisfero destro, mentre le funzioni linguistiche (che appaiono in modo consistente solo dopo alcuni mesi dalla nascita) vengano assunte dall'emisfero sinistro, il quale ha un ritmo di maturazione più lento nel corso del primo anno (Macchi Cassia et al., 2012). Una distinzione rispetto alla specializzazione emisferica appena descritta va fatta su una componente specifica dell'elaborazione del parlato, ossia la componente prosodica. La prosodia (che concerne il ritmo e l'intonazione del linguaggio parlato) sembra infatti una funzione assunta dall'emisfero destro, in particolare dalle regioni frontali (Meyer et al., 2002, citato in Benavides Varela et al., 2012), fattore che risulta cruciale nell'estrapolazione dell'informazione vocalica da parte dei neonati sin dai primissimi momenti di vita (Benavides Varela et al., 2012).

Oltre il *perceptual narrowing*, altri due meccanismi cognitivi molto precoci che supportano l'acquisizione del linguaggio sono lo *Statistical Learning* (SL) e il *Rule Learning* (RL). Lo SL è un meccanismo di apprendimento dominio-generale scoperto per la prima volta da (Saffran et al., 1996) indagando lo sviluppo linguistico, che consente di individuare e rappresentare la regolarità statistica presente all'interno di una sequenza temporale sulla base della probabilità di co-occorrenza tra gli elementi che la compongono (Macchi Cassia et al., 2012). Nello studio di Saffran et al. (1996), bambini di 8 mesi familiarizzavano con una registrazione composta dalla ripetizione di 4 diverse parole trisillabiche prive di senso ("bidaku", "padoti", "golabu", "tupiro") per 2 minuti (Saffran et al., 1996). La sequenza ripetuta non presentava informazioni prosodiche, acustiche o pause tra le parole che potessero fornire una facilitazione nella segmentazione delle stesse (Saffran et al., 1996). La probabilità di co-occorrenza tra le sillabe che

componevano le singole parole era pari a 1, mentre la probabilità che la sillaba finale di una parola seguisse la sillaba iniziale di un'altra parola era di 0,33 (Saffran et al., 1996). Sorprendentemente, in fase test, i bambini dimostravano di saper discriminare le parole udite in fase di familiarizzazione da parole formate dalle stesse sillabe ma in un ordine nuovo, ossia parole che violano le regolarità statistiche apprese precedentemente (Saffran et al., 1996). In sintesi, il sistema cognitivo dimostra di segmentare le parole compattando le sillabe che hanno una probabilità del 100% di susseguirsi, separandole dalle parole con cui hanno una probabilità minore di co-occorrenza (in questo caso, del 33%) (Macchi Cassia et al., 2012). Lo SL è quindi un meccanismo di apprendimento implicito che consente di discriminare e segmentare il flusso continuo del parlato sulla base delle co-occorrenze statistiche sin dai primi mesi di vita e costituisce quindi un prerequisito fondamentale per la costruzione del vocabolario fonologico (Macchi Cassia et al., 2012). L'abilità di estrarre la struttura probabilistica da una sequenza di eventi è presente sin dai primi giorni di vita sia per quanto riguarda stimoli visivi (Bulf, Johnson e Valenza, 2011, citato da Macchi Cassia et al., 2012) che per quanto riguarda sequenze di sillabe (Teinonen et al., 2009). Se da una parte lo SL permette di estrarre regolarità fonologiche, il RL risulta fondamentale nell'astrazione di regole sintattiche (ossia le regole che legano le parole tra loro all'interno di una frase). Anche questo meccanismo è di tipo dominio-generale, ossia presente indipendentemente dalla tipologia di *input*, tuttavia risulta essere di particolare importanza nell'apprendimento del linguaggio come dimostrato dallo studio di (Marcus et al., 1999) in cui, tramite un paradigma di familiarizzazione, si è evidenziata la capacità di bambini di 7 mesi di astrarre e generalizzare la regola che legava una sequenza di tre sillabe in fase di familiarizzazione (es. "ga-ti-ti") e riconoscerla da sequenze di tre sillabe diverse in fase test che non seguivano la regola appresa precedentemente (es. "wo-fe-wo"), rispetto ad una sequenza di tre sillabe diverse ma che seguiva la regola iniziale (es. "wo-fe-fe") (Marcus et al., 1999).

I dati sopraelencati dimostrano che sin dai primi mesi di vita i bambini sono predisposti ad acquisire il linguaggio grazie alla presenza di vincoli neurali (specializzazione emisferica) e cognitivi (*perceptual narrowing*) che, in sinergia con l'*input* specifico ambientale e grazie alla presenza di meccanismi cognitivi dominio-generalisti (SL e RL), permettono lo sviluppo del linguaggio e delle sue specifiche componenti.

#### 2.4. Il ruolo della sillaba nello sviluppo del linguaggio

Come accennato brevemente nel paragrafo precedente i neonati risultano più sensibili ai suoni vocalici nei primissimi mesi di vita. A questo riguardo lo studio di Benavides-Varela et al. (2012) ha approfondito la tipologia di informazioni usata dai neonati quando ascoltano parole diverse ma fonologicamente simili ed ha analizzato le strutture cerebrali implicate nel riconoscimento fonetico delle parole. Per fare questo gli autori (Benavides Varela et al., 2012) hanno utilizzato un paradigma di abituazione unito ad una tecnica di neuroimmagine funzionale, la spettroscopia del vicino infrarosso (fNIRS), non-invasiva e particolarmente adatta allo studio della prima infanzia, che permette di osservare l'attività emodinamica del cervello in relazione allo svolgimento di un compito. L'impiego della fNIRS ha permesso di constatare che nei neonati le regioni frontali destre mostrano una componente neurale di riconoscimento quando ascoltano delle parole in fase test composte dalle stesse vocali delle parole presentate in fase di abituazione, mentre emerge una componente neurale tipica della detezione di uno stimolo nuovo quando vengono presentate parole fonologicamente simili alla fase di abituazione ma composte da consonanti differenti (Benavides Varela et al., 2012). Questo ha permesso di inferire che i neonati memorizzano meglio i suoni sulla base delle vocali (che mostrano di riconoscere) piuttosto che delle consonanti e che le regioni frontali destre siano fondamentali in questo periodo per l'elaborazione del parlato (Benavides Varela et al., 2012). Le vocali presentano effettivamente delle caratteristiche percettive (come la lunghezza e la tonalità) che le rendono maggiormente riconoscibili all'interno del parlato. Inoltre, esse veicolano maggiori informazioni prosodiche che facilitano l'interazione caregiver-bambino, aiutano nell'identificazione dell'identità di chi parla e permettono l'acquisizione della struttura sintattica della lingua a cui il bambino è esposto (Benavides Varela et al., 2012).

Constatato che nel corso dei primi mesi di vita le vocali veicolano l'informazione prosodica del parlato, che è un tipo di informazione che il substrato neurale dell'emisfero destro è già in grado di elaborare, e tenendo in considerazione che il ritmo di una lingua dipende dall'organizzazione temporale delle sillabe (o, più nello specifico, dalle vocali in esse contenute), è stato quindi ipotizzato che i bambini, sin da neonati, utilizzino le sillabe come unità di rappresentazione del linguaggio (Guasti, 2007). Per testare l'ipotesi per cui bambini preverbalmente si basano sulle sillabe per segmentare il parlato, Bijeljac-Babic et al.

(1993) hanno abituato due gruppi di neonati a *item* bisillabici e trisillabici somministrando in fase test *item* che differivano dai precedenti per il numero di sillabe ad un gruppo (gruppo sperimentale), mentre all'altro gruppo ha presentato *item* con lo stesso numero di sillabe (gruppo di controllo). Grazie all'impiego della tecnica di suzione non-nutritiva<sup>2</sup> è emerso come il gruppo sperimentale fosse in grado di percepire il cambiamento da *item* bisillabici a trisillabici e viceversa, indicando che i neonati sono in grado di crearsi una rappresentazione nei termini di un piccolo numero di sillabe (Bijeljic-Babic et al., 1993). Allo stesso modo gli autori (Bijeljic-Babic et al., 1993) hanno rilevato che i bambini preverbalmente non sono in grado di percepire un cambiamento nel numero di segmenti fonetici se il numero di sillabe rimane costante. Un ulteriore studio (Bertoncini et al., 1988), ha evidenziato come i neonati riescono a notare l'aggiunta di una sillaba all'interno di una sequenza di sillabe solo nella condizione in cui la nuova sillaba presenta una vocale diversa dalle precedenti, mentre se all'interno della sequenza a cambiare sono solo le consonanti, il cambiamento non viene rilevato. Tuttavia, in altre circostanze anche i bambini preverbalmente possono ignorare l'informazione numerica basata sulle sillabe e prestare maggiore attenzione ad altre proprietà del parlato, riuscendo ad esempio a discriminare liste di parole diverse nonostante esse siano composte da un eguale numero di sillabe (Jusczyk et al., 1993). Verso la fine del primo anno di vita, anche le consonanti diventano stimoli salienti nella percezione del parlato, fornendo supporto nella segmentazione, nel riconoscimento e nella categorizzazione delle parole (Hochmann et al., 2011). Secondo l'ipotesi di Nespor et al. (2003) i bambini si basano più sulle consonanti che sulle vocali per la segmentazione e l'apprendimento delle parole, poiché le prime hanno maggiore potere distintivo (sono numericamente maggiori nella maggior parte delle lingue) e all'interno delle parole tendono a diversificarsi con più probabilità: è infatti raro trovare parole che includono le stesse consonanti (escluse le doppie) mentre è molto facile trovare parole che includono le stesse vocali, essendo minori numericamente nella maggior parte delle lingue (Guasti, 2007). Le vocali, d'altra parte

---

<sup>2</sup> Tecnica della suzione non-nutritiva: viene utilizzata nei paradigmi di abituação/disabituação con i neonati e si basa sull'assunto che questi applicano una suzione tanto più vigorosa quando sentono uno stimolo nuovo (Guasti, 2007). In questa tecnica viene utilizzata una tettarella (che non rilascia latte, da cui la dicitura "non-nutritiva") collegata ad un trasduttore, a sua volta collegato ad un computer che analizza la velocità di suzione del neonato (Guasti, 2007).

risultano fondamentali nell'apprendimento della sintassi e della grammatica (Guasti, 2007).

In generale, quindi, è possibile affermare che le sillabe rappresentano degli elementi chiave all'interno di una lingua perché consentono di effettuare diverse computazioni sul flusso del parlato sin dai primi mesi.

## 2.5 Relazione tra linguaggio e memoria

In conseguenza del fatto che il cervello è predisposto all'acquisizione del linguaggio sin dalla nascita e del fatto che l'*input* linguistico costituisce uno stimolo privilegiato in quanto ad alta valenza sociale (come i volti e il movimento biologico), è che proprio il linguaggio sembra poter influenzare il funzionamento di meccanismi percettivi e cognitivi tra cui l'attenzione, la categorizzazione e la memoria. All'interno del capitolo precedente è stato ad esempio illustrato come l'utilizzo di etichette linguistiche favorisca un miglioramento in termini di *span* in memoria di lavoro, permettendo a bambini di soli 13 mesi di creare relazioni gerarchiche tra gli elementi visivi di una scena (Stahl & Feigenson, 2018).

Un ulteriore studio, quello di Benavides Varela e Reoyo Serrano (2021), ha utilizzato un paradigma di memoria di lavoro per evidenziare il ruolo privilegiato degli stimoli linguistici nel facilitare l'accesso ad una rappresentazione numerica di piccoli insiemi (OFS) (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). Questo studio, ha voluto indagare l'apparente paradosso per cui neonati di pochi giorni di vita riescono a discriminare piccole numerosità di stimoli presentati in modalità uditiva (Bijeljac-Babic et al., 1993), mentre bambini di 7 mesi (Van Merle & Wynn, 2009, citato da Benavides Varela & Reoyo Serrano) e di 9 mesi (Lipton & Spelke, 2003) falliscono nel discriminare piccole numerosità nella stessa modalità. Questo fa ipotizzare che l'OFS non sembra funzionare per stimoli uditivi dopo i 6 mesi, mentre risulta attivo per stimoli visivi alla stessa età. Con un paradigma di fissazione a due alternative, le autrici ( Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021) hanno quindi testato l'ipotesi per cui bambini 9 e 10 mesi sono in grado di rappresentare piccole numerosità in modalità uditiva se gli stimoli presentati hanno una particolare rilevanza ecologica, ossia se consistono in stimoli linguistici. Il paradigma utilizzato per testare questa ipotesi è un paradigma di fissazione a due scelte, composto da una fase di familiarizzazione e da una fase test. Durante la fase di familiarizzazione,

ai bambini venivano presentate sequenze bisillabiche e trisillabiche seguite ognuna da uno stimolo visivo attrattivo sul lato destro o sinistro dello schermo (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). La numerosità della sequenza presentata costituiva l'indice per localizzare la posizione del giocattolo sullo schermo (ad esempio: una sequenza di 2 sillabe predice la comparsa del giocattolo sul lato sinistro; una sequenza di 3 sillabe predice la comparsa del giocattolo sul lato destro) (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). Nella successiva fase, i bambini venivano testati sulla loro capacità di generalizzare la regola appresa con altre sequenze di sillabe (sempre bi- o tri- sillabiche) (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). In questi trial, denominati "trial test", la sequenza di sillabe non veniva seguita dalla comparsa del giocattolo, in modo da permettere lo spostamento autonomo dello sguardo del bambino (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). La variabile dipendente in questo paradigma consiste nell'analisi dei movimenti oculari e dei tempi di fissazione. Da questo studio emerge che bambini di 9-10 mesi riescono a discriminare sequenze di 2 e 3 sillabe ma solo nel caso di stimoli bisillabici sono in grado di associarvi il lato corretto dello schermo, indice che quando il numero di sillabe aumenta a 3 non riescono ad apprendere e generalizzare la regola (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). Si potrebbe ipotizzare che la variabile che inficia la capacità di generalizzare la regola quando vengono presentate 3 sillabe sia la differente durata delle sequenze bisillabiche rispetto a quelle trisillabiche. In un secondo esperimento le autrici hanno quindi testato questa ipotesi, pareggiando la durata di entrambe le sequenze ed evidenziando che essa non aveva alcuna influenza sulla prestazione dei bambini (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). In un terzo esperimento, è stata testata la possibilità, tramite lo stesso paradigma, che bambini di 9-10 mesi potessero discriminare sequenze di 3 e 4 sillabe (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021) I risultati evidenziano che i soggetti non riescono in questo discrimine: infatti, nonostante la differenza assoluta sia sempre di 1 elemento, solo le sequenze bisillabiche e trisillabiche riescono ad essere discriminate, probabilmente per un limite nel carico in memoria di lavoro (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). In ultima battuta, si è testata l'ipotesi che bambini di 9-10 mesi potessero discriminare tra sequenze di 2 e di 3 toni, nell'idea che se la capacità di discriminazione dei bambini è indipendente dalla natura dei suoni i bambini dovrebbero riuscire a discriminare le sequenze, mentre se non riescono in questo discrimine è probabile che questa capacità dipenda dalla natura

degli stimoli, essendo che qualsiasi altra variabile interveniente è stata controllata negli esperimenti precedenti (Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021). Dai risultati di questo quarto ed ultimo esperimento si è evidenziato, in modo simile a quanto rilevato da studi precedenti (Lipton et Spelke, 2003; VanMerle et Wynn, 2009, citato in Benavides Varela e Reoyo Serrano, 2021), che i bambini di 9-10 mesi non discriminano tra 2 e 3 toni (Benavides Varela e Reoyo Serrano, 2021). In conclusione, la natura privilegiata del linguaggio consente ai bambini di accedere alla capacità di rappresentazione di piccole numerosità in modalità uditiva, mentre per altri stimoli uditivi (come i toni) l'OFS non sembra accessibile.

Un esempio aggiuntivo inerente la relazione specifica tra linguaggio e memoria sin dalla nascita proviene dallo studio di (Benavides-Varela, Gómez, & Mehler, 2011), nel quale si è testata la memoria di riconoscimento a breve termine per le parole tramite un paradigma di abituação. Inoltre, per rilevare anche i correlati neurali sottostanti i processi di codifica e riconoscimento delle parole alla nascita, gli autori hanno osservato il funzionamento cerebrale tramite fNIRS durante lo svolgimento del compito. In fase di abituação, neonati dai 2 ai 5 giorni venivano sottoposti all'ascolto di una parola bisillabica per 6 minuti (Benavides-Varela et al., 2011). Dopo un intervallo di ritenzione di 2 minuti, i neonati venivano suddivisi in 2 gruppi: al primo gruppo veniva fatta ascoltare la stessa parola della fase di abituação, mentre al secondo gruppo una parola nuova (Benavides-Varela et al., 2011). L'impiego della fNIRS ha evidenziato una differenza nell'attività emodinamica cerebrale bilaterale (aree frontali e temporo-parietali) tra i due gruppi, con un incremento nel consumo di ossiemoglobina da parte del gruppo che nella fase test ascoltava la parola nuova, a differenza del primo gruppo in cui l'attività emodinamica cerebrale subiva un decremento, indice del fatto che nel gruppo di controllo la parola familiarizzata veniva ricordata e riconosciuta in fase test (Benavides-Varela et al., 2011).

Sulla stessa linea dello studio appena esposto, può essere citata anche la ricerca di (Benavides-Varela, Gómez, Macagno, et al., 2011), i quali hanno rilevato che sin dalla nascita i bambini hanno memoria per le parole evidenziando inoltre come il canale di memorizzazione di questi stimoli sembra essere specifico per il linguaggio. Questo studio (Benavides-Varela et al., 2011) aveva l'obiettivo di approfondire la memoria che i bambini hanno per le parole e, in aggiunta, di focalizzarsi sulle cause che portano al

decadimento della traccia mnestica nella prima infanzia. Per fare questo, gli autori hanno utilizzato la fNIRS congiuntamente con un paradigma di abituazione (Benavides-Varela et al., 2011). Durante la fase di abituazione veniva ripetuta una parola per alcuni minuti al termine dei quali, durante l'intervallo di ritenzione, veniva presentato un ulteriore stimolo uditivo, che poteva consistere in una parola nuova o in una breve traccia musicale (Benavides-Varela et al., 2011). Come condizione di controllo, invece, l'intervallo di ritenzione non presentava alcun input uditivo. Al termine dell'intervallo seguiva la fase test, in cui veniva registrata la risposta emodinamica tramite fNIRS alla presentazione della stessa parola già ascoltata in fase di abituazione ( Benavides-Varela, Gómez, Macagno, et al., 2011). L'ipotesi alla base dell'uso di questa tecnica di *neuroimaging* era che la differenza nell'interferenza data dalla nuova parola o dalla musica durante l'intervallo di ritenzione potevano essere ricondotte a come gli stimoli uditivi vengono elaborati nel cervello dei neonati, nell'ottica di un confronto con il cervello adulto, in cui gli stimoli linguistici e la musica vengono elaborati da differenti network neurali (Benavides-Varela et al., 2011). I risultati di questa ricerca evidenziano come, oltre a presentare memoria a breve termine per le parole sin dai primi giorni di vita (come già dimostrato dallo studio di Benavides-Varela et al., (2011), i bambini elaborano in modo differenziale la musica rispetto agli stimoli linguistici: infatti, mentre la musica nell'intervallo di ritenzione non interferiva con la traccia mnestica della parola presentata in fase di abituazione, la presentazione di una parola nuova mostrava di causare interferenza con il ricordo della parola iniziali (Benavides-Varela et al., 2011). Questo risultato va a supporto dell'ipotesi per cui il linguaggio viene elaborato da un processo differente e specifico rispetto ad altri stimoli uditivi sin dalle primissime fasi dello sviluppo.

A questo riguardo, come detto in precedenza, Baddeley ha ipotizzato che il processo specifico che supporta l'acquisizione del linguaggio nell'infanzia (in particolare per le componenti di vocabolario e grammatica) sia il *loop* fonologico del modello multicomponentiale della memoria di lavoro.

### 2.5.1 Ipotesi del *loop* fonologico in relazione allo sviluppo linguistico

Gathercole & Baddeley (1990) sono stati i primi ad aver ipotizzato che il loop fonologico costituisca il processo attraverso il quale i *pattern* sonori delle parole della lingua madre

sono appresi dai bambini. Per testare la loro ipotesi, gli autori hanno sottoposto tre gruppi di bambini (di 8 e di 6 anni) ad un test di ripetizione di non-parole, in cui i soggetti ascoltavano e ripetevano liste crescenti di pseudo-parole (Gathercole & Baddeley, 1990). Il test di ripetizione di non-parole viene considerata una misura attenibile e pura del loop fonologico in quanto non consente l'accesso al lessico (ossia, alle parole già conosciute) e quindi non fornisce nessuna facilitazione in termini di associazione con le parole da ricordare (Gathercole & Baddeley, 1990). Contrariamente, nei test di ripetizione di parole, i soggetti potrebbero ricorrere a strategie mnestiche basate sul significato per concatenare tra loro le parole e migliorare il ricordo della sequenza. Inoltre, è un compito molto semplice che i bambini in età prescolare (verso la fine dei 2 anni) mostrano di svolgere senza difficoltà (Gathercole & Adams, 1993). I risultati di questo studio (Gathercole & Baddeley, 1990) hanno permesso di rilevare che bambini di 8 anni con uno sviluppo linguistico deficitario causato da un DPL (ma intelligenza verbale nella norma), avevano prestazioni al test inferiore a quelle di bambini di 8 anni con sviluppo tipico e inferiori anche a quelle di bambini di 6 anni senza DPL. Questo ha permesso di inferire un possibile legame tra sviluppo linguistico e loop fonologico, ossia la componente che sottende al test di ripetizione di non-parole (Gathercole & Baddeley, 1990). Molti studi successivi hanno confermato questa relazione per l'età prescolare e scolare. Durante l'infanzia (dai 4 anni circa) e i primi anni scolari, la relazione tra test di ripetizione di non-parole e ampiezza del vocabolario è molto alta ma, mentre negli anni prescolari sembra corretto supporre che il *loop* fonologico sostiene l'acquisizione del vocabolario, negli anni successivi è più probabile che entrambi i fattori si influenzino vicendevolmente in un rapporto di correlazione, in cui la progressiva ampiezza del vocabolario facilita anche l'acquisizione di nuove parole in sinergia con il *loop* fonologico (Baddeley et al., 2017). In uno studio longitudinale (Gathercole et al., 1992) con bambini testati a 4, 5, 6 e 8 anni si è evidenziato infatti come le capacità di memoria di lavoro fonologica in età prescolare fornisca un indice predittivo della crescita del vocabolario nel primo anno scolastico mentre negli anni successivi è più appropriato parlare di correlazione tra i due fattori.

Un'ulteriore funzione del loop fonologico sembra essere quella di sostenere l'apprendimento della grammatica e della sintassi (Baddeley et al., 2017). È stato infatti proposto che per apprendere la struttura di una frase, le espressioni linguistiche devono prima avere accesso al *loop* fonologico (Speidel, 1993). Ne consegue quindi che

l'integrità delle rappresentazioni espressive contenute in memoria di lavoro a breve termine (*loop* fonologico) vincoli il passaggio delle espressioni linguistiche in MLT e quindi l'apprendimento della sintassi di una lingua (Speidel, 1993). A supporto di questa ipotesi, (Speidel, 1993) ha effettuato un'analisi longitudinale del caso di due fratelli bilingui, entrambi con un'intelligenza nella norma e senza difficoltà nella comprensione del linguaggio. Tuttavia, un fratello presentava difficoltà nel linguaggio espressivo di entrambe le lingue: aveva iniziato a dire le prime parole con un certo ritardo e quando aveva iniziato a costruire le prime frasi, la fragilità nel vocabolario espressivo e nella sintassi di entrambe le lingue si erano rese più evidenti (Speidel, 1993). Egli, inoltre, all'età di 5 anni, mostrava prestazioni deficitarie ai test volte a misurare il loop fonologico (come *digit span* uditivo e test di posizione di cifre), e significativamente inferiori rispetto al fratello, in cui non si evidenziavano difficoltà nella produzione di nessuna delle due lingue (Speidel, 1993). L'ipotesi a spiegazione del deficit nella costruzione di frasi del primo fratello è stata imputata ad una fragilità del loop fonologico, che sin dalle prime fasi dello sviluppo non avrebbe permesso di trattenere in memoria fonologica i vocaboli e le espressioni linguistiche per un tempo sufficiente da permettere di immagazzinarne la sintassi in MLT (Speidel, 1993). In ragione di ciò, la produzione linguistica spontanea del bambino risultava impoverita sia da un punto di vista di ampiezza del vocabolario espressivo sia dal punto di vista di correttezza delle frasi prodotte spontaneamente (Speidel, 1993). Altri studi hanno fornito dati a supporto della correlazione significativa tra loop fonologico e acquisizione della sintassi della lingua madre: come lo studio di (Blake et al., 1994) che ha dimostrato come il test di span di parole sia predittivo della lunghezza delle espressioni linguistiche in bambini dai 2 ai 3 anni. E come lo studio di Adams et al., (1995), che ha confrontato le prestazioni di due gruppi di bambini di 3 anni entrambi sottoposti a test di memoria fonologica (quali *digit span* e ripetizione di non-parole), trovando che il gruppo di bambini con prestazioni migliori ai test produceva espressioni linguistiche più articolate e lunghe, e possedeva un vocabolario espressivo più ampio, rispetto al gruppo di bambini con prestazioni peggiori ai test di memoria fonologica (Adams et al., 1995).

Dai risultati degli studi appena esposti, si rende evidente il ruolo cruciale del *loop* fonologico nel processo di sviluppo del linguaggio, in particolare per quanto riguarda

l'acquisizione del vocabolario e delle regole sintattiche della lingua natia (Baddeley et al., 2017).

Nell'ambito dei dati sopra elencati, la sottocomponente che appare maggiormente rilevante nel collegare il *loop* fonologico con l'acquisizione del vocabolario della prima lingua è il magazzino a breve termine fonologico, se non altro perché il processo di ripetizione sub-vocalica (l'altra sottocomponente del *loop* fonologico) sembra emergere pienamente a partire dai 7 anni circa (Baddeley et al., 2017). Non ci sono dati sperimentali a supporto del fatto che i bambini prima di quell'età ricorrono alla ripetizione per il mantenimento della traccia, mentre sono presenti studi che evidenziano la correlazione tra magazzino fonologico e apprendimento del vocabolario ben prima dei 7 anni, come lo studio di Gathercole & Adams (1993) che ha testato un gruppo di bambini dai 2 ai 3 anni con compiti di memoria di lavoro fonologica (quali *digit span*, ripetizione di parole e ripetizione di non-parole). In particolare, è stato dimostrato come il test di ripetizione di non-parole misuri la componente del magazzino fonologico e non il processo di ripetizione sub-vocalica (Gathercole & Adams, 1993). Il test richiede infatti ai bambini di ripetere ogni *item* non appena lo ascoltano, cosa che presuppone all'incirca 1 secondo dopo la fine dell'ascolto della non-parola, e ai bambini viene concesso di ripeterle non appena ogni parola finisce di essere presentata (Gathercole et al., 1994). Le non-parole utilizzate nel *test* non impiegano più di 1 secondo per essere pronunciate (Gathercole et al., 1994). Inoltre, il magazzino a breve termine fonologico consente di ritenere materiale verbale per circa 2 secondi (Gathercole et al., 1994). Dati questi presupposti, è poco probabile che i bambini prescolari ricorrono ai processi di ripetizione per trattenere più a lungo il materiale verbale o che questo processo spieghi le differenze individuali nell'ampiezza del vocabolario (Baddeley et al., 2017). Questi dati fanno quindi ipotizzare che per l'acquisizione del lessico nell'infanzia sia la componente del magazzino a mediare la transizione verso la memorizzazione lungo termine. Per quanto riguarda il processo di ripetizione subvocalica invece, sono stati trovati dati che supportano il suo ruolo nell'apprendimento di una seconda lingua negli adulti (Baddeley et al., 2017).

Ad oggi, lo studio della memoria a breve termine fonologica nella prima infanzia (0 - 2 anni) rappresenta un ambito ancora poco esplorato, principalmente per due ordini di ragioni (Gathercole & Adams, 1993): in primo luogo, i classici test di memoria di lavoro fonologica (come la ripetizione di non-parole e il *digit span* uditivo) rappresentano

compiti troppo difficili per i bambini in quel *range* d'età, sia per quanto riguarda la comprensione della consegna che l'esecuzione in termini di capacità di produzione linguistica (Gathercole & Adams, 1993); in secondo luogo, è noto come prima dei quattro anni le capacità di memoria di lavoro dei bambini siano molto rudimentali e i test classici risultano quindi superflui nel tentare di rilevarle (Gathercole & Adams, 1993). Tuttavia, lo sviluppo di nuovi compiti in grado di approfondire le capacità di memoria di lavoro fonologica sin dalle prime fasi dello sviluppo è di grande importanza sia sotto un punto di vista di ricerca, perché permetterebbe di approfondire la relazione tra memoria di lavoro fonologica e sviluppo linguistico, sia sotto un punto di vista di applicazione clinica, poiché permetterebbe l'individuazione precoce di fragilità e sottili deficit e, conseguentemente, di intervenire in ottica preventiva o abilitativa (Gathercole & Adams, 1993).

Ad esempio, ricerche recenti inerenti alle fragilità cognitive precoci che possono contribuire all'emergere di un DPL nell'infanzia hanno approfondito una componente alla base del linguaggio, il *rapid auditory processing*, che consiste nella capacità di elaborazione acustica degli stimoli. Numerosi studi (Tallal & Piercy, 1973; Cantiani et al., 2016; Dispaldro et al., 2013) hanno evidenziato come questa capacità risulti deficitaria ad età precoci nei/lle bambini/e con almeno un genitore con manifesto DPL (quindi ad alta familiarità genetica per questo tipo di disturbo), e che questo deficit precoce – che si manifesta sia per stimoli linguistici (Tallal & Piercy, 1973), che per stimoli acustici non-linguistici (Cantiani et al., 2016) ma anche per stimoli di tipo visivo (Dispaldro et al., 2013) – sia un predittore significativo della comparsa di fragilità linguistiche o di DPL nei mesi e/o negli anni successivi. Come numerosi altri disturbi evolutivi, anche il DPL porta con sé una serie di comorbidità e complessità che emergono nel corso dello sviluppo, tra cui una forte correlazione con Disturbi dell'Apprendimento (in particolare, con la Dislessia) negli anni scolastici, uno scarso senso di autoefficacia personale e di adattamento sociale negli anni successivi ed un maggiore tasso di abbandono scolastico. Da un punto di vista applicativo quindi, la possibilità di identificare e lavorare precocemente sulle fragilità cognitive in un momento in cui la plasticità cerebrale è massimamente presente, rappresenta una strada da perseguire per favorire e supportare le abilità linguistiche sin dai primi momenti di vita (ben prima che il linguaggio emerga

compiutamente) e, in termini generali, con l'obiettivo di migliorare la qualità di vita futura del/lla bambino/a.

In tal senso la creazione di nuovi paradigmi sperimentali nell'ambito della ricerca in Psicologia dello Sviluppo permette di approfondire i processi percettivi, cognitivi e mnestici precoci nell'ottica di rilevare se e in che modo essi correlino con lo sviluppo di competenze cognitive di più alto livello come, ad esempio, il linguaggio. Proprio questo è l'obiettivo della ricerca presentata all'interno del terzo capitolo, che si propone di sviluppare un compito per la misurazione della memoria di lavoro fonologica nei bambini dai 5 ai 24 mesi, correlando poi i risultati con i dati degli stessi bambini inerenti allo sviluppo del vocabolario.



## Capitolo III - ADAM, un test di memoria fonologica nella sua applicazione *online*

### 3.1 Introduzione e obiettivi di ricerca

Le ricerche note fino ad oggi hanno evidenziato il ruolo evolutivo del *loop* fonologico a partire dai 2/3 anni (Adams et al., 1995), ruolo che va meglio definendosi in età prescolare e scolare. Questa ricerca si propone quindi di approfondire il ruolo della memoria fonologica attraverso un test di memoria di lavoro somministrato a bambini dai 5 ai 24 mesi nella sua applicazione *online*, con l'obiettivo poi di correlare i dati emersi da questo compito con informazioni inerenti allo sviluppo linguistico. Come già evidenziato nel capitolo precedente, la creazione di nuovi test adattati alla prima infanzia e volti ad indagare abilità cognitive precoci, come in questo caso la memoria per i suoni linguistici, è di fondamentale importanza sia da un punto di vista di ricerca che di applicazione clinica, in un'ottica abilitativa e preventiva delle fragilità precoci nell'ambito linguistico. I test classici (*digit span*, ripetizione di parole, ripetizione di non-parole) inoltre, non sono adatti all'indagine di questa componente della memoria in bambini preverbali o con una produzione linguistica ancora rudimentale (come possono esserlo i bambini prima dei due anni). In ultimo, poter disporre di un test di ricerca nella sua versione *online* consente di aumentare l'inclusività anche a famiglie impossibilitate a recarsi nei laboratori di psicologia appositamente predisposti. In questo senso, oltre ad apportare vantaggi per lo studio di per sé (come quello di aumentare la variabilità geografica dei partecipanti e quindi contribuire a rendere un campione maggiormente rappresentativo della popolazione), favorisce anche il diffondersi della cultura della ricerca psicologica in senso lato.

### 3.2 Ipotesi di ricerca

Il presente studio si propone come una ricerca esplorativa, volta innanzitutto a comprendere se nelle fasi precoci dello sviluppo sia possibile osservare la presenza della memoria di lavoro fonologica (alla stregua di come accade per quella visuo-spaziale), tramite un nuovo test *online*. Inoltre, questo studio intende analizzare la presenza di un'eventuale correlazione tra lo sviluppo linguistico e la memoria fonologica, in linea con le seguenti ipotesi:

- a) analizzare quali eventuali correlazioni intercorrono tra le variabili quantitative di interesse del test di memoria di lavoro fonologica “ADAM” e i punteggi grezzi ottenuti al PVB, sia per la componente linguistica di comprensione che per quella di produzione;
- b) analizzare la possibile correlazione tra gli span di memoria (individuati a partire dai *Diff. score* del FL e del TLT) e gli indici di produzione e comprensione al PVB;
- c) indagare possibili correlazioni tra le variabili quantitative di interesse dell’ADAM e le variabili socio-anagrafiche (età in mesi e sesso) del campione, nonché tra i punteggi al PVB e le variabili socio-anagrafiche (età in mesi e sesso) del campione;

### 3.3 Partecipanti

Un totale di 26 bambini (16 maschi e 10 femmine) ha preso parte a questa ricerca nella sua forma completa ( $M_{età} = 15.39$ ;  $D_{età} = \pm 5.51$ ;  $\text{Gamma}_{età} = 5 - 26$ ), tutti residenti in Veneto (in particolare nelle province di Belluno e Padova). Dalle analisi finali di questo campione sono stati esclusi due bambini ( $N = 2$ ) in quanto bambini a neurosviluppo atipico. Il campione finale conta quindi di 24 bambini ( $M_{età} = 16.27$ ;  $D_{età} = \pm 4.75$ ;  $\text{Gamma}_{età} = 5 - 26$ ;  $\text{Asimmetria}_{età} = .16$ ;  $\text{Curtosi} = 1.9$ ). Anche se inizialmente il *range* d’età doveva coinvolgere bambini/e dai 5 ai 24 mesi, in ragione del forte tasso di abbandono in questo studio, è stata presa la decisione di estendere leggermente la partecipazione fino ai bambini di 26 mesi, che tuttavia rappresentano una ridotta parte del campione ( $N = 1$ ).

Il reclutamento, che ha avuto luogo tra marzo e giugno 2024, è avvenuto secondo diverse modalità:

- *online*, tramite i *social media* (in particolare gruppi *Facebook* di neogenitori);
- negli asili nido, presentando la ricerca a coordinatrici ed educatrici delle strutture;
- tramite volantaggio sul territorio della provincia di Belluno;
- tramite passaparola.

Un totale di 36 genitori ha effettuato l’iscrizione a questa ricerca ma 10 di loro hanno abbandonato lo studio prima di aver completato tutte le sue fasi, motivo per cui non sono

stati considerati nelle analisi dei dati successive. Le fasi in cui si articolava la ricerca erano le seguenti:

- 1) presentazione della ricerca ai genitori interessati tramite una videochiamata di circa 20 minuti;
- 2) firma e reinvio del modulo di consenso informato e tutela della *privacy*;
- 3) compilazione di tre questionari volti a raccogliere informazioni anagrafiche, sul sonno e sullo sviluppo linguistico del bambino;
- 4) compilazione del Diario del Sonno (Horváth & Plunkett, 2016)
- 5) svolgimento del test ADAM 3 *online*;
- 6) svolgimento del test ADAM 2 o ADAM 4 *online*, dopo almeno 72 ore dall'ADAM

I genitori dei 24 bambini di cui sono stati analizzati i dati hanno completato tutte le fasi della ricerca. La maggior parte dei genitori che hanno preventivamente abbandonato lo studio l'hanno fatto in conseguenza di alcune problematiche emerse nello svolgimento dell'ADAM 3. Le problematiche che più di frequente emergevano nel momento di eseguire il test erano di natura tecnica (dispositivo computer/*webcam* inadatti per risoluzione e/o connessione Internet instabile) o legate a fattori "endogeni" di irrequietezza motoria dei/le bambini/e. Il test, infatti, richiedeva ai bambini/e di mantenere l'attenzione sul compito per un tempo di circa cinque minuti senza uscire dall'area di interesse della *webcam*. Per cercare una risoluzione a quest'ultimo problema, che era alla base di un forte tasso di abbandono dello studio, si è previsto che venissero implementati tre opzioni (opzioni "A", "B", "C") applicabili ad ogni livello dell'ADAM, che differivano nel grado di movimento permesso ai bambini durante il test. Nella versione "A" dell'ADAM, contenente un *eyetracker online*, la libertà di movimento concessa al/la bambino/a durante il test era molto limitata al fine di consentire un'inquadratura ottimale del volto e dello sguardo; la versione "B" conteneva anch'essa un *eyetracker online*, tuttavia meno rigido in termini di spostamenti consentiti al/la bambino/a nel corso del compito. La versione "C" non prevedeva l'utilizzo dell'*eyetracker* e quindi i/le bambini/e erano relativamente più liberi di muoversi senza che la procedura del compito si arrestasse. In questo ultimo caso, le codifiche dello spostamento dello sguardo erano unicamente di tipo "manuale", mentre nelle versioni "A" e "B" venivano effettuate anche le codifiche automatiche grazie all'*eyetracker online* implementato nella piattaforma *online* Labvanced (*Labvanced*, s.d.). I dettagli tecnici del

test ADAM e delle sue diverse versioni online verranno meglio approfondite nei paragrafi successivi.

### 3.4 Metodo e procedura

Come illustrato nel paragrafo precedente, le fasi di questa ricerca erano molto articolate ed essendo una procedura *online* ai genitori veniva richiesto un ruolo attivo in ogni parte dello studio. Dopo aver preso un contatto iniziale con il/i genitore/i, e al termine della videochiamata conoscitiva, inviavo ai genitori un'*e-mail* contenente tutti gli strumenti necessari a procedere con la ricerca:

- *link* (o pdf) per la compilazione del “Modulo informativo e di consenso alla partecipazione e al trattamento dei dati”, da firmare prima di proseguire con le altre fasi della ricerca;
- pdf riassuntivo delle informazioni trasmesse durante la videochiamata conoscitiva inerenti alle varie fasi della ricerca, in cui venivano specificate le modalità di svolgimento di ogni fase e le tempistiche pianificate assieme ai genitori per compilazione del diario del sonno e svolgimento dell'ADAM 3;
- tre *link* per la compilazione dei questionari (uno per la raccolta di informazioni anagrafiche, uno relativo allo sviluppo del linguaggio, uno relativo alla qualità del sonno);
- un *link* per accedere al Diario del Sonno;
- un *link* per l'accesso al test ADAM 3.

#### 3.4.1 Questionari e Diario del sonno

I questionari autosomministrati inviati ai genitori erano in totale quattro, tutti compilabili *online* attraverso le piattaforme Google Form e Labvanced. Il primo questionario che veniva compilato dai genitori consisteva in un insieme di domande di tipo socio-anagrafico sul nucleo familiare, nello specifico sul/lla bambino/a che avrebbe preso parte allo studio (es. età in mesi del bambino, settimane gestazionali, peso alla nascita, ecc.) e sui genitori (es. età, livello di scolarità, lavoro, ecc.). Il secondo questionario consisteva in una forma breve della scheda “Gesti e Parole” del Primo Vocabolario del Bambino (PVB) (Caselli et al., 2015), adattamento italiano del *MacArthur-Bates Communicative Development Inventories* (MB-CDI), in cui i genitori dovevano indicare su una scala

Likert a due punti, quali gesti e quali parole tra quelli di una lista il/la loro bambino/a dimostrava di comprendere e/o produrre. Per ogni *item* veniva assegnato un punteggio da zero a due punti, a seconda che il/la bambino/a sapesse solo comprendere o solo produrre (1 punto) il contenuto dell'item, o che riuscisse in entrambe le capacità (2 punti) o in alcuna di esse (0). Il PVB è stato testato e validato come uno strumento attendibile per la valutazione dello sviluppo linguistico e comunicativo nei bambini dagli 8 ai 36 (Caselli et al., 2015), tuttavia i punteggi grezzi presi in analisi in questo studio si sono dimostrati correlare significativamente con l'età dei/lle bambini/e a partire già dai 5 mesi (si rimanda al par. 3.7 per le specifiche).

Inizialmente, nell'ambito della raccolta dati di questa ricerca, si è provveduto a raccogliere informazioni inerenti al sonno dei bambini nei primi 2 anni di vita, con l'intenzione di analizzare se/come questo si leghi alle prestazioni al test ADAM di memoria fonologica e allo sviluppo del linguaggio. Gli strumenti utilizzati per la valutazione del sonno sono stati: la versione italiana validata del *Brief Screening Questionnaire for Infant Sleep Problems* (BISQ, Sadeh, 2004); la versione italiana validata dello *Sleep Disturbance Scale for Children* (SDSC(Bruni et al., 1996); la versione italiana validata dello strumento *Sleeps and Naps Oxford Research Inventory* (Horváth & Plunkett, 2016) da cui è stato tratto il Diario del sonno utilizzato in questa ricerca. Nel complesso questi strumenti permettono di rilevare eventuali indici di preoccupazione clinica nell'andamento del sonno.

Ai fini della stesura di questo elaborato e in ragione della letteratura analizzata nei due capitoli precedenti, tuttavia, i dati considerati per le analisi dei paragrafi successivi si limitano a quelli inerenti allo svolgimento del test ADAM e alla compilazione del PVB da parte dei genitori. Sono stati pertanto esclusi i dati inerenti all'andamento e la qualità del sonno.

#### 3.4.2 Test ADAM

Il test ADAM consiste in un compito di memoria di lavoro fonologica somministrato a bambini nei primi 2 anni di vita. È inoltre un compito di memoria adattiva (*ADaptive Memory*) in quanto la progressione dei livelli a cui viene assegnato ogni bambino varia a seconda della "prestazione" ottenuta al primo livello, ossia l'ADAM 3. Il paradigma sperimentale su cui si basa questo test è molto simile a quello utilizzato negli studi di

(Kovács & Mehler, 2009) inerente alle funzioni esecutive dei bambini bilingui e monolingui, e nello studio di Benavides Varela e Reoyo Serrano (2021) per lo studio dell'OFS con stimoli linguistici. Rispetto a quest'ultimo studio, l'unica differenza consiste nel fatto che, all'interno di ogni livello del test, il numero di sillabe che compongono le non-parole rimane costante, variando invece a seconda del livello svolto (nello specifico, nell'ADAM 3 venivano somministrati stimoli trisillabici, nell'ADAM 2 stimoli bisillabici e nell'ADAM 4 stimoli quadrisillabici). Tutti/e i/le bambini/e svolgevano come primo livello l'ADAM 3 e, sulla base della prestazione ottenuta, ognuno/a veniva poi assegnato/a al livello ADAM 2 o ADAM 4, da svolgere a qualche giorno di distanza dal primo test. L'ADAM 3, contenete stimoli trisillabici, è stato utilizzato come livello iniziale per tutti/e i bambini/e che hanno partecipato a questa ricerca, indipendentemente dalla loro età anagrafica. Esso è stato scelto come livello di partenza in virtù della letteratura analizzata, che rileva come i bambini sin dai primi mesi di vita riescano a: segmentare il parlato sulla base delle sillabe (Bijeljic-Babic et al., 1993); estrarre e generalizzare regole di costruzione di sequenze trisillabiche (dai 7 mesi, Marcus et al., 1999); discriminare sequenze trisillabiche che violano le co-occorrenze statistiche apprese (dagli 8 mesi, Saffran et al. 1996); associare a sequenze trisillabiche delle immagini arbitrarie dopo una breve fase di familiarizzazione, dimostrando capacità di rappresentazione e manipolazione di stimoli linguistici già dai 5 mesi (Kabdebon & Dehaene-Lambertz, 2019). Inoltre, anche analizzando la controparte visiva della memoria di lavoro nei primi due anni di vita, le ricerche indicano come lo span si attesti sui 3 item nel corso del primo anno di vita (Ross-Sheehy, 2015; Kibbe & Leslie, 2013; Zosh & Feigenson, 2015). Il test ADAM, configurandosi come un test di memoria adattiva su più livelli, consente di testare inizialmente uno span di memoria fonologica di tre item (ADAM 3) e, sulla base della prestazione ottenuta, di accedere al livello che testa uno span inferiore (ADAM 2) o superiore (ADAM 4). Al termine della partecipazione allo studio, quindi, ogni bambino/a completava due livelli del test di memoria di lavoro fonologica.

### *Stimoli*

Gli stimoli uditivi dell'ADAM consistono in non-parole formate da sillabe diverse di numerosità variabile (a seconda del livello). In tutti i livelli la durata di presentazione delle sillabe è di circa 200 ms, il *pitch* di 240 Hz e l'intensità di 70 dB. Mantenendo

costanti durata, *pitch* e intensità degli stimoli si evita che i bambini raggruppino (e quindi memorizzino) le sillabe sulla base delle loro caratteristiche acustiche, capacità che emerge già a 7 mesi (Bion et al., 2011).

Un'altra classe di stimoli, dei mostriciattoli colorati all'interno di un riquadro bianco la cui comparsa si sovrapponeva al suono di un campanello, è stata utilizzata come rinforzo visivo per attirare l'attenzione su un lato specifico dello schermo, destro o sinistro. Indipendentemente dalle dimensioni dello schermo utilizzato da ogni genitore, i mostriciattoli avevano una grandezza dai 4 cm ai 7 cm e permaneva all'interno del riquadro per 2 s, con un *onset* di comparsa che avveniva dopo 1 s rispetto alla presentazione degli stimoli linguistici.

### *Procedura*

Il test ADAM si compone di 3 blocchi identici e consecutivi<sup>3</sup>, e il suo svolgimento richiede un tempo di circa cinque minuti. All'interno di ogni blocco si succedono una fase di familiarizzazione e una fase test. La fase di familiarizzazione consiste in sei *trials* per ogni blocco (18 totali) all'interno dei quali, dopo la presentazione di ogni stimolo linguistico (target o distrattore), segue la comparsa di un mostriciattolo sul lato destro o sinistro dello schermo.

Gli stimoli sillabici in fase di familiarizzazione possono essere di 2 tipi:

- stimoli *target*, ossia non-parole che rimangono invariate all'interno di ogni blocco (ma differiscono *tra* i blocchi), che precedono la comparsa di un mostriciattolo sempre sullo stesso lato dello schermo;
- stimoli distrattori, ossia non-parole sempre diverse e che precedono la comparsa di un mostriciattolo sul lato opposto dello schermo rispetto agli stimoli target.

La fase test consiste invece di due *trials* per ogni blocco (sei in totale) in cui la presentazione delle sillabe (target e distrattori) non precede la comparsa dello stimolo visivo in uno dei due lati dello schermo. I *trials* test servono infatti per valutare il livello di memorizzazione dei bambini: se questi hanno memorizzato la sillaba target avranno imparato a guardare automaticamente in direzione dello stimolo target anche se questo di

---

<sup>3</sup> I blocchi proposti ad ogni bambini erano quattro, ma è stato possibile analizzarne solo tre poiché molti/e bambini/e non riuscivano a concludere l'ultimo blocco.

fatto non compare, oppure avranno appreso a guardare in direzione opposta ogni qualvolta si presenta un blocco di sillabe distrattrici.

Sulla base dell'analisi dello spostamento dello sguardo, effettuabile grazie alla videoregistrazione del volto del bambino ottenute tramite la piattaforma Labvanced per tutta la durata del test, è possibile capire se il bambino è riuscito ad identificare e memorizzare in fase di familiarizzazione gli stimoli target e/o a generalizzare la regola per cui alcuni stimoli si legano ad un lato specifico dello schermo mentre altri al lato opposto.

#### *Codifiche dello spostamento visivo*

Lo spostamento dello sguardo durante l'ADAM veniva codificato attraverso due modalità. Durante lo svolgimento del compito, infatti, questo veniva catturato automaticamente grazie alla presenza di un *eyetracker online* integrato nella piattaforma Labvanced stessa. In secondo luogo, le codifiche dello spostamento visivo sono state effettuate anche manualmente grazie all'analisi delle videoregistrazioni del compito tramite l'applicazione VirtualDub, che consente di scansionare una videoregistrazione in frame di circa 30-70 ms. Per quanto riguarda le analisi dei dati inserite in questo elaborato, si è scelto di utilizzare solo le codifiche effettuate manualmente, poiché più di un terzo dei/le bambini/e del campione (N = 9) ha svolto almeno un livello dell'ADAM con la versione "C", ossia la versione senza eyetracker online, rendendo il confronto tra le due modalità di codifica poco attuabile.

### 3.5 Analisi dei dati

#### *Variabili considerate*

Le misure comportamentali considerate in questo compito sono state *first look* (FL) e *total looking time* (TLT). Il FL consiste nel primo sguardo che il bambino effettua in direzione del lato destro o sinistro dello schermo dopo o durante l'ascolto delle sequenze di sillabe (*target* o distrattrici); il TLT riguarda i tempi totali di fissazione su ogni lato dello schermo e al centro, escludendo i tempi di fissazione in posizione "non-valida" (NA, che si riscontrava, ad esempio, quando i bambini spostavano lo sguardo al di fuori dello schermo). Nel corso delle codifiche del movimento degli occhi sono stati esclusi tutti gli sguardi aventi durata inferiore agli 80 ms in quanto considerati troppo rapidi per essere

valutati come una risposta implicita evocata dall'ascolto delle sillabe (Kovacs & Mehler, 2009a, 2009b).

Per valutare la correttezza o la non-correttezza degli sguardi, ogni livello dell'ADAM presentava due liste randomizzate differenti a cui un bambino poteva essere assegnato. Ciascuna lista era associata ad una *condition list* in cui erano indicate le sillabe *target* e le sillabe distrattrici che venivano poi messe a confronto con le risposte dei bambini al momento delle codifiche dello spostamento dello sguardo.

Un'importante variabile dipendente considerata in questo paradigma è il *Difference Score*, un punteggio sulla base del quale veniva deciso il livello successivo a cui assegnare il bambino dopo l'ADAM 3, poiché considerato come indice della memoria fonologica dei bambini. Questa variabile è stata ottenuta tenendo in considerazione il *total looking time* (quindi sia *first looks* che *second looks*) dei sei *trials* della fase test. Sulla base dei tempi totali di fissazione in posizione valida, e in confronto con la *condition list* di riferimento, un *trial* veniva considerato corretto quanto, durante il suo svolgimento, il/la bambino guardava per un tempo > 50% in direzione corretta, mentre veniva considerato non corretto quando il bambino guardava per un tempo <= 50% in direzione non-corretta. Successivamente, il *Diff. score* veniva calcolato secondo la formula che segue:

$$\text{Difference score total looking time} = \frac{(\#correct\ trials - \#incorrect\ trials)}{(\#correct\ trials + \#incorrect\ trials)}$$

Il *Difference Score* consiste quindi in una misura dell'accuratezza durante tutta la durata del compito (nella detenzione sia di stimoli target che di stimoli distrattori) in rapporto al numero totale di trials corretti e non-corretti. Il punteggio ottenuto da questo rapporto varia all'interno di un range che va da -1 a +1. I punteggi > 0 venivano considerati come indice del fatto che il bambino aveva memorizzato le sillabe target e/o compreso la regola inerente alle sillabe distrattrici comprendendo la regola (ossia, l'ascolto di sillabe sempre diverse porta alla comparsa di un mostriciattolo in posizione non-target) e veniva quindi assegnato al livello ADAM 4, composto da parole di 4 sillabe. I punteggi <= 0 indicavano invece una prestazione casuale, in cui il bambino non era riuscito nella memorizzazione delle sillabe target o nella generalizzazione della regola inerente alle sillabe distrattrici e veniva di conseguenza assegnato al livello ADAM 2, composto da stimoli bisillabici.

Un ulteriore *Diff. score* è stato calcolato anche sui FL, secondo la formula:

$$\text{Difference Score First Look} = \frac{(\#correct\ first\ looks - \#incorrect\ fist\ looks)}{(\#correct\ first\ looks + \#incorrect\ first\ looks)}$$

Entrambi i *Diff. score* sono stati presi in analisi per capire se fossero in linea l'uno con l'altro e se correlassero in qualche modo con gli indici di produzione e comprensione del PVB. Per trasformare i punteggi *Diff. score* ottenuti da ogni bambini nei due livelli svolti in misure di *span* di memoria fonologica, sono stati assegnati i seguenti punteggi:

- un punteggio di 4, a quei/le bambini/e i cui *Diff. score* erano  $> 0$  sia all'ADAM 3 che all'ADAM 4;
- un punteggio di 3, a quei/le bambini/e che avevano ottenuto un *Diff. score*  $> 0$  all'ADAM 3 ma  $\leq 0$  nell'ADAM 4;
- un punteggio di 2, a quei/le bambini/e che avevano ottenuto un *Diff. score*  $\leq 0$  all'ADAM 3 ma  $> 0$  all'ADAM 2;
- un punteggio di 1, se i *Diff. score* agli ADAM 3 e 2 erano entrambi  $\leq 0$ .

In sintesi, dall'assegnazione di questi punteggi sono quindi emerse altre due variabili utilizzate nelle analisi statistiche, ossia lo *span* di memoria basato sul FL e lo *span* di memoria basato sul TLT.

Un'altra variabile dell'ADAM analizzata in quanto possibile indice della velocità di elaborazione dell'informazione uditiva è il tempo di latenza (*latency*) impiegato dal bambino/a ad effettuare uno spostamento visivo in posizione valida (ossia, un FL) dopo che lo stimolo mutlisillabico era stato presentato. Infine, la durata complessiva del TLT è stata tenuta in considerazione in quanto possibile indice dell'attenzione del bambino al compito per tutta la durata del test.

Le analisi effettuate sulle variabili quantitative dell'ADAM hanno preso in considerazione tutti i dati che ogni bambino aveva collezionato nei due livelli.

La maggior parte delle analisi e dei grafici riportati nel paragrafo successivo sono stati realizzati tramite il software Jasp, mentre la grafica di alcune tabelle e figure è stata realizzata tramite il software Rstudio. Per l'analisi delle correlazioni e della varianza sono stati effettuati alcuni test (test di Pearson, test di Spearman, test Kruskal-Wallis), che sono stati preventivamente scelti sulla base della tipologia di variabili (categoriali o

quantitative) e sulla base del *p value* risultante dall'applicazione del test Shapiro-Wilk per la normalità bivariata.

### 3.6 Risultati

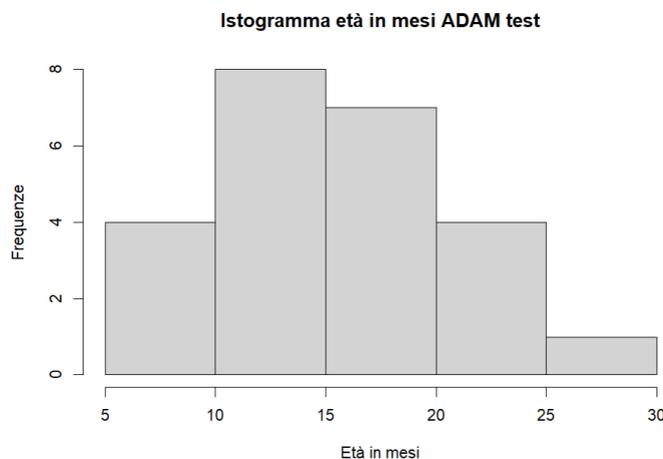
#### 3.6.1 Risultati delle analisi descrittive

Vengono ora fornite le statistiche descrittive delle variabili categoriali e quantitative prese in analisi in questo studio.

Per quanto concerne le variabili socio-anagrafiche il campione appare sufficientemente bilanciato, con una numerosità totale di 24 bambini/e, 10 femmine (freq. relativa = 0.47, freq. relativa percentuale = 41.67%) e 14 maschi (freq. relative = .058, freq relativa percentuale = 58.33%). L'età in mesi del campione si distribuisce normalmente ( $M_{age} = 15.45$ ,  $Mdn = 15.00$ ,  $Min_{age} = 5.00$ ,  $Max_{age} = 26.00$ ), con una maggiore frequenza (come evidenzia la Figura 1) di bambini/e nella fascia d'età dai 10 ai 15 mesi.

#### **Figura 1**

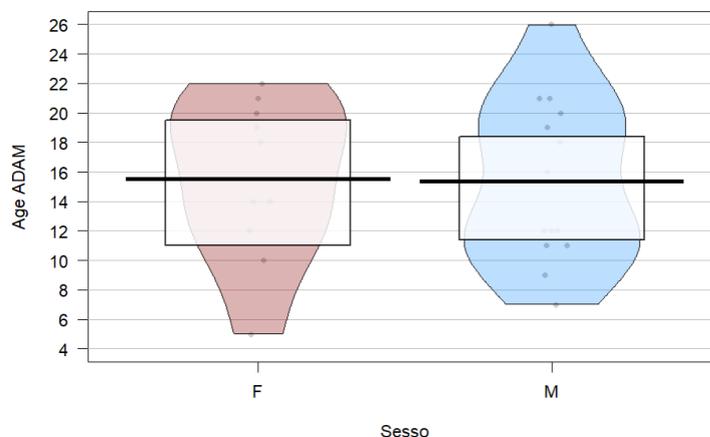
*Frequenza delle età in mesi del campione*



In Figura 2 è possibile osservare la distribuzione dell'età del campione in funzione della variabile "Sesso", notando come i due gruppi (femmine e maschi) appaiano sufficientemente ben distribuiti per quanto riguarda le età.

**Figura 2**

*Distribuzione e media delle età in funzione della variabile “sesso”*



Nella Tabella 1 sono riportati gli span di memoria, calcolati sulla base dei due *Diff. score* (al FL e al TLT), di cui sono stati riportati i livelli (punteggi da 1 a 4), le frequenze assolute, le frequenze relative e la moda

**Tabella 1**

*Statistiche descrittive ADAM (variabili categoriali)*

Variabili ADAM	Livelli	Freq. ass.	Freq. rel	Moda
Memory span FL	1	6	0.250	3
	2	6	0.250	3
	3	9	0.375	3
	4	3	0.125	3
Memory span TLT	1	6	0.250	4
	2	6	0.250	4
	3	5	0.208	4
	4	7	0.292	4

Nella Tabella 2 sono riportate le variabili quantitative del test ADAM, di cui sono state analizzate: media, deviazione standard, minimo e massimo, mediana, asimmetria e curtosi.

## Tabella 2

### Statistiche descrittive ADAM (variabili quantitative)

Variabili ADAM	Media	SD	Min.	Max.	Mediana	Diff. interq.	Asimmetria	Curtosi	NA
D.s. FL	0.024	0.377	-1.000	0.667	0.000	0.400	-0.325	3.042	0
Latenza FL	283.916	220.697	0.000	764.750	262.167	347.050	0.480	2.260	0
Latenza FL corr.	302.838	320.978	0.000	1,349.000	180.000	416.333	1.380	4.807	1
D.s. TLT	0.108	0.438	-1.000	1.000	0.100	0.575	-0.119	2.632	0
Durata tot. TLT	1,028.455	382.754	166.667	1,666.667	1,006.167	536.917	-0.268	2.481	0

Nella Tabella 3 sono riportate le analisi descrittive del PVB, diviso nei suoi due indici di produzione e comprensione. Le statistiche riportate fanno riferimento ai dati grezzi del questionario.

## Tabella 3

### Statistiche descrittive PVB (punteggi grezzi)

Variabili PVB	Media	SD	Min.	Max.	Mediana	Diff. interq.	Asimmetria	Curtosi	NA
PVB prod.	75.625	107.965	0.00	287.00	12.0	157.5	1.029	2.345	0
PVB compr.	94.500	104.373	0.00	285.00	42.5	173.5	0.872	2.055	0

Calcolando invece le fasce di prestazione (percentili) normalizzati per età, escludendo quindi tre bambini (N = 3) che non rientrano nel range d'età della taratura del questionario (8 – 30 mesi), emerge come la maggior parte dei bambini/e del campione si collochino nella fascia di prestazione più alta, ossia hanno totalizzato punteggi (sia in produzione che in comprensione), molto al di sopra della media (Tabella 4).

## Tabella 4

### Statistiche descrittive PVB (fasce di prestazione)

Variabili PVB	Percentili	Freq. ass.	Freq. rel	Moda	N A
PVB produzione	< 5°	2	0,238	> 95°	3
	5° – 25°	4	0,190	> 95°	3
	25° – 75°	5	0,238	> 95°	3
	75° – 95°	1	0,048	> 95°	3
	> 95°	9	0,429	> 95°	3
PVB comprensione	< 5°	1	0,048	> 95°	3

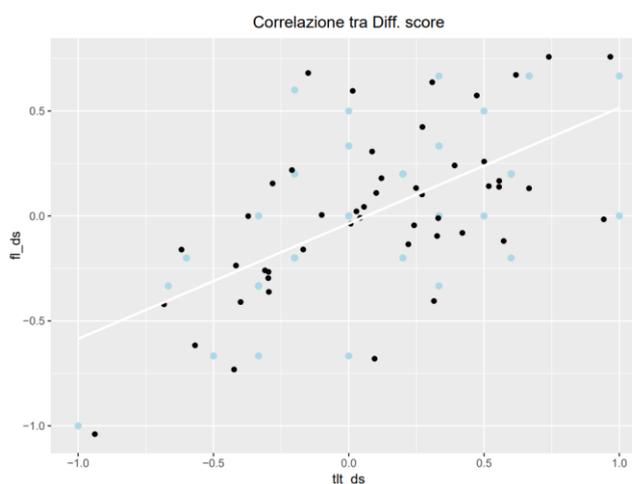
Variabili PVB	Percentili	Freq. ass.	Freq. rel	Moda	N A
	5° – 25°	6	0,286	> 95°	3
	25° – 75°	5	0,238	> 95°	3
	75° – 95°	1	0,048	> 95°	3
	> 95°	8	0,381	> 95°	3

### 3.6.2 Risultati delle analisi correlazionali

Dei/lle 24 bambini/e che hanno svolto l'ADAM 3, 12 hanno totalizzato un *Diff score* TLT negativo o uguale a zero, e sono quindi stati assegnati al livello ADAM 2. I restanti 12 hanno invece totalizzato un *Diff. score* positivo e sono stati quindi assegnati all'ADAM 4. Anche se il *Diff. score* utilizzato come criterio per l'assegnazione dei livelli è stato calcolato sul TLT, si è ritenuto fosse informativo (essendo questa una ricerca esplorativa) analizzare anche il *Diff. score* calcolato sui FL. La Figura 3 evidenzia come le due misure di *Diff. score* raccolte su tutti i livelli effettuati dai partecipanti risultano significativamente correlate, indice del fatto che le prestazioni al test misurate tramite i due diversi indici sono in linea l'una con l'altra,  $r(96) = .64$ ,  $p < .001$ .

### Figura 3

*Correlazione dei punteggi di Diff. score (TLT e FL)*



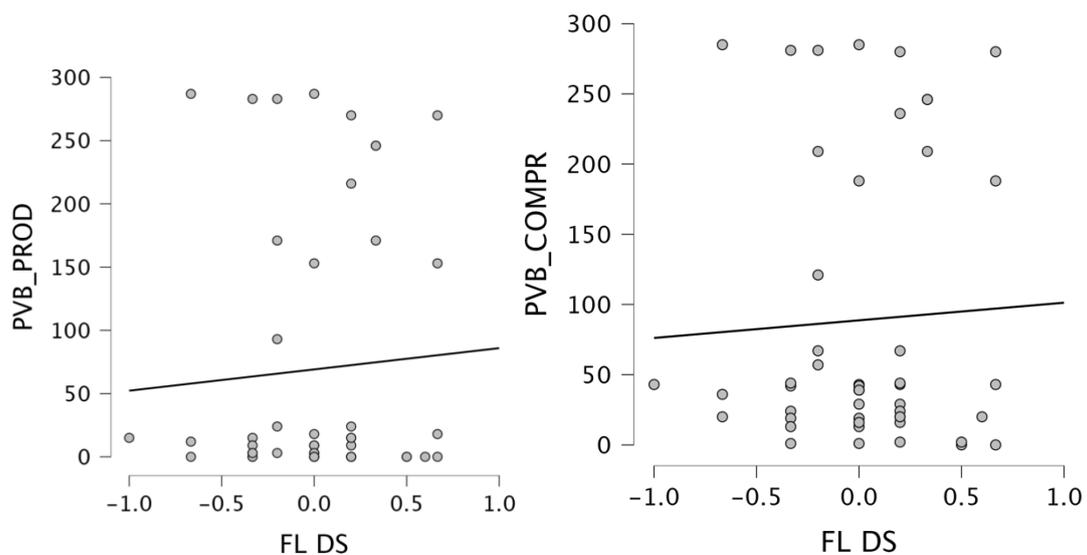
L'idea generale da cui prede le mosse questo studio e quella di approfondire se nella prima infanzia sia possibile rintracciare una forma di memoria fonologica (anche rudimentale) alla stregua delle ricerche che hanno analizzato la memoria di lavoro visuo-spaziale in questa fascia d'età. Come già menzionato nel paragrafo precedente, in base alla

performance al test ADAM catturata tramite il calcolo del *Diff. score* del TLT, ad ogni bambino/a è stato assegnato un punteggio da 1 a 4. Con tale punteggio si è inteso indicare lo span di memoria di lavoro fonologica emerso dal test ADAM. Lo span medio del campione calcolato sul TLT risulta essere di 2.54 sillabe ( $M_{TLT\_ms} = 2.54$ ;  $ds = 1.179$ ;  $Min = 1.000$ ;  $Max = 4.000$ ), mentre lo span medio del campione calcolato sul FL risulta essere di 2.38 sillabe ( $M_{FL\_ms} = 2.38$ ;  $ds = 1.013$ ;  $Min = 1.000$ ;  $Max = 4.000$ ). Le analisi correlazionali effettuate per indagare se all'aumentare dei mesi si verifici un aumento dello span di memoria hanno evidenziato correlazioni di intensità trascurabile e non statisticamente significative,  $r(24) < .1$ ,  $p > .05$ .

Successivamente, sono state effettuate delle analisi correlazionali tra le variabili quantitative dell'ADAM e i dati sullo sviluppo linguistico ottenuti tramite la somministrazione ai genitori del PVB. Le analisi correlazionali tra punteggi di *Diff. score* del FL e i punteggi del PVB non si sono rivelate significative né in produzione,  $r(48) = .06$ ,  $p = .69$ , né in comprensione  $r(48) = .05$ ,  $p = .75$ . Come si evince dalla Figura 4, pur non presentando una correlazione significativa, la linea di tendenza del grafico può far ipotizzare che l'aumentare del punteggio di *Diff score* del FL si registri in quei bambini che hanno punteggi maggiori in produzione e comprensione al PVB.

**Figura 4**

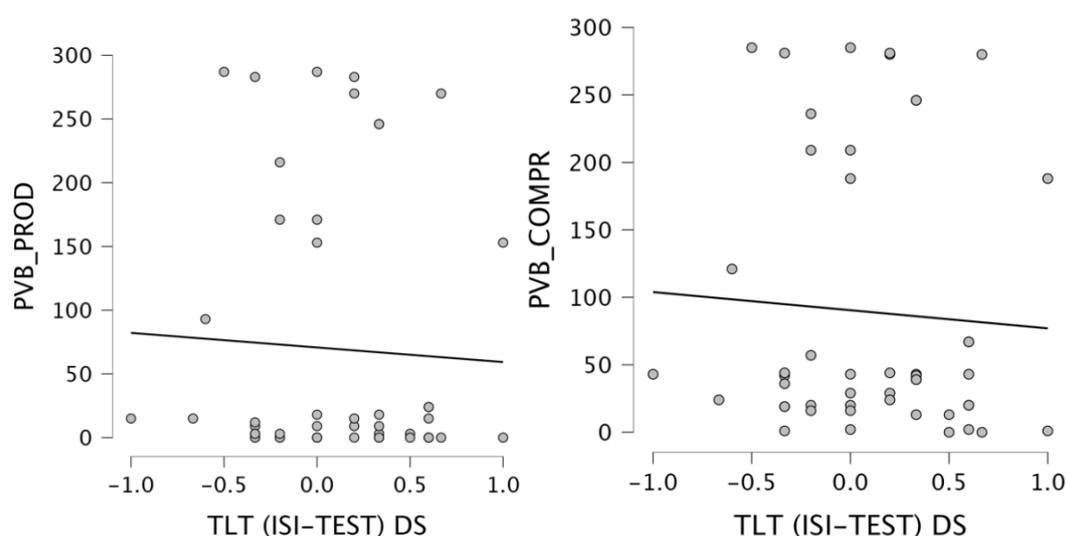
*Correlazione tra Diff. score FL e punteggi del PVB (produzione e comprensione)*



Similmente, le analisi di correlazione tra *Diff. score* del TLT e punteggi al PVB non sono risultate significative, né per quanto riguarda la produzione del linguaggio,  $r(48) = -.05$ ,  $p = .75$ , né per quanto riguarda la comprensione dello stesso,  $r(24) = -.06$ ,  $p = .70$ . Al contrario di quanto accade nella Figura 4, i grafici della Figura 5 mostrano come la linea di tendenza che unisce i punteggi del *Diff. score* del TLT con i punteggi del linguaggio potrebbe far ipotizzare, contro intuitivamente, che i bambini con prestazioni migliori al test ADAM siano anche quelli con punteggi più bassi al PVB.

### Figura 5

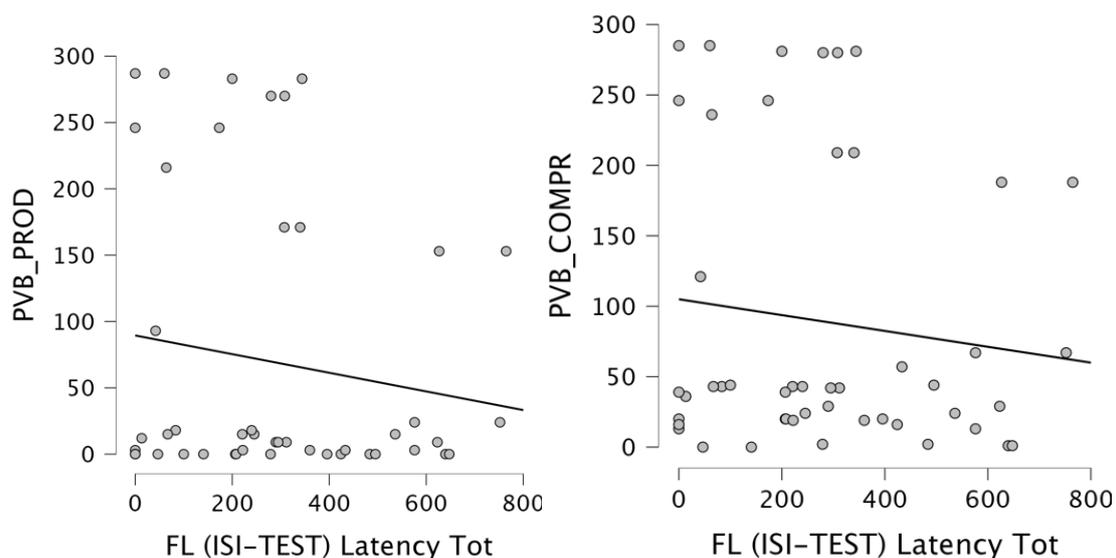
Correlazione tra *Diff. score* TLT e punteggi del PVB (produzione e comprensione)



La latenza di risposta data ai FL è stata considerata come un indice della velocità elaborazione dei/le bambini/e nel fornire la risposta dopo aver udito lo stimolo *target* o *distractor*. Si è quindi effettuata un'analisi della correlazione tra la latenza di risposta e i punteggi del PVB, per capire se la velocità di elaborazione dello stimolo uditivo corrispondesse o meno ad uno sviluppo linguistico più avanzato. Dalle analisi è emersa una debole correlazione – non statisticamente significativa – tra queste due variabili, sia per quanto riguarda il vocabolario in produzione,  $r(47) = -.20$ ,  $p = .20$ , sia per quanto riguarda il vocabolario in comprensione,  $r(47) = -.20$ ,  $p = .30$ . Dai grafici della Figura 6 possiamo comunque osservare che, benché la correlazione non sia significativa, le linee di tendenza possono far ipotizzare che all'aumentare dei tempi di latenza del FL i punteggi del PVB risultano più bassi, nell'idea generale che bambini/e con una minore velocità di elaborazione dello stimolo fonologico abbiano punteggi di sviluppo linguistico più bassi.

**Figura 6**

*Correlazione tra Latenza tot. al FL e punteggi del PVB (produzione e comprensione)*

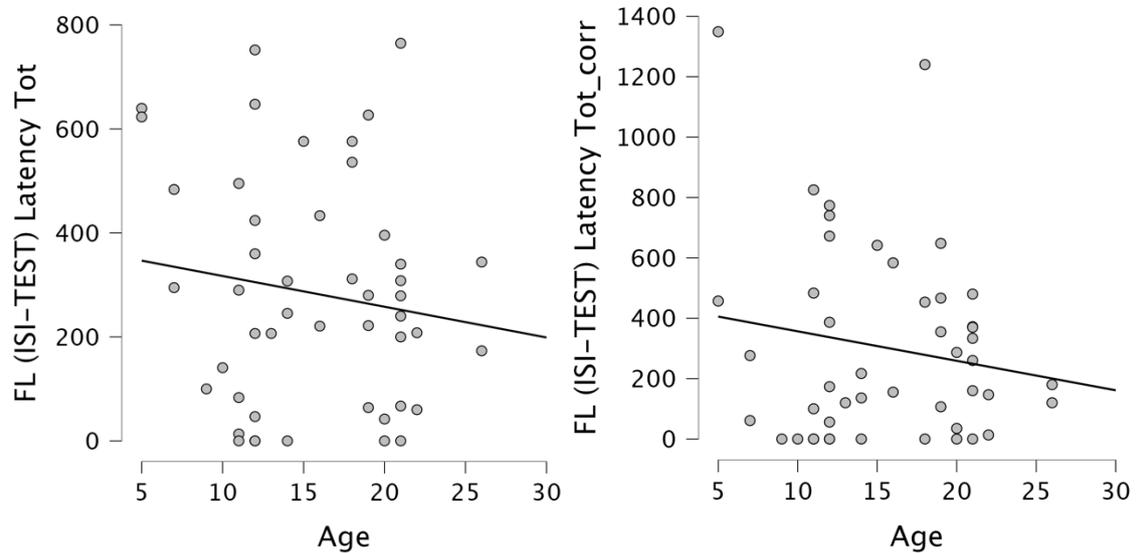


*Note.* La linea di tendenza mostra come i/le bambini/e con punteggi di linguaggio più bassi si legano a tempi di latenza maggiori, mentre bambini/e con punteggi di linguaggio più alti evidenziano tempi di latenza minori.

Dai grafico presentato in Figura 7 (grafico a sinistra) possiamo inoltre notare la rappresentazione della correlazione lineare negativa tra età in mesi e latenza al FL, correlazione che seppur non statisticamente significativa,  $p(48) = -.14$   $p = .36$ , potrebbe far ipotizzare che al crescere dell'età diminuiscono i tempi di risposta allo stimolo fonologico. Sempre in Figura 7 (grafico a destra) è possibile osservare come, all'aumentare dell'età, diminuiscono i tempi di latenza nei casi in cui il FL è risultato essere una risposta corretta. Anche in quest'ultimo caso la correlazione non è risultata essere statisticamente significativa,  $\rho(47) = -.02$ ,  $p = .92$ .

**Figura 7**

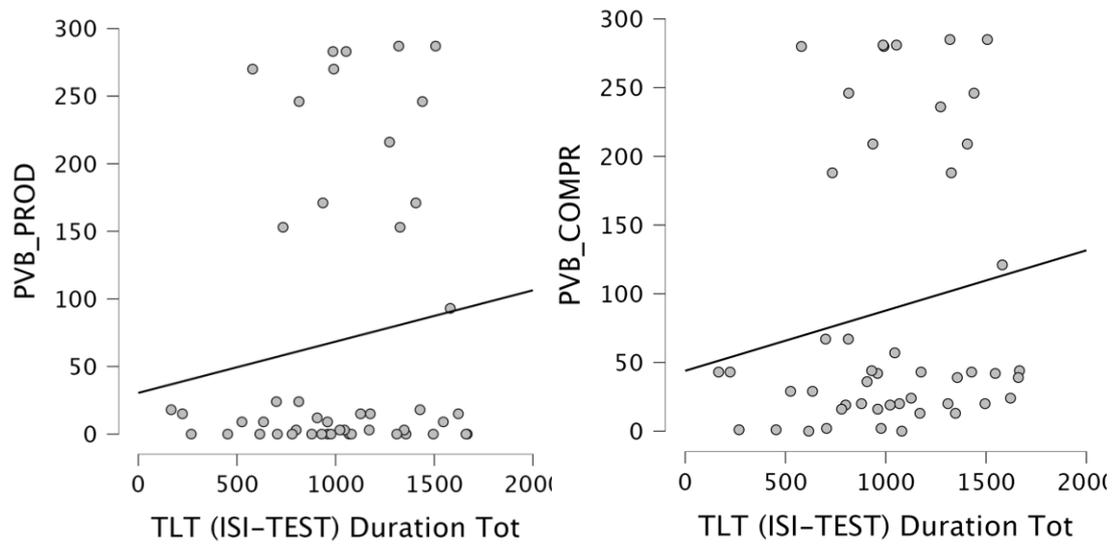
Correlazione tra l'età in mesi e la latenza totale di risposta (grafico a sinistra), e correlazione tra l'età in mesi e la latenza di risposta corretta (grafico a destra)



Il tempo di fissazione totale durante il test è stato utilizzato come indice di attenzione generale al compito. Si è quindi effettuata un'analisi per indagare la possibile correlazione tra la durata totale del TLT e i punteggi al PVB per capire se, sulla base dei dati estratti da questo campione, fosse legittimo ipotizzare un legame tra tempo di attenzione totale al compito di memoria di lavoro fonologica e lo sviluppo linguistico. Il test effettuato tra la durata totale del TLT e il punteggio di produzione del PVB ha evidenziato una debole correlazione lineare non statisticamente significativa,  $r(48) = .14$ ,  $p = .35$ . Allo stesso modo, anche il test effettuato tra la durata totale del TLT ed il punteggio di comprensione del PVB non ha evidenziato correlazioni statisticamente significative,  $r(48) = .17$ ,  $p = .26$ . La Figura 8, attraverso i due grafici a dispersione, permette di osservare queste correlazioni.

**Figura 8**

*Correlazione tra durata totale del TLT e punteggi del PVB (produzione e comprensione)*

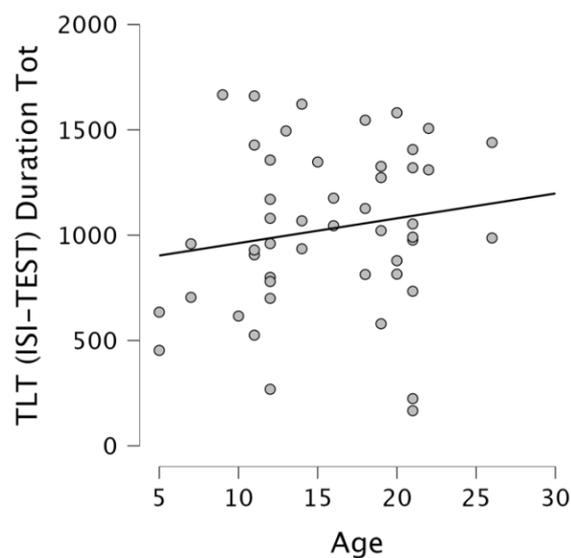


*Note.* I grafici mostrano come ci sia una correlazione lineare positiva tra l'aumentare del tempo totale di fissazione e l'aumentare dei punteggi al PVB sia in produzione (grafico a sinistra) che in comprensione (grafico a destra).

Analizzando poi il legame tra età in mesi del campione e durata totale di attenzione al compito ADAM, emerge una debole correlazione positiva (Figura 9), non statisticamente significativa,  $r(48) = .16$ ,  $p = .27$ .

**Figura 9**

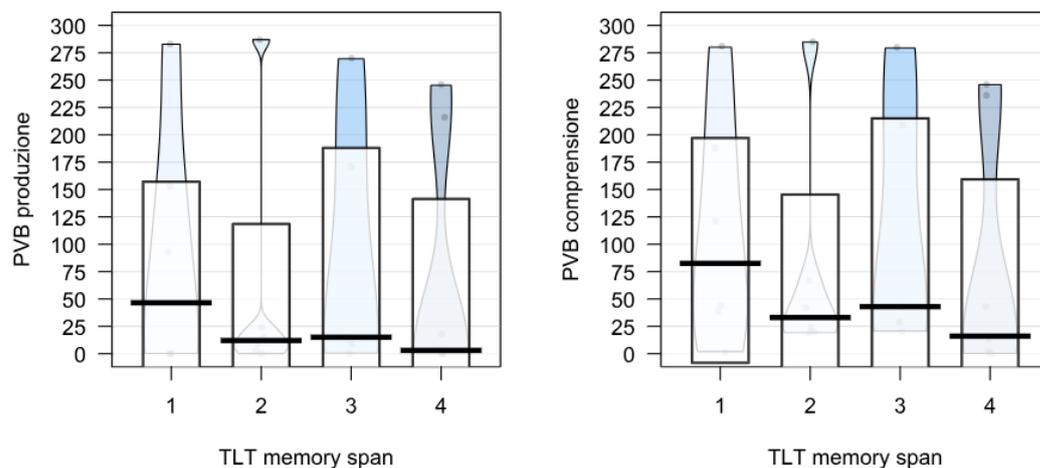
*Correlazione tra Età in mesi e durata totale del TLT*



Si è voluta poi testare la correlazione tra span di memoria e punteggi del PVB, nell'ipotesi generale che uno span di memoria fonologica maggiore possa correlare con un vocabolario in produzione e in comprensione più ampio. Lo span di memoria calcolato sulla base del *Diff. score* del TLT non ha evidenziato una correlazione significativa con i punteggi del PVB, né in produzione,  $\chi^2(3, N = 24) = 0.58, p = .90$ , né in comprensione,  $\chi^2(3, N = 24) = 1.91, p = .59$ . Allo stesso modo, neanche la correlazione tra span di memoria calcolato sulla base del *Diff. score* del FL non ha evidenziato correlazioni significative con i punteggi di produzione,  $\chi^2(3, N = 24) = 0.54, p = .91$ , e comprensione,  $\chi^2(3, N = 24) = 2.61, p = .46$ . A titolo illustrativo, vengono riportati i grafici che mostrano la distribuzione dei punteggi e le distribuzioni di densità del PVB in funzione di ogni livello di span di memoria (Figura 10 e Figura 11). Nessuna correlazione è risultata statisticamente significativa e dai grafici (Figura 10 e 11) possiamo osservare come le distribuzioni di densità indichino la presenza di dati molto variabili all'interno di ogni categoria di span di memoria.

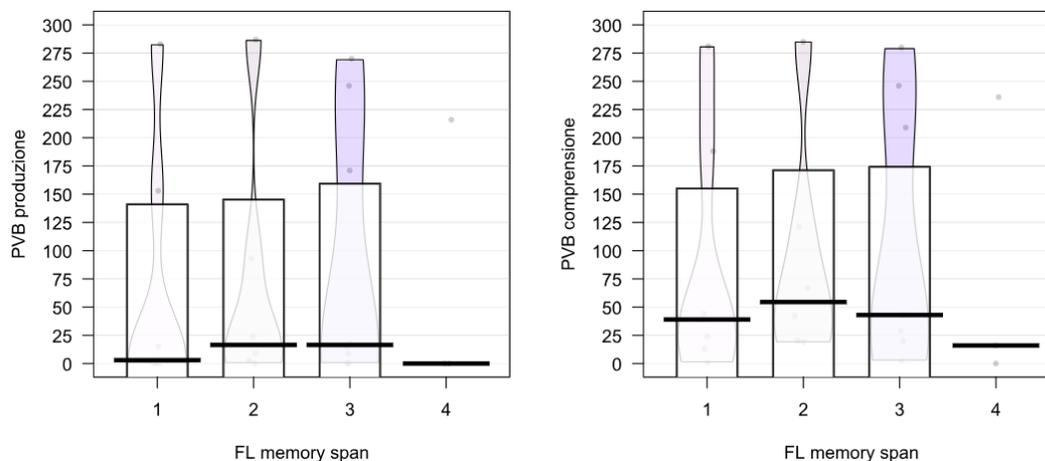
**Figura 10**

*Distribuzione dei punteggi del PVB (produzione e comprensione) e mediane in funzione dello span di memoria del TLT*



**Figura 11**

*Distribuzione dei punteggi del PVB (produzione e comprensione) e mediane in funzione dello span di memoria del FL*



Ulteriori analisi effettuate per indagare possibili legami tra la variabile “Sesso” e i punteggi in comprensione e in produzione al PVB, non hanno rivelato correlazioni statisticamente significative. Così come non si sono evidenziate correlazioni di intensità solo trascurabile e non statisticamente significative tra la variabile “Sesso” e le variabili quantitative del test ADAM e tra la variabile età e le variabili quantitative dell’ADAM, indice del fatto che non si possono trarre conclusioni sulle prestazioni al compito sulla base del sesso o dell’età dei/le bambini/e che vi hanno preso parte. L’unica correlazione ad essere stata riscontrata come statisticamente significativa è quella tra l’età in mesi e i punteggi al PVB, sia per quanto riguarda la produzione,  $r(24) = .74$ ,  $p < .001$ , che per quanto riguarda la comprensione linguistica,  $r(24) = .78$ ,  $p < .001$ . Nonostante, quindi, il campione di questo studio abbia visto la partecipazione di due bambini ( $N = 2$ ) con un’età inferiore a quella per cui il PVB è stato validato (8-36 mesi), lo strumento si è confermato adatto alla valutazione del linguaggio anche per bambini/e di età più precoci. (5 mesi e 7 mesi).

### 3.7 Discussione

Il presente studio si configura come un’indagine esplorativa, inserito all’interno di un più ampio progetto di ricerca inerente al legame tra memoria fonologica, sviluppo del linguaggio e analisi del sonno. Per la stesura di questo elaborato sono state quindi prese in considerazione solo alcune variabili rispetto alla totalità dei dati raccolti (ad esempio,

non è stato preso in considerazione il tema della qualità/quantità del sonno). Gli obiettivi generali che questa ricerca si prefiggeva erano, innanzitutto, approfondire la presenza della memoria fonologica nella prima infanzia e, secondariamente, indagare il legame tra memoria fonologica e sviluppo del linguaggio nei/lle bambini/e dai 5 ai 24 mesi, *range* d'età che è stato poi ampliato fino ai 26 mesi. La memoria fonologica è stata testata tramite un nuovo compito *online* fatto svolgere da casa grazie all'aiuto dei genitori, denominato "ADAM", basato su un paradigma sperimentale simile a quello già implementato in altre ricerche (Kovács & Mehler, 2009a; 2009b; Benavides Varela & Reoyo Serrano, 2021) che avevano però obiettivi di studio differenti. Per quanto concerne lo sviluppo linguistico, esso è stato analizzato sulla base dei dati raccolti dalla forma breve "Gesti e Parole" del questionario PVB (Caselli et al., 2015), che ha permesso di approfondire sia la componente ricettiva che quella produttiva del linguaggio grazie dei/lle bambini/e.

Le ipotesi di ricerca di questo studio si sono quindi focalizzate sull'approfondire la presenza (o meno) della memoria di lavoro fonologica nella prima infanzia, e sull'analizzare le possibili correlazioni tra test ADAM di memoria fonologica e punteggi ottenuti al PVB. Le ipotesi di ricerca sono state formulate sulla base dell'analisi della letteratura inerente alla memoria di lavoro e allo sviluppo linguistico nel corso dell'infanzia (Cowan, 2010; Cowan, 2016; Ross-Sheey, 20015; Oakes et al., 2013; Kibbe & Leslie, 2013; Zosh & Feigenson, 2015; Stahl & Feigenson, 2018; Bijeljac-Babic et al., 1993; Marcus et al., 1999). Le misure comportamentali derivate dal test ADAM, che si configura come un paradigma di fissazione a due scelte, riguardavano l'analisi dello spostamento dello sguardo e dei tempi di fissazione. Essendo l'ADAM un nuovo test che necessita di ulteriore validazione in studi futuri, si è ritenuto utile all'interno delle analisi statistiche, tenere in considerazione sia i dati inerenti al TLT che i dati inerenti al FL. Si evidenzia comunque come i due *Diff. score*, calcolati uno sulla base del TLT e l'altro sulla base del FL, evidenzino prestazioni al test che, seppur non identiche, risultano correlate significativamente con un andamento lineare positivo.

Per quanto concerne l'indagine relativa alla presenza della memoria fonologica, gli span di memoria calcolati sulla base dei due *Diff. score* si sono dimostrati sufficientemente in linea con quello evidenziato dalla letteratura inerente alla memoria di lavoro visuo-spaziale. All'interno del primo capitolo si evidenzia infatti come dai 6 ai 12 mesi ci sia

un incremento dello span di memoria visuo-spaziale dei/le bambini/e, che passa dalla capacità di ritenzione di 1 solo item fino alla ritenzione di 3 – 4 *item* (Cowan, 2016; Ross-Sheehy, 2015). Tenendo presente che questa ricerca ha visto la partecipazione di bambini in un range d'età tanto precoce quanto ampio (5-26 mesi), gli span medi rilevati pari a 2,54 *item* (lo span medio calcolato sul TLT) e a 2,38 *item* (lo span medio calcolato sul FL), risultano in linea con la letteratura analizzata (Cowan, 2016; Ross-Sheehy, 2015). Per quanto concerne il TLT, lo span di memoria più frequentemente riscontrato è pari a 4 sillabe (sette bambini/e), cui seguono lo span di 1 e 2 sillabe (sei bambini/e ciascuno) mentre lo span di memoria più frequente associato al FL è di 3 sillabe (nove bambini/e), cui seguono lo span di 1 e 2 sillabe (sei bambini/e ciascuno). Secondo quanto evidenziato dalla letteratura presa in analisi, a partire dai 2/3 anni l'aumento dello span di memoria fonologica sostiene in modo significativo l'ampiezza del vocabolario e la sintassi, mentre negli anni scolari questi fattori sembrano vincolati da rapporti di correlazione: nonostante questa ricerca non abbia permesso osservare questo tipo di relazioni/correlazioni significative nei bambini/e della prima infanzia, saranno necessari ulteriori studi per esplorare meglio il costrutto della memoria fonologica nella prima infanzia e come esso eventualmente si leghi allo sviluppo linguistico.

Per quanto concerne invece le ipotesi di ricerca formulate per analizzare il legame tra memoria fonologica e sviluppo linguistico, la prima ipotesi di ricerca si proponeva di rilevare eventuali correlazioni tra i punteggi ottenuti al PVB (Caselli et al., 2015) e le variabili quantitative dell'ADAM, (ossia i due *Diff. score*, la latenza al FL e la durata di fissazione totale del compito). La seconda ipotesi si proponeva invece di trovare delle correlazioni tra span di memoria (l'uno calcolato sulla base del FL e l'altro sulla base del TLT) e punteggi del PVB. Infine, la terza ipotesi si proponeva di approfondire eventuali correlazioni significative tra le variabili socio-anagrafiche e le variabili quantitative del test ADAM. Le analisi effettuate non hanno evidenziato correlazioni statisticamente significative, ossia non emerge una probabilità sufficientemente bassa per poter affermare che le correlazioni rilevate non siano dovute al caso. Tra le varie ragioni che potrebbero aver determinato questi risultati, la ridotta numerosità campionaria va sicuramente tenuta in considerazione.

Per quanto riguarda la prima e la terza ipotesi di ricerca, le variabili maggiormente correlate (nonostante la non-significatività statistica) risultano essere la latenza di risposta

generale al compito con la produzione e la comprensione del linguaggio, così come anche i tempi di fissazione totale al compito in relazione ad entrambi gli indici del PVB. Anche l'età in quanto variabile socio-anagrafica correla con la latenza di risposta e con il tempo di fissazione totale del compito. Tutte le correlazioni appena elencate risultano comunque essere di debole intensità. Con le dovute precauzioni e consapevoli dei risultati delle analisi statistiche, è quindi possibile constatare come tempi minori nell'effettuare una prima risposta dopo le non-parole e tempi maggiori di attenzione al compito, si leghino a punteggi più alti nel vocabolario ricettivo e produttivo. Questo apparirebbe in linea con i dati già presenti in letteratura, che evidenziano come la velocità di elaborazione degli stimoli uditivi (e visivi) sia correlata allo sviluppo linguistico (Tallal & Piercy, 1973; Cantiani et al., 2016; Dispaldro et al., 2013), e come anche l'attenzione sostenuta, in quanto meccanismo dominio-generale molto precoce possa predire lo sviluppo del vocabolario (Yu et al., 2019). Com'è possibile osservare dai grafici, inoltre, entrambe le capacità (velocità di elaborazione e attenzione) sembrano migliorare con l'età, un dato che la letteratura associa a maturazione dei *network* cerebrali, mielinizzazione delle sinapsi e a fenomeni di specializzazione interattiva (Reynolds & Romano, 2016).

Per quanto riguarda la relazione tra span di memoria e sviluppo del linguaggio (seconda ipotesi di ricerca), i punteggi del PVB calcolati in relazione allo span di memoria si mostrano molto altalenanti. Le analisi effettuate incrociando queste due variabili non hanno evidenziato correlazioni statisticamente significative motivo per cui, sulla base dei dati raccolti, non è possibile asserire che ad uno span di memoria fonologica più ampio corrisponda a punteggi di sviluppo linguistico maggiori o che uno span di memoria fonologica minore corrisponda a punteggi inferiori al PVB.

Nonostante non si rilevi alcuna correlazione significativa che possa essere confrontata con la letteratura esistente, questo non si traduce nell'assunzione che non vi possa essere un'associazione tra le variabili indagate. Come verrà riportato anche nel paragrafo inerenti ai limiti di questa ricerca, la bassa numerosità campionaria e l'utilizzo di un test che necessita di essere ulteriormente validato, possono influenzare consistentemente i risultati. Va riconosciuto inoltre come il paradigma sperimentale implementato nel test ADAM sia di più complessa esecuzione rispetto ai classici paradigmi di abitudine e familiarizzazione utilizzati con i bambini nei primi mesi di vita. Lo svolgimento dell'ADAM richiede infatti capacità di orientamento visuo-spaziale e attenzione

sostenuta al compito, capacità di codifica, di ritenzione e discriminazione tra stimoli target e stimoli distrattori. Più nel dettaglio la fase di familiarizzazione presuppone un rapido apprendimento implicito delle non-parole e della loro associazione con un lato specifico dello schermo (McMurray & Aslin, 2004), che doveva poi essere dimostrato in fase test, in cui non vi era alcun rinforzo dato dallo stimolo visivo dopo l'ascolto delle non-parole. Tutte queste capacità richiedevano di essere espresse all'interno del compito come prova della memoria fonologica e, sebbene siano comprovate le incredibili capacità cognitive dei/le bambini/e nella prima infanzia, il test ADAM rappresenta sicuramente una sfida per loro. Un'ulteriore possibilità a spiegazione dei risultati ottenuti concerne l'ipotesi che la memoria di lavoro predica lo sviluppo linguistico futuro e non quello concorrente, ipotesi che può essere verificata solo tramite studi longitudinali. In alternativa, potremmo ipotizzare che la memoria fonologica non sia legata allo sviluppo linguistico nei primi due anni di vita, oppure che siano presenti altre variabili intervenienti. Una di queste variabili potrebbe essere l'attenzione che, come rilevato dallo studio di Yu et al. (2019), mostra una correlazione con lo sviluppo del vocabolario a 9, 12 e 15 mesi. Un'altra variabile, presa in considerazione in fase di raccolta analisi ma poi non analizzata, l'andamento del sonno.

### 3.7.1 Limiti e punti di forza dello studio

È ora necessario soffermarsi sui limiti della presente ricerca. Innanzitutto, il campione presenta una numerosità troppo ridotta per permettere di generalizzare i dati riscontrati alla popolazione generale. Un secondo limite, direttamente collegato al primo, riguarda il significativo *drop-out* (di 10 partecipanti) verificatosi nel corso dello studio, dovuto a diverse cause tra cui: irrequietezza motoria dei/le bambini/e, difficoltà nel completare tutti i blocchi del test, complicazioni di tipo tecnico (es. connessione ad Internet instabile e/o dispositivi incompatibili con il test). Oltre a ciò, il test ADAM nella sua versione *online* prevede che esso venga svolto da casa, condizione che pur rivelandosi maggiormente ecologica per il/la bambino/a rispetto al laboratorio, si fa portatrice di maggiori potenziali distrazioni nell'ambiente. Nonostante le raccomandazioni che possono essere fatte ai genitori, infatti, ottenere il livello di controllo ambientale tipico del laboratorio è certamente più complesso. Un altro limite inerente agli strumenti utilizzati in questa ricerca riguarda il questionario PVB (Caselli et al. 2015) che, in quanto questionario compilato dai genitori in riferimento alle capacità ricettive e produttive

del/lla proprio/a bambino/a, può essere soggetto a numerose criticità (ad es. desiderabilità sociale, incompletezza delle risposte), che possono alterare i punteggi ottenuti in termini migliorativi o peggiorativi, e lederne così la validità.

Dal lato opposto della medaglia, è necessario evidenziare come la possibilità di disporre di un test di ricerca nella sua versione *online* si rende molto utile ed aumenta l'inclusività di tutte quelle famiglie che non hanno la possibilità di recarsi in più giornate nei laboratori appositamente predisposti. Inoltre, nel corso della raccolta dati effettuata per questa ricerca, si è potuto osservare come la possibilità di aprire la partecipazione a studi di ricerca universitaria anche ad un territorio geografico poco familiare con questo ambito, abbia stimolato l'interesse per il tema di ricerca e il coinvolgimento delle strutture educative per la prima infanzia (oltre che delle singole famiglie).

### 3.8 Conclusioni e prospettive future

La ricerca trattata in questo elaborato si propone come un piccolo contributo nell'ambito della comprensione della memoria di lavoro nella prima infanzia, in particolare per la componente fonologica che risulta, ad oggi, meno approfondita in letteratura rispetto alla controparte visuo-spaziale. Essa appare infatti come un costrutto più difficile da rilevare nella fascia dei bambini preverbali e in generale, entro i primi 2 anni di vita, quando lo sviluppo linguistico è ancora in una fase precoce. Lo span di memoria fonologica è stato calcolato per ogni bambino/o sulla base delle prestazioni che questi hanno ottenuto dallo svolgimento di due livelli dell'ADAM. La media dello span di memoria fonologica del campione, testata tramite compiti predisposti *ad hoc* per la prima infanzia, si attesta sulle 2,3 - 2,5 sillabe, il che appare sufficientemente in linea con i dati presenti in letteratura riguardo allo span di memoria di lavoro visuo-spaziale in questa fascia d'età. Per quanto concerne le analisi correlazionali effettuate incrociando le variabili derivate dalle misure comportamentali dell'ADAM con i punteggi del PVB, non sono emersi risultati significativi. Non è quindi possibile affermare che vi sia una correlazione tra memoria di lavoro fonologica e sviluppo del linguaggio nella prima infanzia, al contrario di quanto è stato dimostrato per le età successive (Gathercole & Baddeley, 1990; Gathercole, 1992; Adams et al., 1995). Nonostante la non-significatività statistica, la latenza di risposta generale e il tempo di fissazione totale al compito si sono dimostrate correlare con i punteggi di sviluppo linguistico, sia ricettivo che produttivo. Allo stesso modo, è stato

possibile osservare che, con l'aumentare dei mesi, i/le bambini/e migliorano nella velocità di elaborazione degli stimoli fonologici, e migliorano altresì nella velocità di elaborazione quando vengono poi fornite risposte corrette. Questi risultati sono in linea con la letteratura inerente alle capacità cognitive precoci dei bambini/e nella prima infanzia, che evidenziano come la velocità di elaborazione e l'attenzione sostenuta siano fattori estremamente importanti per lo sviluppo linguistico (Tallal & Piercy, 1973; Cantiani et al., 2016; Dispaldro et al., 2013; Yu et al. 2019). Tra i fattori che potrebbero aver avuto un impatto fuorviante sui risultati di questo studio troviamo principalmente: la bassa numerosità campionaria, il PVB come unico strumento per la valutazione dello sviluppo linguistico e l'uso di un test per la memoria fonologica che necessita di essere ulteriormente implementato al fine di testarne la validità di costrutto. A causa di queste limitazioni, si evidenzia la necessità di condurre ulteriori studi su campioni più numerosi che permettano di definire meglio i risultati.

Al di là delle criticità che questa ricerca presenta, la possibilità di usufruire di uno strumento per la misurazione della memoria fonologica nella prima infanzia permetterebbe di approfondire il legame che questa componente ha con altre funzioni di alto livello, anche in modo longitudinale. Inoltre, disporre di un test somministrabile *online* aprirebbe a molte possibilità, non solo in ambito di ricerca ma anche di applicazione clinica. Sul versante della ricerca, un test online garantirebbe la possibilità di raccogliere un campione più grande e variegato a livello di provenienza geografica e di livello socio-economico. Mentre, sul versante clinico, esso garantirebbe la possibilità di poter usufruire di uno strumento più ecologico del laboratorio per l'individuazione di fragilità e/o atipie precoci su cui intervenire in ottica preventiva/abilitativa.

#### *Prospettive future*

Alla luce dei risultati emersi in questa ricerca si aprono numerose possibili strade percorribili da studi futuri. Innanzitutto, come già accennato nei paragrafi precedenti, sarebbe importante riuscire ad applicare il test ADAM su un campione di ricerca più numeroso, in modo aumentare l'affidabilità e la generalizzabilità dei risultati. Nell'ottica poi di aumentare l'accuratezza dei dati ricavati e rendere più fluida la procedura di raccolta degli stessi, la possibilità di ricorrere alle misure automatiche dell'*eyetracker* nella versione *online* dell'ADAM rappresenterebbe sicuramente un punto di svolta.

Inoltre, sarebbe opportuno effettuare procedure *test-retest*, ed eventualmente ricorrere all'analisi bayesiana, con il fine di valutare la validità di costrutto di questo paradigma nel misurare la memoria fonologica nella prima infanzia. In aggiunta, potrebbero essere effettuati studi longitudinali estendendo il *range* dei partecipanti dalla prima infanzia all'età prescolare, con il fine di approfondire la presenza di eventuali variazioni nella memoria di lavoro nel passaggio dalla prima infanzia agli anni successivi. L'ADAM, infatti, essendo un compito di memoria adattiva, ben si presta a modulare la complessità dei suoi stimoli verbali a seconda dell'incremento/decremento dello span di memoria dimostrato dai partecipanti. Sarebbe inoltre molto interessante cercare di comprendere se le prestazioni al test differiscono significativamente in funzione degli stimoli target e distrattori, e se questa differenza mostri variazioni in funzione dell'età. In generale potremmo parlare di una preferenza per lo stimolo a cui il bambino è stato familiarizzato o una preferenza per la novità, ma più nello specifico una migliore prestazione inerente agli stimoli target presuppone che i bambini abbiano immagazzinato (fase di familiarizzazione) e riconosciuto (fase test) le non-parole ed abbiano imparato ad associarvi il lato corretto dello schermo, anche in assenza di un rinforzo visivo (McMurray & Aslin, 2004; Kabdebon & Dehaene-Lambertz, 2019); mentre una migliore prestazione con gli stimoli distrattori presuppone che i/le bambini/e abbiano appreso (e generalizzato) la regola astratta per cui non-parole sempre differenti corrispondono al lato opposto dello schermo rispetto alla non-parola *target*. Inoltre, sarebbe interessante sovrapporre lo svolgimento del compito all'utilizzo di tecniche fNIRS con l'obiettivo di evidenziare i correlati neurali del costrutto indagato ed eventuali cambiamenti in funzione dell'età.

Nell'ottica invece di approfondire la relazione tra memoria fonologica e sviluppo linguistico, in particolare la possibilità che la prima rappresenti un indice predittivo del secondo nella prima infanzia alla stregua di quanto rilevato da Gathercole et al., (1992) per gli anni prescolari, appare utile che lo sviluppo linguistico possa essere valutato in duplice modalità. Una possibilità potrebbe essere affiancare al PVB (Caselli et al., 2015) anche un altro questionario sullo sviluppo linguistico compilato dai genitori oppure uno strumento per la misurazione diretta del linguaggio. In aggiunta, l'analisi dei dati raccolti inerenti all'andamento del sonno potrebbe evidenziare se questo rappresenti un fattore che influisce sulle prestazioni di memoria fonologica, come evidenziato da studi sulla

fascia dei/le bambini/e prescolari e scolari (Morales-Muñoz et al., 2021; Steenari et al., 2003), o sullo sviluppo del linguaggio (Dionne et al., 2011).

Sarebbe inoltre interessante effettuare un confronto tra due gruppi di partecipanti nella prima infanzia, uno monolingue e l'altro bilingue. Le ricerche di Kovács & Mehler (2009a; 2009b) hanno infatti evidenziato differenze significative tra questi due gruppi nella prima infanzia per quanto concerne l'emergere delle funzioni esecutive (soprattutto forme rudimentali di inibizione e *shifting*) tramite un paradigma sperimentale molto simile a quello della presente ricerca. In ultima battuta, l'ADAM potrebbe rivelarsi utile per effettuare un confronto longitudinale tra span di memoria fonologica di bambini a sviluppo tipico con bambini ad alta familiarità per DPL e con bambini a bassa familiarità per DPL, con l'obiettivo di comprendere se un deficit precoce su questo versante possa rappresentare un fattore di rischio per l'emergere di fragilità nello sviluppo linguistico.



## Bibliografía

- Adams, A.-M., Gathercole, S. E., & Papagno, C. (1995). Phonological working memory and speech production in preschool children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(2), 403–414. <https://doi.org/10.1044/jshr.3802.403>
- Adams, E. J., Nguyen, A. T., & Cowan, N. (2018). Theories of working memory: differences in definition, degree of modularity, role of attention, and purpose. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3), 340–355. [https://doi.org/10.1044/2018\\_LSHSS-17-0114](https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-17-0114)
- Ahmed, S. F., Tang, S., Waters, N. E., & Davis-Kean, P. (2019). Executive function and academic achievement: longitudinal relations from early childhood to adolescence. *Journal of Educational Psychology*, 111(3), 446–458. <https://doi.org/10.1037/edu0000296>
- Atkinson, Shiffrin, R., RM. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 2, pp. 89–195). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D. (2017). Modularity, working memory and language acquisition. *Second Language Research*, 33(3), 299–311. <https://doi.org/10.1177/0267658317709852>
- Baddeley, A. D., Anderson, M. C., & Eysenck, M. W. (2011). *La memoria*. Il mulino.
- Baddeley, A. D., Gathercole, S. E., & Papagno, C. (2017). The phonological loop as a language learning device. In *Exploring Working Memory*. Routledge.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 8(C), 47–89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Benavides-Varela, S., Gómez, D. M., Macagno, F., Bion, R. A. H., Peretz, I., & Mehler, J. (2011). Memory in the neonate brain. *PLoS ONE*, 6(11), e27497. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027497>
- Benavides-Varela, S., Gómez, D. M., & Mehler, J. (2011). Studying neonates' language and memory capacities with functional near-infrared spectroscopy. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00064>
- Benavides-Varela, S., Hochmann, J.-R., Macagno, F., Nespors, M., & Mehler, J. (2012). Newborn's brain activity signals the origin of word memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 17908–17913. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205413109>

- Benavides-Varela, S., & Reoyo-Serrano, N. (2021). Small-range numerical representations of linguistic sounds in 9- to 10-month-old infants. *Cognition*, *213*, 104637. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104637>
- Bertoncini, J., Bijeljac-Babic, R., Jusczyk, P. W., Kennedy, L. J., & Mehler, J. (1988). An investigation of young infants' perceptual representations of speech sounds. *Journal of Experimental Psychology: General*, *117*(1), 21–33. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.117.1.21>
- Bijeljac-Babic, R., Bertoncini, J., & Mehler, J. (1993). How do 4-day-old infants categorize multisyllabic utterances? *Developmental Psychology*, *29*(4), 711–721. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.29.4.711>
- Bion, R. A. H., Benavides-Varela, S., & Nespor, M. (2011). Acoustic markers of prominence influence infants' and adults' segmentation of speech sequences. *Language and Speech*, *54*(1), 123–140. <https://doi.org/10.1177/0023830910388018>
- Blake, J., Austin, W., Cannon, M., Lisus, A., & Vaughan, A. (1994). The Relationship between Memory Span and Measures of Imitative and spontaneous language complexity in preschool children. *International Journal of Behavioral Development*, *17*(1), 91–107. <https://doi.org/10.1177/016502549401700106>
- Bruni, O., Ottaviano, S., Guidetti, V., Romoli, M., Innocenzi, M., Cortesi, F., & Giannotti, F. (1996). The Sleep Disturbance Scale for Children (SDSC) Construction and validation of an instrument to evaluate sleep disturbances in childhood and adolescence. *Journal of Sleep Research*, *5*(4), 251–261. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.1996.00251.x>
- Cantiani, C., Riva, V., Piazza, C., Bettoni, R., Molteni, M., Choudhury, N., Marino, C., & Benasich, A. A. (2016). Auditory discrimination predicts linguistic outcome in Italian infants with and without familial risk for language learning impairment. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *20*, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.03.002>
- Caselli, M. C., Bello, A., Rinaldi, P., Stefanini, S., & Pasqualetti, P. (2015). *Il primo vocabolario del bambino: Gesti, parole e frasi. Valori di riferimento fra 8 e 36 mesi delle forme complete e delle forme brevi del questionario MacArthur-Bates CDI: valori di riferimento fra 8 e 36 mesi delle forme complete e delle forme brevi del questionario MacArthur-Bates CDI*. FrancoAngeli.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, *19*(1), 51–57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- Cowan, N. (2016). Working memory maturation: can we get at the essence of cognitive growth? *Perspectives on Psychological Science*, *11*(2), 239–264. <https://doi.org/10.1177/1745691615621279>
- Cowan, N., Morey, C. C., & Naveh-Benjamin, M. (2021). An embedded-processes approach to working memory: How is it distinct from other approaches, and to what ends? *Working Memory: State of the Science* (p. 465). Oxford University Press.

- Csibra, G., Tucker, L. A., & Johnson, M. H. (1998). Neural correlates of saccade planning in infants: a high-density ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, *29*(2), 201–215. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(98\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(98)00016-6)
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: Clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, *264*(5162), 1102–1105. <https://doi.org/10.1126/science.8178168>
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*(4), 450–466. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(80\)90312-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6)
- Dehaene-Lambertz, G. (1998). Syllable discrimination by premature neonates with or without subcortical lesion. *Developmental Neuropsychology*. <https://doi.org/10.1080/87565649809540730>
- Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S., & Hertz-Pannier, L. (2002). Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science*, *298*(5600), 2013–2015. <https://doi.org/10.1126/science.1077066>
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. *Lifespan cognition: Mechanisms of change* (pp. 70–95). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195169539.003.0006>
- Dionne, G., Touchette, E., Forget-Dubois, N., Petit, D., Tremblay, R. E., Montplaisir, J. Y., & Boivin, M. (2011). Associations between sleep-wake consolidation and language development in early childhood: a longitudinal twin study. *Sleep*, *34*(8), 987–995. <https://doi.org/10.5665/SLEEP.1148>
- Dispaldro, M., Leonard, L. B., Corradi, N., Ruffino, M., Bronte, T., & Facchetti, A. (2013). Visual attentional engagement deficits in children with specific language impairment and their role in real-time language processing. *Cortex*, *49*(8), 2126–2139. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.012>
- Gathercole, S. E., & Adams, A.-M. (1993). Phonological working memory in very young children. *Developmental Psychology*, *29*(4), 770–778. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.29.4.770>
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Kirkwood, H. J., Elliott, G. J., Holmes, J., & Hilton, K. A. (2008). Attentional and executive function behaviours in children with poor working memory. *Learning and Individual Differences*, *18*(2), 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.10.003>
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1990). Phonological memory deficits in language disordered children: Is there a causal connection? *Journal of Memory and Language*, *29*(3). <https://www.proquest.com/docview/1297340489/citation/FC549B1054A743E3PQ/1>

- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, *70*(2), 177–194. <https://doi.org/10.1348/000709900158047>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, *40*(2), 177–190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Gathercole, S. E., Willis, C. S., Baddeley, A. D., & Emslie, H. (1994). The children's test of nonword repetition: a test of phonological working memory. *Memory*. <https://doi.org/10.1080/09658219408258940>
- Gathercole, S. E., Willis, C. S., Emslie, H., & Baddeley, A. D. (1992). Phonological memory and vocabulary development during the early school years: a longitudinal study. *Developmental Psychology*, *28*(5), 887–898. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.28.5.887>
- Guasti, M. T. (2007). *L'acquisizione del linguaggio: un'introduzione*. R. Cortina.
- Hochmann, J.-R., Benavides-Varela, S., Nespor, M., & Mehler, J. (2011). Consonants and vowels: different roles in early language acquisition. *Developmental Science*, *14*(6), 1445–1458. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01089.x>
- Horváth, K., & Plunkett, K. (2016). Frequent daytime naps predict vocabulary growth in early childhood. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *57*(9), 1008–1017. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12583>
- Jusczyk, P. W., Cutler, A., & Redanz, N. J. (1993). Infants' preference for the predominant stress patterns of English words. *Child Development*, *64*(3), 675–687. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1993.tb02935.x>
- Kabdebon, C., & Dehaene-Lambertz, G. (2019). Symbolic labeling in 5-month-old human infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(12), 5805–5810. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809144116>
- Kelly, D. J., Quinn, P. C., Slater, A. M., Lee, K., Gibson, A., Smith, M., Ge, L., & Pascalis, O. (2005). Three-month-olds, but not newborns, prefer own-race faces. *Developmental Science*, *8*(6), F31–F36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.0434a.x>
- Kibbe, M. M., & Leslie, A. M. (2013). What's the object of object working memory in infancy? Unraveling 'what' and 'how many'. *Cognitive Psychology*, *66*(4), 380–404. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2013.05.001>
- Kisilevsky, B. S., Hains, S. M. J., Lee, K., Xie, X., Huang, H., Ye, H. H., Zhang, K., & Wang, Z. (2003). Effects of experience on fetal voice recognition. *Psychological Science*, *14*(3), 220–224. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.02435>
- Kobayashi, T., Hiraki, K., & Hasegawa, T. (2005). Auditory–visual intermodal matching of small numerosities in 6-month-old infants. *Developmental Science*, *8*(5), 409–419. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00429.x>

- Kovács, Á. M., & Mehler, J. (2009). Flexible learning of multiple speech structures in bilingual infants. *Science*, *325*(5940), 611–612. <https://doi.org/10.1126/science.1173947>
- Kuhl, P., Conboy, B., Padden, D., Nelson, T., & Pruitt, J. (2005). Early speech perception and later language development: implications for the "critical period". *LANGUAGE LEARNING AND DEVELOPMENT*, *1*, 237–264. [https://doi.org/10.1207/s15473341l1d0103&4\\_2](https://doi.org/10.1207/s15473341l1d0103&4_2)
- Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense: large-number discrimination in human infants. *Psychological Science*, *14*(5), 396–401. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01453>
- Logie, R., Camos, V., & Cowan, N. (2021). *Working memory: state of the science*. Oxford University Press.
- Macchi Cassia, V., Valenza, E., & Simion, F. (2012). *Lo sviluppo della mente umana. Dalle teorie classiche ai nuovi orientamenti*. Il mulino. <https://boa.unimib.it/handle/10281/34913>
- Marcus, G. F., Vijayan, S., Bandi Rao, S., & Vishton, P. M. (1999). Rule Learning by seven-month-old infants. *Science*, *283*(5398), 77–80. <https://doi.org/10.1126/science.283.5398.77>
- McMurray, B., & Aslin, R. N. (2004). Anticipatory eye movements reveal infants' auditory and visual categories. *Infancy*, *6*(2), 203–229. [https://doi.org/10.1207/s15327078in0602\\_4](https://doi.org/10.1207/s15327078in0602_4)
- Mehler, J., Jusczyk, P., Lambertz, G., Halsted, N., Bertoincini, J., & Amiel-Tison, C. (1988). A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, *29*(2), 143–178. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(88\)90035-2](https://doi.org/10.1016/0010-0277(88)90035-2)
- Mento, G., & Benavides Varela, S. E. (2017). Il punto di vista delle Neuroscienze Cognitive dello Sviluppo. In P. S. Bisiacchi & A. Vallesi (A c. Di), *Il cervello a lavoro: Nuove prospettive in Neuropsicologia Cognitiva*. Il mulino. <https://hdl.handle.net/11577/3238792>
- Mento, G., & Bisiacchi, P. S. (2012). Neurocognitive development in preterm infants: Insights from different approaches. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *36*(1), 536–555. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.08.008>
- 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. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Morales-Muñoz, I., Nolvi, S., Mäkelä, T., Eskola, E., Korja, R., Fernandes, M., Karlsson, H., Paavonen, E. J., & Karlsson, L. (2021). Sleep during infancy, inhibitory control and working memory in toddlers: findings from the FinnBrain cohort study. *Sleep Science and Practice*, *5*(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s41606-021-00064-4>

- Nelson, C. A. (1995). The ontogeny of human memory: a cognitive neuroscience perspective. *Developmental Psychology*, *31*(5), 723–738. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.31.5.723>
- Nespor, M., Peña, M., & Mehler, J. (2003). On the different roles of vowels and consonants in speech processing and language acquisition. *Lingue E Linguaggio*, *2*, 203–229.
- Oakes, L. M., Baumgartner, H. A., Barrett, F. S., Messenger, I. M., & Luck, S. J. (2013). Developmental changes in visual short-term memory in infancy: evidence from eye-tracking. *Frontiers in Psychology*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00697>
- Partanen, E., Mårtensson, G., Hugoson, P., Huotilainen, M., Fellman, V., & Ådén, U. (2022). Auditory processing of the brain is enhanced by parental singing for preterm infants. *Frontiers in Neuroscience*, *16*. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.772008>
- Reynolds, G. D., & Romano, A. C. (2016). The development of attention systems and working memory in infancy. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2016.00015>
- Ross-Sheehy, S. (2015). Infant auditory short-term memory for non-linguistic sounds. *Journal of Experimental Child Psychology*, *132*, 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.12.001>
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, *274*(5294), 1926–1928. <https://doi.org/10.1126/science.274.5294.1926>
- Salway, A. F. S., & Logie, R. H. (1995). Visuospatial working memory, movement control and executive demands. *British Journal of Psychology*, *86*(2), 253–269. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1995.tb02560.x>
- Santrock, J. W. (con un contributo di Rollo, D.). (2008). *Psicologia dello sviluppo / John W. Santrock: Edizione italiana a cura di Dolores Rollo*. McGraw-Hill.
- Shallice, T., & Warrington, E. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *The Quarterly journal of experimental psychology*, *22*, 261–273. <https://doi.org/10.1080/00335557043000203>
- Speidel, G. E. (1993). Phonological short-term memory and individual differences in learning to speak: A bilingual case study. *First Language*, *13*(37), 69–91. <https://doi.org/10.1177/014272379301303705>
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, *82*(3), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005>
- Squire, L. R., & Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*(24), 13515–13522. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.24.13515>

- Stahl, A. E., & Feigenson, L. (2018). Infants use linguistic group distinctions to chunk items in memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, *172*, 149–167. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.03.005>
- Steenari, M.-R., Vuontela, V., Paavonen, E. J., Carlson, S., Fjällberg, M., & Aronen, E. T. (2003). Working memory and sleep in 6- to 13-year-old schoolchildren. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *42*(1), 85–92. <https://doi.org/10.1097/00004583-200301000-00014>
- Tallal, P., & Piercy, M. (1973). Developmental aphasia: impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, *11*(4), 389–398. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(73\)90025-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(73)90025-0)
- Teinonen, T., Fellman, V., Näätänen, R., Alku, P., & Huotilainen, M. (2009). Statistical language learning in neonates revealed by event-related brain potentials. *BMC Neuroscience*, *10*(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-21>
- Tsao, F.-M., Liu, H.-M., & Kuhl, P. K. (2004). Speech perception in infancy predicts language development in the second year of life: a longitudinal study. *Child Development*, *75*(4), 1067–1084. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00726.x>
- Vicari, S. & Maria Cristina Caselli. (2010). *Neuropsicologia dello sviluppo*. Il mulino. [https://www.mulino.it/isbn/9788815138453?forcedLocale=it&fbrefresh=CAN\\_BE\\_ANYTHING](https://www.mulino.it/isbn/9788815138453?forcedLocale=it&fbrefresh=CAN_BE_ANYTHING)
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, *358*(6389), 749–750. <https://doi.org/10.1038/358749a0>
- Yu, C., Suanda, S. H., & Smith, L. B. (2019). Infant sustained attention but not joint attention to objects at 9 months predicts vocabulary at 12 and 15 months. *Developmental Science*, *22*(1), Articolo 1. <https://doi.org/10.1111/desc.12735>
- Zelazo, P. D., Reznick, J. S., & Piñon, D. E. (1995). Response control and the execution of verbal rules. *Developmental Psychology*, *31*(3), 508–517. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.31.3.508>
- Zosh, J. M., & Feigenson, L. (2015). Array heterogeneity prevents catastrophic forgetting in infants. *Cognition*, *136*, 365–380. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.11.042>