



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

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

**Corso di laurea Magistrale in Neuroscienze e Riabilitazione Neuropsicologica  
Tesi di laurea Magistrale**

**Un'indagine sul ruolo del ritmo e delle abilità cognitive di  
base nello sviluppo della letto-scrittura**

(An investigation into the role of rhythm and basic cognitive skills in the development  
of reading and writing)

***Relatrice***

**Prof.ssa Eloisa Valenza**

***Correlatrice esterna***

**Dott.ssa Sofia Russo**

***Laureanda:* MariaPia Boellis**

***Matricola:* 2014945**

**Anno Accademico 2021/2022**



## INDICE

<b>Il linguaggio</b> .....	<b>1</b>
Introduzione .....	1
1.1 Definizione.....	2
1.2 Sviluppo tipico e atipico .....	6
1.2.1 Lettura .....	11
1.2.2 Scrittura .....	15
Introduzione .....	19
<b>Abilità di base allo sviluppo del linguaggio: aspetti motori e ritmici</b> .....	<b>19</b>
2.1 Meccanismi percettivi, mnestici e attentivi e apprendimento linguistico.....	20
2.2 Sistema motorio e linguaggio .....	23
2.3 Ritmo e linguaggio.....	25
2.3.1 Meccanismi di base comuni a ritmo e linguaggio secondo il modello <i>PRISM</i> .....	27
2.3.2 Ritmo e lettura.....	30
2.3.3 Ritmo e scrittura.....	31
2.3.4 Ritmo ed elaborazione temporale.....	31
<b>L'effetto della stimolazione ritmica sulle abilità di lettura e scrittura: lo studio empirico</b> .....	<b>34</b>
3.1 Introduzione allo studio e domande di ricerca .....	34
3.2 Metodo .....	36
3.2.1 Soggetti.....	36
3.2.2 Strumenti e stimoli .....	36
3.2.3 Apparato .....	39
3.2.4 Procedura.....	40
3.3 Analisi dei dati .....	40
3.4 Risultati.....	41
3.4.1 Risultati Compito di Decisione Lessicale .....	41
3.4.2 Risultati Compito di Scrittura .....	45
3.4.3 Network analysis .....	47
<b>Discussione</b> .....	<b>50</b>
<b>Conclusioni</b> .....	<b>57</b>
<b>Riferimenti bibliografici</b> .....	<b>59</b>
<b>Appendice</b> .....	<b>83</b>

## CAPITOLO 1

### IL LINGUAGGIO

#### **Introduzione**

Il linguaggio è un canale comunicativo fondamentale per la specie umana. I suoi affascinanti meccanismi di acquisizione sono diventati territorio scientifico a partire dalla teoria Chomskyana degli anni sessanta e poi rimodulati e approfonditi sia a livello teorico che metodologico, per giungere all'odierno stato dell'arte configurabile nelle Scienze Cognitive dello Sviluppo. Nel presente capitolo, verrà pertanto fornita una definizione generale dei processi linguistici e una breve storia degli studi che hanno portato alle teorie odierne, nell'ambito del linguaggio sia orale che scritto. In conclusione, verrà poi approfondita la teoria di riferimento di questo elaborato e cioè il quadro di campionamento temporale (TSF) proposto da Usha Goswami (2011). Questa teoria, sostenuta da ampie e attuali evidenze scientifiche, illustra il ruolo centrale dei meccanismi di *entrainment* ritmico-uditivi sull'attenzione e l'integrazione uditivo-visiva nello sviluppo tipico e atipico del linguaggio, come nel caso della dislessia evolutiva. Tale teoria mette in luce il ruolo centrale di meccanismi *low-level*, (l'integrazione temporale) nell'acquisizione di abilità superiori, o *high level*, (il linguaggio orale e scritto) rientrando in uno dei principali quadri d'indagine dell'*infant research*, cioè il Neurocostruttivismo.

## 1.1 Definizione

Il linguaggio, sia in forma orale che in forma scritta, rappresenta una capacità cognitiva complessa (*high-level*) che, una volta acquisita, consente agli individui, mediante l'utilizzo di simboli, di comunicare e di entrare in relazione con gli altri in modi socialmente condivisi e appropriati a seconda del proprio interlocutore. Come evidenziato da Crystal (2018), il linguaggio rappresenta infatti l'impiego convenzionale e sistematico di suoni e/o segni al fine della comunicazione o dell'autoespressione.

Tuttavia, l'acquisizione del linguaggio è un processo complesso, articolato e molteplice: il bambino che apprende una lingua dapprima riconosce e produce una serie di suoni e successivamente impara come questi possono essere combinati in parole. Ciò porta all'acquisizione del vocabolario, il quale include la conoscenza del significato di ogni parola e le sue possibilità di combinazione con altre parole per formare le frasi. In seguito, il bambino acquisisce la capacità di combinare le frasi in grandi unità di discorso per poter raccontare una storia o sostenere una conversazione (Hoff, 2013).

È importante sottolineare che, in età scolare, i bambini sviluppano anche la capacità di utilizzare la loro lingua nella corrispondente forma scritta, padroneggiando un ampio insieme di corrispondenze tra suoni, simboli e significati scritti (*ibidem*).

Si può quindi affermare che acquisire un linguaggio significa possedere un codice referenziale, arbitrario, generativo, convenzionale e condiviso da una determinata comunità al fine di trasmettere informazioni, pensieri, sentimenti; significa apprendere un sistema di comunicazione sociale composto da un numero finito di fonemi e di regole che, combinati insieme, permettono di generare un numero infinito di significati condivisi da un preciso contesto sociale.

Sebbene il processo di acquisizione della capacità linguistica sia un argomento che suscita attenzione da parte degli studiosi sin dall'antichità, la ricerca moderna nell'ambito di studio dello sviluppo del linguaggio prende avvio intorno agli anni cinquanta, quando diventa chiaro che la comprensione del complesso processo di acquisizione di una lingua può aiutare a comprendere il funzionamento della mente umana e i cambiamenti del comportamento (Gardner, 1985; Pinker, 1984).

Negli anni sessanta, la teoria Chomskyana porta ad una vera e propria rivoluzione radicale nel metodo di studio nell'ambito della linguistica e dello sviluppo del linguaggio. Difatti, la teoria di Chomsky (1965) porta a un mutamento del lavoro dei linguisti che non

consiste più nel ricercare le regole normative o nel descrivere il comportamento visibile, bensì nel tentativo di spiegare i processi mentali che controllano l'atto del parlare; per Chomsky quindi, lo studio del linguaggio deve coincidere con lo studio della mente. Gli studi di matrice Chomskyana si concentrano principalmente sullo studio della grammatica che caratterizza il processo di acquisizione, consolidamento e apprendimento del linguaggio dei bambini (Hoff, 2013).

Successivamente, le ricerche degli studiosi interessati allo sviluppo del linguaggio si sono concentrate sul processo di acquisizione dei significati delle parole e quindi sulla semantica. Alla fine degli anni settanta, si inizia a indagare lo sviluppo pragmatico e sociolinguistico mentre in seguito, negli anni ottanta e novanta, ritorna l'interesse per lo studio della sintassi senza però dimenticare l'importanza dello studio del lessico, della pragmatica e della fonologia. In particolare, quest'ultima diventa argomento centrale nell'ambito degli studi inerenti l'acquisizione del linguaggio poiché essa sembra fornire le basi per ulteriori aspetti dello sviluppo del linguaggio e dell'alfabetizzazione (*ibidem*). È evidente quindi come il processo di analisi dell'acquisizione del linguaggio sia ancora oggi un tema fondamentale all'interno del dibattito relativo alla comprensione del modo in cui viene a caratterizzarsi la cognizione umana (*ibidem*).

Al giorno d'oggi, lo studio del processo di sviluppo del linguaggio viene a declinarsi come un vero e proprio argomento di ricerca applicata grazie alla modifica delle impostazioni teoriche e, di conseguenza, dei metodi adoperati per indagare come avviene lo sviluppo delle competenze linguistiche, dalle prime fasi di acquisizione fino alle abilità linguistiche più complesse caratterizzanti la mente adulta. Il giorno d'oggi vede, l'impiego di nuove tecniche e strumenti d'indagine scientifica come ad esempio la mappatura del genoma umano, le tecniche di neuroimmagine, che consentono di evidenziare le basi neurali del linguaggio attraverso le immagini dell'attività cerebrale durante l'elaborazione linguistica, le simulazioni computerizzate che consentono di testare ipotesi avanzate circa il modo in cui viene a declinarsi il processo di sviluppo del linguaggio e lo studio degli indici fisiologici e comportamentali (Hoff, 2013).

Ancora, risulta evidente come l'attuale ambito di studio dello sviluppo linguistico sia poliedrico e comprendente molteplici argomenti, ricerche diverse (es., Hoff e Shatz, 2007; Shatz, 2007) e popolazioni molto più ampie e variegata rispetto ai suoi inizi. Infatti, è possibile evidenziare come al giorno d'oggi, un corposo numero di ricerche concentra

la propria attenzione sul processo di sviluppo tipico del linguaggio al fine di mettere a punto interventi volti a contenere le difficoltà e le atipie riscontrate da alcuni bambini nel processo di acquisizione di questa complessa capacità (Warren e Reichle, 1992). Tali interventi sono condotti a partire dalla consapevolezza, avanzata da numerosi ricercatori e studiosi, che è fondamentale, per vivere in un ambiente sociale in relazione con altri individui, disporre di un'adeguata acquisizione di capacità verbali, un processo che può risultare ricco di problematicità per alcuni bambini, basti pensare ad esempio ai disturbi dello sviluppo intellettivo e sensoriale, alla presenza di lesioni cerebrali o ai numerosi disturbi del neurosviluppo costellati anche da difficoltà nell'acquisizione del linguaggio e delle abilità comunicative. Anche la ricerca circa i processi implicati nella lettura ha consentito la realizzazione di interventi di successo su questa complessa abilità (Bus e van Ijzendoorn, 1999; Ehri et al, 2001; Lyytinen et al., 2007).

È a partire da tali presupposti che nasce la neurolinguistica, disciplina che studia la relazione tra il linguaggio e il funzionamento cerebrale e consente di stabilire quali sono le basi neuroanatomiche implicate nel processo linguistico.

Nello specifico gli studi in tale area disciplinare hanno portato ad evidenziare la cosiddetta asimmetria emisferica funzionale attraverso la quale è possibile sottolineare il ruolo cruciale dell'emisfero sinistro nel processo di produzione linguistica. Paul Broca prima e diversi autori poi hanno evidenziato, a tal proposito, come la presenza di una lesione cerebrale sinistra generi un'alterazione o perdita del linguaggio (Broca, 1861; Caplan, 1987; Goodglass, 1993; Saffran e Schwartz, 2003), indipendentemente dal fatto che esso sia nella forma parlata o scritta. Bellugi, Poizner e Klima (1989) hanno riscontrato come il danneggiamento all'emisfero sinistro provochi afasia nei segnanti, allo stesso modo in cui avviene per gli utenti di una lingua parlata. Emerge ancora che, anche se il linguaggio dei segni utilizza una modalità visuo-spaziale, capacità che vede implicato l'emisfero destro, i segnanti con danni all'emisfero destro non mostrano afasia. Ne deriva quindi che l'emisfero sinistro è specializzato per il linguaggio, indipendentemente dalla sua modalità (Emmorey, 2003). Ancora, le ricerche condotte su individui sani attraverso l'impiego del paradigma dell'ascolto dicotico, hanno evidenziato come i soggetti riferiscano più sillabe presentate all'orecchio destro (e quindi un vantaggio dell'emisfero sinistro nel processo di produzione linguistica) rispetto a quelle presentate all'orecchio sinistro (Kimura, 1967). Similmente, studi ERP (Potenziali evento-relati) e l'impiego di tecniche di

neuroimmagine (come la tomografia ad emissione di positroni, la risonanza magnetica funzionale, l'elettroencefalogramma multicanale, la SPECT, la magnetoencefalografia e la spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso) hanno rilevato maggiore attività dell'emisfero sinistro durante l'elaborazione linguistica (Ingvar e Schwartz, 1974; Mazziotta e Metter, 1988; Molfese et al., 1975; Phelps e Mazziotta, 1985; Wood et al., 1971). Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che l'emisfero sinistro sia specializzato per il linguaggio o, come evidenziano alcune ricerche (Bever e Chiarello, 1974; Mills et al., 1997), ciò potrebbe essere legato alla possibilità che l'emisfero destro sia in grado di elaborare meglio gli stimoli nuovi, mentre l'emisfero sinistro sia specializzato nell'esecuzione di routine come appunto il linguaggio. A sostegno di quanto appena affermato, Mills e colleghi (1997) hanno riscontrato che, in bambini di 20 mesi, l'elaborazione di parole familiari sia una funzione esclusivamente relegata all'attività dell'emisfero sinistro nei bambini con un vocabolario più ampio. Ciò consente di dedurre che la specializzazione emisferica sinistra per il linguaggio possa costituire la base per lo sviluppo di un'elaborazione del linguaggio sempre più efficiente (Mills, Conboy e Paton, 2005; Mills, et al., 2005).

Tuttavia, le competenze linguistiche non sono relegate esclusivamente all'attività emisferica sinistra: le differenze individuali possono giocare un ruolo fondamentale nello stabilire il grado di dominanza emisferica (Bryden et al., 1983; Caplan, 1987; Milner, 1974) e, come evidenziato da Hoff (2013), in alcuni casi un danno cerebrale sinistro può non provocare afasia, mentre altre volte essa è provocata da un danno all'emisfero cerebrale destro. Quest'ultimo può quindi controllare le funzioni linguistiche, ad esempio nel caso dei mancini (Caplan, 1987) e può contribuire al funzionamento linguistico, anche in individui che mostrano una dominanza emisferica sinistra per il linguaggio.

Prove a sostegno della natura complessa, molteplice e variegata del linguaggio derivano ancora dalla conoscenza dell'esistenza di diversi tipi di afasia. L'afasia di Broca, caratterizzata da una produzione linguistica consistente in brevi stringhe di nomi e/o verbi senza morfemi grammaticali, è solitamente dovuta a lesioni anteriori dell'emisfero sinistro, in prossimità della porzione di corteccia che controlla il movimento e che tradizionalmente prende il nome di area di Broca; mentre l'afasia di Wernicke, contraddistinta da una produzione linguistica ricca di parole prive di significato, emerge in seguito a lesioni in una regione cerebrale più posteriore rispetto all'area di Broca e in



prossimità della corteccia uditiva primaria, area che prende il nome di area di Wernicke (Blumstein, 1988; Caplan, 1987; Goodglass, 1993; Saffran e Schwartz, 2003). Ne deriva dunque che molteplici ricerche sono state condotte con il fine di associare un certo tipo di afasia con la localizzazione del danno cerebrale all'interno dell'emisfero sinistro. Nonostante la localizzazione della funzione sia corretta e suffragata anche da studi ERP e di neuroimmagine, la creazione di una vera e propria "mappa" del cervello può essere un'impresa difficoltosa e poco proficua poiché, non soltanto esistono più di due sindromi afasiche (Saffran e Schwartz, 2003) e molti pazienti sono classificati come "misti" nel tipo di afasia che presentano, ma inoltre, i sintomi che i pazienti mostrano non sono sempre correlati alla sede lesionale (Hoff, 2013). A tal proposito, è possibile affermare che, sebbene sia evidente che il linguaggio non rappresenti una funzione unitaria, ancora non è possibile affermare in modo chiaro come tale facoltà sia ridistribuita e svolta da diverse sedi neurali (*ibidem*).

## **1.2 Sviluppo tipico e atipico**

Attualmente, il dibattito scientifico riguardante i processi implicati nello sviluppo del linguaggio nei bambini in situazioni tipiche, atipiche e di rischio, è incentrato sulla rilevazione dei fattori determinanti le differenze individuali che contraddistinguono l'emergere e il successivo consolidamento delle abilità linguistiche nei diversi aspetti, domini e modalità (Vicari e Caselli, 2017). Le traiettorie di sviluppo linguistico e comunicativo sono profondamente influenzate dalle interazioni tra fattori biologici e ambientali, la cui incidenza varia in funzione delle caratteristiche individuali, della fase di sviluppo e delle caratteristiche dell'ambiente socio-culturale in cui il bambino è inserito. Tutti questi fattori possono costituire variabili di protezione o di rischio nell'emergere tardivo delle competenze linguistiche e di una loro evoluzione in modalità atipiche (*ibidem*).

In linea con gli assunti dell'approccio neurocostruttivista, Karmiloff-Smith (2013) evidenzia come lo sviluppo delle abilità linguistiche sia il frutto di una stretta relazione che intercorre tra processi cognitivi e processi ambientali: la maturazione cognitiva interagisce con le esperienze dell'individuo e ciò consente di plasmare circuiti neurali e di rafforzare le connessioni tra aree cerebrali deputate al processamento linguistico. A tal proposito, l'autrice (1992) avanza l'ipotesi del processo di modularizzazione che mira da

un lato ad una specializzazione funzionale e contemporaneamente ad una localizzazione neurale: a partire da una protocorteccia indifferenziata, che caratterizza le prime fasi di sviluppo dell'individuo, si assiste poi a una progressiva specializzazione di specifiche aree cerebrali che si attivano per elaborare specifici tipi di informazione e a una conseguente riduzione dell'area corticale attivata in risposta a una specifica categoria di stimoli. Si assiste dunque all'organizzazione del cervello e della mente tipica dell'adulto, frutto e conseguenza delle interazioni che intercorrono tra individuo, ambiente esterno e input da esso forniti (Karmiloff-Smith, 1992; 2013). Quanto appena affermato viene confermato da studi empirici (es., Mills et al., 1993; Peña et al., 2003; Dehaene-Lambertz et al., 2002) che indagano lo sviluppo del linguaggio in interazione con l'ambiente in cui l'individuo è inserito. Tali studi hanno dimostrato che nei bambini con un'età inferiore ai due anni la presentazione di parole comporta l'attivazione di un'ampia porzione della corteccia e, solo quando il loro vocabolario raggiunge un'ampiezza di circa 200 parole, si evidenzia un restringimento dell'area di attivazione che vede protagonista il lobo temporale sinistro. Tale processo, che avviene indipendentemente dall'età posseduta dal bambino e correla invece con un fattore legato all'esperienza (sviluppo del vocabolario), dimostra che esso non sia il frutto di un mero processo maturativo, bensì che l'ambiente riveste un ruolo cruciale nel determinare la specializzazione neurale e cognitiva per le competenze linguistiche. Ancora, tali evidenze empiriche dimostrano come alla nascita i bambini si comportino come linguisti universali poiché in grado di discriminare i contrasti fonetici di tutte le lingue e solo successivamente, in seguito all'esposizione alla propria lingua madre, i bambini tra i 10-12 mesi, perdono la capacità di discriminare i contrasti fonetici non presenti nella lingua della propria cultura (Werker e Tees, 1984; Kuhl et al., 2006). Prende così avvio il fenomeno di *perceptual narrowing*, ovvero di progressiva sintonizzazione sulle informazioni alle quali si è maggiormente esposti e una conseguente perdita della capacità di discriminare stimoli di cui si ha ridotta esperienza. È possibile dunque affermare che è proprio l'esperienza con specifiche informazioni ambientali che consente di mantenere e rafforzare precise abilità cognitive (Maurer e Werker, 2014).

Ritornando al processo di sviluppo del linguaggio, è possibile dunque evidenziare, come precedentemente affermato, che alla nascita e almeno fino ai 6 mesi i bambini sono dei veri e propri linguisti universali. Tra i 6 e gli 8 mesi vengono prodotte sequenze di sillabe e prende avvio il processo di sintonizzazione percettiva, infatti, tra i 9 e i 12 mesi

il bambino comprende le parole della propria lingua e usa i gesti per comunicare (Clark, 2004). Tra i 13 e i 16 mesi inizia la produzione delle prime parole e si verifica un uso sempre più frequente dei gesti comunicativi e tra i 17 e i 24 mesi il bambino inizia ad esprimersi combinando insieme dapprima gesti e parole, poi più parole insieme per formare piccole frasi (*ibidem*). Tra i 2 e i 3 anni il vocabolario si arricchisce di parole astratte e verbi e le frasi raggiungono una maggiore completezza grammaticale (Caselli et al., 2015). È possibile, inoltre, evidenziare che: la quantità delle lallazioni nei primi mesi di vita predice l'emergere e la numerosità delle prime parole (Vicari e Caselli, 2017); la comprensione delle parole correla con la produzione gestuale (*ibidem*); il numero di parole comprese ad un anno di vita predice l'ampiezza del lessico a due anni ed ancora la capacità di combinare tra loro gesti e parole predice la successiva produzione di frasi (*ibidem*).

Nonostante quanto affermato in precedenza faccia pensare che lo sviluppo linguistico proceda secondo tappe universali e predefinite, esso è caratterizzato, in sintonia da quanto affermato dall'approccio neurocostruttivista, da un'estrema variabilità interindividuale alla quale concorrono variabili biologiche (ad esempio processi attentivi, percettivi, di memoria e simbolico-cognitivi) e ambientali (come lo status socio-culturale della famiglia, lo stile di interazione genitore-bambino e la qualità dell'input linguistico). Le differenze individuali, che possono riguardare il momento in cui emerge una precisa abilità e le strategie e i ritmi con cui essa viene acquisita, possono però celare condizioni di ritardo nello sviluppo linguistico che può essere temporaneo o evolvere in modo atipico e sfociare in un successivo disturbo del neurosviluppo e di linguaggio (*ibidem*).

Hawa e Spanoudis (2014) identificano i bambini con ritardo del linguaggio (RL) quando, in assenza di altri disturbi neuro-sensoriali, relazionali e cognitivi, si osserva un rallentamento nella comparsa e nello sviluppo del linguaggio tra i 18 e 35 mesi; quando a 18 mesi si ha un'ampiezza di vocabolario inferiore/uguale al decimo percentile e quando a 30 mesi non si osserva nessuna forma di linguaggio combinatorio. Nonostante la maggior parte dei bambini identificati con RL sviluppino adeguate competenze linguistiche dopo i 3 anni, restano evidenti alcune fragilità nel processo di comprensione del linguaggio (Desmarais et al., 2010), nelle abilità di letto-scrittura (Brizzolara et al., 2012), nel gioco (Hawa e Spanoudis, 2014), nell'uso di gesti comunicativi (Bello et al., 2017) e nella capacità di imitazione verbale (Rescorla e Dale, 2013).

L'RL non rappresenta una etichetta diagnostica ma può costituire una condizione di rischio per lo sviluppo successivo di un disturbo di apprendimento o di linguaggio. È bene sottolineare che non tutti i bambini che ricevono una diagnosi di disturbo del linguaggio (DL) a 4 anni hanno precedentemente mostrato un ritardo del linguaggio (Rescorla e Dale, 2013; Hawa e Spanoudis, 2014). Tuttavia, studi epidemiologici (Zambrana et al., 2014) evidenziano che l'interazione tra predisposizioni bio-genetiche e fragilità del contesto socio-economico, ambientale, familiare e comunicativo possono rappresentare fattori di rischio per lo sviluppo di un RL e predirne l'evoluzione in DL.

Il DL fa riferimento ad una molteplicità di quadri clinici eterogenei in cui le difficoltà linguistiche possono presentarsi in associazione ad altri deficit o in modo isolato ed esprimersi in modo diverso a seconda degli aspetti e degli ambiti della competenza linguistica che risultano atipici. La varietà di tali quadri dipende anche dall'età, dalla fase di sviluppo e dal grado di gravità. Infatti, per comprendere appieno le caratteristiche del DL è necessario valutarlo adottando l'utilizzo di una prospettiva longitudinale che consente di comprendere come il disturbo si evolve al variare dell'età (Vicari e Caselli, 2017). Il DSM-5 include i disturbi del linguaggio tra i disturbi del neurosviluppo all'interno del sottogruppo dei disturbi della comunicazione, i quali comprendono: disturbo del linguaggio, disturbo fonetico-fonologico, disturbo della fluenza con esordio nell'infanzia, disturbo della comunicazione sociale, disturbo della comunicazione non specificato (APA, 2013).

Per inquadrare i disturbi del linguaggio secondo una prospettiva neuropsicologica e fisiopatologica, è utile far riferimento al contributo di Rapin (2006) che contraddistingue tre categorie di disordine linguistico: disturbi misti recettivi/espressivi (agnosia verbale uditiva, sindrome da deficit fonologico/sintattico); i disturbi espressivi caratterizzati da una compromissione normale o quasi normale (disprassia verbale, disordine da deficit di programmazione fonologica); disturbi da deficit dei processi di integrazione centrale (disordine da deficit lessicale, disordine da deficit semantico-pragmatico).

Le difficoltà nel processo di sviluppo e acquisizione del linguaggio possono essere riscontrate anche all'interno dell'ambito dei disturbi specifici dell'apprendimento (DSA) caratterizzati da difficoltà in lettura, scrittura e calcolo e nell'uso adeguato delle abilità scolastiche con sintomi che perdurano anche sei mesi dopo un intervento mirato (APA, 2013). La diagnosi di DSA, che viene effettuata solo quando sono soddisfatti i quattro

criteri diagnostici previsti nel DSM-5, deve basarsi anche sulla storia dell'individuo e delle difficoltà esperite, sui risultati scolastici e sui punteggi ottenuti nei test utilizzati per valutare l'apprendimento. Nella diagnosi deve essere specificata anche la gravità del disturbo, che può essere lieve, moderata o grave, a seconda che esso riguardi uno o più ambiti scolastici e che richieda, oltre alle facilitazioni, un insegnamento individualizzato (*ibidem*).

I DSA possono presentarsi in comorbilità con altri disturbi del neurosviluppo come il disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD), DL, il disturbo della comunicazione e il disturbo dello spettro autistico (ASD) ma anche disturbi mentali come il disturbo depressivo o il disturbo d'ansia. I DSA, infatti, alterano il tipico apprendimento delle abilità scolastiche e possono incidere negativamente sulla prestazione accademica e, successivamente, su quella lavorativa generando così anche difficoltà sociali, relazionali ed emotive (Vicari e Caselli, 2017).

Per quanto concerne l'eziologia dei DSA, la componente genetica è ritenuta una variabile fondamentale: essa influenza l'acquisizione di abilità scolastiche così come dimostrato da studi condotti su gemelli omozigoti e da quelli che indicano come la presenza nella storia familiare di casi di DSA aumenta il rischio di sviluppare tale disturbo. Ancora, la genetica molecolare ha poi identificato geni collegati al rischio di insorgenza di DSA come il gene DYX1C1, i geni DCDC2 e KIAA0319 e ROBO1. Tutti questi dati presi insieme sottolineano che i meccanismi eziopatogenetici dei DSA hanno una forte componente genetica che tuttavia, da sola, non può spiegarne l'insorgenza (*ibidem*).

Per concludere è possibile affermare come le evidenze empiriche condividano dunque l'idea che sia l'interazione tra fattori genetici e ambientali a generare un'alterazione del tipico sviluppo cerebrale e del processo di acquisizione di capacità cognitive superiori quali, ad esempio, la lettura e la scrittura.

Nei prossimi paragrafi si cercherà quindi di analizzare come avviene il processo di acquisizione -sia esso tipico o atipico- di queste specifiche capacità, cercando di sottolineare ancor di più l'importanza delle relazioni bidirezionali che intercorrono tra individuo e ambiente nel determinare lo sviluppo della mente e delle capacità dell'individuo stesso e rimarcando ancora una volta come l'adeguato sviluppo di competenze *high-level* si basa e non può prescindere dall'integrità di abilità cognitive *low-level*.

### 1.2.1 Lettura

L'apprendimento della lettura è un processo complesso e le modalità attraverso cui gli individui imparano a leggere dipendono dalle caratteristiche della loro lingua, ed in gran misura dal grado di trasparenza dell'ortografia della lingua a cui sono esposti. A tal proposito, è nota la distinzione tra ortografie trasparenti (come, ad esempio, l'italiano o il tedesco), caratterizzate da una certa regolarità nell'applicazione delle regole di conversione grafema-fonema, e ortografie opache (come, ad esempio, l'inglese o l'ebraico) molto meno regolari nell'applicazione di tali regole per cui la lettura della parola deve essere effettuata solo su base lessicale. Ne deriva che il compito di lettura in una lingua a ortografia opaca è molto più complesso perché i bambini devono conoscere le regole di conversione grafema-fonema, ma allo stesso tempo sapere che spesso queste regole devono essere violate per leggere la parola in modo corretto (Vicari e Caselli, 2017).

È per questo motivo che, come evidenziato da Stuart e Coltheart (1988), sono compiuti numerosi errori di pronuncia delle parole ma anche errori definiti immaturi, che si verificano quando il bambino legge la prima lettera o la prima e l'ultima lettera della parola e ne deduce il resto, errori che perdurano fino a quando non viene posseduto un certo grado di competenza fonologica, la quale viene raggiunta con evidenti differenze individuali tra bambini. Al contrario il bambino esposto a una lingua con ortografia trasparente, dopo aver imparato le regole di conversione grafema-fonema, può utilizzarle per la lettura di tutte le parole (*ibidem*).

Durante il periodo che coincide con la frequenza della prima elementare, come evidenziato da Orsolini et al. (2003), i bambini mostrano profonde differenze individuali nel processo di lettura e utilizzano diversi tipi di strategie per portare a termine tale compito. Alla fine di questo periodo, i bambini leggono correttamente un elevato numero di parole anche se lentamente e in modo sillabato (Zoccolotti et al., 2009). L'aumento della velocità e della fluidità nel processo di lettura di parole e non parole si verifica quando è possibile l'accesso alle conoscenze lessicali (Mazzotta et al., 2005; Marcolini et al., 2009). Alcuni autori ritengono che la velocità di lettura, specialmente in lingue con ortografia trasparente, rappresenti un parametro fondamentale per valutare i disturbi della lettura (Wimmer, 1993).

Il rilevamento delle difficoltà di lettura presentate da alcuni bambini è possibile

grazie all'adozione di standard nazionali o internazionali. Tra questi si annoverano il DSM-5, l'ICD-10, le *Consensus Conference* e le Raccomandazioni cliniche sui DSA, che, seppur con delle sottili differenze e peculiarità, presentano il comune obiettivo di migliorare le pratiche valutative e riabilitative attraverso un loro continuo aggiornamento basato sui progressi ottenuti dalla ricerca scientifica (Vicari e Caselli, 2017).

Il disturbo evolutivo di lettura può essere spiegato attraverso due modalità prevalenti. Coltheart e colleghi (2001) propongono il modello a due vie secondo cui, dopo un'analisi visiva delle caratteristiche dello stimolo, vengono attivate due vie di lettura: la via lessicale, utilizzata per la lettura di parole conosciute ed irregolari, consente tempi di lettura più veloci poiché permette di accedere al lessico attraverso un'elaborazione della parola nella sua interezza e il recupero della sua rappresentazione ortografico-fonologica; la via sublessicale invece comporta tempi di lettura più lunghi poiché prevede la scomposizione delle parole in grafemi a cui vengono associate, attraverso le regole di conversione grafema-fonema, le corrispondenti unità fonologiche. È a partire da tale modello che Castles e Coltheart (1993) propongono due diverse forme di dislessia: la dislessia superficiale e quella fonologica. La prima consta in un disturbo nello sviluppo e nel successivo utilizzo della procedura lessicale con conseguenti difficoltà nella lettura di parole irregolari, nell'identificazione del significato di parole omofone ma non omografe e nell'aumento del numero di errori di regolarizzazione; la dislessia fonologica si caratterizza invece per alcune difficoltà nella lettura di non parole a causa di un inadeguato sviluppo e utilizzo della procedura sublessicale.

La seconda modalità attraverso cui viene interpretato il disturbo di lettura è quella che avviene attraverso l'impiego della *phonological core deficit hypothesis*: come sottolineato da Snowling (2001), a causa di un deficit selettivo e a carico del sistema fonologico, tutti i soggetti con dislessia mostrerebbero difficoltà nella lettura di non parole, seppur con un certo grado di variabilità, la quale dipende da fattori compensativi come le capacità sintattico-semantiche, la memoria visiva, la percezione o il grado di esposizione ai testi scritti. Tuttavia, è stato a tal proposito evidenziato come la difficoltà nella lettura delle non parole sia presente sia in bambini con dislessia, i quali mostrano comunque una prestazione simile nella lettura di parole e non parole, ma anche nei lettori abili. Tale aspetto quindi non consente, da un lato di affermare con assoluta certezza la

presenza di un deficit selettivo nella lettura di non parole e dall'altro di comprendere in modo adeguato la natura del disturbo dislessico.

Un altro modo per valutare la presenza di un deficit fonologico all'interno del disturbo dislessico è legato all'impiego di prove che misurano abilità fonologiche e metafonologiche. Anche in questo caso però, i pochi studi in tale ambito (Cossu et al., 1993; Brizzolara et al., 2006; Chilosi et al., 2009), hanno evidenziato che solo un numero ristretto di bambini aveva una prestazione patologica, che la presenza di difficoltà metafonologiche possa comunque coesistere con un apprendimento adeguato della lettura e che l'apprendimento deficitario della lettura può presentarsi anche in assenza di deficit fonologici.

Tali evidenze empiriche mostrano quindi come i bambini con dislessia possono avere una prestazione deficitaria in compiti fonologici e metafonologici mentre altri, seppur presentando lo stesso tipo di disturbo, ne sono esenti. Presi insieme questi dati portano a concludere che non vi sono prove chiare a sostegno che il disturbo di lettura sia sistematicamente ed esclusivamente associato alla presenza di un deficit fonologico, come presunto dalla *phonological core deficit hypothesis* (Vicari e Caselli, 2017).

Partendo dunque dal presupposto che l'ipotesi di un deficit specifico e selettivo a carico nelle capacità fonologiche non possa da sola spiegare le difficoltà esperite durante il processo di lettura, si è cercato di caratterizzare in modi diversi il disturbo di lettura. Evidenze empiriche mostrano come la lettura, in individui con difficoltà di lettura, sia accurata ma faticosa, stentata, lenta e ricca di pause ed esitazioni (Wimmer, 1993; Zoccolotti et al., 1999). Per comprendere i fattori determinanti tale lentezza sono stati esaminati, durante la lettura di un testo, i movimenti oculari dei bambini che presentano difficoltà di lettura. Emergono movimenti oculari numerosi e di ampiezza ridotta e, sebbene tutto il testo (inclusi i funtori) sia fissato in modo omogeneo, il numero di fissazioni per ogni specifica parola dipende dalla sua lunghezza (Vicari e Caselli, 2017). Anche l'analisi dei tempi di reazione evidenzia come essi siano più lenti e dipendenti dal numero di lettere che compongono la parola e quindi dalla lunghezza (De Luca et al., 2008). Per comprendere i fattori che determinano la tendenza ad essere influenzati dalla lunghezza della parola, un'ipotesi che è stata avanzata, ma non confermata da studi empirici, è quella relativa ad una difficoltà nel controllo e nella regolazione dei movimenti oculari (De Luca et al., 2008). Una seconda ipotesi è quella secondo cui la lentezza nella



lettura sia determinata dall'utilizzo prevalente della via sublessicale a causa di una compromissione a carico della via lessicale. Tuttavia, numerosi studi (Paizi et al., 2013; Barca et al., 2006; Paizi et al., 2011; Bimonte e Burani, 2005; Burani et al., 2008; Marcolini et al., 2011) sottolineano da un lato come il processo di lettura negli individui con dislessia faccia riferimento alle conoscenze lessicali e dall'altro come la modalità di lettura dei bambini con dislessia risulti simile a quella dei normolettori mostrando i medesimi effetti di natura lessicale e sublessicale. La differenza tra queste due popolazioni potrebbe quindi risiedere nelle fasi di elaborazione percettiva dello stimolo. Alcune ricerche sono state condotte al fine di corroborare questa ipotesi ed è emerso che le difficoltà esperite da un bambino con dislessia siano proprio di natura percettiva poiché, fornendo al bambino un tempo sufficiente e/o maggiore per elaborare lo stimolo prima che avvenga la sua pronuncia, l'effetto di lunghezza della parola scompare ed egli è in grado di leggere in modo corretto (Vicari e Caselli, 2017).

Da quanto detto in precedenza risulta dunque evidente che i numerosi studi empirici, condotti con l'intento di rilevare l'origine e la causa delle difficoltà sottostanti al processo di lettura, hanno dato vita a una letteratura confusa in merito a tale tema e a numerosi dati eterogenei che possono essere adeguatamente compresi solo adottando un quadro teorico integrato. È per questo motivo che il presente elaborato si è ispirato al quadro di campionamento temporale (TSF) proposto da Usha Goswami (2011) per spiegare le difficoltà riscontrate dagli individui con dislessia. L'autrice, oltre ad abbracciare l'ipotesi secondo cui tali individui presentino fragili competenze fonologiche evidenzia, tramite un'analisi delle oscillazioni cerebrali, un'alterazione dei meccanismi oscillatori a bassa frequenza durante la codifica temporale delle informazioni e dell'elaborazione percettiva del parlato. Tale disfunzionalità non consentirebbe di effettuare una efficace segmentazione temporale del segnale acustico in sillabe infatti, l'alterazione delle reti Theta sembra ridurre l'integrazione temporale al ritmo della sillaba e avrebbe conseguenze anche sulla percezione dei fonemi mentre, l'alterazione delle reti Delta produrrebbe effetti negativi sulla percezione della prosodia e una conseguente alterazione dell'attività del giro temporale superiore destro (STG) ritenuto una struttura cerebrale cruciale nel processo di analisi prosodica. L'alterazione dei meccanismi oscillatori a bassa frequenza Theta e Delta potrebbe spiegare non solo le difficoltà esperite dagli individui con dislessia, ma anche la compromissione dell'*entrainment* ritmico-uditivo la quale può

produrre conseguenze sull'attenzione e sull'integrazione uditivo-visiva. È per questi motivi che il TSF propone l'impiego di *training* educativi ritmici i quali, come vedremo in modo più approfondito nei capitoli a seguire, consentirebbero di migliorare l'allocazione di risorse attentive e ridurre le difficoltà esperite dagli individui con dislessia poiché ritmo e linguaggio sono segnali complessi che condividono alcune caratteristiche: sono altamente tempo-dipendenti e dotati di una certa regolarità. Ancora, l'attività neurale delle oscillazioni a bassa frequenza è correlata con l'attività delle regioni visive e premotorie. È quindi possibile che l'atipica elaborazione uditiva potrebbe anche essere all'origine di alcune delle difficoltà visive, motorie e attentive osservate nella dislessia (*ibidem*).

Ne deriva quindi che le difficoltà rilevate nel processo di acquisizione di abilità cognitive superiori *high-level*, come appunto l'apprendimento della lettura, poggia su e non possa prescindere dall'integrità di processi e meccanismi cognitivi di base *low-level* (Valenza e Turati, 2019).

### **1.2.2 Scrittura**

L'apprendimento della scrittura viene considerato, all'interno dell'ambito della letteratura scientifica, complementare all'apprendimento della lettura, anche se i processi mentali impiegati nella scrittura sono in parte diversi da quelli utilizzati per leggere. Imparare a scrivere è un processo che prende avvio a partire dall'acquisizione della capacità di convertire le parole da una forma orale ad una scritta attraverso l'apprendimento di regole specifiche per ogni lingua che consentono di convertire i suoni in un numero finito di grafemi (Martini, 1995). Come evidenziato dalla Frith (1985) l'apprendimento di tali regole implica processi diversi: le prime fasi di apprendimento richiedono consapevolezza metafonologica e competenze fonologico-lessicali. Per scrivere le parole bisogna possederne una rappresentazione fonologica, memorizzare la corrispondenza fonema-grafema e ricavare i suoni che devono essere ricondotti alle singole unità fonemiche, indipendentemente dalle influenze coarticulatorie. È necessario poi mantenere in memoria di lavoro la successione dei fonemi durante il processo di scrittura ed effettuare il monitoraggio di tali operazioni utilizzando risorse attentive. Emerge quindi come sia possibile, ancora una volta, analizzare l'acquisizione delle

capacità di scrittura all'interno di un'ottica neurocostruttivista, che assegna alle capacità cognitive di base un ruolo cruciale nello sviluppo delle abilità cognitive superiori.

A quanto precedentemente affermato, per far sì che si verifichi un corretto processo di scrittura, si aggiunge, il richiamo della forma dei grafemi in base al carattere utilizzato e il recupero dei *pattern* motori utili per la realizzazione scritta che vengono acquisiti e successivamente automatizzati, dando vita ad una scrittura veloce che non trascura però la leggibilità e la correttezza (Russo et al., 2012). Utilizzando le regole di trasposizione di ogni suono in uno specifico segno, è possibile scrivere un elevato numero di parole, tuttavia, per scriverne alcune deve essere violata la regola di biunivocità poiché alcuni suoni devono essere convertiti, non in un segno, bensì in un gruppo di segni. Inoltre, per padroneggiare i processi di scrittura, è necessario apprendere che alcune parole possono rappresentare delle eccezioni alle regole apprese e che altre omofone possono essere scritte in modo corretto facendo riferimento solo alla loro semantica.

Nei primi due anni di scolarità viene prevalentemente utilizzato, per poter scrivere, il meccanismo di scomposizione della via fonologica: alla fine del primo anno di scolarità il processo di scrittura è abbastanza fluido mentre alla fine del secondo anno risulta automatizzato (Vicari e Caselli, 2017). Un maggiore periodo di tempo è invece richiesto per poter scrivere un testo intero, in quanto l'acquisizione delle competenze per svolgere tale tipo di compito corrisponde ad apprendere le caratteristiche di una lingua del tutto diversa da quella parlata nel quotidiano poiché caratterizzata da uno stile diverso a seconda del proprio interlocutore, da una molteplicità delle tipologie testuali da poter utilizzare e da un lessico ricercato, ricco di sinonimi e di riformulazioni, la cui comprensione del significato non viene agevolata dalla situazione contestuale e dai feedback, forniti dallo scambio dialogico con l'altro, che consentono di riaggiustare la struttura del discorso come appunto avviene nel linguaggio parlato (Pinton e Lena, 2015). Alla fine dei primi cinque anni di scolarità i bambini raggiungono le competenze necessarie a scrivere alcuni tipi di testo mentre nel caso di ritardi o disturbi del neurosviluppo tale processo assume un andamento diverso.

In relazione a quest'ultimo tema è possibile evidenziare che le difficoltà nel processo di apprendimento della lingua scritta possono presentarsi in modo isolato e non legato ad altre condizioni patologiche oppure associate a disturbi del neurosviluppo come quello della lettura o del linguaggio (Angelelli et al., 2010). Ancora, ulteriori evidenze

empiriche (Cossu e Marshall, 1985) hanno dimostrato che il disturbo di scrittura può manifestarsi in assenza di difficoltà di lettura e ciò fa presupporre una possibile dissociazione tra le abilità in questione. In ogni caso la valutazione delle difficoltà avviene in modo oggettivo, metodico, condiviso e omogeneo attraverso l'impiego di prove specifiche e di prove volte ad escludere la presenza di altre condizioni patologiche e che consentono di giungere ad una valutazione diagnostico-funzionale del disturbo (Vicari e Caselli, 2017).

L'ICD-10 (OMS, 1992) considera il disturbo disortografico come caratterizzato da difficoltà nella codifica corretta della forma ortografica delle parole mentre, quando esso si presenta in associazione ad altri disturbi, viene fatto rientrare nella diagnosi di dislessia evolutiva o di disordine misto delle abilità scolastiche. Il disturbo dell'espressione scritta indica a volte una condizione di disgrafia evolutiva, oltre una difficoltà nella componente linguistica dell'espressione scritta.

Il DSM-5 (APA, 2013) suddivide i disturbi della scrittura in tre condizioni diverse, caratterizzate da difficoltà nelle abilità ortografiche, grammaticali o testuali.

Quando la condizione di disgrafia viene a caratterizzarsi per difficoltà a livello della componente motoria essa viene definita, nell'ICD-10 come disturbo evolutivo specifico della funzione motoria mentre, nel DSM-5, si fa riferimento ad un disturbo di sviluppo della coordinazione motoria.

Ancora, la legge n.170/2010 distingue la disgrafia dalla disortografia, considerando la prima come un disturbo specifico caratterizzato da difficoltà grafiche e la seconda come un disturbo specifico costituito da difficoltà nel processo di transcodifica. In entrambi i casi l'analisi quantitativa ma soprattutto qualitativa della tipologia di errore permette di distinguere una condizione di difficoltà e ritardo da una di disturbo vero e proprio e consente di mettere a punto interventi riabilitativi specifici e diversificati (Vicari e Caselli, 2017).

Tali tipi di interventi devono essere adoperati anche in presenza di difficoltà nella produzione di testi scritti, le quali sembrano essere diffuse trasversalmente nelle diverse culture. La realizzazione di un testo scritto rappresenta il fine ultimo dell'acquisizione della lingua scritta, ed è considerato un processo molto lungo che consta di tre fasi - pianificazione, stesura e revisione- che possono intrecciarsi in modi e tempi diversi durante la realizzazione testuale a seconda del grado di familiarità che l'individuo

possiede circa il compito di scrittura del testo. Inoltre, la realizzazione di un testo scritto richiede una buona capacità nel distribuire in modo adeguato nel tempo le risorse attentive e mnestiche (*ibidem*) le quali verranno approfondite nel corso del capitolo successivo.

Ciò, ancora una volta, evidenzia come sia necessario, per poter effettuare una adeguata valutazione delle capacità cognitive di alto livello, passare prima da un'attenta valutazione dei processi e dei meccanismi cognitivi di base: le disfunzionalità nelle capacità *low-level* possono causare degli effetti negativi a cascata nello sviluppo delle capacità *high-level*, generando atipie che possono poi sfociare in veri e propri disturbi del neurosviluppo, come ampiamente evidenziato dall'approccio neurocostruttivista.

In particolare, l'attenzione temporale, come sottolineato da Goswami (2011) e i ritmi oscillatori a livello neurale (Fiveash et al., 2021) sembrano giocare un ruolo decisivo nell'esecuzione delle abilità linguistiche più complesse, come lettura e scrittura. Per tali ragioni, le abilità *low level* – e, in particolare, la sintonizzazione al ritmo o *entrainment* – nelle sue componenti percettive e motorie saranno ulteriormente trattate e approfondite attraverso il prossimo capitolo.

## CAPITOLO 2

### **Introduzione**

Come già introdotto nel precedente capitolo, l'acquisizione di abilità *high-level*, come il linguaggio parlato e scritto, non può prescindere dallo sviluppo di abilità *low-level*, o abilità di base, comuni a diversi domini della cognizione umana. Tra queste, è rinomato in letteratura il ruolo delle abilità percettive di base, delle abilità mnestiche e soprattutto delle abilità attentive. Meno esplorate, seppur centrali, sono invece le abilità motorie di base e le abilità ritmiche. Alla luce dei principi della Cognizione incarnata e del modello TSF, nel prossimo capitolo verranno pertanto approfonditi questi ultimi aspetti. In particolare, verrà approfondito il legame tra ritmo e linguaggio, sia a livello dei meccanismi di base coinvolti in entrambi i domini (sintetizzati dal quadro PRISM), sia a livello di *performances* nel caso dei comportamenti più complessi come la lettura e la scrittura, fino ad arrivare alla più generale abilità cognitiva dell'organizzazione temporale comune al segnale ritmico e linguistico, base del presente lavoro di ricerca illustrato nel terzo capitolo.

### **ABILITÀ DI BASE ALLO SVILUPPO DEL LINGUAGGIO: ASPETTI MOTORI E RITMICI**

Come delineato nel capitolo precedente, l'adozione di un approccio neurocostruttivista, per comprendere come avviene lo sviluppo ontogenetico dell'individuo, comporta l'impiego di innovative metodologie d'indagine, con conseguenti ricadute negli ambiti di ricerca, clinica e intervento (Valenza e Turati, 2019). In particolare, la prospettiva neurocostruttivista evidenzia il ruolo cruciale delle prime fasi di sviluppo, momento di maggiore plasticità cerebrale, nel modulare l'esito evolutivo dell'individuo e sottolinea come i meccanismi cognitivi di base, di cui l'individuo è dotato sin dalla nascita, rappresentino il punto di partenza per poter sviluppare competenze più complesse che emergono ad età più avanzate. Nei prossimi paragrafi si approfondirà quindi il ruolo e l'importanza dei meccanismi cognitivi di base che sottostanno allo sviluppo di abilità cognitive più elevate come appunto il linguaggio orale e scritto.

## 2.1 Meccanismi percettivi, mnestici e attentivi e apprendimento linguistico

Come rilevato da Bloom (1993) e Hollich et al. (2000) è possibile evidenziare, all'interno delle traiettorie evolutive degli individui, un'estrema variabilità ed eterogeneità circa le modalità e la velocità che caratterizzano il processo di apprendimento del linguaggio poiché la capacità di percepire, elaborare e integrare adeguatamente le informazioni presenti nell'ambiente, siano esse di natura visiva e/o uditiva, dipende dal modo in cui avviene il precoce sviluppo di abilità percettive, mnestiche e attentive, le quali consentono all'individuo di interpretare e dare un senso alla complessità della realtà che lo circonda e di sviluppare competenze cognitive di alto livello.

È possibile affermare che l'esperienza che l'individuo fa con le prime forme del parlato avviene già durante il periodo prenatale (Querleu et al., 1988; Abboub et al., 2016). A partire dal terzo trimestre di gravidanza, infatti, il sistema uditivo è quasi del tutto sviluppato e ciò consente di percepire alcune caratteristiche tipiche degli stimoli uditivi e linguistici. Il parlato percepito all'interno dell'ambiente intrauterino risulta essere ricco di dettagli prosodici, melodici e ritmici mentre vengono persi quelli fonetici (*ibidem*). Il processo di acquisizione del linguaggio procede poi attraverso l'impiego di strategie computazionali che consentono di rilevare aspetti prosodici e statistici all'interno del flusso vocale per poter identificare le singole parole (Kuhl, 2004). Tuttavia, come sottolineato da Friederici e Thierry (2008), le precoci abilità percettive vengono poi affinate dall'esperienza uditiva che caratterizza il primo mese di vita e le differenze individuali nella percezione dei suoni, anche linguistici, predicono lo sviluppo linguistico successivo in età più avanzate (Tsao et al., 2004).

Si può dunque affermare che le capacità di discriminare percettivamente stimoli uditivi siano necessarie per lo sviluppo linguistico successivo e, analogamente, disturbi percettivi precoci interferiscono sull'acquisizione e sull'apprendimento linguistico. Ad esempio, bambini *high risk* di disturbo del linguaggio (DL) mostrano un'alterata capacità nel discriminare i suoni già a 6 mesi (Benasich e Tallal, 2002; Cantiani et al., 2016).

Ancora, evidenze empiriche (Miller et al., 2006; Dispaldro et al., 2013) mostrano come un deficit nella velocità di elaborazione delle informazioni possa causare difficoltà nello sviluppo linguistico successivo: bambini con DL impiegano molto più tempo a elaborare

le informazioni ed è proprio tale lentezza che contribuirebbe a provocare le difficoltà linguistiche che caratterizzano il DL stesso. Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che il linguaggio è una funzione tempo-dipendente che può quindi risentire, più di altre, di una velocità di elaborazione lenta. Ciò porta, come evidenziato da alcuni studi empirici (Leonard et al., 2007; Kail e Ferrer, 2007) ad un sovraccarico della memoria di lavoro e una conseguente perdita di un grande numero di informazioni.

Ne deriva dunque che l'efficacia delle abilità attentive e mnestiche risultano fondamentali per poter elaborare e interpretare le informazioni presenti nell'ambiente circostante in modo adattivo. Difatti, le capacità di memoria consentono all'individuo di mantenere ed elaborare un numero limitato di informazioni ed è stato evidenziato come le competenze di memoria a breve termine fonologica possano influenzare l'acquisizione del vocabolario, la comprensione e la lettura degli stimoli linguistici (Gathercole e Baddeley, 1990).

Lo sviluppo del linguaggio risulta poi essere strettamente connesso allo sviluppo dei processi attentivi. L'attenzione rappresenta una funzione cognitiva multicomponentiale che consente di filtrare, selezionare ed elaborare un numero finito di informazioni, guidando e indirizzando lo sviluppo dell'individuo, incanalando la sua attenzione verso particolari categorie di *input* ambientali, circoscrivendo il tipo di informazione a cui prestare maggiore attenzione e facilitando l'apprendimento relativo a specifici aspetti dell'ambiente, evitando così che si venga sopraffatti e/o sovrastimolati (Karmiloff-Smith, 1992). Come evidenziato da Keehn e colleghi (2013), tutti questi processi possono determinare il modo in cui l'ambiente circostante viene percepito, interpretato ed agito e quindi influenzare lo sviluppo cerebrale, comportamentale e comunicativo del soggetto stesso.

Gli studi in ambito attentivo sono condotti a partire dal modello anatomico fisiologico di Posner e Peterson (1990) che considera l'attenzione come scomponibile in tre sistemi anatomicamente distinti ma interagenti: il sistema di allerta e vigilanza (costituito da una componente tonica e da una componente fasica), il sistema di orientamento (suddivisibile nei tre meccanismi di disancoraggio, spostamento e ancoraggio) e quello di controllo attentivo. Wolff (2006) rileva come, durante i primi mesi di vita, l'attenzione sia guidata dalla salienza degli stimoli presenti nell'ambiente. Solo quando avviene la maturazione della via visiva e delle strutture sottocorticali annesse (corteccia premotoria, i gangli della



base e il cervelletto) è possibile lo sviluppo di un controllo corticale e della capacità di disancoraggio e spostamento dell'attenzione verso nuovi stimoli (Colombo, 2001; Posner 1980; Richards et al., 2010).

Evidenze empiriche rilevano come individui con disturbi del linguaggio (Hari e Renvall, 2001; Ebert e Kohnert, 2011; Goswami, 2011; Franceschini et al., 2012; Dispaldro et al., 2013; Dispaldro e Corradi, 2015) e/o disturbi del neurosviluppo (Chawarska et al., 2013; D'Souza et al., 2020) presentino un orientamento visivo atipico e un disancoraggio lento dell'attenzione. Ciò ha permesso di rilevare l'esistenza di un forte legame tra le capacità attentive e comunicativo-linguistiche dell'individuo: il modo in cui il bambino adopera le proprie risorse ed abilità attentive determina il modo in cui viene esplorato il mondo circostante con effetti sullo sviluppo comunicativo e linguistico successivo (Hood et al., 1998; D'Souza et al., 2020). Infatti, come sottolineato nel capitolo precedente attraverso il modello TSF (Goswami, 2011), l'abilità dell'individuo di orientare l'attenzione nello spazio e nel tempo è fondamentale per far sì che si verifichi un'adeguata acquisizione del linguaggio, il quale rappresenta, come illustrato già in precedenza, uno stimolo che si sviluppa nel tempo e per questo implica l'impiego di risorse attenzionali per rilevare e percepire informazioni e caratteristiche percettive salienti (Astheimer e Sanders 2009, 2012).

Nello studio condotto da Russo e colleghi (2021), viene ipotizzato che le abilità di orientamento dell'attenzione nel tempo e nello spazio possono migliorare la percezione visiva, aumentando la salienza degli stimoli presenti nel focus attentivo e riducendo il rumore interferente. Inoltre, viene evidenziato come la capacità di orientare l'attenzione visiva possa predire la capacità di orientare l'attenzione verso cambiamenti presenti nel segnale uditivo e quindi all'interno del flusso linguistico. Dallo studio emerge che i soggetti che presentano una lenta codifica delle informazioni uditive e visive e non rilevano le caratteristiche visive e uditive salienti sono meno accurati nel processo di disancoraggio visivo e presentano una scarsa capacità di discriminazione uditiva, con possibili effetti negativi sullo sviluppo linguistico. Similmente, i risultati dello studio di Dispaldro e colleghi (2013) consentono di affermare che le difficoltà linguistiche possono essere associate a difficoltà attentive, le quali sono probabilmente legate a una disfunzione della rete attenzionale fronto-parietale destra. Inoltre, è stato osservato, attraverso un confronto tra individui con DL e individui a sviluppo tipico di pari età e quoziente

intellettivo, un rallentamento dell'attenzione visiva temporale nei primi rispetto ai secondi. Ancora, le differenze individuali nell'attenzione temporale hanno predetto le prestazioni grammaticali dei partecipanti con DL. Vista tale relazione, è possibile affermare che una maggiore lentezza nello spostamento temporale dell'attenzione possa contribuire a un'inefficiente elaborazione dell'*input* linguistico, infatti, la percezione di sillabe e fonemi, si basa su un adeguato processo di segmentazione dei suoni del parlato, il quale può essere collegato al meccanismo di selezione dell'attenzione temporale.

Ne deriva dunque che l'attenzione rappresenta un sistema ampiamente coinvolto nell'elaborazione del linguaggio (Conner et al., 2000) ed è proprio per questa ragione che è possibile ipotizzare un'associazione tra le difficoltà di apprendimento linguistico e una disfunzione attentiva. È per questi motivi che recentemente diversi ricercatori (Finneran et al., 2009; Im-Bolter et al., 2006; Montgomery, 2006, 2008; Rose et al., 2001; Spaulding et al., 2008) attraverso i loro studi hanno indagato la relazione tra le abilità di focalizzazione e mantenimento dell'attenzione e i disturbi del linguaggio in modalità visiva e uditiva.

Complessivamente, i risultati di questi studi evidenziano un effetto rilevante dell'orientamento dell'attenzione nello spazio e nel tempo nel plasmare l'acquisizione del linguaggio e dimostrano che i meccanismi percettivi e attentivi agiscono in sincronia nel determinare lo sviluppo di abilità linguistiche più evolute. Ciò risulterebbe in piena sintonia con quanto affermato dal modello di campionamento temporale (TSF) proposto da Usha Goswami (2011) che, come sottolineato nel capitolo precedente, evidenzia come un atipico spostamento dell'attenzione temporale e un'alterazione dei meccanismi oscillatori a bassa frequenza durante la codifica temporale e l'elaborazione percettivo-uditiva delle informazioni linguistiche sarebbe all'origine, in individui con difficoltà linguistiche, di problematicità attentive, percettive, visive e motorie. A tal proposito, nel corso del prossimo paragrafo si cercherà quindi di evidenziare l'importanza che il sistema motorio e il ritmo rivestono nel processo di acquisizione linguistica.

## **2.2 Sistema motorio e linguaggio**

In linea con la prospettiva dell'*Embodied Cognition* (Wilson, 2002; Shapiro, 2019; Marshall, 2016), è possibile evidenziare come l'interazione tra mente e corpo sia un canale preferenziale di conoscenza del mondo; la cognizione non è solo il frutto

dell'interazione di una mente e di un cervello con l'ambiente, ma è anche mediata da una dimensione fisico-corporea. La struttura e il funzionamento del corpo determinano la costruzione della conoscenza e l'accesso a determinati tipi di esperienza, il cui significato viene modulato a seconda della corporeità che lo esperisce (Overton et al., 2008).

Attraverso il corpo e il movimento l'individuo può ampliare le proprie esperienze e, grazie anche all'acquisizione di competenze grosso e fino motorie, vengono a crearsi opportunità di apprendimento e sviluppo con ricadute non solo nel dominio motorio ma anche in altri domini come quello del linguaggio (Marshall e Meltzoff, 2015).

Grazie alle numerose ricerche condotte in ambito neuropsicologico, disponiamo al giorno d'oggi, di numerose evidenze empiriche che consentono di dimostrare il forte legame che intercorre tra abilità motorie e linguistiche. Gli studi condotti in ambito evolutivo hanno permesso poi di evidenziare come tale legame sia presente molto precocemente: già a partire dai primi mesi di vita, la comparsa della lallazione nel bambino è associata a un contemporaneo aumento di movimenti ritmici di braccia e gambe che consentono di sperimentare un'azione caratterizzata da una struttura temporale simile a quella della lallazione (Iverson, 2010) e il cui ritmo decresce quando compaiono le prime parole (Iverson et al., 2007). Ancora, viene evidenziato da Alcock e Krawczyk (2010) come la possibilità di manipolare un oggetto consenta al bambino di disporre di maggior lessico per poterlo descrivere e, parallelamente, la manipolazione dell'oggetto è facilitata se si dispone di una sua rappresentazione lessicale.

Tale legame tra dominio linguistico e motorio è supportato anche dalla presenza di un substrato neurale comune che si attiva sia durante lo svolgimento di compiti linguistici ma anche motori: durante la produzione del linguaggio sembrano infatti attivarsi le medesime aree cerebrali che si attivano durante l'esecuzione dei movimenti, ovvero area di Broca, cervelletto e corteccia motoria (Iverson e Thelen, 1999).

Non solo le abilità motorie, ma anche quelle posturali influenzano il successivo sviluppo linguistico: evidenze empiriche dimostrano che tanto più efficienti e adattive sono le abilità posturali tanto migliori saranno le abilità linguistiche (Travers et al., 2013). Infatti, i cambiamenti posturali correlano con la produzione delle vocalizzazioni e l'affinamento di abilità grosso-motorie correla con un miglioramento delle capacità linguistiche (Yingling, 1981). Inoltre, le competenze posturali sono fondamentali anche per l'adeguato sviluppo del linguaggio scritto: saper impugnare adeguatamente lo strumento

grafico è fondamentale per effettuare una buona produzione scritta delle parole (Blason et al., 2004; Schweltnus et al., 2012).

In virtù di questa relazione, è possibile affermare che atipie a carico del sistema motorio e posturale possano comportare, a cascata, alcune difficoltà nel dominio linguistico, come ad esempio quelle evidenziate nel Disturbo del Linguaggio (DL) (Hayley e Hill, 2014), nel Disturbo dello Spettro Autistico (ASD) (Lloyd et al., 2013; Nickel et al., 2013; Shetreat-Klein et al., 2014; Bhat et al., 2012; LeBarton e Iverson, 2016) e nel Disturbo dello Sviluppo della Coordinazione Motoria (DCD) caratterizzato da problematicità nel processo di acquisizione di abilità motorie, movimenti fluidi e coordinati, in individui con intelligenza nella norma e assenza di deficit neurologici o sensoriali (Gubbay 1975).

I risultati di queste ricerche evidenziano che le difficoltà linguistiche manifestate da questi individui sarebbero legate alla riduzione delle opportunità di interazione individuo-ambiente, a causa di inadeguate abilità motorie e posturali, con conseguenti effetti negativi a cascata nell'apprendimento e nello sviluppo sociocomunicativo e linguistico.

La prospettiva dell'*Embodied Cognition* assegna dunque un ruolo di fondamentale importanza sia al sistema motorio-posturale che alla dimensione fisico-corporea nel determinare l'emergere di processi cognitivi superiori (Westermann et al., 2007; Marshall, 2016).

Come evidenziato da Russo e Valenza (2021), la teoria della Cognizione Incarnata assegna un ruolo fondamentale alla dimensione fisico-corporea nel determinare il processo di percezione ed elaborazione delle strutture musicali (Leman, 2008; Zimmerman e Lahav, 2012; Álamos-Gómez e Tejada, 2020). Emerge infatti una forte relazione tra ritmo (elemento cruciale nel TSF, Goswami 2011) e movimento, supportata ad esempio dall'attivazione delle aree motorie e dall'emergere della spinta a ballare durante l'ascolto musicale (Grahn e Brett, 2007; Levitin et al., 2018).

### **2.3 Ritmo e linguaggio**

Da quanto sopra riportato è quindi possibile affermare l'esistenza di un forte legame tra ritmo e movimento e, di conseguenza, tra movimento e linguaggio e ciò giustificerebbe l'impiego di *training* musicali per poter intervenire sullo sviluppo di capacità cognitive di base e, a cascata, su capacità cognitive più elevate.

La *ratio* che spinge ad avanzare il tema dell'elaborazione delle strutture ritmiche si fonda sulla presenza di numerosi dati empirici che rilevano una forte somiglianza tra gli stimoli musicali, e più in generale ritmici, e il linguaggio e che hanno portato ad un ampio corpo di letteratura che suggerisce connessioni tra i due domini. Infatti, le numerose ricerche di seguito illustrate sono state condotte con il fine di indagare i meccanismi neurali sottostanti la percezione e produzione ritmica musicale e linguistica ed evidenziare i processi condivisi tra i due domini al fine di comprendere se i meccanismi implicati durante il processo di elaborazione del ritmo nella musica e del discorso siano i medesimi e possano essere impiegati per una migliore comprensione del processo di elaborazione atipica del linguaggio. Nel corso di questo paragrafo si approfondirà dunque la relazione tra i due domini.

Recenti evidenze empiriche (Brown e Jordania, 2011; Ding et al., 2017; Kotz et al., 2018; Savage et al., 2015) sottolineano come, nelle molteplici culture e lingue, il ritmo rappresenti una caratteristica principale della musica e del linguaggio. Nello specifico, il ritmo musicale risulta caratterizzato da isocronia (Repp e Su, 2013) mentre quello linguistico sarebbe generato dall'interazione di aspetti lessicali e prosodici e quindi contraddistinto da una maggiore variabilità (Cummins, 2012; Knowles, 1974; Patel, 2008). Ciò porterebbe a delle differenze nella percezione di regolarità e prevedibilità all'interno dello stimolo musicale e linguistico ma, nonostante questo, musica e linguaggio mantengono caratteristiche comuni: rappresentano segnali uditivi che si svolgono nel dominio temporale e che risultano organizzati in strutture gerarchiche (Lerdahl e Jackendoff, 1983; Povel e Essen, 1985, London, 2012, Arvaniti, 2009; McAuley, 2010; Beier e Ferreira, 2018). Ancora, entrambi contengono informazioni circa la durata, la frequenza, l'intensità e il timbro (Allen et al., 2017; Besson et al., 2011), consentendo all'individuo di creare previsioni temporali cognitive *top-down* e dirigere così l'attenzione verso gli eventi più salienti (Bharucha e Pryor, 1986; Jones et al., 1982; Palmer e Krumhans, 1990; Cutler e Foss 19977; Gow e Gordon, 1993; Pitt e Samuel, 1990).

I numerosi dati empirici circa le similarità riscontrate tra musica e linguaggio hanno portato i ricercatori alla formulazione di quadri teorici eterogenei aventi lo scopo di comprendere ed evidenziare in modo più approfondito i meccanismi neurali condivisi e sottostanti l'elaborazione ritmica della musica e del linguaggio. Tuttavia, la maggior parte

di tali quadri, concentrando l'attenzione solo su un dominio o prospettiva e considerando solo parte dei meccanismi che supportano l'elaborazione ritmica, risulta parziale per la comprensione dei meccanismi sottostanti l'elaborazione musicale e linguistica. Infatti, i numerosi dati eterogenei provenienti dalla ricerca in tale ambito possono essere adeguatamente compresi solo adottando un quadro teorico integrato che consenta una comprensione globale dell'elaborazione del ritmo alla base della musica e del linguaggio. A tal proposito è fondamentale il contributo di Fiveash e colleghi (2021) che propongono il modello *Processing Rhythm In Speech and Music* (PRISM), illustrato nel dettaglio nel prossimo paragrafo. Il modello nasce da una revisione critica della letteratura e dall'integrazione di approcci proposti in precedenza come, ad esempio, l'ipotesi *Sound Envelope Processing e Synchronization and Entrainment to a Pulse* (SEP; Fujii e Wan, 2014), *Precise auditory timing hypothesis* (PATH; Tierney e Kraus, 2014), *Temporal sampling framework* (TSF; Goswami, 2011), *Action simulation for auditory prediction* (ASAP; Patel e Iversen, 2014), *Dynamic attending theory* (DAT; Jones e Boltz, 1989), la teoria del rilevamento attivo (Morillon et al., 2015; Schroeder et al., 2010) e della codifica predittiva (Friston, 2005, 2010) e OPERA. Secondo quest'ultima ipotesi, il sovrapporsi (*Overlap*) dei circuiti neurali implicati nell'analisi delle componenti acustiche, la precisione (*Precision*) esercitata nell'elaborazione musicale, l'emozione (*Emotion*) generata dal contatto con la musica, la ripetizione (*Repetition*) e, soprattutto, l'attenzione (*Attention*) praticata durante l'esercizio musicale portano a un miglioramento generalizzato anche all'area linguistica e verbale (Patel, 2011, 2012).

### **2.3.1 Meccanismi di base comuni a ritmo e linguaggio secondo il modello PRISM**

Attingendo alle ricerche illustrate nel precedente paragrafo, il modello PRISM propone tre meccanismi che risultano essere cruciali e implicati nell'elaborazione del ritmo nella musica e nel parlato (vedi figura 1).

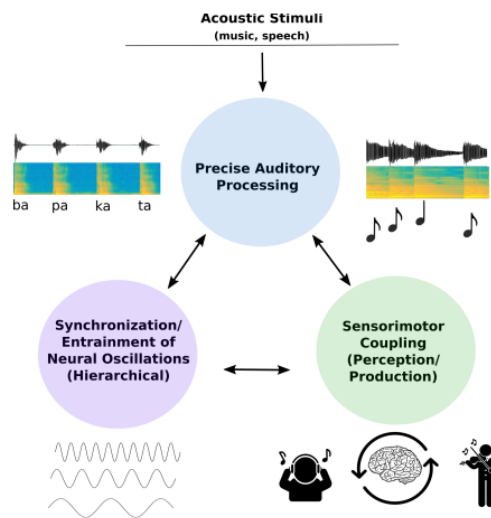


Figura 1. I tre meccanismi proposti dal quadro PRISM per spiegare l'elaborazione ritmica alla base della musica e del parlato: elaborazione uditiva fine, sincronizzazione/entrainment delle oscillazioni neurali a stimoli ritmici esterni e abbinamento sensorimotorio (tratta da Fiveash et al., 2021).

Tra i tre meccanismi proposti si annoverano: l'elaborazione uditiva fine che consentirebbe di discriminare lievi deviazioni o cambiamenti temporali e una percezione uditiva accurata, la sincronizzazione/*entrainment* delle oscillazioni neurali agli stimoli ritmici esterni che permetterebbe la previsione di eventi successivi e imminenti e la comprensione della struttura gerarchica, e l'abbinamento sensorimotorio che farebbe riferimento alla connessione tra corteccie uditive e motorie e rappresenterebbe un meccanismo alla base della percezione e produzione del ritmo di musica e linguaggio (Fiveash et al., 2021). Ognuno di questi meccanismi riveste un ruolo preciso nel processo di elaborazione ritmica pur presentando connessioni bidirezionali con gli altri meccanismi, le quali segnalano importanti connessioni tra essi e il coinvolgimento di ciascun meccanismo nel funzionamento degli altri, come si evince dalla figura 1 (*ibidem*). A tal proposito è possibile evidenziare che l'elaborazione uditiva fine, rappresentando la capacità di rilevare dei cambiamenti lievi in diverse finestre di integrazione temporale, sembra essere supportata da oscillazioni neurali Delta, Theta e Gamma e per questo motivo risulta essere profondamente legata agli altri due meccanismi proposti dal modello PRISM (Poeppel, 2003, Giraud e Poeppel, 2012). In sintonia con l'ipotesi OPERA (Patel, 2011, 2012), sembra che l'allenamento musicale possa migliorare l'elaborazione uditiva fine e di conseguenza anche l'elaborazione del discorso sfruttando sia la sovrapposizione

di circuiti cerebrali che consentono l'elaborazione del segnale acustico e anche la tempistica più fine indispensabile per elaborare il ritmo musicale che come evidenziato in precedenza è molto meno variabile rispetto a quello del linguaggio (Patel, 2011). Ciò sarebbe possibile, come suggerito dal modello TSF (Goswami, 2011), poiché la regolarità del ritmo musicale potrebbe migliorare l'elaborazione uditiva e i ritmi oscillatori a livello neurale con effetti positivi a cascata sulle abilità fonologiche e sul tracciamento neurale dell'involuppo del discorso (Goswami, 2012; Flaugnacco, 2015) con conseguenti effetti benefici, in tutto l'arco di vita (Kraus e Chandrasekaran, 2010), per gli individui che presentano atipie nel processo di produzione linguistica.

Le oscillazioni neurali rivestono un ruolo centrale nel processo di elaborazione ritmica uditiva della musica (Fujioka et al., 2012; Nozaradan et al., 2011, 2012, 2015) e del discorso (Giraud e Poeppel, 2012; Kösem et al., 2018; Kösem e Wassenhove, 2017) e sono considerate un meccanismo alla base dell'elaborazione predittiva (Arnal e Giraud, 2012; Chao et al., 2018), dell'attenzione temporale (Jones e Boltz, 1989) e dell'*entrainment* ritmico (Calderone et al., 2014) come sottolineato dalla DAT. Inoltre, le oscillazioni neurali risultano ancora associate all'elaborazione uditiva fine (Goswami, 2011; Poeppel, 2003) e all'abbinamento sensorimotorio (Morillon e Baillet, 2017; van Wijk et al., 2012; Yang et al., 2018) e per questi motivi sono considerate aspetto chiave alla base dell'efficacia di *training* ritmici musicali per migliorare l'elaborazione del discorso. Questo sarebbe possibile poiché, essendo la musica un segnale estremamente ritmico e prevedibile, essa diviene uno stimolo ideale per generare un migliore *entrainment* ritmico neurale, il quale persiste nel tempo, influenza l'elaborazione linguistica successiva (Cason et al., 2015; Cason e Schön, 2012) e favorisce finestre temporali attenzionali che permangono anche quando lo stimolo musicale non è più presente, influenzando la predizione e la successiva rilevazione degli eventi salienti nel segnale linguistico e di conseguenza l'elaborazione linguistica (Hickok et al., 2015).

Per quanto concerne l'abbinamento sensorimotorio, la ricerca ha dimostrato l'attivazione di aree all'interno della corteccia motoria - area motoria supplementare (SMA), pre-SMA e corteccia premotoria - durante l'ascolto sia di stimoli musicali sia di stimoli linguistici, evidenziando così un forte legame tra percezione del ritmo musicale e linguistico e produzione del movimento (Fiveash et al., 2021). Ciò suggerisce, come evidenziato dall'ipotesi ASAP (Patel e Iversen, 2014), una relazione tra corteccie uditive e corteccie



motorie: il profondo coinvolgimento di queste porzioni di corteccia cerebrale, sia per l'elaborazione di stimoli musicali che linguistici, supporterebbe il ruolo dell'abbinamento sensorimotorio per elaborare le regolarità temporali. È possibile dunque ipotizzare che le oscillazioni neurali nella corteccia motoria e uditiva si sovrappongano per garantire una migliore percezione (Bowers et al., 2014; Fujioka et al., 2012; Morillon et al., 2015). È possibile quindi sottolineare il profondo legame che sussiste tra capacità ritmiche e di letto-scrittura.

### **2.3.2 Ritmo e lettura**

Per quanto riguarda la lettura vi è un crescente numero di studi che supporta l'esistenza di un legame tra l'elaborazione del ritmo e i processi cognitivi sottostanti alla lettura (Ozernov-Palchik et al., 2018; Ozernov-Palchik e Patel, 2018). Il processo di lettura è reso possibile grazie alla capacità dell'individuo di effettuare adeguati movimenti oculari, i quali presentano un "comportamento" intrinsecamente ritmico. È per questo motivo che alcuni studi hanno concentrato la loro attenzione sullo studio dei movimenti oculari. Lo studio condotto da Strukelj e colleghi (2018) evidenzia come la capacità di comprensione e produzione linguistica dipendano dalla modalità con cui viene portato a termine il processo di lettura e dal tipo di movimenti oculari che vengono adoperati durante tale compito. Data la rilevanza dei movimenti oculari, nello studio di Lange et al. (2018) si è cercato di evidenziare se la presenza di una musica ritmica di sottofondo potesse avere un'influenza sul controllo oculomotorio e quindi sulla generazione di saccadi durante l'esecuzione di compiti cognitivi come lettura e scansione sequenziale. I risultati dello studio hanno evidenziato il ruolo cruciale del ritmo nel favorire il processo di lettura: la presenza dello stimolo uditivo ha ridotto il tempo totale di lettura, al contrario di quanto si verifica quando lo stimolo ritmico è assente. Ancora, è stato rilevato che all'aumentare del ritmo musicale vi è un'accelerazione delle fissazioni durante la lettura del testo mentre la scansione sequenziale non è stata influenzata dalla presenza dello stimolo uditivo. Questi dati suggeriscono che sia possibile effettuare una modulazione della saccade oculomotoria attraverso l'impiego della musica di sottofondo, la quale risulta però irrilevante in casi che coinvolgono *routine* automatizzate di controllo oculomotorio, evidenziando ancora una volta la relazione tra ritmo, movimento e capacità linguistiche.

### **2.3.3 Ritmo e scrittura**

Per quanto concerne la scrittura, come evidenziato da Evertz e Primus (2017), essa sembra essere caratterizzata da una precisa organizzazione ritmica legata alla presenza di due principi quali l'omotetia e l'isocronia. La prima evidenza che la durata dei singoli eventi motori che caratterizzano un atto motorio non dipende e resta invariata rispetto alla durata totale del movimento. L'isocronia invece fa riferimento al rapporto tra la velocità di produzione del movimento e la lunghezza della sua traiettoria. Viene rilevato come gli individui rispettano tali principi fin dalla scuola primaria suggerendo che una rappresentazione interna del ritmo della scrittura è disponibile prima dell'età in cui la scrittura viene eseguita. Pagliarini et al. (2017), dimostrano che gli individui con dislessia non riescono a rispettare i vincoli ritmici della scrittura a mano presentando una scrittura più lenta rispetto ai controlli. Attraverso questo studio è quindi possibile affermare l'esistenza di un legame tra difficoltà nel linguaggio scritto e difficoltà ritmiche poiché la scrittura risulta essere governata da principi di organizzazione ritmica.

Ne deriva dunque, come evidenziato nello studio di Guasti et al., (2017) che gli individui con dislessia risultano meno efficienti nell'utilizzo delle regolarità strutturali durante lo svolgimento di compiti linguistici e di scrittura e non possono dunque sfruttare le rappresentazioni temporali per elaborare il linguaggio orale, per leggere e per scrivere.

### **2.3.4 Ritmo ed elaborazione temporale**

Tutti questi dati convergono nel dimostrare l'esistenza di un legame tra le competenze ritmiche e la grammatica (Gordon et al., 2015) e dipendenze sintattiche attive in diversi domini cognitivi (Tettamanti et al., 2009). Risulta evidente anche una relazione tra la percezione del ritmo e l'alfabetizzazione così come rilevato da molteplici studi (David et al., 2007; Flaughacco et al., 2014; Holliman et al., 2010; Whalley e Hansen, 2006; Ozernov-Palchik et al., 2018). Nello specifico, lo studio di Ozernov-Palchik e colleghi (2018) ha indagato la relazione tra elaborazione ritmica e abilità fonologiche e di alfabetizzazione. La relazione tra l'elaborazione ritmica non linguistica, le abilità fonologiche e le abilità di alfabetizzazione è stata studiata attraverso un'analisi di come avviene l'elaborazione di schemi ritmici metrici (tipici della musica) rispetto a quelli non metrici (tipici del linguaggio). I risultati sottolineano la relazione tra la percezione del ritmo, la consapevolezza fonologica e la conoscenza delle associazioni lettere-suoni e

assegnano all'associazione tra ritmo musicale e alfabetizzazione un ruolo cruciale per effettuare l'elaborazione delle regolarità temporali. Diversi ricercatori suggeriscono che tale relazione possa affondare le sue radici all'interno del processo dell'elaborazione temporale del suono (Goswami, 2011; Lehongre et al., 2011; Tallal e Gaab, 2006; Tierney e Kraus, 2013). L'acquisizione della lettura dipende dalla consapevolezza fonologica, ed entrambe, a loro volta, dipendono da processi uditivi coinvolti nell'analisi della struttura. Come il parlato, anche la musica si basa su sottili distinzioni temporali e modelli strutturati di durata in sequenze di suoni complessi che si sviluppano rapidamente nel tempo (Patel, 2008). Così, anche se linguaggio e musica presentano numerose differenze, alcuni meccanismi di elaborazione temporale possono essere condivisi (Kraus e Chandrasekaran, 2010). Tali risultati si aggiungono ai numerosi dati relativi alla letteratura relativa la sovrapposizione cognitiva e neurale tra musica e linguaggio (Bhide et al., 2013; Gordon et al., 2015; Huss et al., 2011; Moritz et al., 2013; Tierney e Kraus, 2013).

Ancora, gli individui con dislessia presentano difficoltà di previsione (Persici et al., 2019) e mostrano anche un'elaborazione alterata delle informazioni sul tempo di salita a causa di un'atipica oscillazione neurale al flusso del discorso (Goswami et al., 2016; Huss et al., 2011; Leong et al., 2011; Thomson et al., 2006). A tal proposito, i dati dello studio di Mandke et al. (2022) risultano essere in piena sintonia con il quadro TSF (Goswami, 2011) poiché suggeriscono che la dislessia sia caratterizzata da un atipico campionamento neurale di informazioni uditive con un'alterazione dei meccanismi oscillatori a bassa frequenza Theta e Delta. Lo studio di Mandake consente di evidenziare però anche le peculiarità che caratterizzano il processo di campionamento temporale degli adulti con dislessia. Studi MEG con adulti suggeriscono che il campionamento atipico nella dislessia colpisce modulazioni più veloci nella banda Gamma, relativa alla rappresentazione fonemica. Tuttavia, ciò potrebbe essere dovuto al fatto che gli adulti dislessici hanno avuto anni di esperienza ridotta nel convertire i grafemi in fonemi, e ciò potrebbe di per sé causare un'attività atipica della banda Gamma indipendentemente dal fatto che gli stimoli elaborati siano vocali o non vocali (Hämäläinen et al., 2012; Lizarazu et al., 2015; Mandke et al., 2022; Molinaro, 2016). Come dimostrato da Pasquini e colleghi (2007) e Thomson e colleghi (2006), gli adulti con dislessia mostrano una capacità più debole nel

processo di sincronizzazione e percezione del battito soprattutto ad una frequenza di 2 Hz (Soltész, 2013), una frequenza fondamentale per la percezione del discorso.

Dai dati presentati fin ora, è possibile dimostrare le molteplici connessioni tra il processamento del ritmo delle capacità linguistiche, motorie e attentive. Infatti, come affermato da Conway et al. (2009), il suono, e più in generale il ritmo, rappresenta un segnale sequenziale e temporale che può rappresentare uno *scaffolding* uditivo per consentire un adeguato sviluppo di capacità cognitive di base e avere effetti positivi a cascata sullo sviluppo di capacità più elevate.

È proprio a partire dalla conoscenza della relazione presente tra abilità ritmiche e linguistiche, supportata da un crescente numero di evidenze empiriche, che è stato condotto il progetto che verrà presentato nel prossimo capitolo. Esso è infatti volto a contribuire alla letteratura relativa al potenziale effetto del ritmo sulle abilità di lettura e scrittura, indagando l'effetto che una stimolazione ritmica può generare sui processi di lettura e scrittura in popolazioni tipiche adulte. Le ricadute pratiche dello studio in questione sono volte a contribuire alle linee di ricerca volte a costruire possibili *task* di *screening* e *training* ritmici che consentirebbero, in una modalità ecologica e semplice da attuare, di coinvolgere il/la partecipante, raggiungere promettenti benefici mantenendo potenziali risultati nel tempo.

## CAPITOLO 3

### L'EFFETTO DELLA STIMOLAZIONE RITMICA SULLE ABILITÀ DI LETTURA E SCRITTURA: LO STUDIO EMPIRICO

#### 3.1 Introduzione allo studio e domande di ricerca

Lo sviluppo dell'individuo avviene durante tutto l'arco di vita e, abbracciando un'ottica neurocostruttivista, è possibile affermare che lo sviluppo delle abilità cognitive superiori, come ad esempio il linguaggio orale e scritto, poggia e non può prescindere dallo sviluppo di adeguati meccanismi cognitivi di base come quello percettivo, mnestico, attentivo e motorio.

Come riportato nei capitoli precedenti, numerosi studi hanno ampiamente indagato e dimostrato il forte legame che intercorre tra lo sviluppo delle abilità *low-level* e quelle *high-level* ed è emerso come, alla base delle problematiche esperite da individui che presentano difficoltà nel corretto utilizzo delle competenze linguistiche, vi sia una disfunzione alla base di meccanismi cognitivi di base.

In quest'ottica, dunque, lo sviluppo linguistico non può essere considerato un processo indipendente in quanto possiede relazioni complesse con lo sviluppo di altri domini. In particolare, l'attenzione temporale, come sottolineato da Goswami (2011) e i ritmi oscillatori a livello neurale (Fiveash et al., 2021) sembrano giocare un ruolo decisivo nell'esecuzione delle abilità linguistiche più complesse, come lettura e scrittura. Ancora, numerosi dati empirici rilevano una forte somiglianza tra gli stimoli musicali, e più in generale ritmici, e il linguaggio (Patel, 2010). Ciò ha portato ad un ampio corpo di letteratura che suggerisce connessioni tra i due domini, le quali emergono sin dai primi mesi di vita e, in virtù di tale relazione, numerosi progetti hanno cercato di allenare il dominio linguistico attraverso l'impiego di stimoli ritmici, i quali consentirebbero di migliorare l'allocazione delle risorse attentive e di ridurre le difficoltà esperite dagli individui con difficoltà di linguaggio orale e scritto (es., Overy, 2003). Questo sarebbe possibile poiché, come rilevato da Conway et al., 2009, gli elementi temporali del segnale sonoro, e quindi anche il ritmo, possono fungere da *scaffolding* uditivo per consentire un

adeguato sviluppo di capacità cognitive di base e avere effetti positivi a cascata sullo sviluppo di capacità più elevate.

### *Obiettivi dello studio*

All'interno di questa cornice teorica, l'impiego di una stimolazione ritmica potrebbe rappresentare un valido strumento per esplorare ulteriormente la relazione interdipendente tra lo sviluppo delle abilità di base e quelle linguistiche di alto livello.

Il presente studio ha infatti come obiettivo generale quello di indagare l'effetto di una stimolazione ritmica sui processi di lettura e scrittura in popolazioni tipiche adulte. In particolare, si indaga la capacità di elaborazione fonologica: in lettura, mediante un compito di decisione lessicale in soppressione articolatoria (Sartori et al., 1995; Martino et al., 2011) e in scrittura, mediante un compito di scrittura in soppressione articolatoria (Cornoldi et al., 2010; Martino et al., 2011). Inoltre, tali capacità vengono messe in relazione con: i) la *performance* del partecipante ad un test di autovalutazione della dislessia (Michael Vinegrad, “*A revised Dyslexia Checklist*”, 1994; *cfr.* appendice) e ii) gli anni di esercizio musicale (intesi come esercizio musicale attivo di uno strumento musicale e/o di danza) calcolati attraverso un breve questionario *self-report* somministrato *online* sulla piattaforma *Qualtrics*, per esplorare possibili relazioni tra le abilità di letto-scrittura, l'autovalutazione della dislessia e gli anni di apprendimento musicale.

### *Ipotesi*

Sulla base della letteratura esistente, si ipotizza che una stimolazione ritmica regolare, generata attraverso l'utilizzo di un metronomo, possa aiutare il/la partecipante a svolgere i compiti di lettura e scrittura. Questo potrebbe essere possibile poiché tale stimolazione ritmica consentirebbe al sistema cerebrale di sintonizzarsi su uno stimolo regolare, favorendo così l'allocazione delle risorse attentive nel tempo durante lo svolgimento dei compiti. In accordo con le ipotesi e in un'ottica d'interazione tra il dominio ritmico e quello linguistico, è attesa una migliore prestazione in termini di velocità e accuratezza nei due compiti (*i.e.*, decisione lessicale e scrittura) se svolti durante una stimolazione ritmica regolare. Nello specifico, nel presente studio, l'elaborazione degli stimoli linguistici dovrebbe beneficiare delle regolarità ritmiche perché gli stimoli linguistici, così come quelli ritmici, sono stimoli regolari che si sviluppano nel dominio temporale;

inoltre, il ritmo linguistico a livello sillabico ha una frequenza di c.ca 2 Hz, così come la stimolazione ritmica proposta; ciò potrebbe favorire una migliore prestazione in presenza della stimolazione ritmica attenuando l'effetto interferente della soppressione articolatoria sui processi fonologici.

## **3.2 Metodo**

### **3.2.1 Soggetti**

Hanno partecipato allo studio 60 studenti e studentesse reclutati/e presso l'Università degli Studi di Padova. Tutti/e i partecipanti sono stati coinvolti/e a seguito di previa lettura e firma del consenso informato. Nel dettaglio, il campione è formato da 37 femmine e 23 maschi, di età media 21,95 anni (deviazione standard: 2,794).

### **3.2.2 Strumenti e stimoli**

#### *Test di autovalutazione della dislessia*

Il test di autovalutazione della dislessia (Michael Vinegrad, “*A revised Dyslexia Checklist*”, 1994; *cfr.* appendice) rappresenta un test di autovalutazione per soggetti adulti attraverso il quale i partecipanti sono chiamati a fornire una risposta (si/no) a delle domande volte a valutare l'autopercezione riguardo i loro processi di letto-scrittura. (es., *Detesti leggere libri lunghi?*”). Il test è stato svolto *on-line* sulla piattaforma *Qualtrics* e veniva inviato tramite *link* ai partecipanti al momento del reclutamento. Una volta aperto il *link*, veniva presentato il consenso informato e la *checklist* per la dislessia. Al termine della procedura, veniva chiesto di indicare se/quant'anni di esercizio musicale (intesi come apprendimento di uno strumento musicale e/o di danza) fossero stati svolti.

#### *Compito di decisione lessicale in soppressione articolatoria*

Il compito di decisione lessicale in soppressione articolatoria (Sartori et al., 1995; Martino et al., 2011), è stato eseguito dai partecipanti presso un laboratorio del DPSS, tramite l'utilizzo di un *personal computer*. In questo compito, al partecipante è stato chiesto di determinare, premendo due diversi tasti di una tastiera (z/m), se gli stimoli visivi presentati uno alla volta sullo schermo del *monitor* corrispondevano a una parola (n.=8 per condizione; m) o a una non-parola (n.=8 per condizione; z) (*cfr.* appendice). Per l'esecuzione di questo compito, sono state previste tre condizioni sperimentali (vedi

figura 2), due classiche e una appositamente creata. La condizione *Baseline* prevede l'esecuzione del compito come appena descritto (Sartori et al., 1995). La condizione Soppressione articolatoria invece prevede che il/la partecipante pronunci la sillaba “La” continuamente durante l'esecuzione del compito (Martino et al., 2011). La condizione inedita da noi introdotta prevede che un metronomo posto a 120 bpm/ 2 Hz accompagni la produzione della sillaba “La” durante l'esecuzione del compito. Sono state create tre liste di parole, adattate a partire dallo strumento proposto da Sartori, Job e Tressoldi, 1995 (Sartori et al., 1995; Martino et al., 2011), bilanciate per numeri di *item*, parole *vs* non-parole e sillabe. L'ordine di somministrazione è stato controbalanciato per: i) ordine di somministrazione delle condizioni (*Baseline* – Soppressione – Ritmo) e ii) liste all'interno di ogni condizione. Inoltre, per bilanciare la presenza di un segnale uditivo (*i.e.*, il metronomo) nella condizione Ritmo, è stato presentato un rumore bianco diffuso in tutte le condizioni.

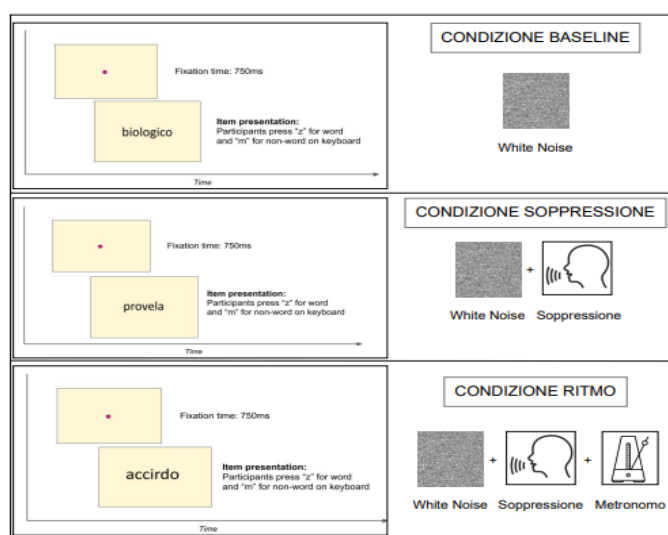


Figura 2. Compito di decisione lessicale in soppressione articolatoria.

L'esperimento è stato costruito e presentato attraverso il *software Open Sesame 3.1* (Mathôt et al., 2012). Attraverso questo *software*, è stato possibile registrare il livello di accuratezza, tenendo conto del numero di risposte corrette sul totale, e i tempi di reazione, stimando la velocità impiegata dal partecipante nel rispondere ad ogni *trial*.

Come detto in precedenza, questo compito prevede la presenza di tre diverse condizioni sperimentali ovvero *Baseline*, Soppressione e Ritmo, che consentono di misurare gradualmente l'impatto dell'interferenza fonetica. In primo luogo, attraverso tutte e tre le condizioni ci si aspetta di replicare un effetto, classico in Psicolinguistica, di facilitazione



delle parole rispetto alle non-parole, registrato in termini di: minor numero di errori e minor tempi di reazione. Inoltre, ci si aspetta un effetto interferente, operato dall'esercizio della sillaba "La" nella condizione Soppressione, sui meccanismi fonologici, registrato in termini di: maggior numero di errori, maggiori tempi di reazione. Per ultimo, ci si aspetta invece che l'informazione ritmica, durante la condizione Ritmo, riduca lo sforzo cognitivo operato nella soppressione e che il soggetto dimostri maggiore accuratezza e tempi di reazione più rispetto alla condizione Soppressione.

*Compito di scrittura: dettato semplice e in soppressione articolatoria*

Il compito di scrittura è stato adattato dalla prova di Cornoldi e Tressoldi, 2000 (Cornoldi et al., 2010; Martino et al., 2011). In particolare, sono state create tre liste di parole composte da 16 parole ciascuna (*cf.* appendice), bilanciando il più possibile lunghezza, numero di sillabe e fonema di inizio, per le tre condizioni (*Baseline*, Soppressione e Ritmo) così come nel compito precedente. Anche in questo caso, è stato controbalanciato l'ordine di somministrazione delle condizioni e delle liste assegnate ad ogni singola condizione. Le parole all'interno di ciascuna lista erano pronunciate da una sperimentatrice istruita e trascritte dai partecipanti su un'*iPad Air* per mezzo di una *Apple pencil*. I dati sono stati registrati per mezzo di un'applicazione apposita sviluppata dall'ing. Luca Cossu. La presenza di una stimolazione uditiva attraverso tutte le condizioni è stata anche qui garantita dalla presenza di un rumore bianco diffuso durante tutto l'esperimento. Anche in questo compito, come nel compito di lettura, ci si aspetta che: i) la condizione Soppressione eserciti un effetto interferente sul processo di scrittura (*i.e.*, un peggior risultato grafico in termini di leggibilità rispetto alla condizione *Baseline*) e che ii) la stimolazione ritmica faciliti il compito di scrittura contenendo l'effetto interferente della soppressione articolatoria (*i.e.*, un miglior risultato grafico in termini di leggibilità rispetto alla condizione Ritmo).

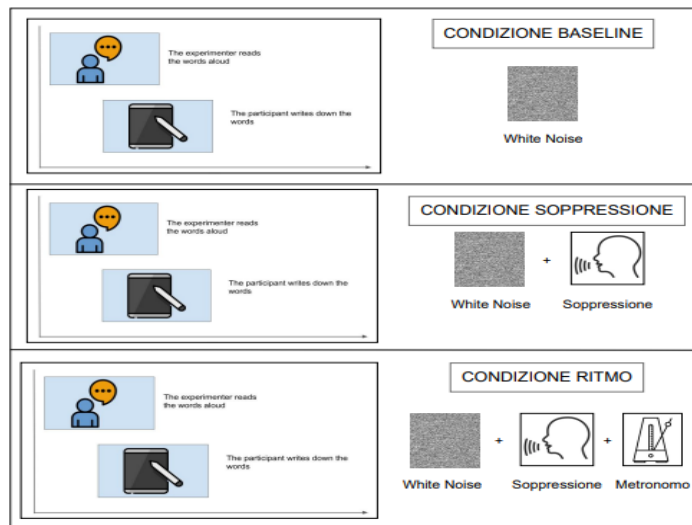


Figura 3. Compito di scrittura.

### Questionario di autovalutazione della difficoltà percepita nei compiti

Dopo aver terminato entrambe le prove, è stato chiesto a ciascun partecipante di indicare, per ogni compito, quale delle tre condizioni risultava essere la più semplice e a seguire quella intermedia e quella più difficile, tramite un breve questionario somministrato dallo sperimentatore. Tali informazioni sono state registrate per valutare, insieme a quelle di performance, l'effetto della stimolazione ritmica sui compiti di lettura e scrittura in soppressione articolatoria. In particolare, si vuole indagare se la stimolazione ritmica è stata percepita o no come un ausilio e quanto la percezione soggettiva correli poi con le performance effettive.

### 3.2.3 Apparato

Gli stimoli visivi (parole e non-parole) sono stati presentati per mezzo di un monitor Philips (300 × 300) e gestiti tramite un personal computer (Acer travel mate) e il software Open Sesame 3.1 (Mathôt et al., 2012). I partecipanti fornivano le risposte al compito di decisione lessicale tramite una seconda tastiera, collegata al pc dello sperimentatore. Gli stimoli audio (rumore bianco e metronomo) erano presentati attraverso due speaker posti a sinistra e destra dello schermo, a volume costante. Nel test di scrittura, gli stimoli sono stati prodotti dai partecipanti per mezzo di un iPad Air di quarta generazione e di una Apple Pencil di seconda generazione. L'iPad Air ha un multi-touch retroilluminato con LED da 10,9" (diagonale) e una risoluzione di 2360x1640 pixel a 264 ppi (pixel per pollice). L'Apple Pencil è sensibile all'inclinazione alla pressione, consente di tenere traccia della velocità del tratto e di scrittura di ogni singola parola e

mentre la si usa è possibile appoggiare la mano sullo schermo del tablet come se fosse un vero foglio di carta.

### 3.2.4 Procedura

Tutte le prove sopra riportate sono state svolte da tutti i partecipanti del campione in successione e in modo individuale. Al momento del reclutamento, veniva inviato ad ogni partecipante un *link* per la compilazione del Questionario di autovalutazione della dislessia *online*, sulla piattaforma *Qualtrics*. Una volta raggiunto il laboratorio per la prova sperimentale, ciascun partecipante è stato invitato a sedersi e a sistemare parte della strumentazione necessaria allo svolgimento delle prove (*i.e.*, la sedia, la tastiera) a proprio gradimento in modo da creare un'esecuzione dei compiti ecologica. Dopo il chiarimento di eventuali dubbi da parte dello sperimentatore e la lettura e firma del consenso informato, poteva prendere avvio la procedura sperimentale. Ogni partecipante ha svolto per primo il compito di Decisione Lessicale e poi quello di Scrittura. Prima di ogni compito le istruzioni per la sua esecuzione apparivano sul *monitor* e il partecipante aveva il compito di leggerle ad alta voce. Al termine della procedura, era chiesto ad ogni partecipante di ordinare, in ordine di difficoltà crescente, le condizioni di esecuzione di ciascuno dei due compiti. Dopo aver svolto una breve prova per ogni compito e aver chiarito ogni dubbio era possibile passare all'esecuzione del compito vero e proprio. Una volta terminata la fase sperimentale, ad ogni partecipante sono stati comunicati gli obiettivi, le ipotesi e le applicabilità dello studio, non riferiti in precedenza in modo da preservare l'inconsapevolezza del partecipante stesso.

### 3.3 Analisi dei dati

Per quanto riguarda le *performances* nei compiti di Decisione Lessicale (accuratezza, velocità e carico cognitivo) e Scrittura (leggibilità del prodotto grafico), è stato adottato un modello di *Regressione Lineare* e di *Regressione Logistica* utile a stimare l'impatto delle manipolazioni sperimentali sulle variabili di interesse (tempi di reazione e accuratezza). La scelta di questi tipi di modello, piuttosto che della classica analisi ANOVA, è dovuta a diverse ragioni:

- consente di analizzare gli effetti di interesse (effetti fissi) pesati sulle differenze individuali (effetti *random*);

- permette il confronto tra diversi LMEMs (Modelli Lineari a Effetti Misti), durante la selezione degli stessi;
- consente di scegliere la “famiglia” che più rispetta la natura del dato, al contrario di quanto è possibile fare con l’ANOVA che invece si basa sull’assunto secondo cui i dati siano distribuiti secondo una normale;
- permette di effettuare un’analisi basata su un singolo *trial* organizzato per soggetti, al contrario dell’ANOVA che, basandosi sulla media delle medie, non tiene conto della variabilità;
- un singolo LMEM può sostituire due ANOVA separate;
- la violazione del presupposto di indipendenza, dato dalla presenza di dati non indipendenti, porta a statistiche inferenziali errate se si utilizza l’ANOVA.

In aggiunta, col fine di indagare la possibile relazione tra le variabili numeriche registrate (anni di esercizio musicale, punteggio *checklist* dislessia, facilità percepita nei due compiti) si è deciso di operare una *Network analysis* ampliando l’analisi delle *performances* nel test di scrittura, in modo da investigare l’interazione simultanea di tutte le variabili prese in esame. La *ratio* che spinge ad utilizzare questo tipo di strumento è legata al fatto che esso consente di indagare la complessità delle interrelazioni tra diversi attori, costrutti o domini, fornendo significato e rilevanza alla relazione che intercorre tra i vari fattori analizzati, senza considerarli come entità separate ed isolate. Quindi, la *Network analysis* permette la descrizione di quelle che sono le principali caratteristiche della rete formata da diverse entità e dalle loro connessioni.

### **3.4 Risultati**

#### **3.4.1 Risultati Compito di Decisione Lessicale**

##### *Tempi di reazione*

Per valutare l’impatto delle manipolazioni sperimentali sui tempi di reazione, è stato utilizzato un metodo di *Regressione Lineare*.

##### *-Descrittive*

Dall’analisi descrittiva, è possibile visualizzare graficamente come i dati raccolti in merito ai tempi di reazione siano distribuiti (vedi figura 4).

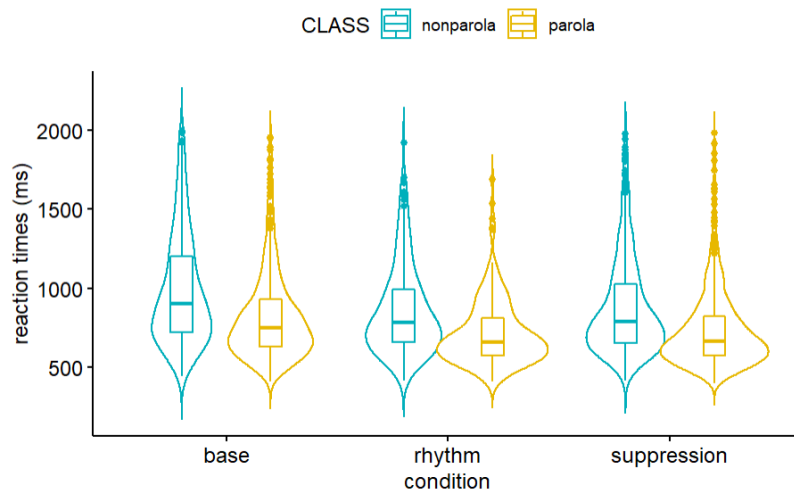


Figura 4. Analisi descrittiva dei tempi di reazione e la loro distribuzione grafica.

### -Model selection

Successivamente, è possibile procedere con l'inferenza statistica attraverso la scrittura e la selezione dei modelli.

Come è possibile notare dalla tabella 1, il valore AIC più piccolo, indice di plausibilità e parsimonia del modello, appartiene al modello 2 ovvero quello additivo, in cui i fattori *class* (parola/ non parola) e *block* (condizione) insieme risultano essere i fattori rilevanti al fine di predire i tempi di reazione.

```
Data: data
Models:
m0: response_time ~ (1 | subject_nr)
m1: response_time ~ CLASS + (1 | subject_nr)
m2: response_time ~ CLASS + BLOCK + (1 | subject_nr)
m3: response_time ~ CLASS * BLOCK + (1 | subject_nr)
  npar  AIC  BIC logLik deviance  Chisq Df Pr(>Chisq)
m0     3 39867 39885 -19931   39861
m1     4 39549 39573 -19771   39541 320.1670  1    <2e-16 ***
m2     6 39407 39442 -19697   39395 146.6344  2    <2e-16 ***
m3     8 39410 39458 -19697   39394  0.1367  2    0.9339
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabella 1. Confronto tra i diversi LMEMs.

### -Effect plot best model

Analizzando il modello migliore (m2), che risulta dunque essere il modello additivo, è necessario stimare gli effetti dei fattori *class* e *block*.

Per quanto riguarda il fattore *class*, come evidenziato in figura 5, emerge un effetto facilitante della parola *vs* non parola (coef= -0.18, SE= 0.009, t= -18.99, p<0.0001).

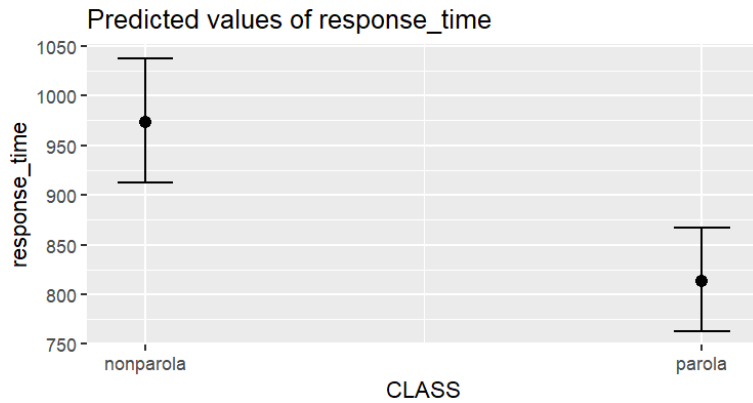


Figura 5. Effetto del fattore "class" sui tempi di reazione.

Dalla figura 6, è invece possibile notare l'effetto facilitante delle condizioni *rhythm* (coeff = -0.13, SE = 0.015, t = -8.54, p<0.0001) e *suppression* (coeff = -0.12, SE = 0.01, t = -11.09, p<0.0001) rispetto alla condizione *base*.

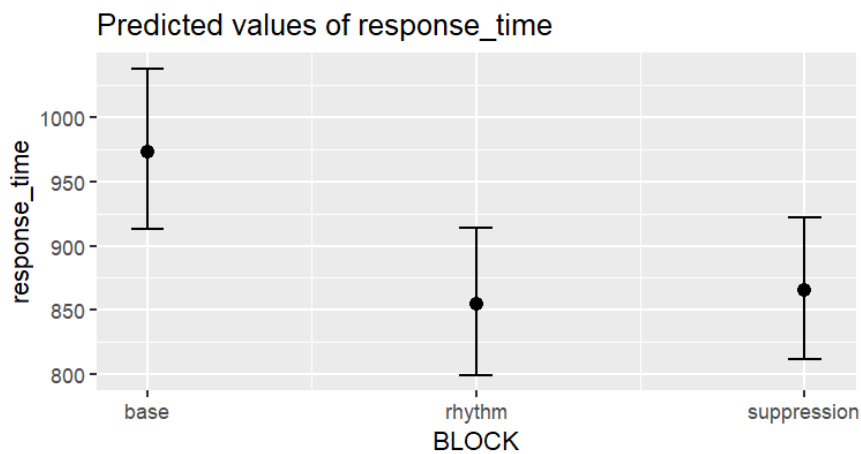


Figura 6. Effetto del fattore "block" sui tempi di reazione.

### *Accuratezza*

Per stimare l'impatto delle manipolazioni sperimentali sul livello di accuratezza è stata effettuata una *Regressione Logistica*.

#### *-Descrittive*

Dall'analisi descrittiva è possibile esplorare graficamente come i dati raccolti in merito al livello di accuratezza siano distribuiti (vedi figura 7).

Già dall'esplorazione visiva dei dati, è possibile notare un *effetto soffitto*: la gran parte dei punteggi cioè è vicina al 100%.

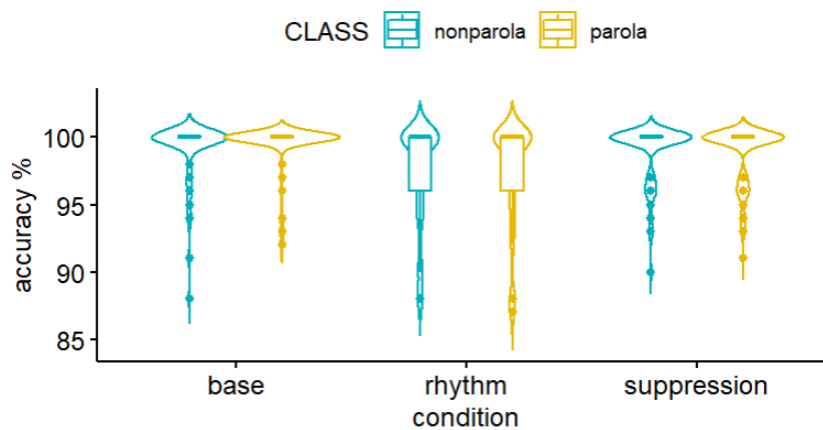


Figura 7. Analisi descrittiva dei dati sull'accuratezza e la loro distribuzione grafica.

### -Model selection

Successivamente, è possibile procedere con l'inferenza statistica attraverso la selezione dei modelli.

Come è possibile notare dalla tabella 2, l'indice AIC più piccolo appartiene al modello 3 ovvero quello che prevede un'interazione tra i fattori. Sembra infatti che sia proprio l'interazione tra i fattori *class* e *block* a predire il livello di accuratezza.

```

m0: log(accur) ~ (1 | subject_nr)
m1: log(accur) ~ CLASS + (1 | subject_nr)
m2: accur ~ CLASS + BLOCK + (1 | subject_nr)
m3: accur ~ CLASS * BLOCK + (1 | subject_nr)

```

	npar	AIC	BIC	logLik	deviance	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
m0	3	-16093.7	-16075.8	8049.9	-16099.7			
m1	4	-16097.2	-16073.4	8052.6	-16105.2	5.5147	1	0.01886 *
m2	6	9945.0	9980.8	-4966.5	9933.0	0.0000	2	1.00000
m3	8	9918.5	9966.2	-4951.3	9902.5	30.5344	2	2.342e-07 ***

Tabella 2. Confronto tra i diversi LMEMs.

### -Effect plot best model

Analizzando il modello migliore (m3), che risulta dunque essere il modello che prevede un'interazione tra i fattori, è necessario quindi stimare gli effetti di tale interazione.

Come emerge dalla figura 10, gli effetti stimati dal modello migliore (m3) indicano minore accuratezza nella condizione *rhythm* (coeff = -0.009, SE = 0.00, t = -7.86) e *suppression* (coeff = -0.003, SE = 0.001, t = -3.77) rispetto alla condizione *base*. L'interazione significativa indica che tale vantaggio della condizione *base* è significativamente maggiore nella condizione *parola* vs *non parola* (coeff = -0.006, SE = 0.001, t = -5.24, p < 0.001).

Non emerge nessun effetto confrontando unicamente la condizione parola vs non-parola (coeff=0.005, SE = 0.001, t = 5.87, p< 0.001).

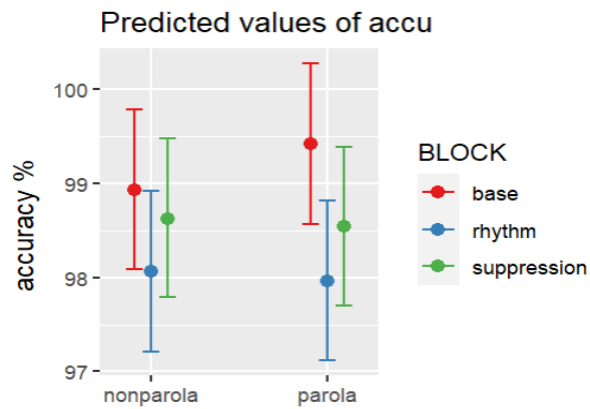


Figura 8. Effetto dell'interazione dei fattori sul livello di accuratezza.

### 3.4.2 Risultati Compito di Scrittura

#### Accuratezza

L'analisi dei dati relativi al livello di accuratezza in merito al compito di scrittura è stata effettuata attraverso una *Regressione lineare*.

#### -Descrittive

Dall'analisi descrittiva, è possibile esplorare graficamente come i dati raccolti in merito al livello di accuratezza siano distribuiti (vedi figura 9).

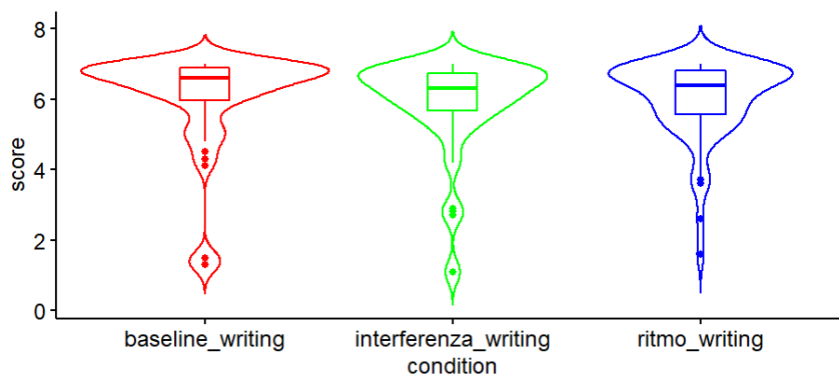


Figura 9. Analisi descrittiva e distribuzione grafica dei dati relativi al livello di accuratezza durante il compito di scrittura.



### -Model selection

Successivamente, è possibile procedere con l'inferenza statistica attraverso la selezione dei modelli. Come è possibile notare dalla tabella 3, l'indice AIC più piccolo appartiene al modello 2 ovvero quello additivo tra i fattori *order* e *block*.

```
Models:
m0: score ~ (1 | id)
m1: score ~ BLOCK + (1 | id)
m2: score ~ order + BLOCK + (1 | id)
m3: score ~ order * BLOCK + (1 | id)
  npar   AIC   BIC  logLik deviance  Chisq Df Pr(>Chisq)
m0     3 538.61 548.19 -266.31   532.61
m1     5 539.41 555.37 -264.70   529.41 3.2039  2    0.20151
m2     8 538.49 564.03 -261.24   522.49 6.9194  3    0.07451 .
m3    14 548.08 592.79 -260.04   520.08 2.4040  6    0.87906
```

Tabella 3. Confronto tra i diversi LMEMs.

### -Effect plot best model

Analizzando il modello migliore (m2), che risulta dunque essere il modello additivo tra i fattori, è necessario quindi stimare gli effetti dei fattori *order* e *block*. In particolare, l'effetto del fattore ordine non risulta essere significativo, mentre è possibile notare un effetto del fattore condizione durante l'esecuzione del compito di scrittura. Infatti, come è possibile notare dalla figura 10, risulta evidente una caduta delle *performances* dei soggetti nella condizione Soppressione mentre gli *scores* della condizione Ritmo mostrano un incremento significativo rispetto alla condizione Soppressione.

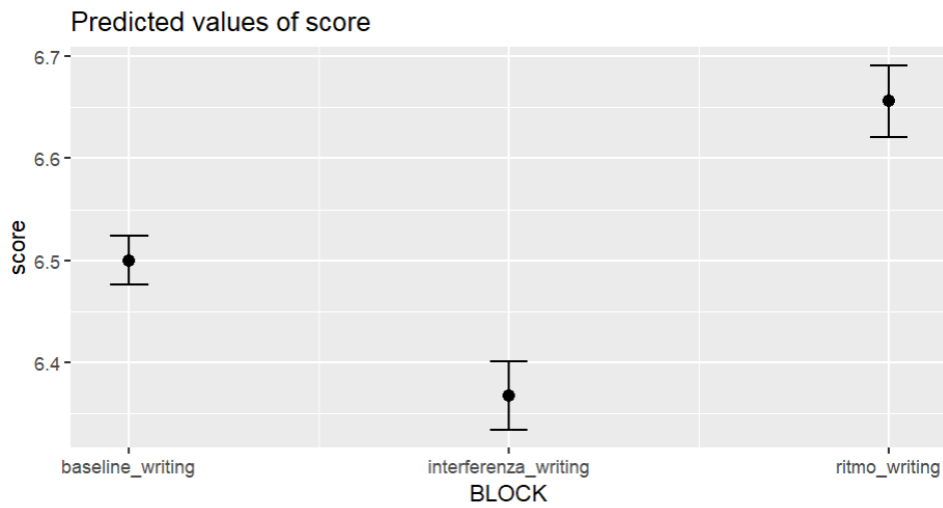


Figura 10. Effetto del fattore "block" sui livelli di accuratezza.

### 3.4.3 Network analysis

Terminata l'analisi di Regressione, si è deciso di procedere con una *Network analysis* al fine di stimare le relazioni tra i risultati del compito di scrittura e le variabili raccolte attraverso i questionari. Infatti, attraverso questo tipo di analisi, è possibile valutare il “peso” di ogni relazione all'interno della rete formata dai diversi fattori presi in considerazione.

Nel dettaglio, il *software* che è stato utilizzato è *R Core Team* (2021) mentre per le *Network analysis* è stato utilizzato il pacchetto “*bootnet*” (Epskamp, Fried, 2020). In particolare, l'opzione *threshold = TRUE* in *EBICglasso* e *qgraph* (... , *graph = "glass"*) permette di gestire studi con piccoli campioni riducendo la possibilità di stimare falsi positivi. La rete presentata di seguito, quindi restituisce unicamente le relazioni statisticamente significative che soddisfano gli assunti statistici di riferimento es., autocorrelazione, *multiple comparison* (Jankova e Van de Geer, 2018).

La rete stimata suggerisce due distinte reti di relazioni tra le cinque variabili prese in esame: facilità percepita durante la (1) decisione lessicale (*easy\_LD*) e (2) il compito di scrittura (*easy\_W*) nelle tre condizioni, (3) gli anni di istruzione musicale (*year\_music*), (4) punteggi scala dislessia (*dislexya*), (5) punteggi prodotto scrittura (*score*).

Come risulta evidente dalla figura 11, all'aumentare del punteggio nella qualità del prodotto della scrittura diminuiscono i punteggi in dislessia e aumentano gli anni di esperienza musicale. L'auto-percezione di facilità del compito nelle tre condizioni non mostra nessuna relazione con le altre variabili. Ciononostante, emerge una sostanziale relazione negativa tra la percezione di facilità tra le condizioni nel compito di decisione lessicale e di scrittura.

### Thresholded EBICglasso

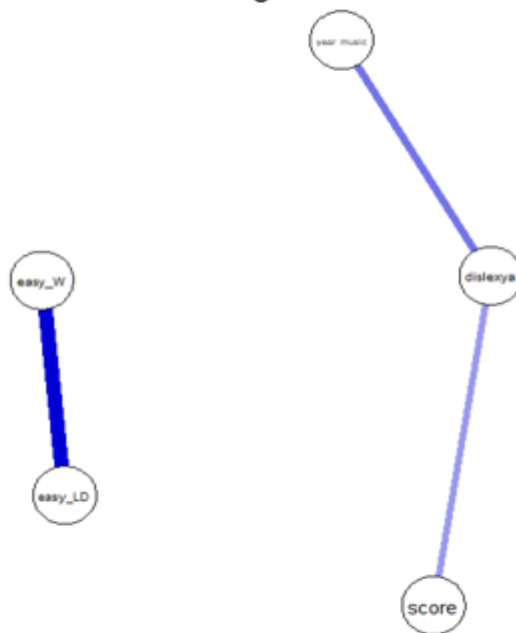


Figura 11. Network analysis dei collegamenti tra i principali fattori di riferimento. Le linee blu indicano la presenza di una correlazione inversamente proporzionale. Lo spessore delle linee rappresenta la "forza" della correlazione: maggiore è lo spessore, più forte è la correlazione.

Nella *Network analysis* è necessario svolgere anche l'*Analisi della centralità dei nodi* (vedi figura 12) al fine di "pesare" quale nodo costituisce l'elemento centrale su cui si poggiano le altre relazioni stimate nella rete. In questo caso è stato poi anche confrontato il modello stimato con la soglia *EBICglasso* (linea rossa) con un modello meno conservativo (linea blu) per apprezzare eventuali differenze. Come mostrato nella figura di seguito, a parte una riduzione dell'impatto stimato tra i due modelli, sia il nodo *easy\_W* e *easy\_LD*, che quello dei punteggi in dislessia costituiscono i nodi che "pesano" di più nel determinare le relazioni tra le variabili in esame.

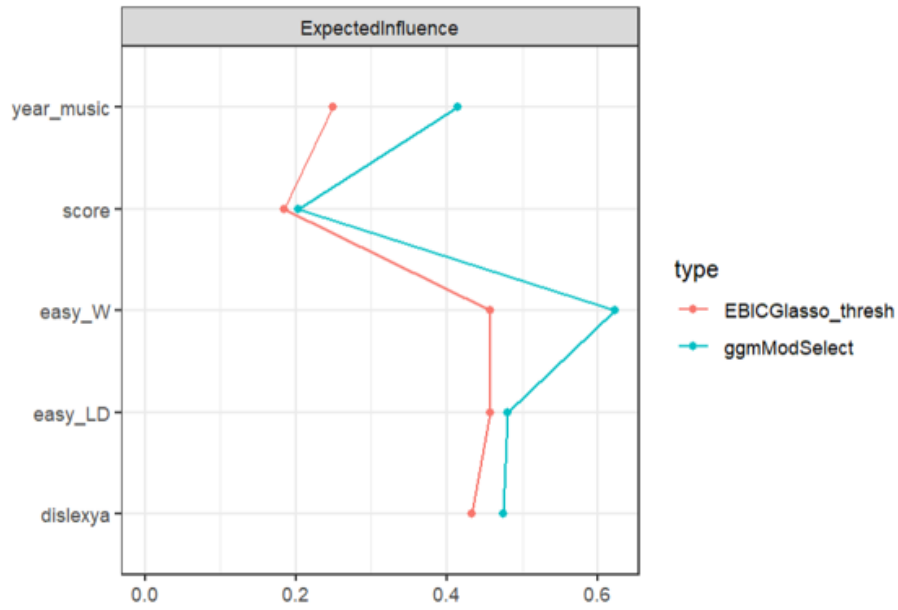


Figura 12. Rappresentazione grafica della Centrality analysis.

L'ultimo "sanity check" per dimostrare l'attendibilità dell'*output* della *Network analysis* è rappresentato dalla stima della robustezza dei dati svolta campionando porzioni (*subset*) dei dati e confrontando le stime per ciascun *subset* con quelle stimate dal *network*. Come è possibile evincere dalla figura 13, emerge una decisa robustezza della *network* su tutti i dati ( $r > .7$ ).

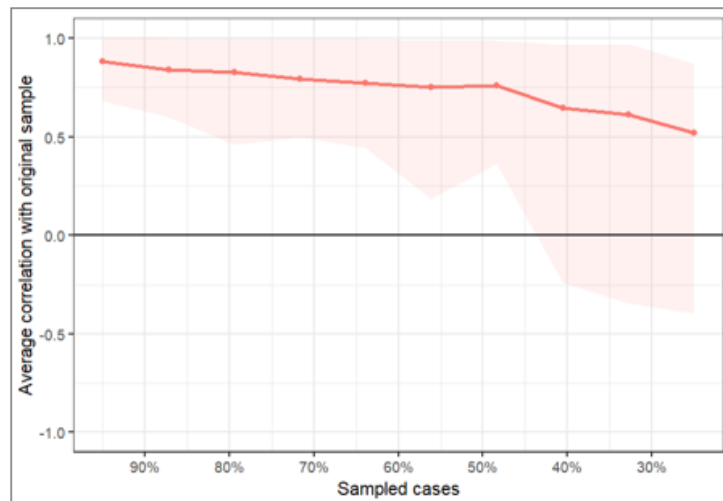


Figura 13. Rappresentazione grafica della stima della robustezza dei dati.

## CAPITOLO 4

### DISCUSSIONE

Come riportato nei capitoli precedenti, lo sviluppo del linguaggio orale e scritto possiede un forte legame con lo sviluppo di meccanismi cognitivi di base. L'emergere di adeguate competenze linguistiche presuppone un adeguato funzionamento di abilità *low level*, di conseguenza una disfunzione alla base dei meccanismi cognitivi di base può comportare un'alterazione del corretto sviluppo e utilizzo delle competenze linguistiche. Inoltre, numerose ricerche empiriche (es., Iverson et al., 2007) dimostrano sia l'esistenza di una connessione, presente sin dai primi mesi di vita, tra il dominio linguistico e il dominio motorio ed anche una forte similarità tra gli stimoli ritmici e il linguaggio (*i.e.*, Patel, 2010). In forza della relazione tra i due domini e della somiglianza tra stimoli ritmici e linguistici, diversi studi hanno proposto l'utilizzo di una stimolazione ritmica per esercitare le abilità linguistiche di adulti e bambini (es. Schön e Tillmann, 2015; Bégel et al., 2017). Nello specifico, gli elementi temporali del segnale ritmico possono rappresentare una sorta di "impalcatura" per le capacità cognitive di base, con effetti a cascata su abilità più complesse. In particolare, si è visto come l'attenzione temporale (Goswami, 2011) e i ritmi oscillatori a livello neurale (Fiveash et al., 2021) giochino un ruolo cruciale nello sviluppo del linguaggio orale e scritto.

Alla luce di quanto detto, l'impiego di una stimolazione ritmica potrebbe avere un effetto sul dominio linguistico poiché essa aiuterebbe il sistema cerebrale a sintonizzarsi sulla regolarità dello stimolo favorendo l'allocatione delle risorse attentive nel tempo. Questo effetto porterebbe ad una riduzione delle difficoltà esperite dagli individui a livello linguistico (es., Overy, 2003).

È proprio all'interno di questo quadro teorico di riferimento che si inserisce lo studio da noi proposto volto ad indagare, all'interno di una popolazione tipica, l'effetto che una stimolazione ritmica produce sui processi di lettura e scrittura.

In virtù della letteratura già esistente in merito a tale tema, le nostre ipotesi si basano sull'idea secondo cui l'impiego di una stimolazione ritmica regolare possa rappresentare una sorta di "facilitatore" e aiutare il/la partecipante a svolgere i compiti proposti.

Per indagare tale ipotesi, ai partecipanti allo studio (N=60) sono stati fatti svolgere due compiti, un test di Decisione Lessicale e un test di Scrittura, entrambi in tre condizioni:

una condizione chiamata Soppressione, in cui i partecipanti dovevano svolgere i compiti producendo vocalmente e in modo continuo la sillaba “La”; una condizione Ritmo, in cui i partecipanti dovevano svolgere i compiti producendo vocalmente e in modo continuo la sillaba “La” assistiti da una stimolazione ritmica regolare fornita da un metronomo (2Hz/120bpm); una condizione *Baseline*, in cui i partecipanti semplicemente eseguivano i due compiti, senza ulteriori istruzioni. In particolare, il test di Decisione Lessicale è stato somministrato in versione computerizzata per cui: i partecipanti dovevano indicare, attraverso una tastiera, se l’*item* presentato sul *monitor* fosse una parola (premendo il tasto “m”) o una non-parola (premendo il tasto “z”). Nel test di scrittura invece, i partecipanti dovevano trascrivere le parole pronunciate dallo sperimentatore. Inoltre, dati *self-report* relativi all’autopercezione delle difficoltà in lettura, alla facilità esperita nei due test e anni di esercizio musicale (*i.e.*, apprendimento di uno strumento e/o di danza) sono stati raccolti attraverso un questionario *online* e due brevi domande da parte dello sperimentatore a fine prova, col fine di indagare la relazione tra le *performances*, il *report* qualitativo dei partecipanti e il *background* musicale e linguistico.

In base alla letteratura, si attendeva: in primo luogo un effetto facilitante delle parole (*i.e.* minori tempi di reazione e maggiore accuratezza), rispetto alle non-parole, nel test di Decisione Lessicale; inoltre, si attendeva una migliore prestazione, ovvero minori tempi di reazione e maggiore accuratezza, nel test di Decisione Lessicale e un miglior prodotto grafico in termini di leggibilità nel test di Scrittura in entrambi i test nella condizione ritmo; per ultimo, si attendeva che i risultati nelle *performances* correlassero con i dati dei questionari *self-report*.

Osservando i risultati ottenuti dall’analisi di regressione lineare e *model comparison* dei dati in merito al compito di Decisione Lessicale, è possibile evidenziare come i tempi di reazione siano determinati dall’effetto additivo dei fattori *class* (parola/non parola) e *block* (condizione). In particolare, emergono tempi di reazione inferiori durante la lettura di una parola rispetto ad una non parola, dato che replica la letteratura già esistente (Fort et al., 2010; Marchetti et al., 1986). Contrariamente alle ipotesi, sia la condizione Ritmo che la condizione Soppressione producono un effetto facilitante sui tempi di reazione, che risultano essere inferiori in queste condizioni rispetto alla *Baseline*. Un *pattern* di dati simili si rileva per quanto riguarda la seconda variabile di interesse, ovvero l’accuratezza. L’analisi di regressione logistica e la *model comparison* riporta che a predire il livello di

accuratezza durante l'esecuzione del compito di Decisione Lessicale sembra essere l'interazione tra i fattori *class* e *block*. In particolare, è possibile notare come durante la lettura delle non parole non emergano differenze significative nei livelli di accuratezza tra le tre diverse condizioni sperimentali, differenza che invece risulta leggermente maggiore (sebbene si tratti comunque di un 3%) durante la lettura delle parole. Infatti, sebbene la condizione *Baseline* mostri livelli di accuratezza maggiori rispetto alle condizioni Soppressione e Ritmo, è tuttavia possibile notare un *effetto soffitto*, in quanto la maggior parte dei punteggi di accuratezza è vicina al 100% in tutte e tre le condizioni sperimentali. Questo dato può essere spiegato facendo riferimento al fatto che i soggetti testati attraverso il nostro studio rappresentino una popolazione a sviluppo tipico (TD) e per questo motivo non mostrino particolari difficoltà nello svolgimento del compito di decisione lessicale in soppressione articolatoria. Nello specifico, come sottolineato da Martino et al., 2011, l'effetto della soppressione articolatoria non comprometterebbe il processo di lettura in soggetti TD in cui la lettura è stata ben automatizzata e le capacità di processamento fonologico risultano essere preservate. Inoltre, è bene notare come in situazioni di doppio compito, quando il compito secondario di tipo fonologico risulta associato a un compito in cui vi è una presentazione visiva degli stimoli, la soppressione produce meno interferenze rispetto a quando il compito è associato a un compito con presentazione orale (Colombo et al., 2009; Martino et al., 2011).

In linea con quanto rilevato dai colleghi Martino et al. (2011), dall'analisi dei dati relativi al compito di scrittura nel nostro studio, è possibile notare una caduta delle *performances* dei soggetti nella condizione Soppressione. Un dato importante a nostro parere è invece quello relativo agli *scores* della condizione Ritmo, i quali mostrano un incremento significativo rispetto alla condizione Soppressione. Ciò dimostra una migliore prestazione in presenza della stimolazione ritmica, a riprova del fatto che essa è utile e capace di attenuare l'effetto interferente della soppressione articolatoria. Il compito di scrittura, di difficoltà leggermente maggiore per i motivi sopra riportati (Colombo et al., 2009; Martino et al., 2011) si presta dunque ad essere una migliore lente attraverso cui analizzare l'effetto di una stimolazione ritmica su un processo linguistico complesso in popolazioni adulte a sviluppo tipico. Tale dato ci ha portato ad approfondire la relazione tra le *performances* dei soggetti in questo compito e i dati riportati attraverso i questionari *self-report* per mezzo di una *network analysis*. Questo tipo di analisi permette di rilevare

le correlazioni tra le variabili di interesse tenendo conto del “peso” di ogni relazione all’interno della rete formata dai diversi fattori presi in considerazione che, in tal modo, non vengono considerati come entità separate ed isolate. Dalla *network analysis* emerge che all’aumentare del punteggio nella qualità del prodotto della scrittura (quantificato in termini di maggiore leggibilità) diminuiscono i punteggi al test di autovalutazione della dislessia e aumentano gli anni di esercizio musicale. È possibile interpretare tale dato considerando le già citate interconnessioni tra il dominio musicale e quello linguistico attraverso lo sviluppo.

Tramite la *network analysis*, emerge poi una forte relazione negativa tra la percezione di facilità attraverso le condizioni nei due compiti (es., i partecipanti che riferiscono di percepire una maggiore facilità durante l’esecuzione del compito di lettura nella condizione *Baseline*, riferiscono poi una maggiore facilità durante l’esecuzione del compito di scrittura nella condizione Ritmo). Questo potrebbe essere dovuto al fatto che l’esecuzione dei due compiti coinvolge processi e meccanismi diversi e che quindi la medesima manipolazione sperimentale possa dar vita ad un effetto interferenza in alcune condizioni e facilitazione in altre. Successivamente, dall’analisi della centralità dei nodi, effettuata per “pesare” quale nodo costituisca l’elemento centrale su cui si poggiano le altre relazioni stimate nella rete, emerge che sia la facilità percepita, che i punteggi all’autotest di dislessia costituiscono i nodi che “pesano” di più nel determinare le relazioni tra le variabili in esame. Ancora è possibile notare come la facilità percepita nei due compiti rappresenta il nodo che ha più peso nel disegnare la rete di relazioni, tuttavia, come emerge dalla *network analysis*, essa non correla con le altre variabili.

Infine, attraverso la stima della robustezza dei dati svolta campionando porzioni (*subset*) dei dati e confrontando le stime per ciascun *subset* con quelle stimate dal *network* emerge una decisa robustezza della rete. Questo porta a concludere che la numerosità del campione è adeguata per poter ragionevolmente considerare i dati ottenuti attraverso lo studio come utili per poter spiegare il fenomeno di interesse.

In ricerche future, sarebbe interessante approfondire ulteriormente i fattori che mediano la relazione tra queste variabili e l’effetto del ritmo sui processi linguistici. Inoltre, sarebbe interessante estendere entrambi i test proposti (*i.e.*, Decisione Lessicale e Scrittura in soppressione articolatoria con stimolazione ritmica) a popolazioni in via di sviluppo (es., in età scolare) e a sviluppo atipico o a rischio. Infatti, come sottolineato



dall'*Atypical Rhythm Risk Hypothesis* (ARRH) avanzata da Ladány e colleghi (2020), un'elaborazione atipica del ritmo può rappresentare un fattore di rischio per diversi disturbi del neurosviluppo (dislessia, DL, balbuzie, DCD, ADHD), con evidenti effetti positivi dati da *training* ritmici oltre che dai metodi di riabilitazione tradizionale.

Ad esempio, individui con balbuzie sembrano beneficiare di *training* ritmici basati sul canto, i quali sembrano migliorare la fluidità del discorso fornendo regolarità alla struttura temporale delle parole (Falk et al., 2016; Glover et al., 1996; Wan et al., 2010). *Training* ritmici potrebbero essere cruciali anche per compensare le difficoltà che caratterizzano il DCD. È interessante notare infatti, come evidenziato da Mirabella e colleghi (2017), come le problematiche motorie che caratterizzano tale disturbo siano legate a difficoltà nel processo di elaborazione del linguaggio e del ritmo. Tali individui mostrano una ridotta sincronizzazione ad un ritmo esterno (Rosenblum e Regev, 2013) e una compromissione dei tempi uditivi (Trainor et al., 2018).

Ancora, la letteratura che indaga le atipie ritmiche in individui con ADHD ha evidenziato difficoltà di sincronizzazione e di mantenimento del tempo interno negli individui con tale disturbo (Falter e Noreika, 2014) che presentano prestazioni scarse nei compiti di sincronizzazione del *tapping* e dei movimenti corporei in particolar modo quando è necessario effettuare l'estrazione del ritmo (Puyjarinet et al., 2017). Ne deriva dunque che anche individui con ADHD possono beneficiare di *training* ritmici per far fronte alle difficoltà esperite. A tal proposito lo studio di Shaffer et al. (2001) è stato condotto con l'obiettivo di evidenziare gli effetti di un intervento specifico, il metronomo interattivo, su abilità motorie e cognitive in individui con ADHD. I risultati riportano un significativo miglioramento dell'attenzione, del controllo motorio, del comportamento e dell'elaborazione del linguaggio negli individui che avevano ricevuto il trattamento.

Ancora, la condivisione dei medesimi meccanismi sensorimotori per la musica e il discorso suggerisce che *training* basati sull'elaborazione del ritmo consentirebbero di rafforzare la connessione tra corteccia uditiva e motoria e ciò porterebbe a dei vantaggi nel processo di elaborazione musicale e linguistica allenando soprattutto l'attenzione temporale e la previsione, come sottolineato dalle ipotesi OPERA (Patel, 2011), PATH (Tierney e Kraus, 2014) e SEP (Fujii e Wan, 2014) (*ibidem*).

Allenare i meccanismi proposti all'interno del quadro PRISM, attraverso l'impiego di *training* musicali e ritmici, consentirebbe di affinare il processo di percezione ed

elaborazione linguistica mediante un potenziamento delle reti -corticali e sottocorticali di elaborazione temporale che risultano implicate nell'elaborazione della musica e del linguaggio.

La compromissione di uno o più dei tre meccanismi pare essere associata a un'elaborazione atipica del linguaggio, del ritmo e del movimento (*ibidem*).

Inoltre, i meccanismi evidenziati nel quadro PRISM proposto da Fiveash et al. (2021) rappresenterebbero la base teorica da cui prendono avvio numerosi studi empirici che analizzano il ruolo del ritmo all'interno dei disturbi caratterizzati da difficoltà del discorso e del linguaggio e che indagano la relazione tra atipie ritmiche e linguistiche.

Per quanto riguarda gli studi condotti su popolazioni con dislessia, sono riportati deficit di sincronizzazione all'*envelope* del discorso, indipendentemente dalla lingua (Leong e Goswami, 2014; Molinaro et al., 2016; Power et al., 2016; Goswami et al., 2010), un *entrainment* atipico agli stimoli non vocali e un'atipica sincronizzazione del ritmo (Colling et al., 2017; Overy et al., 2003; Thomson e Goswami, 2008). A tal proposito, nello studio di Kalashnikova et al. (2021) è stata indagata la relazione tra la percezione del ritmo e le abilità di produzione linguistica in individui a rischio e non a rischio di dislessia. Dai risultati è emerso che i soggetti a rischio hanno presentato una percezione del ritmo inferiore rispetto ai controlli e una conseguente produzione linguistica impoverita. Ancora, gli individui con dislessia con prestazioni inadeguate nei compiti di percezione e produzione del ritmo sono caratterizzati da una consapevolezza fonologica debole (Flaugnacco et al., 2014; Forgeard et al., 2008; Goswami et al., 2010; Huss et al., 2011; Thomson e Goswami 2008).

In linea con quanto precedentemente accennato, troviamo uno dei principali risultati emersi dallo studio di Ritter et al., 2012, che mostra come sia il gruppo sperimentale, sottoposto ad un intervento di stimolazione ritmica, sia il gruppo di controllo, sottoposto ad un intervento linguistico tradizionale, abbiano ottenuto guadagni significativi nelle competenze linguistiche, sebbene sia riscontrato un maggiore beneficio per coloro che hanno ricevuto il trattamento basato sull'impiego di un metronomo interattivo.

In conclusione, il nostro studio si inserisce nella letteratura fin qui riassunta e mira non solo a confermare il *link* già esistente tra l'elaborazione ritmica e linguistica ma anche a portare nuove evidenze a favore di un effetto positivo che una stimolazione ritmica,

attraverso l'impiego di un metronomo, può produrre su funzioni linguistiche complesse (letto-scrittura) in popolazioni tipiche adulte.

## CONCLUSIONI

Il presente studio ha cercato di verificare la possibilità di proporre la stimolazione ritmica come mezzo per indagare ulteriormente la relazione tra il sistema motorio-ritmico e il sistema linguistico e per poter allenare il dominio linguistico attraverso l'impiego di stimoli ritmici.

A tal fine è stato indagato l'effetto che una stimolazione ritmica può generare sui processi di lettura e scrittura in popolazioni tipiche adulte e sono state esplorate le relazioni tra le abilità di letto-scrittura, l'autovalutazione della dislessia e gli anni di apprendimento musicale.

I risultati, in linea con la letteratura esistente, evidenziano il ruolo positivo che la stimolazione ritmica può generare sui processi linguistici, con un particolare vantaggio riscontrato per il linguaggio scritto. Inoltre, emerge una relazione tra gli anni di musica, le competenze linguistiche e il livello di rischio di dislessia.

Lo studio in questione si propone dunque di contribuire alla letteratura esistente a favore della profonda relazione esistente tra l'elaborazione del ritmo e l'elaborazione del linguaggio, letteratura su cui si basa lo sviluppo di *training* ritmici che, in aggiunta ai metodi riabilitativi tradizionali, possono rafforzare e migliorare le capacità nel dominio linguistico sia in individui a sviluppo tipico che a rischio (Shön e Tillmann, 2015). Un'elaborazione atipica del ritmo è stata infatti riportata attraverso differenti popolazioni a rischio o a sviluppo atipico, quali soggetti con Disturbo del Linguaggio (DL), balbuzie, con Disturbo dello Sviluppo della Coordinazione motoria (DCD) e con Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD).

In virtù di quanto riportato e del profondo *link* esistente tra l'elaborazione ritmica e linguistica, è possibile dunque pensare alla costruzione di possibili *task* di *screening* e *training* ritmici da aggiungere ai *training* logopedici e neuropsicologici classici per consentire un adeguato sviluppo delle competenze linguistiche e/o colmare le difficoltà esperite dagli individui con difficoltà del linguaggio attraverso tutto il corso dello sviluppo. La stimolazione ritmica consente infatti, in una modalità ecologica, economica e semplice da attuare, di coinvolgere il/la partecipante, raggiungere consistenti benefici e mantenere buoni risultati nel tempo.

Ancora una volta, quindi, risulta evidente come l'acquisizione e il corretto utilizzo di abilità e competenze *high-level*, come il linguaggio parlato e scritto, non può prescindere

da un adeguato sviluppo e dall'integrità di abilità *low-level*, o abilità di base, comuni a diversi domini della cognizione umana. Da ciò deriva dunque la necessità di garantire un adeguato sviluppo delle capacità cognitive di base per generare effetti positivi a cascata sullo sviluppo di capacità cognitive più elevate.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Abboub, N., Nazzi, T., Gervain, J. (2016). Prosodic grouping at birth. *Brain and language*, 162, 46-59.

Álamos-Gómez, J., Tejada, J. (2020). Interrelaciones entre acción y cognición. Aportaciones de la neurociencia a la educación rítmico-musical. *OPUS*, 26(2), 1-21.

Alcock, K. J., Krawczyk, K. (2010). Individual differences in language development: relationship with motor skill at 21 months. *Developmental Science*, 13(5), 677-691.

Allen, E. J., Burton, P. C., Olman, C. A., Oxenham, A. J. (2017). Representations of pitch and timbre variation in human auditory cortex. *The Journal of Neuroscience*, 37(5), 1284– 1293.

Angelelli, P., Notarnicola, A., Judica, A., Zoccolotti, P., Luzzatti, C. (2010). Spelling impairments in Italian dyslexic children: Phenomenological changes in primary school. *Cortex*, 46(10), 1299-1311.

APA, American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-V*, Washington, D.C., American Psychiatric Association; trad. it. *Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali. DSM-5*, Milano, Cortina, 2014.

Arnal, L. H., Giraud, A.-L. (2012). Cortical oscillations and sensory predictions. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(7), 390–398.

Arvaniti, A. (2009). Rhythm, timing and the timing of rhythm. *Phonetica*, 66(1–2), 46–63.

Astheimer, L. B., Sanders, L. D. (2009). Listeners modulate temporally selective attention during natural speech processing. *Biological psychology*, 80(1), 23-34.

Astheimer, L. B., Sanders, L. D. (2012). Temporally selective attention supports speech processing in 3-to 5-year-old children. *Developmental cognitive neuroscience*, 2(1), 120-128.

Barca, L., Burani, C., Di Filippo, G., Zoccolotti, P. (2006). Italian developmental dyslexic and proficient readers: Where are the differences?. *Brain and Language*, 98(3), 347-351.

- Bégel, V., Di Loreto, I., Seilles, A., Dalla Bella, S. (2017). Music games: potential application and considerations for rhythmic training. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 273.
- Beier, E. J., Ferreira, F. (2018). The temporal prediction of stress in speech and its relation to musical beat perception. *Frontiers in Psychology*, 9.
- Bello, A., Onofrio, D., Caselli, M.C. (2017). Bambini con ritardo di linguaggio: Prevalenza e cambiamenti evolutivi a distanza di 5 mesi. *Giornale di Neuropsichiatria dell'Età Evolutiva*.
- Bellugi, U., Poizner, H., Klima, E. (1989). Language, modality and the brain. *Trends in Neurosciences*, 12(10), 380–388.
- Benasich, A. A., Tallal, P. (2002). Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment. *Behavioural brain research*, 136(1), 31-49.
- Besson, M., Chobert, J., Marie, C. (2011). Transfer of training between music and speech: common processing, attention, and memory. *Frontiers in psychology*, 2, 94.
- Bever, T. G., Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, 185(4150), 537–539.
- Bharucha, J. J., Pryor, J. H. (1986). Disrupting the isochrony underlying rhythm: An asymmetry in discrimination. *Perception & Psychophysics*, 40(3), 137–141.
- Bhat, A. N., Galloway, J. C., Landa, R. (2012). Relation between early motor delay and later communication delay in infants at risk for autism. *Infant Behavior and Development*, 35(4), 838-846.
- Bhide, A., Power, A., Goswami, U. (2013). A rhythmic musical intervention for poor readers: A comparison of efficacy with a letter-based intervention. *Mind, Brain, and Education*, 7(2), 113-123.
- Bimonte, D., Burani, C. (2005). Studi sullo sviluppo della conoscenza della morfologia derivazionale. *Età evolutiva*, 80, 101-115.
- Blason L., Borean M., Bravar L., Zoia S. (2004). Il corsivo dalla A alla Z: un metodo per insegnare i movimenti della scrittura. La teoria. Trento, Erikson.

- Bloom, L. (1993). *The transition from infancy to language: Acquiring the power of expression*. Cambridge University Press.
- Blumstein, S. E. (1988). Linguistic deficits in aphasia. In F. Plum (Ed.), *Language, communication, and the brain*, New York: Raven Press, 199–214.
- Bowers, A. L., Saltuklaroglu, T., Harkrider, A., Wilson, M., Toner, M. A. (2014). Dynamic modulation of shared sensory and motor cortical rhythms mediates speech and nonspeech discrimination performance. *Frontiers in Psychology*, 5.
- Brizzolara, D., Casalini, C., Ferretti, G., Mazzotti, S., Chilosi, A. (2012). Working Memory and Attention in Children with Specific Language Impairment. *Rivista di Psicolinguistica applicata*, 12(3), 75-100.
- Brizzolara, D., Chilosi, A., Cipriani, P., Di Filippo, G., Gasperini, F., Mazzotti, S., Pecini, C., Zoccolotti, P. (2006). Do phonologic and rapid automatized naming deficits differentially affect dyslexic children with and without a history of language delay? A study of Italian dyslexic children. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 19(3), 141-149.
- Broca, P. (1861). Remarks on the seat of the faculty of articulated language, following an observation of aphemia (loss of speech). *Bulletin de la Société Anatomique*, 6, 330-357.
- Brown, S., Jordania, J. (2011). Universals in the world's musics. *Psychology of Music*, 41: 229–248.
- Bryden, M. P., Hecaen, H., DeAgostini, M. (1983). Patterns of cerebral organization. *Brain and Language*, 20, 249–262.
- Burani, C., Marcolini, S., De Luca, M., Zoccolotti, P. (2008). Morpheme-based reading aloud: Evidence from dyslexic and skilled Italian readers. *Cognition*, 108(1), 243-262.
- Bus, A. G., van Ijzendoorn, M. H. (1999). Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Education Psychology*, 91, 403–414.
- Calderone, D. J., Lakatos, P., Butler, P. D., Castellanos, F. X. (2014). Entrainment of neural oscillations as a modifiable substrate of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(6), 300–309.



- 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.
- Caplan, D. (1987). *Neurolinguistics and linguistic aphasiology*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- 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*, Milano, Angeli.
- Cason, N., Astésano, C., Schön, D. (2015). Bridging music and speech rhythm: Rhythmic priming and audio–motor training affect speech perception. *Acta Psychologica*, 155(0), 43–50.
- Cason, N., Schön, D. (2012). Rhythmic priming enhances the phonological processing of speech. *Neuropsychologia*, 50(11), 2652–2658.
- Castles, A., Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47(2), 149-180.
- Chao, Z. C., Takaura, K., Wang, L., Fujii, N., Dehaene, S. (2018). Large-scale cortical networks for hierarchical prediction and prediction error in the primate brain. *Neuron*, 100(5), 1252-1266.e3.
- Chawarska, K., Macari, S., Shic, F. (2013). Decreased spontaneous attention to social scenes in 6-month-old infants later diagnosed with autism spectrum disorders. *Biological psychiatry*, 74(3), 195-203.
- Chilosi, A. M., Brizzolara, D., Lami, L., Pizzoli, C., Gasperini, F., Pecini, C., Cipriani, P., Zoccolotti, P. (2009). Reading and spelling disabilities in children with and without a history of early language delay: a neuropsychological and linguistic study. *Child Neuropsychology*, 15(6), 582-604.
- Chomsky, N. (1965). Aspects of the theory of syntax Cambridge. *Multilingual Matters: MIT Press*.

- Clark, E. V. (2004). How language acquisition builds on cognitive development. *Trends in cognitive sciences*, 8(10), 472-478.
- Colling, L. J., Noble, H. L., Goswami, U. (2017). Neural entrainment and sensorimotor synchronization to the beat in children with developmental dyslexia: An EEG study. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 360.
- Colombo L., Fudio S., Mosna G. (2009), Phonological and working memory mechanisms involved in written spelling, «*European Journal of Cognitive Psychology*», vol. 21, n. 6, pp. 837-861.
- Colombo, J. (2001). The development of visual attention in infancy.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological review*, 108(1), 204-256.
- Conner, L.T., Albert, M.L., Helm-Estabrooks, N., Obler, L.K. (2000). Attentional modulation of language performance. *Brain and Language*, 71(1): 52e55.
- Conway, C. M., Pisoni, D. B., Kronenberger, W. G. (2009). The importance of sound for cognitive sequencing abilities: The auditory scaffolding hypothesis. *Current directions in psychological science*, 18(5), 275-279.
- Cornoldi C., Pra Baldi A., Friso G. (2010), MT avanzate 2 – Prove MT avanzate di lettura e matematica 2° per il biennio della scuola secondaria di secondo grado, *Firenze, Organizzazioni Speciali*.
- Cossu, G., Marshall, J. C. (1985). Dissociation between reading and written spelling in two Italian children: Dyslexia without dysgraphia?. *Neuropsychologia*, 23(5), 697-700.
- Cossu, G., Rossini, F., Marshall, J. C. (1993). When reading is acquired but phonemic awareness is not: A study of literacy in Down's syndrome. *Cognition*, 46(2), 129-138.
- Crystal, D. (2018). *The Cambridge encyclopedia of the English language*. Cambridge university Press.
- Cummins, F. (2012). Looking for rhythm in speech. *Empirical Musicology Review*, 7(1–2), 28–35.

- Cutler, A., Foss, D. J. (1977). On the role of sentence stress in sentence processing. *Language and Speech*, 20(1), 1–10.
- David, D., Wade-Woolley, L., Kirby, J. R., Smithrim, K. (2007). Rhythm and reading development in school-age children: A longitudinal study. *Journal of Research in Reading*, 30(2), 169-183.
- De Luca, M., Barca, L., Burani, C., Zoccolotti, P. (2008). The effect of word length and other sublexical, lexical, and semantic variables on developmental reading deficits. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 21(4), 227-235.
- Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S., Hertz-Pannier, L. (2002). Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science*, 298(5600), 2013-2015.
- Desmarais, C., Sylvestre, A., Meyer, F., Bairati, I., Rouleau, N. (2010). Three profiles of language abilities in toddlers with an expressive vocabulary delay: Variations on a theme. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 53, n.3, pp. 699-709.
- Ding, N., Patel, A. D., Chen, L., Butler, H., Luo, C., Poeppel, D. (2017). Temporal modulations in speech and music. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*.
- Dispaldro, M., Corradi, N. (2015). The effect of spatio-temporal distance between visual stimuli on information processing in children with Specific Language Impairment. *Research in developmental disabilities*, 45, 284-299.
- 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.
- D'souza, D., D'Souza, H., Jones, E. J., Karmiloff-Smith, A. (2020). Attentional abilities constrain language development: A cross-syndrome infant/toddler study. *Developmental Science*, 23(6), e12961.
- Ebert, K. D., Kohnert, K. (2011). Sustained attention in children with primary language impairment: A meta-analysis.
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Valeska-Schuster, B., YaghoubZadeh, A., Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read:

Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly*, 36, 250–280.

Emmorey, K. (2003). The neural systems underlying sign language, *Oxford handbook of deaf studies, language, and education*, 361–378.

Epskamp, S., Fried, E. I. (2020). Package 'bootnet'. R package version, 1.

Evertz, M., Primus, B. (2017). Rhythmic constraints in handwriting. A review of Pagliarini et al.(2017). *Writ. Lang. Lit*, 20, 252-258.

Falk, S., Maslow, E., Thum, G., Hoole, P. (2016). Temporal variability in sung productions of adolescents who stutter. *Journal of Communication Disorders*, 62, 101–114.

Falter, C. M., Noreika, V. (2014). Time processing in developmental disorders: A comparative view.

Finneran, D. A., Francis, A. L., Leonard, L. B. (2009). Sustained attention in children with specific language impairment (SLI).

Fiveash, A., Bedoin, N., Gordon, R. L., Tillmann, B. (2021). Processing rhythm in speech and music: Shared mechanisms and implications for developmental speech and language disorders. *Neuropsychology*, 35(8), 771.

Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Montico, M., Zoia, S., Schön, D. (2015). Music training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: A randomized control trial. *PLOS ONE*, 10(9), e0138715.

Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Zoia, S., Buda, S., Tilli, S., Monasta, L., Montico, M., Sila, A., Ronfani, L., Schon, D. (2014). Rhythm perception and production predict reading abilities in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.

Forgeard, M., Schlaug, G., Norton, A., Rosam, C., Iyengar, U., Winner, E. (2008). The relation between music and phonological processing in normal-reading children and children with dyslexia. *Music Perception: An interdisciplinary Journal*, 25(4), 383–390.

Fort, M., Spinelli, E., Savariaux, C., Kandel, S. (2010). The word superiority effect in audiovisual speech perception. *Speech Communication*, 52(6), 525-532.

- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current biology*, 22(9), 814-819.
- Friederici, A.D., Thierry, G. (2008). *Early language development: Bridging brain and behaviour*, John Benjamins Publishing.
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1456), 815–836.
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 127–138.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of surface dyslexia. *Surface dyslexia and surface dysgraphia*, 301-330.
- Fujii, S., Wan, C. Y. (2014). The role of rhythm in speech and language rehabilitation: the SEP hypothesis. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 777.
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Large, E. W., Ross, B. (2012). Internalized timing of isochronous sounds Is represented in neuromagnetic beta oscillations. *Journal of Neuroscience*, 32(5), 1791–1802.
- Gardner, H. (1985). *The mind's new science: A history of the cognitive revolution*. New York: Basic Books.
- 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), 336-360.
- Giraud, A., Poeppel, D. (2012). Cortical oscillations and speech processing: Emerging computational principles and operations. *Nature Neuroscience*, 15(4), 511–517. mdc.
- Glover, H., Kalinowski, J., Rastatter, M., Stuart, A. (1996). Effect of instruction to sing on stuttering frequency at normal and fast rates. *Perceptual and Motor Skills*, 83(2), 511–522.
- Goodglass, H. (1993). *Understanding aphasia*. New York: Academic Press.

Gordon, R. L., Jacobs, M. S., Schuele, C. M., McAuley, J. D. (2015). Perspectives on the rhythm–grammar link and its implications for typical and atypical language development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 16-25.

Gordon, R. L., Shivers, C. M., Wieland, E. A., Kotz, S. A., Yoder, P. J., Devin McAuley, J. (2015). Musical rhythm discrimination explains individual differences in grammar skills in children. *Developmental science*, 18(4), 635-644.

Goswami, U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in cognitive sciences*, 15(1), 3-10.

Goswami, U. (2012). Entraining the brain: Applications to language research and links to musical entrainment.

Goswami, U., Cumming, R., Chait, M., Huss, M., Mead, N., Wilson, A. M., Barnes, L., Fosker, T. (2016). Perception of filtered speech by children with developmental dyslexia and children with specific language impairments. *Frontiers in psychology*, 7, 791.

Goswami, U., Gerson, D., Astruc, L. (2010). Amplitude envelope perception, phonology and prosodic sensitivity in children with developmental dyslexia. *Reading and Writing*, 23(8), 995–1019.

Gow, D. W., Gordon, P. C. (1993). Coming to terms with stress: Effects of stress location in sentence processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, 22(6), 545–578.

Grahn, J. A., Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 893–906.

Guasti, M. T., Pagliarini, E., Stucchi, N. (2017). Language, reading, and motor control: Get rhythm!. *Biolinguistics*, 11, 395-406.

Gubbay, S. S. (1975). Clumsy children in normal schools. *Medical Journal of Australia*, 1(8), 233-236.

Hämäläinen, J. A., Rupp, A., Soltész, F., Szücs, D., Goswami, U. (2012). Reduced phase locking to slow amplitude modulation in adults with dyslexia: An MEG study. *NeuroImage*, 59(3), 2952–2961.

- Hari, R., Renvall, H. (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in cognitive sciences*, 5(12), 525-532.
- Hawa, V. V., Spanoudis, G. (2014). Toddlers with delayed expressive language: An overview of the characteristics, risk factors and language outcomes. *Developmental disabilities*, 35(2), 400-407.
- Hayley, C., Hill, E. L. (2014). The impact of motor development on typical and atypical social cognition and language: A systematic review. *Child and Adolescent Mental Health*, 19(3), 163-170.
- Hickok, G., Farahbod, H., Saberi, K. (2015). The rhythm of perception: Entrainment to acoustic rhythms induces subsequent perceptual oscillation. *Psychological Science*, 26(7), 1006– 1013.
- Hoff, E. (2013). *Language development*. Cengage Learning.
- Hoff, E., Shatz, M. (Eds.). (2007). *Blackwell handbook of language development*. Oxford, U.K.: Blackwell.
- Hollich, G. J., Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., Brand, R. J., Brown, E., Chung, H. L., Hennon, E., Rocroi, C., Bloom, L. (2000). Breaking the language barrier: An emergentist coalition model for the origins of word learning. *Monographs of the society for research in child development*, i-135.
- Holliman, A. J., Wood, C., Sheehy, K. (2010). The contribution of sensitivity to speech rhythm and non-speech rhythm to early reading development. *Educational Psychology*, 30(3), 247-267.
- Hood, B. M., Willen, J. D., Driver, J. (1998). Adult's eyes trigger shifts of visual attention in human infants. *Psychological Science*, 9(2), 131-134.
- Huss, M., Verney, J. P., Fosker, T., Mead, N., Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex*, 47, 674–689.

- Im-Bolter, N., Johnson, J., Pascual-Leone, J. (2006). Processing limitations in children with specific language impairment: The role of executive function. *Child development*, 77(6), 1822-1841.
- Ingvar, D. H., Schwartz, M. S. (1974). Blood flow patterns induced in the dominant hemisphere by speech and reading. *Brain*, 97, 273–288.
- Iverson, J. M. (2010). Developing language in a developing body: The relationship between motor development and language development. *Journal of child language*, 37(2), 229-261.
- Iverson, J. M., Hall, A. J., Nickel, L., Wozniak, R. H. (2007). The relationship between reduplicated babble onset and laterality biases in infant rhythmic arm movements. *Brain and language*, 101(3), 198-207.
- Iverson, J. M., Thelen, E. (1999). Hand, mouth and brain. The dynamic emergence of speech and gesture. *Journal of Consciousness studies*, 6(11-12), 19-40.
- Janková, J., Van de Geer, S. (2018). Inference in high-dimensional graphical models. In *Handbook of graphical models* (pp. 325-350). CRC Press.
- Jones, M. R., Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological review*, 96(3), 459.
- Jones, M. R., Boltz, M., Kidd, G. (1982). Controlled attending as a function of melodic and temporal context. *Perception & Psychophysics*, 32(3), 211–218.
- Kail, R. V., Ferrer, E. (2007). Processing speed in childhood and adolescence: Longitudinal models for examining developmental change. *Child development*, 78(6), 1760-1770.
- Kalashnikova, M., Burnham, D., Goswami, U. (2021). Rhythm discrimination and metronome tapping in 4-year-old children at risk for developmental dyslexia. *Cognitive Development*, 60, 101129.7.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*, Cambridge, Mass., MIT Press.



- Karmiloff-Smith, A. (2013). From constructivism to neuroconstructivism: Did we still fall into the foundationalism/encodingism trap? Commentary on “Stepping off the pendulum: Why only an action-based approach can transcend the nativist–empiricist debate” by J. Allen and M. Bickhard, in *Cognitive Development*, 28(2), 25-260.
- Keehn, B., Müller, R. A., Townsend, J. (2013). Atypical attentional networks and the emergence of autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(2), 164-183.
- Kimura, D. (1967). Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex*, 3, 163–178.
- Knowles, G. (1974). The rhythm of English syllables. *Lingua*, 34, 115–147.
- Kösem, A., Bosker, H. R., Takashima, A., Meyer, A., Jensen, O., Hagoort, P. (2018). Neural entrainment determines the words we hear. *Current Biology*, 28(18), 2867-2875.e3.
- Kösem, A., Wassenhove, V. van. (2017). Distinct contributions of low- and high-frequency neural oscillations to speech comprehension. *Language, Cognition and Neuroscience*, 32(5), 536–544.
- Kotz, S. A., Ravignani, A., Fitch, W. T. (2018). The evolution of rhythm processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(10), 896–910.
- Kraus, N., Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature reviews neuroscience*, 11(8), 599-605.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature reviews neuroscience*, 5(11), 831-843.
- Kuhl, P. K., Stevens, E., Hayashi, A., Deguchi, T., Kiritani, S., Iverson, P. (2006). Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months. *Developmental science*, 9(2), F13-F21.
- Ladányi, E., Persici, V., Fiveash, A., Tillmann, B., Gordon, R. L. (2020). Is atypical rhythm a risk factor for developmental speech and language disorders?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 11(5), e1528.

- Lange, E. B., Pieczykolan, A., Trukenbrod, H. A., Huestegge, L. (2018). The rhythm of cognition—Effects of an auditory beat on oculomotor control in reading and sequential scanning. *Journal of Eye Movement Research*, 11(2).
- LeBarton, E. S., Iverson, J. M. (2016). Associations between gross motor and communicative development in at-risk infants. *Infant Behavior and Development*, 44, 59-67.
- Lehongre, K., Ramus, F., Villiermet, N., Schwartz, D., Giraud, A. L. (2011). Altered low-gamma sampling in auditory cortex accounts for the three main facets of dyslexia. *Neuron*, 72(6), 1080-1090.
- Leman, M. (2008). Embodied music cognition and mediation technology. MIT press.
- Leonard, L. B., Weismer, S. E., Miller, C. A., Francis, D. J., Tomblin, J. B., Kail, R. V. (2007). Speed of processing, working memory, and language impairment in children.
- Leong, V., Goswami, U. (2014). Assessment of rhythmic entrainment at multiple timescales in dyslexia: Evidence for disruption to syllable timing. *Hearing Research*, 308(0), 141– 161.
- Leong, V., Hämäläinen, J., Soltész, F., Goswami, U. (2011). Rise time perception and detection of syllable stress in adults with developmental dyslexia. *Journal of Memory and Language*, 64(1), 59–73.
- Lerdahl, F., Jackendoff, R. (1983). A generative theory of tonal music. MIT Press.
- Levitin, D. J., Grahn, J. A., London, J. (2018). The psychology of music: Rhythm and movement. *Annual Review of Psychology*, 69(1), 51–75.
- Lizarazu, M., Lallier, M., Molinaro, N., Bourguignon, M., Paz-Alonso, P. M., Lerma-Usabiaga, G., Carreiras, M. (2015). Developmental evaluation of atypical auditory sampling in dyslexia: Functional and structural evidence. *Human Brain Mapping*, 36(12), 4986–5002.
- Lloyd, M., MacDonald, M., Lord, C. (2013). Motor skills of toddlers with autism spectrum disorders. *Autism*, 17(2), 133-146.

- London, J. (2012). *Hearing in time: Psychological aspects of musical meter* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Lyytinen, H., Erskine, J., Aro, M., Richardson, U. (2007). Reading and reading disorders. In E. Hoff, M. Shatz (Eds.), *Blackwell handbook of language development*, Oxford, U.K.: Blackwell, 454–474.
- Mandke, K., Flanagan, S., Macfarlane, A., Gabrielczyk, F., Wilson, A., Gross, J., Goswami, U. (2022). Neural sampling of the speech signal at different timescales by children with dyslexia. *NeuroImage*, 253, 119077.
- Marchetti, F. M., Mewhort, D. J. (1986). On the word-superiority effect. *Psychological research*, 48(1), 23-35.
- Marcolini, S., Burani, C., Colombo, L. (2009). Lexical effects on children’s pseudoword reading in a transparent orthography. *Reading and Writing*, 22(5), 531-544.
- Marcolini, S., Traficante, D., Zoccolotti, P., Burani, C. (2011). Word frequency modulates morpheme-based reading in poor and skilled Italian readers. *Applied psycholinguistics*, 32(3), 513-532.
- Marshall, P. J. (2016). Embodiment and human development. *Child Development Perspectives*, 10(4), 245-250.
- Marshall, P. J., Meltzoff, A. N. (2015). Body maps in the infant brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(9), 499-505.
- Martini, A. (1995). *Le difficoltà di apprendimento della lingua scritta: criteri di diagnosi e indirizzi di trattamento* (Vol. 2). Edizioni del Cerro.
- Martino, M. G., Pappalardo, F., Re, A. M., Tressoldi, P., Lucangeli, D., Cornoldi, C. (2011). La valutazione della dislessia nell’adulto. Un contributo alla standardizzazione della batteria dell’Università di Padova.
- Mathôt, S., Schreij, D., Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior research methods*, 44(2), 314-324.
- Maurer, D., Werker, J. F. (2014). Perceptual narrowing during infancy: A comparison of language and faces. *Developmental psychobiology*, 56(2), 154-178.

- Mazziotta, J. C., Metter, E. J. (1988). Brain cerebral metabolic mapping of normal and abnormal language and its acquisition during development. In F. Plum (Ed.), *Language, communication, and the brain*, New York: Raven Press, 245– 266.
- Mazzotta, S., Barca, L., Marcolini, S., Stella, G., Burani, C. (2005). Frequenza, immaginabilità ed età di acquisizione delle parole: in che misura influenzano la lettura dei bambini italiani?. *Psicologia clinica dello sviluppo*, 9(2), 249-268.
- McAuley, J. D. (2010). Tempo and rhythm. In M. R. Jones (Ed.), *Music Perception*. Springer Science+Business Media.
- Miller, C. A., Leonard, L. B., Kail, R. V., Zhang, X., Tomblin, J. B., Francis, D. J. (2006). Response time in 14-year-olds with language impairment.
- Mills, D. L., Coffey-Corina, S. A., Neville, H. J. (1993). Language acquisition and cerebral specialization in 20-month-old infants. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(3), 317-334.
- Mills, D. L., Coffey-Corina, S., Neville, H. (1997). Language comprehension and cerebral specialization from 13 to 20 months. *Developmental Neuropsychology*, 13, 395–445.
- Mills, D. L., Conboy, B. T., Paton, C. (2005). Do changes in brain organization reflect shifts in symbolic functioning? In L. L. Namy (Ed.), *Symbol use and symbolic representation*, Mahwah, NJ: Erlbaum, 123–154.
- Mills, D. L., Plunkett, K., Prat, C., Schafer, G. (2005). Watching the infant brain learn words: Effects of vocabulary size and experience. *Cognitive Development*, 20, 19–31.
- Milner, B. (1974). Hemispheric specialization: Scope and limits. In F. O. Schmitt, F. G. Worden (Eds.), *The neurosciences: Third study program*, Cambridge, MA: MIT Press, 75–89.
- Mirabella, G., Del Signore, S., Lakens, D., Averna, R., Penge, R., Capozzi, F. (2017). Developmental Coordination Disorder affects the processing of action-related verbs. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 661.

- Molfese, D. L., Freeman, R. B., Palermo, D. S. (1975). The ontogeny of brain lateralization for speech and nonspeech stimuli. *Brain and Language*, 2, 356–368
- Molinaro, N., Lizarazu, M., Lallier, M., Bourguignon, M., Carreiras, M. (2016). Out-of-synchrony speech entrainment in developmental dyslexia. *Human Brain Mapping*, 37(8), 2767–2783.
- Montgomery, J. W. (2006). Real-time language processing in school-age children with specific language impairment. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 41(3), 275-291.
- Montgomery, J. W. (2008). Role of auditory attention in the real-time processing of simple grammar by children with specific language impairment: a preliminary investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 43(5), 499-527.
- Morillon, B., Baillet, S. (2017). Motor origin of temporal predictions in auditory attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(42), E8913–E8921
- Morillon, B., Hackett, T. A., Kajikawa, Y., Schroeder, C. E. (2015). Predictive motor control of sensory dynamics in auditory active sensing. *Current Opinion in Neurobiology*, 31(Supplement C), 230–238.
- Moritz, C., Yampolsky, S., Papadelis, G., Thomson, J., Wolf, M. (2013). Links between early rhythm skills, musical training, and phonological awareness. *Reading and Writing*, 26(5), 739-769.
- Nickel, L. R., Thatcher, A. R., Keller, F., Wozniak, R. H., Iverson, J. M. (2013). Posture development in infants at heightened versus low risk for autism spectrum disorders. *Infancy*, 18(5), 639-661.
- Nozaradan, S., Peretz, I., Missal, M., Mouraux, A. (2011). Tagging the neuronal entrainment to beat and meter. *The Journal of Neuroscience*, 31(28), 10234–10240.
- Nozaradan, S., Peretz, I., Mouraux, A. (2012). Selective neuronal entrainment to the beat and meter embedded in a musical rhythm. *Journal of Neuroscience*, 32(49), 17572–17581.

Nozaradan, S., Zerouali, Y., Peretz, I., Mouraux, A. (2015). Capturing with EEG the neural entrainment and coupling underlying sensorimotor synchronization to the beat. *Cerebral Cortex*, 25(3), 736–747.

OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità (1992), *The ICD-10 Classification of Mental and Behavioural Disorders: Clinical Description and Diagnostic Guidelines*, Geneva, World Health Organization; trad. it. *ICD-10. Decima revisione della classificazione internazionale delle sindromi e dei disturbi psichici e comportamentali. Descrizioni cliniche e direttive diagnostiche*, Milano, Masson, 1993.

Orsolini, M., Fanari, R., Serra, G., Cioce, R., Rotondi, A., Dassisti, A., Maronato, C. (2003). Primi progressi nell'apprendimento della lettura: una riconsiderazione del ruolo della consapevolezza fonologica. *Psicologia clinica dello sviluppo*, 7(3), 403-436.

Overton, W., Mueller, U., Newman, J. (Eds.). (2008). *Developmental perspectives on embodiment and consciousness*. Mahwah, N.J., Erlbaum.

Overy, K. (2003). Dyslexia and music: From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York academy of sciences*, 999(1), 497-505.

Ozernov-Palchik, O., Patel, A. D. (2018). Musical rhythm and reading development: does beat processing matter?. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 166-175.

Ozernov-Palchik, O., Wolf, M., Patel, A. D. (2018). Relationships between early literacy and nonlinguistic rhythmic processes in kindergarteners. *Journal of Experimental Child Psychology*, 167, 354-368.

Pagliarini, E., Scocchia, L., Vernice, M., Zoppello, M., Balottin, U., Bouamama, S., Guasti, M.T., Stucchi, N. (2017). Children's first handwriting productions show a rhythmic structure. *Scientific reports*, 7(1), 1-10.

Paizi, D., De Luca, M., Zoccolotti, P., Burani, C. (2013). A comprehensive evaluation of lexical reading in Italian developmental dyslexics. *Journal of Research in Reading*, 36(3), 303-329.

Paizi, D., Zoccolotti, P., Burani, C. (2011). Lexical stress assignment in Italian developmental dyslexia. *Reading and Writing: an interdisciplinary journal*, 24(4), 443-461.

- Palmer, C., Krumhansl, C. L. (1990). Mental representations for musical meter. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(4), 728–741.
- Pasquini, E. S., Corriveau, K. H., Goswami, U. (2007). Auditory processing of amplitude envelope rise time in adults diagnosed with developmental dyslexia. *Scientific Studies of Reading*, 11(3), 259–266.
- Patel, A. D. (2008). Talk of the Tone. *Nature*, 453(7196), 726-727.
- Patel, A. D. (2010). Music, language, and the brain. Oxford University Press.
- Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in psychology*, 2, 142.
- Patel, A. D. (2012). The OPERA hypothesis: Assumptions and clarifications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 124–128.
- Patel, A. D., Iversen, J. R. (2014). The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in systems neuroscience*, 8, 57.
- Peña, M., Maki, A., Kovačić, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F., Mehler, J. (2003). Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(20), 11702-11705.
- Persici, V., Stucchi, N., Arosio, F. (2019). Predicting the future in rhythm and language: The anticipation abilities of a group of Italian speaking children. In P. Guijarro-Fuentes & C. Suárez-Gómez (Eds.), *Proceedings of GALA 2017: Language Acquisition and Development* (pp. 451–468). Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholar Publishers.
- Phelps, M. E., Mazziotta, J. C. (1985). PET: Human brain function and biochemistry. *Science*, 228, 799– 809.
- Pinker, S. (1984). *Language learnability and language development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Pinton, A., Lena, L., (2015). *Fondamenti del trattamento logopedico in età evolutiva*. Roma, Carocci.

- Pitt, M. A., Samuel, A. G. (1990). The use of rhythm in attending to speech. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 16(3), 564–573.
- Poeppel, D. (2003). The analysis of speech in different temporal integration windows: Cerebral lateralization as ‘asymmetric sampling in time.’ *Speech Communication*, 41(1), 245–255.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I., Peterson, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25-42.
- Povel, D.-J., Essens, P. (1985). Perception of temporal patterns. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 2(4), 411–440.
- Power, A. J., Colling, L. J., Mead, N., Barnes, L., Goswami, U. (2016). Neural encoding of the speech envelope by children with developmental dyslexia. *Brain and Language*, 160, 1-10.
- Puyjarinet, F., Bégel, V., Lopez, R., Dellacherie, D., Dalla Bella, S. (2017). Children and adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder cannot move to the beat. *Scientific Reports*, 7(1), 11550.
- Querleu, D., Renard, X., Versyp, F., Paris-Delrue, L., Crèpin, G. (1988). Fetal hearing. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 28(3), 191-212.
- Rapin, I. (2006). Language and its development in the autism spectrum disorders. *Language: Normal and Pathological Development; Riva, D., Rapin, I., Zardini, G., Eds*, 121-137.
- Repp, B. H., Su, Y.-H. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 403–452.
- Rescorla, L. A., Dale, P. S. (2013). *Late talkers: Language development, interventions, and outcomes*. Baltimore, Md., Brookes.



- Richards, C. L., Bossdorf, O., Verhoeven, K. J. (2010). Understanding natural epigenetic variation. *The New Phytologist*, 187(3), 562-564.
- Ritter, M., Colson, K. A., Park, J. (2012). Reading intervention using interactive metronome in children with language and reading impairment: a preliminary investigation. *Communication Disorders Quarterly*, 34(2), 106-119.
- Rose, C. L., Murphy, L. B., Schickedantz, B., Tucci, J. (2001). The effects of event rate and signal probability on childrens vigilance. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23(2), 215-224.
- Rosenblum, S., Regev, N. (2013). Timing abilities among children with developmental coordination disorders (DCD) in comparison to children with typical development. *Research in Developmental Disabilities*, 34(1), 218–227.
- Russo, M. R., Tucci, R., Cornoldi, C., Tressoldi, P., Vio, C., Bilancia, G., Di Brina, C., Borean, M., Bravar, Zoia, S., Iozzino, R. (2012). Criteri per la diagnosi di disgrafia: Una proposta del gruppo di lavoro AIRIPA. *Diagnosi dei Disturbi dell'Apprendimento Scolastico. Trento Erickson*, 211-215.
- Russo, S., Calignano, G., Dispaldro, M., Valenza, E. (2021). An Integrated Perspective on Spatio-Temporal Attention and Infant Language Acquisition. *International journal of environmental research and public health*, 18(4), 1592.
- Russo, S., Valenza, E. (2021). Apprendere attraverso il corpo, la musica e il ritmo: gli effetti positivi della Sincronizzazione Ritmica secondo i principi della Cognizione incarnata. *Rivista infanzia*, 2(2021), 1-21.
- Saffran, E. M., Schwartz, M. F. (2003). Language. In M. Gallagher & R. J. Nelson (Eds.), *Handbook of psychology: Biological psychology*, 595–636, Hoboken, NJ: Wiley.
- Sartori G., Job R., Tressoldi P.E. (1995). Batteria per la valutazione della dislessia e della disortografia evolutiva, *Firenze, Organizzazioni Speciali*.
- Savage, P. E., Brown, S., Sakai, E., Currie, T. E. (2015). Statistical universals reveal the structures and functions of human music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(29), 8987–8992.

- Schön, D., Tillmann, B. (2015). Short-and long-term rhythmic interventions: perspectives for language rehabilitation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 32-39.
- Schroeder, C. E., Wilson, D. A., Radman, T., Scharfman, H., Lakatos, P. (2010). Dynamics of active sensing and perceptual selection. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 172– 176.
- Schwellnus H., Carnahan H., Kushki A., Polatajko H., Missiuna C., Chau T. (2012). Effect of pencil grasp on the speed and legibility of handwriting in children. *American Journal of Occupational Therapy*, 66, 718–726.
- Shaffer, R. J., Jacokes, L. E., Cassily, J. F., Greenspan, S. I., Tuchman, R. F., Stemmer Jr, P. J. (2001). Effect of Interactive Metronome® training on children with ADHD. *The American Journal of Occupational Therapy*, 55(2), 155-162.
- Shapiro, L. (2019). Embodied cognition. Routledge.
- Shatz, M. (2007). Revisiting A toddler’s life for the toddler years: Conversational participation as a tool for learning across knowledge domains. In C. A. Brownell & C. B. Kopp (Eds.), *Socioemotional development in the toddler years*, 241–257, New York: Guilford Press.
- Shetreat-Klein, M., Shinnar, S., Rapin, I. (2014). Abnormalities of joint mobility and gait in children with autism spectrum disorders. *Brain and Development*, 36(2), 91-96.
- Snowling, M. J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 37-46.
- Soltész, F., Szűcs, D., Leong, V., White, S., Goswami, U. (2013). Differential entrainment of neuroelectric delta oscillations in Developmental Dyslexia. *PLOS ONE*, 8(10), e76608.
- Spaulding, T. J., Plante, E., Vance, R. (2008). Sustained selective attention skills of preschool children with specific language impairment: Evidence for separate attentional capacities.

- Strukelj, A., Niehorster, D. C. (2018). One page of text: Eye movements during regular and thorough reading, skimming, and spell checking. *Journal of Eye Movement Research*, 11(1).
- Stuart, M., Coltheart, M. (1988). Does reading develop in a sequence of stages?. *Cognition*, 30(2), 139-181.
- Tallal, P., Gaab, N. (2006). Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in neurosciences*, 29(7), 382-390.
- Tettamanti, M., Rotondi, I., Perani, D., Scotti, G., Fazio, F., Cappa, S. F., Moro, A. (2009). Syntax without language: Neurobiological evidence for cross-domain syntactic computations. *Cortex*, 45(7), 825-838.
- Thomson, J. M., Fryer, B., Maltby, J., Goswami, U. (2006). Auditory and motor rhythm awareness in adults with dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 29(3), 334–348.
- Thomson, J. M., Goswami, U. (2008). Rhythmic processing in children with developmental dyslexia: Auditory and motor rhythms link to reading and spelling. *Journal of PhysiologyParis*, 102(1), 120–129.
- Tierney, A. T., Kraus, N. (2013). The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills. *Brain and language*, 124(3), 225-231.
- Tierney, A., Kraus, N. (2013). The ability to move to a beat is linked to the consistency of neural responses to sound. *Journal of Neuroscience*, 33(38), 14981-14988.
- Tierney, A., Kraus, N. (2014). Auditory-motor entrainment and phonological skills: precise auditory timing hypothesis (PATH). *Frontiers in human neuroscience*, 8, 949.
- Trainor, L. J., Chang, A., Cairney, J., Li, Y.-C. (2018). Is auditory perceptual timing a core deficit of developmental coordination disorder? *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Travers, B. G., Powell, P. S., Klinger, L. G., Klinger, M. R. (2013). Motor difficulties in autism spectrum disorder: linking symptom severity and postural stability. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(7), 1568-1583.

- Tressoldi, P. E., Cornoldi, C. (2000). Batteria per la valutazione della scrittura e della competenza ortografica nella scuola dell'obbligo (BVSCO, Battery for the assessment of writing skills of children from 7 to 13 years old). *Firenze: Giunti OS*.
- 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.
- Valenza, E., Turati, C., (2019). *Promuovere lo sviluppo della mente. Un approccio neurocostruttivista*, Bologna, Il Mulino.
- van Wijk, B. C. M., Beek, P. J., Daffertshofer, A. (2012). Neural synchrony within the motor system: What have we learned so far? *Frontiers in Human Neuroscience, 6*.
- Vicari, S., Caselli, M.C. (2017). *Neuropsicologia dell'età evolutiva. Prospettive teoriche e cliniche*. Bologna, Il Mulino.
- Vinegard, M. (1994). A revised adult dyslexia check list. *Educare-London-national bureau for handicapped students-*, 21-21.
- Wan, C. Y., Rüber, T., Hohmann, A., Schlaug, G. (2010). The therapeutic effects of singing in neurological disorders. *Music Perception, 27*(4), 287–295.
- Warren, S. F., Reichle, J. (Eds.). (1992). *Causes and effects in communication and language intervention*. Baltimore: Brookes.
- Werker, J. F., Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant behavior and development, 7*(1), 49-63.
- Westermann, G., Mareschal, D., Johnson, M. H., Sirois, S., Spratling, M. W., Thomas, M. S. (2007). Neuroconstructivism. *Developmental science, 10*(1), 75-83.
- Whalley, K., Hansen, J. (2006). The role of prosodic sensitivity in children's reading development. *Journal of research in reading, 29*(3), 288-303.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review, 9*(4), 625-636.

- Wimmer, H. (1993). Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied psycholinguistics*, 14(1), 1-33.
- Wolff, P. H. (2006). The development of attention in young infants. *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Wood, C. C., Goff, W., Day, R. (1971). Auditory evoked potential during speech perception. *Science*, 173, 1248–1251.
- Yang, Y., Dewald, J. P. A., van der Helm, F. C. T., Schouten, A. C. (2018). Unveiling neural coupling within the sensorimotor system: Directionality and nonlinearity. *The European Journal of Neuroscience*, 48(7), 2407–2415.
- Yingling, J. M. (1981). *Temporal features of infant speech: A description of babbling patterns circumscribed by postural achievement*. University of Denver.
- Zambrana, I. M., Pons, F., Eadie, P., Ystrom, E. (2014). Trajectories of language delay from age 3 to 5: Persistence, recovery and late onset. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 49(3), 304-316.
- Zimmerman, E., Lahav, A. (2012). The multisensory brain and its ability to learn music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 179-184.
- Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Filippo, G., Judica, A., Martelli, M. (2009). Reading development in an orthographically regular language: Effects of length, frequency, lexicality and global processing ability. *Reading and Writing*, 22(9), 1053-1079.
- Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Pace, E., Judica, A., Orlandi, M., Spinelli, D. (1999). Markers of developmental surface dyslexia in a language (Italian) with high grapheme–phoneme correspondence. *Applied Psycholinguistics*, 20(2), 191-216.

## APPENDICE

Questionario di autovalutazione della dislessia (adattato da Michael Vinegrad, 1994):

### Test di valutazione della dislessia negli adulti

Per favore marca Sì o No per ogni domanda. Non tralasciare nessuna domanda. Se sei in dubbio, marca la risposta relativa al caso più frequente.

	Sì	No
1. Hai difficoltà a distinguere la destra dalla sinistra?		
2. Ti confonde la lettura di una mappa o l'orientarti in un posto nuovo?		
3. Detesti leggere a voce alta?		
4. Ci metti più tempo del dovuto a leggere una pagina di un libro?		
5. Trovi difficile ricordare il significato di ciò che hai letto?		
6. Detesti leggere libri lunghi?		
7. La tua ortografia è scadente?		
8. La tua calligrafia è difficile da leggere?		
9. Ti confondi se devi parlare in pubblico?		
10. Hai difficoltà a prendere un messaggio telefonico e trasmetterlo correttamente?		
11. Quando pronunci una parola lunga, ti capita di avere difficoltà a mettere i vari suoni nell'ordine corretto?		
12. Hai difficoltà a sommare mentalmente, senza usare le tue dita o un pezzo di carta?		
13. Quando usi il telefono, ti capita di confondere le diverse cifre mentre marchi il numero?		
14. Hai difficoltà a ripetere i mesi dell'anno uno dopo l'altro in modo scorrevole?		
15. Hai difficoltà a ripetere i mesi dell'anno a ritroso?		
16. Confondi date e orari e dimentichi appuntamenti?		
17. Quando scrivi degli assegni ti capita spesso di fare degli errori?		
18. Trovi che i formulari siano difficili e confondano?		
19. Confondi numeri dell'autobus come il 95 e il 59?		
20. Hai avuto difficoltà ad imparare le tabelline a scuola?		

Riferimenti bibliografici: Michael Vinegrad, "A revised Dyslexia Checklist", 1994.

Cinque risposte positive al questionario rappresentano un sospetto di disturbo specifico di apprendimento.

Nove o più risposte positive al questionario rappresentano un forte indicatore di difficoltà e di conseguenza la probabile presenza di disturbo specifico di apprendimento.

Liste di parole e non-parole utilizzate per il compito di Decisione Lessicale (adattato da Sartori, Job e Tressoldi, 1995):

Diminuo	Menovra	Dottere
Accirido	Fortica	Cellila
Azzarno	Mettina	Effitto
Tambina	Bortuna	Cargine
Nedo	Nase	Pine
Cama	Reta	Pate
Coba	Arve	Mido
Fade	Sabe	Faba
Margine	Mattina	Dottore
Manovra	Azzardo	Formica
Fortuna	Cellula	Dominio
Accordo	Effetto	Bambina
Pena	Nido	Cosa
Case	Arte	Pace
Fama	Sale	Pane
Lama	Fase	Mito

Liste di parole utilizzate per il compito di Scrittura (adattato da Cornoldi e Tressoldi, 2000):

Rapina	Lamento	Divano
Cicala	Vagabondo	Funerale
Farina	Tegame	Cometa
Canarino	Momento	Mulino
Manifesto	Coca cola	Cornice
Pantalone	Casalinga	Pomodoro
Carnevale	Pastore	Rosmarino
Delfino	Marito	Contadino
Gigante	Castigo	Tulipano
Cantina	Pergamena	Temporale
Maratona	Capitale	Vegetale
Vagone	Recinto	Monumento
Susina	Peperone	Pulcino
Panorama	Dinamite	Salmone
Paradiso	Labirinto	Pilota
Tartaruga	Valanga	Corona