

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di laurea in Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di laurea magistrale

GLI EFFETTI DEL RUMORE SULLA PERFORMANCE COGNITIVA IN ETÀ SCOLARE: COEN COME STRUMENTO DI VALUTAZIONE

The effect of noise on the cognitive performance of school-aged children:
CoEN as an assessment instrument

Relatrice: Prof.ssa Barbara Arfè

Correlatrice: Dott.ssa Flavia Gheller

Laureanda: Maria Feola Nisetto

Matricola: 1233597

Anno Accademico 2021-2022

Al Cielo
e a chi ha accolto con Sé.

*«Chi accoglie uno solo di questi bambini nel mio nome, accoglie me;
e chi accoglie me, non accoglie me, ma colui che mi ha mandato»*

-Mc 9,37-

INDICE

Introduzione.....	3
Capitolo 1. L'apprendimento e le funzioni esecutive.....	4
1.1 Il concetto di apprendimento	4
1.2 Le funzioni esecutive.....	8
1.3 Le funzioni esecutive negli apprendimenti scolastici.....	12
Capitolo 2. Gli effetti cognitivi del rumore su bambini in età scolare	16
2.1 Il rumore	16
2.2 Listening e cognitive effort.....	19
2.3 Effetti del rumore sulle funzioni esecutive.....	25
2.4 Effetti del rumore sugli apprendimenti.....	29
2.4.1 Il rumore a scuola	31
Capitolo 3. Lo studio	38
3.1 Progetto di ricerca.....	38
3.2 Partecipanti	38
3.3 Protocollo sperimentale	39
3.4 Strumenti	41
3.4.1 App CoEN	41
3.4.1.1 Digit Span Test.....	43
3.4.1.2 Reading Span Test.....	44
3.4.1.3 Test di attenzione visiva sostenuta	45
3.4.1.4 Test di inibizione	47
3.4.2 Questionari carta e matita.....	49
3.5 Risultati.....	50

3.6 Discussione dei risultati.....	59
3.7 Limiti dello studio	62
Conclusioni.....	64
Bibliografia.....	65
Ringraziamenti	78

INTRODUZIONE

Molti studi in letteratura riportano come una condizione acustica sfavorevole possa provocare nei bambini un affaticamento cognitivo e compromettere alcune funzioni esecutive. L'esposizione al rumore può comportare nel bambino distrazione, tempi di reazione prolungati, stress e una riduzione dell'accuratezza nello svolgimento di compiti specifici. Diverse abilità associate alle funzioni esecutive, come la capacità di ricordare e conservare le informazioni acquisite (associata alla *working memory*), l'abilità di ignorare le informazioni irrilevanti e distraenti o le risposte automatiche (associata ad inibizione cognitiva e attenzione), e la capacità di passare rapidamente da un compito all'altro (associata alla flessibilità cognitiva) risultano fondamentali per i risultati scolastici. Dal momento quindi che le funzioni esecutive svolgono un ruolo cruciale nei processi di apprendimento, l'esposizione al rumore può avere effetti sullo svolgimento di attività quali lettura, scrittura e calcolo matematico.

L'obiettivo di questa tesi è quello di indagare l'effetto dell'esposizione al rumore in alunni delle classi di scuola primaria durante lo svolgimento di una breve batteria di test cognitivi. Nei bambini appartenenti a questa fascia di età le funzioni esecutive e il network cerebrale uditivo sono ancora in fase di sviluppo e questo fa sì che rispetto agli adulti siano più sensibili all'interferenza indotta dal rumore, sia in compiti uditivi che non uditivi e presentino maggiore vulnerabilità nei confronti di ambienti acustici non adeguati.

L'ipotesi di partenza dello studio, in linea con i dati disponibili in letteratura, è che in presenza del rumore le prestazioni siano peggiori, a causa di un maggior affaticamento cognitivo. Al fine di verificare tale ipotesi, ci si è avvalsi di un'applicazione digitale, l'app CoEN (*Cognitive Effort in Noise*), sviluppata nell'ambito di un progetto di ricerca all'interno del quale questo lavoro di tesi si inserisce. Le prove neuropsicologiche presenti all'interno dell'applicazione sono state somministrate a ciascun bambino in due condizioni acustiche: quiete e rumore. Ciò ha permesso di effettuare un confronto tra i dati ottenuti nelle due condizioni, sia in termini di prestazione che in termini di valutazione soggettiva dell'affaticamento cognitivo.

CAPITOLO 1.

L'APPRENDIMENTO E LE FUNZIONI ESECUTIVE

1.1 IL CONCETTO DI APPRENDIMENTO

L'essere umano, fin dalla sua nascita, si caratterizza come un organismo in relazione con l'ambiente circostante, che influenza e dal quale viene influenzato. Uno dei meccanismi che modula questa relazione di reciproca e costante modifica è l'apprendimento.

“Apprendere” deriva dal latino *apprehendere* (*ad* e *prehendere*: “prendere, afferrare, impossessarsi verso qualcosa”) e può essere definito come il processo che comporta una modificazione stabile e duratura del comportamento o delle attività psicologiche, sulla base dell'esperienza dell'individuo (Anolli & Legrenzi, 2012; Vicari & Caselli, 2017). In ambito scientifico, i temi del funzionamento della mente e dell'apprendimento sono stati esaminati e concettualizzati da diversi orientamenti psicologici, ognuno dei quali ne ha privilegiato lo studio e l'approfondimento da una particolare prospettiva. Il filone comportamentista si è focalizzato sull'aspetto più prettamente comportamentale e legato al condizionamento; le neuroscienze cognitive hanno studiato il funzionamento della mente fondandosi sulle conoscenze riguardo le sue basi biologiche; l'orientamento psicoanalitico ha sottolineato la centralità degli stati psichici non consapevoli; ed infine, la psicologia cognitiva si è concentrata sui processi e sulle abilità cognitive della mente. (Cornoldi et al., 2018)

All'interno della società, nel tempo, si è sempre data più importanza e attenzione a quello che da alcuni autori viene definito come apprendimento cognitivo, ovvero quell'insieme di processi di comprensione, conoscenza e anticipazione, fondati su attività mentali superiori e complesse (Coon & Mitterer, 2011), che ad oggi trovano la loro massima espressione nell'apprendimento formale scolastico ed accademico. L'apprendimento cognitivo comporta modificazioni concettuali e conoscitive e si basa su due attività fondamentali: l'acquisizione di nuove informazioni e il collegamento di queste a informazioni già presenti nella mente. Tali operazioni permettono il raggiungimento del successo scolastico grazie al coinvolgimento di varie dimensioni psichiche, che in letteratura vengono tradizionalmente classificate come ambientali o individuali. Nella

prima classe di fattori rientrano elementi socioculturali (famiglia, amici), istituzionali (organizzazione scolastica, docenti) e didattici (argomenti, metodi, compiti). Tra i fattori individuali, invece, si collocano sia funzioni di base e che processi trasversali di ordine superiore. Riguardo le prime, si distinguono dimensioni cognitive, come l'attenzione, la percezione, la memoria, il pensiero e l'intelligenza, e dimensioni motivazionali, quali la metacognizione, la motivazione, le emozioni e la socializzazione (Cornoldi et al., 2018; Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019). È necessario quindi, se si vuole comprendere il funzionamento dell'apprendimento, partire dalle abilità di base che ne sottendono il processo.

L'attenzione e la percezione, due dimensioni strettamente legate tra loro, consistono nella capacità di operare una selezione rispetto alla totalità degli stimoli esterni o interni (attenzione), perché accedano al successivo stadio di elaborazione, ovvero all'attribuzione di un senso o significato (percezione). La ricerca scientifica indica l'esistenza di tre fasi all'interno dell'attenzione: l'attivazione, la focalizzazione ed infine la gestione delle risorse attentive. Ognuna di queste tre operazioni risulta centrale in tre differenti tipi di attenzione: l'attenzione selettiva coinvolge maggiormente la focalizzazione, l'attenzione sostenuta fa leva sul processo di attivazione e l'attenzione divisa si basa in maggior misura sulla gestione delle risorse attentive. Per quanto riguarda la percezione, la ricerca scientifica ha suggerito la ripartizione tra due categorie di processi: i processi bottom-up ed i processi top-down. All'interno dell'apprendimento, il loro ruolo è fondamentale, in quanto è attraverso le dimensioni di attenzione e percezione che l'individuo ha accesso, mantiene il focus e dà significato al materiale da apprendere, alle informazioni su cui lavorare o al compito da eseguire. (Cornoldi et al., 2018)

La memoria può essere definita come la capacità di acquisire, conservare e recuperare esperienze ed informazioni. Essa è composta da una serie di sistemi interconnessi, differenti per funzione, capacità e durata, i quali operano al fine di svolgere tre funzioni sequenziali tra loro: la codifica, ovvero l'elaborazione dell'input in ingresso, l'immagazzinamento, ovvero la conservazione dell'input codificato, ed infine il recupero dell'informazione dall'archivio di memoria. La memoria risulta essenziale per l'apprendimento, in quanto funge da archivio in cui trovare le informazioni a cui collegare le nuove conoscenze e svolge la funzione di garante che tali informazioni siano

effettivamente archiviate, per poter essere utilizzate nuovamente in seguito. (Cornoldi et al., 2018)

Il pensiero consiste in un insieme di processi, legati alla creazione di immagini mentali e alla costruzione di concetti e categorie, attraverso l'uso di inferenze. Un elemento essenziale per l'attività del pensiero è rappresentato, quindi, dal linguaggio, che funge da mezzo per l'uso del pensiero stesso. Sulla base di queste attività, all'interno di questa dimensione, si sviluppano processi di maggiore livello, come il ragionamento deduttivo ed induttivo, il problem solving, il decision making ed il pensiero creativo. Le strutture del pensiero (come i concetti e le immagini mentali), il ragionamento induttivo e deduttivo, il problem solving, il decision making e i processi linguistici ad essi collegati si dimostrano essenziali per l'apprendimento, in particolare nelle discipline e nei compiti in cui è richiesta la manipolazione di informazioni e la risoluzione di problemi e quesiti. L'intelligenza è un costrutto molto complesso, la cui definizione più generalmente accettata all'interno dell'ambiente scientifico è di "capacità generale di agire in maniera finalizzata, di pensare razionalmente e di interagire in modo efficace con l'ambiente" (Coon & Mitterer, 2011). Tale dimensione è costituita da capacità mentali generali ed è strettamente legata a molte attività, quali il ragionamento, il problem solving, la memoria e l'adattamento all'ambiente. Questo costrutto risulta, molto più di altri, ampiamente variabile a livello interindividuale, emergendo così come un importante fattore da tenere in considerazione nell'apprendimento, soprattutto se si tratta dell'apprendimento formale all'interno di un contesto scolastico di classe. (Cornoldi et al., 2018)

La metacognizione è una dimensione che riguarda le idee prodotte da ciascun individuo riguardo il funzionamento della mente, proprio e altrui. Essa include autovalutazioni, credenze, percezioni e stili attributivi (ovvero valutazioni riguardo a responsabilità esterne o interne, più o meno controllabili e stabili, rispetto ad una situazione). Una particolare attività ascrivibile alla sfera metacognitiva è il controllo o monitoraggio metacognitivo, definito come l'insieme dei processi auto-regolativi che hanno la finalità di verificare il successo di un'operazione o, al contrario, il suo insuccesso, a cui far seguire una modifica del proprio comportamento per la risoluzione del compito. Queste componenti risultano importanti nel corso dell'apprendimento, in quanto il possesso di tali competenze permette all'individuo una maggiore consapevolezza nell'affrontare

eventuali difficoltà e insuccessi nell'apprendimento e nella risoluzione di compiti. (Cornoldi et al., 2018)

La motivazione è una disposizione che spinge l'individuo, in modo più o meno consapevole, ad essere attratto da determinati stimoli, situazioni e compiti. Questa spinta è strettamente legata alla percezione di competenza che si ha di se stessi, alla percezione di autoefficacia e alla percezione del valore del compito. Gli aspetti motivazionali che riguardano la percezione di essere competenti e l'autoefficacia risultano fondamentali per poter affrontare l'apprendimento con un atteggiamento positivo e propositivo, che ne facilita il successo. (Cornoldi et al., 2018)

Le emozioni, legate alla percezione di controllo rispetto al compito e al valore del compito stesso, possono influenzare in modo innegabile l'apprendimento, facilitandone o, al contrario, ostacolandone il corso. Sperimentare un vissuto emotivo positivo può favorire l'apprendimento e la regolazione funzionale delle emozioni, mentre un vissuto emotivo negativo può impedire una buona acquisizione di nuove conoscenze, risoluzione di compiti o regolazione dei propri stati emotivi e psichici. (Cornoldi et al., 2018)

La socializzazione, intesa sia come mezzo che come contesto dell'apprendimento, risulta un elemento fondamentale. Ad esso è legato anche lo sviluppo dell'autoregolazione, intesa come capacità di gestire in modo autonomo strategie e motivazioni funzionali all'esecuzione di compiti. All'interno di questa sfera, inoltre, si può rintracciare l'origine e lo sviluppo della dimensione dell'autostima, ovvero la valutazione e valorizzazione generale di se stessi, in quanto parzialmente dipendente dal supporto ambientale. Dunque, appare evidente come gli aspetti relazionali della socializzazione e la co-costruzione della conoscenza siano elementi chiave per l'apprendimento. (Cornoldi et al., 2018)

All'interno dell'apprendimento, concorrono anche processi di ordine superiore, trasversali alle dimensioni sia cognitive che motivazionali, i quali ne permettono l'efficienza funzionale e la gestione: si tratta della velocità di elaborazione e delle funzioni esecutive. (Cornoldi et al., 2018)

Per velocità di elaborazione (*speed of processing*) si intende la rapidità della mente nell'esecuzione di un'attività psichica. L'assunto di base è che operazioni mentali più complesse implicino la combinazione di più operazioni semplici, per cui una maggiore rapidità nell'esecuzione comporta più tempo e spazio mentale a disposizione per ulteriori operazioni. Si può facilmente evincere come una maggiore velocità di elaborazione

comporti, all'interno dell'apprendimento, una maggiore rapidità di acquisizione di conoscenze e la possibilità dell'esecuzione di operazioni di maggiore complessità. (Cornoldi et al., 2018)

Il termine “funzioni esecutive” (*executive functions*) è utilizzato per descrivere una serie di abilità dominio-generalì alla base dei comportamenti finalizzati e complessi. Si tratta di un insieme di processi mentali di alto livello, di tipo top-down, che permettono agli individui di regolare i propri pensieri, le proprie emozioni e le proprie azioni, in funzione di un obiettivo da raggiungere. (De Franchis & Usai, 2013; Diamond, 2013; Friedman & Miyake, 2017; McClelland et al., 2007) Questa categoria di attività psichiche gioca un ruolo estremamente importante nella vita di ogni individuo, garantendo un funzionamento cognitivo, comportamentale, emotivo e sociale ottimale: difatti, le funzioni esecutive sono considerate fattori critici per il successo in termini di carriera lavorativa, vita matrimoniale, salute fisica e mentale (Anderson, 2002; Diamond & Lee, 2011; Diamond, 2013; Ferguson, Brunson & Bradford, 2021).

1.2 LE FUNZIONI ESECUTIVE

L'espressione “funzioni esecutive” include un'ampia categoria di processi neurocognitivi quali anticipazione, risoluzione di problemi, definizione degli obiettivi, pianificazione, mantenimento e manipolazione di informazione nella memoria di lavoro, inibizione intesa come interruzione di risposte automatiche e resistenza a stimoli distraenti, autoregolazione, multi-tasking, flessibilità mentale, monitoraggio e controllo attentivo, uso dei feedback. Queste operazioni mentali sono soggette ad ampia variabilità interindividuale: secondo la letteratura, le differenze tra soggetti sembrano riflettere un'eterogeneità a livello genetico che, grazie all'interazione con fattori ambientali, si manifesta nella diversità delle competenze esecutive. (Anderson, 2002; Best & Miller, 2010; Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Diamond, 2013; Ferguson, Brunson & Bradford, 2021; Friedman & Miyake, 2017; Huizinga, Baeyens & Burack, 2018; Miyake & Friedman, 2013; Vicari & Caselli, 2017; Willoughby et al., 2019; Zelazo et al., 2014)

È stato ampiamente dimostrato come le funzioni esecutive siano una categoria di processi caratterizzata da una duplice natura di unità e diversità: difatti, nonostante sia possibile individuare una molteplicità di processi, differenti e almeno parzialmente indipendenti

tra loro, queste attività mentali mostrano anche l'esistenza di un'abilità sottostante comune a tutte. (Friedman & Miyake, 2017; Miyake et al., 2000; Miyake & Friedman, 2012)

C'è un generale accordo nella comunità scientifica riguardo l'esistenza di alcune componenti principali (*core EFs*) e, in particolare, molti studiosi concordano nell'individuazione di tre dimensioni cardine: l'inibizione (o controllo inibitorio), la memoria di lavoro (o *updating*) e la flessibilità cognitiva (o *shifting*). (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Diamond & Lee, 2011; Diamond et al., 2007; Miyake et al., 2000; Willoughby et al., 2019)

L'inibizione, definita anche come controllo inibitorio, viene descritta come l'abilità di sopprimere volontariamente risposte automatiche e comportamenti impulsivi, attraverso il controllo delle proprie azioni, dei propri pensieri e delle proprie emozioni, in favore di risposte necessarie o più adeguate. Di conseguenza, questa competenza, che opera sia in termini comportamentali che cognitivi, modula l'espressione del proprio comportamento, permettendo la messa in atto di azioni appropriate grazie ad una scelta ragionata. All'interno di questa attività mentale si possono riconoscere vari aspetti come il controllo inibitorio dell'attenzione, strettamente legato all'attenzione selettiva in cui si inibiscono degli stimoli in favore di altri; l'inibizione cognitiva, ovvero la soppressione di rappresentazioni mentali, pensieri o ricordi; ed infine, l'autocontrollo comportamentale, che consiste nel non agire impulsivamente o nel resistere a distrazioni. (Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Diamond, 2013; Miyake et al., 2000; Willoughby et al., 2019)

La memoria di lavoro, definita in alcuni modelli dal suo aspetto di *updating*, appartiene alla dimensione multicomponentiale della memoria, in particolare come un particolare sistema di elaborazione all'interno della memoria a breve termine, avente funzioni sia processuali che di magazzino. Essa, difatti, consiste in uno spazio in cui avvengono contemporaneamente due processi distinti e strettamente correlati tra loro: il mantenimento temporaneo di una delimitata quantità di informazione e la manipolazione delle stesse in base anche alla ricezione di nuovi input attraverso una sorta di aggiornamento, l'*updating*. Quest'ultimo aspetto, in particolare, consiste nel rivisitare i contenuti presenti nella memoria di lavoro, ovvero sostituire le informazioni non più rilevanti con altre più recenti e di maggiore rilevanza. Il modello maggiormente affermato

nella comunità scientifica postula l'esistenza di varie componenti all'interno della memoria di lavoro: a supporto di un sistema con limitata capacità esecutiva (sistema esecutivo centrale), operano due sistemi periferici di immagazzinamento distinti in funzione della natura del contenuto manipolato (circuito fonologico e taccuino visuo-spaziale). Il sistema esecutivo centrale (*central executive*) è un elaboratore di informazione multisensoriali, che ne permette il collegamento attraverso il coordinamento degli altri sottosistemi dal contenuto mono-sensoriale. Il circuito fonologico (*phonological loop*), formato dal magazzino fonologico e dal sistema articolatorio, permette il mantenimento e la reiterazione di informazioni di tipo acustico, attraverso un codice di natura fonologica. Il taccuino visuo-spaziale (*visuospatial sketchpad*), composto a sua volta dal nascondiglio visivo e dallo scrivano interno, riguarda il mantenimento e l'elaborazione di contenuto visivo e spaziale, a livello sia percettivo che mentale. All'interno di questo modello, è stata postulata l'esistenza anche di una quarta componente, ovvero un terzo sottosistema finalizzato al collegamento delle diverse informazioni in unità integrate e coerenti come episodi ed eventi, denominato buffer episodico (*episodic buffer*). (Anolli e Legrenzi, 2012; Baddeley, 2003; Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Daneman & Carpenter, 1980; Diamond, 2013; Feldman, Amoretti & Ciceri, 2021; Miyake et al., 2000; Vicari & Caselli, 2017; Willoughby et al., 2019)

La flessibilità cognitiva riguarda la capacità di cambiare prospettiva, ovvero di riconfigurare rapidamente l'organizzazione mentale in essere, per poter spostare il focus da un'operazione ad un'altra, da un aspetto di un compito ad un altro dello stesso o da un set mentale ad un altro. Quest'abilità implica quindi poter scegliere tra una serie di alternative per la risoluzione di un problema o poter modificare in modo flessibile la propria strategia in funzione di un migliore adattamento a richieste o condizioni modificate: tutto ciò permette quindi di affrontare problemi complessi analizzando lo stesso da più punti di vista. (Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Miyake et al., 2000; Willoughby et al., 2019)

A partire da questi tre nodi centrali, si sviluppano funzioni esecutive di più alto livello, come il ragionamento, il problem solving e la pianificazione (Diamond, 2013).

Alcuni ricercatori hanno, tuttavia, postulato l'esistenza di una quarta componente oltre alle dimensioni sopracitate, ovvero la pianificazione (*planning*): si tratta

dell'anticipazione dell'esecuzione di un compito attraverso l'applicazione di strategie, delineandosi come strettamente legate alla risoluzione di problemi (*problem solving*). (Anderson, 2002; Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Ferguson, Brunson & Bradford, 2021)

A livello cerebrale, diversi studi hanno confermato come le funzioni esecutive siano modulate dall'attivazione neuronale della corteccia prefrontale, anche se a causa della complessità di queste operazioni mentali tali regioni cerebrali si avvalgono di sistemi più ampi grazie a collegamenti con altre regioni. (Anderson, 2002; Best & Miller, 2010; Ferguson, Brunson & Bradford, 2021)

Essendo le funzioni esecutive strettamente legate al loro substrato neurale, non sorprende che il loro sviluppo sembri riflettere la maturazione cerebrale della corteccia prefrontale, pur se con la moderazione di fattori ambientali e contestuali (Huizinga, Baeyens & Burack, 2018).

Una prima osservazione riguardo l'evoluzione delle funzioni esecutive è relativa al loro utilizzo: soggetti come bambini e anziani, tendono ad usare le funzioni esecutive in modo reattivo rispetto a stimoli ambientali, mentre soggetti come adolescenti e giovani adulti tendono ad un loro utilizzo più proattivo, anticipatorio e pianificato. (Diamond, 2013)

In linea generale, le funzioni esecutive emergono nella prima infanzia, come competenze di base prima dei 3 anni circa, per poi evolversi nell'età scolare e nell'adolescenza, con il raggiungimento di una maturità massima che varia in funzione della specifica funzione esecutiva. (Ferguson, Brunson & Bradford, 2021)

Per quanto riguarda lo sviluppo dell'inibizione, i primi segni di questa abilità compaiono intorno ai 3-4 anni di età, con un significativo miglioramento fino agli 8 anni, età a seguito della quale i miglioramenti acquisiti sono di tipo prettamente quantitativo in termini di accuratezza. (Anderson, 2002; Best & Miller, 2010; Diamond, 2013)

Lo sviluppo della memoria di lavoro nella sua funzione di magazzino inizia molto precocemente, entro l'anno di vita, anche se con capacità più limitata. La capacità di mantenimento e manipolazione, tuttavia, è caratterizzata da uno sviluppo più tardivo e progressivo, con un successivo peggioramento con l'avanzare dell'età. A tutte le età, sembra che lo sviluppo della memoria di lavoro visuo-spaziale sia caratterizzata da performance migliori rispetto alla memoria di lavoro verbale, pur presentando entrambe

traiettorie evolutive simili caratterizzate da un graduale miglioramento fino alla fine dell'adolescenza. (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013)

La flessibilità cognitiva emerge come capacità intorno ai 3-4 anni di età, in presenza tuttavia di regole semplici. Tra i 7 e i 9 anni, la capacità di spostarsi tra compiti multidimensionale migliora in modo significativo, fino all'adolescenza, età in cui si sviluppa una flessibilità cognitiva comparabile a quella adulta. (Anderson, 2002; Best & Miller, 2010)

Tutti questi processi giocano un ruolo fondamentale nell'apprendimento, occupando un posto sempre più di rilievo all'interno della letteratura scientifica riguardo i fattori influenti sulla prestazione scolastica: pur svolgendo un ruolo in tutte le attività mentali, infatti, esse assumono particolare rilevanza negli ambiti di attenzione, ragionamento e memoria, i quali risultano fondamentali per il processo dell'apprendimento. (De Franchis & Usai, 2013; Diamond, 2013; Friedman & Miyake, 2017; McClelland et al., 2007) Diversi studi dimostrano come le funzioni esecutive siano correlate alla performance accademica e abbiano un buon potere predittivo rispetto il successo scolastico in vari momenti evolutivi, pur se modulato anche da fattori contestuali quali famiglia, pari ed insegnanti (Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Diamond & Lee, 2011; Diamond et al., 2007; Huizinga, Baeyens & Burack, 2018; Willoughby et al., 2019).

1.3 LE FUNZIONI ESECUTIVE NEGLI APPRENDIMENTI SCOLASTICI

L'apprendimento cognitivo, come già descritto, ad oggi trova la sua collocazione massima all'interno dell'apprendimento formale, ovvero all'interno delle istituzioni scolastiche che la società riserva agli individui della fascia dell'età evolutiva. In particolare, l'acquisizione degli apprendimenti scolastici fondamentali quali lettura, scrittura e calcolo matematico, avviene nel ciclo di studi che si colloca all'età scolare degli individui, ovvero la fascia di età tra i 6 e gli 11 anni circa.

La lettura si delinea come un'acquisizione fondamentale non solo per la sfera cognitiva, ma in generale per lo sviluppo dell'individuo all'interno di una società alfabetizzata, in cui leggere è uno strumento di accesso alla cultura, alla socialità, alle relazioni e al mondo in generale. La lettura intesa come apprendimento scolastico fondamentale deve essere distinta nei suoi due aspetti che la compongono: la lettura decifrativa o strumentale,

ovvero la decodifica attraverso l'associazione grafema-fonema, e la lettura come comprensione del testo, ovvero l'attribuzione di un significato a ciò che è stato decodificato. Si tratta di due processi cognitivi differenti e almeno parzialmente indipendenti tra loro, che risultano però interconnessi e poco distinguibili nell'attività della lettura esperta. Il modello neuropsicologico a due vie di Coltheart, relativo alla lettura decifrativa, sostiene l'esistenza di due percorsi paralleli per la decodifica del testo scritto: una via lessicale (o diretta), che si serve del magazzino lessicale, e una via fonologica (o indiretta o sublessicale), che utilizza le regole di conversione grafema-fonema. L'ipotesi è che la mente abbia bisogno di entrambe le vie, che vengono impiegate in funzione del testo da decodificare: a fronte di parole conosciute, la via lessicale permette di ottimizzare la lettura, ma nel caso di uno stimolo sconosciuto, la via sublessicale ne permette la decodifica e quindi la lettura. (Cornoldi et al., 2018) La lettura intesa come comprensione del testo, invece, è definita da più modelli come un processo attivo di costruzione del significato del testo, dipendente dalle informazioni ricavate dal testo e dalle informazioni possedute dal lettore: risulta evidente, quindi, come vengano impiegati sia processi bottom-up che processi top-down di elaborazione, quali l'attivazione delle informazioni rilevanti e l'inibizione delle informazioni non rilevanti. Tra i processi sottostanti la comprensione, si possono individuare: la memoria a lungo termine, a cui si attinge per il magazzino lessicale e le conoscenze necessarie per la comprensione del testo; la memoria di lavoro, che permette di mantenere e lavorare sulle informazioni, per poter attribuire loro un significato; il pensiero inferenziale, che permette di dedurre le informazioni non esplicitamente scritte nel testo ma necessarie per comprenderne il senso; e la metacomprendimento, ovvero i processi metacognitivi riguardo la comprensione del testo. L'apprendimento della lettura avviene nei primi due/tre anni della scuola primaria e si affina con l'età, in particolare per quanto riguarda l'aspetto più prettamente strumentale, che si automatizza al punto da rendere disponibili maggiori risorse cognitive per la comprensione del testo. Inoltre, esistono specifici precursori dell'età prescolare, ovvero delle abilità che costituiscono una condizione necessaria per il corretto apprendimento delle funzioni strumentali (Isidori & Prospero, 2019; Maniscalco et al., 2015). Diversi studi dimostrano come le funzioni esecutive siano associate alle componenti della lettura e ne siano predittive, in tutti gli anni scolastici (Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Daneman & Carpenter, 1980;

Diamond & Lee, 2011; Diamond et al., 2007; Huizinga, Baeyens & Burack, 2018; Willoughby et al., 2019). Inoltre, è stata confermata l'esistenza di una relazione tra i prerequisiti degli apprendimenti alfabetici e le funzioni esecutive: è stato dimostrato il coinvolgimento della memoria di lavoro sia verbale che visuo-spaziale ed è emersa una relazione tra il controllo inibitorio e il prerequisito della consapevolezza fonologica, ovvero la capacità di elaborare e manipolare aspetti fonologici del linguaggio orale (De Franchis & Usai, 2013).

La scrittura può essere concepita come una dimensione dell'apprendimento costituita da tre componenti fondamentali, che, seppur interrelate, risultano almeno in parte indipendenti tra loro: il grafismo, l'ortografia e l'espressione scritta. I primi due elementi costituiscono gli aspetti strumentali della scrittura, mentre l'ultimo rappresenta la competenza testuale intesa come strumento di espressione. La competenza grafo-motoria (o grafismo) è costituita da una serie di abilità che consentono la riproduzione di singoli segni grafici, attraverso il recupero del pattern motorio e l'esecuzione dello stesso. Alla base del grafismo, vi sono lo sviluppo della motricità fine e della coordinazione visuo-motoria. La competenza ortografica (o ortografia) si basa sul rispetto delle regole di scrittura dello specifico sistema della lingua, le quali permettono la codifica fonema-grafema. La competenza testuale (o espressione scritta) riguarda la capacità di scrivere testi, in funzione di precisi contesti e scopi. Tale abilità implica la combinazione di numerosi processi cognitivi (concernenti l'attenzione, il pensiero e la memoria), con attività metacognitive, come il monitoraggio metacognitivo, ed elementi sociali, riguardanti il contesto e lo scopo del testo scritto. L'apprendimento del grafismo e dell'ortografia avviene nei primi due/tre anni della scuola primaria, in concomitanza con l'apprendimento della lettura: funzioni strumentali di scrittura e lettura risultano strettamente legate, non solo perché entrambe basate sulla manipolazione di grafemi e fonemi, ma anche perché l'acquisizione di uno strumento facilita l'apprendimento dell'altro. Lo sviluppo della competenza testuale, di maggiore complessità e dipendente da molti altri processi, è caratterizzato da un graduale miglioramento lungo un arco temporale maggiore. (Cornoldi et al., 2013)

La matematica non si presenta come una materia unitaria, ma si può concepire come articolata in diversi aspetti, in parte indipendenti gli uni dagli altri, che comprendono l'aritmetica, la geometria, la risoluzione di problemi e la statistica. L'abilità fondamentale

alla base del ragionamento matematico è il calcolo, ovvero l'insieme dei processi che permettono di operare sui numeri tramite operazioni aritmetiche. Vari sono gli elementi che entrano in gioco nell'attività di calcolo: innanzitutto, vi sono i segni delle operazioni; all'interno della memoria a lungo termine, si trovano i fatti aritmetici, ovvero semplici calcoli "automatizzati" (ad esempio, le tabelline); un'ulteriore componente è la conoscenza delle procedure del calcolo, sia generiche che specifiche. È importante distinguere, inoltre, tra calcolo a mente e calcolo scritto, i quali si diversificano in modo sostanziale nelle procedure con cui vengono risolti: il calcolo a mente si serve maggiormente di strategie cognitive, mentre il calcolo scritto è ancorato all'applicazione di specifiche procedure più o meno automatizzate. Un'altra abilità fondamentale all'interno della disciplina della matematica è la risoluzione dei problemi, che risulta molto complessa e che tipicamente avviene con una sistematica applicazione di varie fasi, sequenziali tra loro e caratterizzate da particolari tipi di conoscenza, dominio-specifica o dominio-generale. L'abilità del calcolo si sviluppa dall'inizio della scuola primaria, ma si possono ritrovare alcuni prerequisiti presenti in età prescolare di tipo specificamente matematico, come le abilità di subitizing, del conteggio verbale e della cardinalità, o di tipo dominio-generale, come la memoria di lavoro visuo-spaziale. Lo sviluppo di memoria di lavoro, comprensione del testo, abilità metacognitive (come il monitoraggio metacognitivo) e altre abilità cognitive supportano sempre più l'acquisizione delle varie abilità matematiche, soprattutto nei suoi aspetti più complessi. (Cornoldi et al., 2013)

Diversi studi dimostrano come le funzioni esecutive siano associate alle competenze matematiche e siano predittive, in tutti gli anni scolastici, delle stesse (Cortés Pascual, Moyano Muñoz & Quílez Robres, 2019; Diamond & Lee, 2011; Diamond et al., 2007; Huizinga, Baeyens & Burack, 2018; Willoughby et al., 2019). Inoltre, i prerequisiti matematici hanno una relazione con le varie componenti delle funzioni esecutive: in particolare, appare evidente un generale coinvolgimento della memoria di lavoro, con un particolare contributo della memoria di lavoro e della flessibilità cognitiva rispetto alla capacità di conteggio ed una relazione tra gli aspetti pre-sintattici del numero e la flessibilità cognitiva (De Franchis & Usai, 2013).

CAPITOLO 2.

GLI EFFETTI COGNITIVI DEL RUMORE SU BAMBINI IN ETÀ SCOLARE

Il processo dell'apprendimento, inteso come l'acquisizione di abilità e competenze gradualmente più complesse e articolate, risulta dalla convergenza di molteplici fattori, di natura non esclusivamente individuale, ma anche di origine ambientale. L'integrazione delle dimensioni cognitive ed emotivo-motivazionali è mediata, infatti, da elementi esterni all'individuo, i quali possono fungere da promotori o, al contrario, da ostacoli per un apprendimento ottimale. (Fernandes, Vidor & Oliveira, 2018)

In particolare, al fine di garantire il benessere psicofisico degli studenti in termini di rilassatezza, salute e performance cognitiva ed accademica, risulta determinante la qualità dell'ambiente interno alla classe, che comprende caratteristiche relative a diversi ambiti, quali la qualità dell'aria, la qualità acustica, la qualità termica e la qualità visiva, e che i bambini, pur se in maniera diversificata e disomogenea, percepiscono nelle sue varie dimensioni come impattanti sulla propria esperienza scolastica (Bluyssen et al., 2018; Zhang, Ortiz & Bluyssen, 2018).

All'interno del contesto di classe, in particolare, ciò che può compromettere le performance degli studenti è la costante esposizione a numerosi distrattori ambientali, tra cui un ruolo di particolare rilevanza è svolto dal rumore. Tale osservazione risulta ancora più valida se si considerano fasce di età come l'età prescolare e scolare, in cui i bambini sono impegnati nell'acquisizione di abilità essenziali di base su cui si fondano tutte le competenze di maggiore livello che verranno apprese ed utilizzate nel corso dello sviluppo successivo. (Fernandes, Vidor & Oliveira, 2018; Picard & Bradley, 2001)

2.1 IL RUMORE

In termini esclusivamente fisici, non esiste una definizione differenziata di rumore rispetto al concetto di suono: quest'ultimo consiste in una percezione sensoriale, frutto dell'elaborazione, da parte dei processi uditivi neurofisiologici, di una serie di onde

sonore, ovvero oscillazioni di compressione e rarefazione delle molecole dell'aria (Berglund et al., 1999; Coon & Mitterer, 2011). In funzione dell'integrazione delle sue caratteristiche, il suono può essere classificato secondo diverse etichette lessicali (rumore, parlato, musica): di conseguenza, la definizione di rumore non si può basare esclusivamente su parametri fisici (Berglund et al., 1999).

A livello puramente psicofisico, il rumore viene qualificato come una stimolazione, non esclusivamente di natura uditiva, interferente con la percezione di altri stimoli (Feldman, Amoretti & Ciceri, 2021). Una definizione uditiva di rumore può essere “suono indesiderato”, percepito quindi non in funzione delle sue caratteristiche fisiche, quanto in funzione di un giudizio individuale di tipo negativo, per cui l'esposizione allo stesso viene vissuta come fastidiosa e stressante (Berglund et al., 1999; Massonnié et al., 2022; Stansfeld & Matheson, 2003).

Il suono e il rumore possono essere descritti secondo una serie di caratteristiche fisiche, tra cui le più rilevanti e determinanti sono la frequenza e l'ampiezza.

Con il termine “frequenza”, la cui unità di misura è l'Hertz (Hz), si intende il numero di onde sonore (vibrazioni complete) al secondo. L'uomo è sensibile a suoni compresi tra i 20 e i 20.000 Hz, spettro uditivo al di sotto del quale si trovano gli infrasuoni e al di sopra del quale si collocano gli ultrasuoni. La sensibilità del sistema uditivo umano, però, non risulta omogeneo: alcune frequenze, infatti, sono avvertite in modo maggiore rispetto ad altre. A livello percettivo, la frequenza corrisponde all'altezza del tono di un suono, per cui è possibile classificarlo come acuto o grave; è importante considerare, d'altra parte, che non esiste una netta distinzione categorica, in quanto nella realtà quotidiana molti dei suoni ambientali risultano dall'integrazione di più frequenze. (Berglund et al., 1999; Coon & Mitterer, 2011; Feldman, Amoretti & Ciceri, 2021)

L'ampiezza di un suono è una caratteristica delle forme dell'onda, in particolare corrisponde al tratto tra alti e bassi nella pressione delle onde sonore, e percettivamente determina l'intensità (o volume) del suono, per cui è possibile descriverlo come forte o debole. L'ampiezza è strettamente legata al livello di pressione del suono, che può essere definito come una misura dell'effettiva pressione delle vibrazioni nell'aria che costituiscono il suono stesso (Basner et al., 2013; Berglund et al., 1999). Il livello della pressione sonora viene misurato su una scala logaritmica, la cui unità di misura è il Decibel (dB): l'uomo può rilevare un'ampia gamma di suoni in termini di ampiezza,

anche al di sopra della soglia dannosa per la salute dell'apparato acustico, ovvero 120 dB. (Berglund et al., 1999; Coon & Mitterer, 2011; Dockrell & Shield, 2006; Feldman, Amoretti & Ciceri, 2021)

Il rumore, inteso come suono indesiderato, sia in funzione delle sue caratteristiche fisiche che dell'attribuzione negativa che ne viene fatta dall'uomo, può comportare danni a livello psicofisico: per queste motivazioni, negli ultimi decenni, la comunità scientifica e le istituzioni governative ed internazionali si sono occupate di ciò che viene definito rumore comunitario (*community noise*), ovvero tutti i rumori originati da qualsiasi fonte uditiva con l'esclusione del contesto lavorativo industriale, riflettendo sulle sue caratteristiche e sulle conseguenze che esso può avere. (Berglund et al., 1999)

Il rumore comunitario può provenire da molteplici sorgenti, come i trasporti (tra cui il traffico stradale, ferroviario e aereo), il contesto residenziale (lavori edilizi e di manutenzione pubblica) e il contesto domestico (sia in termini di vicinato, che in termini di rumore interno all'abitazione personale). (Berglund et al., 1999)

In Unione Europea, è stato stimato che più del 50% degli abitanti di zone urbane altamente popolate (più di 250.000 abitanti) sono soggette a rumore ambientale di ampiezza superiore rispetto alla soglia considerata rischiosa per la salute (Basner et al., 2013). Di conseguenza, sono state attivate e sono tutt'ora in atto una serie di iniziative per il monitoraggio del rumore ambientale e dei suoi effetti. Tra queste, vengono svolte delle interviste sulla popolazione a cadenza quadriennale, i cui risultati del 2016-2017, che hanno coinvolto circa 37.000 cittadini europei, mostrano come il 32% delle persone dichiarino il rumore residenziale e domestico come un problema, percentuale che aumenta nelle aree urbane o suburbane fino al 49%. Inoltre, secondo un'intervista svolta in 27 paesi dell'Unione Europea nel 2010, l'80% della popolazione ritiene che il rumore comunitario influisca sulla propria salute, in misura moderata o severa. (WHO. Regional Office for Europe, 2018)

Le conseguenze che il rumore può avere sull'uomo non si limitano solo all'aspetto uditivo e acustico, ma abbracciano anche sfere e domini cognitivi, emotivi, sociali e fisiologici di altra natura: trattare di effetti non-uditivi del rumore implica, quindi, considerare la totalità degli effetti sulla salute e sul benessere, originati dall'esposizione al rumore, ad eccezione degli effetti sul sistema uditivo e sul mascheramento di informazioni uditive. Le aree maggiormente coinvolte dagli effetti del rumore risultano essere la sfera del

sonno, la cognizione (in particolare nelle fasce dell'età evolutiva), la salute cardiovascolare, l'equilibrio endocrino, l'ambito psicologico e mentale. (Basner et al., 2013; Stansfeld & Matheson, 2003)

Di conseguenza, il rumore come problematica ambientale è al centro di molti documenti nazionali ed internazionali, che puntano alla delineazione di misure che possano limitare le conseguenze del rumore stesso sul benessere psicofisico dei singoli individui e delle comunità nella loro interezza. (Berglund et al., 1999; Circolare Ministeriale n.3150/1967; D.P.C.M. 05/12/1997; WHO. Regional Office for Europe, 2018)

In molte di queste relazioni, è interessante notare come ci sia un'attenzione particolare per gruppi di soggetti definiti come vulnerabili, in quanto più sensibili agli effetti, uditivi e non, del rumore sul proprio benessere psicofisico: tra questi, vengono inseriti anche i bambini (Berglund et al., 1999; Clark & Paunovic 2018; Haines et al., 2001; WHO. Regional Office for Europe, 2018). La loro vulnerabilità è data da vari elementi: il sistema uditivo non è ancora completamente maturo e le funzioni esecutive sono ancora in una fase di sviluppo, per cui rispetto agli adulti i bambini risentono maggiormente di condizioni acustiche sfavorevoli (Gheller et al., 2020; Osman & Sullivan, 2014; Sullivan, Osman & Schafer, 2015); i processi cognitivi non ancora automatizzati e una ridotta capacità di fronteggiare i distrattori e gli stimoli irrilevanti dall'ambiente esterno rendono gli effetti non uditivi del rumore ancora più dannosi, per le attività cognitive dei più piccoli rispetto a quanto avviene nella popolazione adulta. (Klatte, Berström & Lachmann, 2013; Minichilli et al., 2018)

2.2 LISTENING E COGNITIVE EFFORT

Condizioni acustiche avverse, come l'interferenza del rumore, hanno molteplici conseguenze, tra cui l'impossibilità di percepire e comprendere in modo corretto ciò che viene comunicato (*speech intelligibility* o *perception*). All'interno del contesto scolastico, i bambini sperimentano l'acquisizione di nuove conoscenze tramite l'insegnamento, il quale è mediato principalmente dalla comunicazione orale. La presenza di fattori interferenti con il processo comunicativo, quindi, comporta effetti dannosi anche nel versante educativo e formativo dell'apprendimento degli studenti. A causa del rumore ambientale in competizione con la voce dell'insegnante, c'è una richiesta di maggior livello di concentrazione e attenzione sostenuta, a cui possono

seguire l'insorgere di stati emotivi stressanti. È necessario, quindi, considerare e valutare l'eventuale presenza di condizioni avverse, definibili come l'esistenza di qualsiasi fattore in grado di ridurre l'intelligibilità acustica (*speech intelligibility*). (Mattys et al., 2012; Persson et al., 2013; Prodi et al., 2019; Sanz, Garcia & Garcia, 1993; van den Tillaart-Haverkate et al., 2017)

La capacità di *speech intelligibility*, ovvero di comprendere l'output acustico del linguaggio parlato in base agli elementi che lo caratterizzano e che ne permettono la comprensione da parte dell'ascoltatore, è dipendente da diversi fattori riguardanti chi parla, chi ascolta e l'ambiente in cui la comunicazione avviene. Questo compito percettivo, infatti, coinvolge una serie di processi sensoriali e neurocognitivi che lo rendono complesso e vulnerabile a vari elementi individuali ed ambientali, tra cui la presenza di rumore. (Gheller et al., 2020; Osman & Sullivan, 2014; Peelle, 2017)

La *speech intelligibility* si compone di due fasi: la prima consiste in processi sensoriali bottom-up che riguardano l'identificazione dei fonemi e degli elementi acustici; di seguito, avviene una seconda fase di processi cognitivi top-down, in cui funzioni cognitive di più alto ordine, come attenzione e memoria di lavoro, permettono di trasformare i suoni recepiti in unità dotate di significato, grazie al ricorso alle conoscenze linguistiche pregresse del soggetto che ascolta. Quando il contenuto linguistico entra in competizione con altri stimoli distrattori come il rumore, la *speech intelligibility* risulta più complessa a carico dei suoi aspetti top-down, per cui sono richieste maggiori risorse cognitive. Infatti, in condizioni avverse come quelle appena descritte, è cruciale il ruolo delle funzioni esecutive e della cognizione: la memoria di lavoro uditiva, il monitoraggio attentivo, la flessibilità cognitiva. (Osman & Sullivan, 2014; Peelle, 2017; Prodi, Visentin & Farnetani, 2010; Rudner & Signoret, 2016) La *speech intelligibility* in presenza di rumore è una capacità che, pur iniziando a svilupparsi fin dall'infanzia, risulta particolarmente vulnerabile prima dei 13 anni e raggiunge prestazioni comparabili a quelle adulte solo in età tardo-adolescenziale.

Molti sono gli studi che hanno indagato come il rumore ambientale esterno o interno alla classe impatti sulla *speech intelligibility* nella comunicazione orale tra studenti ed insegnante (Crook & Langdon, 1974; Lamotte et al., 2021; Prodi et al., 2019). Una grande mole di ricerche scientifiche sul rumore esterno si è concentrata sul traffico aereo. È emerso che gli insegnanti mettono in atto una serie di comportamenti e strategie volte a

ridurre la degradazione della *speech intelligibility*, che d'altra parte rallentano ed interrompono il discorso: nel parlare all'intera classe, eseguono un numero maggiore di pause rispetto a situazioni di piccoli gruppi e, in caso di eventi acuti di rumore, come il passaggio di un aereo, interrompono il discorso o aspettano per iniziarne uno nuovo (Crook & Langdon, 1974). Studi di laboratorio pubblicati tra il 2009 e il 2019, riguardo l'effetto del chiacchiericcio interno alla classe sulla comprensione da parte degli studenti di informazioni verbali, mostrano risultati in linea con lavori svolti in vere e proprie classi scolastiche: nell'89% delle ricerche, infatti, il rumore ha compromesso le abilità di *speech intelligibility*, in misura via via maggiore al diminuire dell'età degli studenti. (Lamotte e colleghi, 2021)

A situazioni di degradazione acustica di questo tipo sono collegate due fenomeni psichici, uno di tipo prima percettivo e poi cognitivo, definito come *listening e cognitive effort* (affaticamento acustico e cognitivo), ed uno di natura emotivo-motivazionale, ovvero la *noise annoyance* (fastidio dovuto al rumore).

Con il termine "sforzo mentale" (*mental/cognitive effort*) si intende l'investimento volontario di risorse mentali nell'esecuzione di un compito, per superare degli ostacoli in esso, al fine di raggiungere un determinato obiettivo prefissato. (McGarrigle et al., 2017)

Lo "sforzo acustico", o *listening effort*, consiste in un particolare tipo di sforzo mentale: rappresenta, infatti, il sovraccarico cognitivo secondario a un compito acustico particolarmente difficoltoso (Howard, Munro & Plack, 2010; McGarrigle et al., 2014; Pichora-Fuller et al., 2016). L'esperienza di sfida acustica, alla base del *listening effort*, emerge dalla combinazione di fattori individuali dell'ascoltatore, elementi del suono target (solitamente un discorso) e caratteristiche acustiche ambientali, che convergono tutti a delineare il carico cognitivo richiesto all'ascoltatore, il quale in funzione della propria motivazione investirà risorse cognitive nel processamento acustico. (Peelle, 2017)

La percezione di un discorso, se in condizioni acustiche non ottimali, può comportare l'investimento di risorse cognitive (quali memoria di lavoro verbale, monitoraggio attentivo e flessibilità cognitiva) nel processo acustico, che solitamente invece si presenta come automatico, aumentando il carico cognitivo generale. A fronte di un alto carico cognitivo, la conseguenza comportamentale è un decremento della performance in termini di intellegibilità, ma anche nel caso in cui la percezione acustica si presenti come buona, non si può escludere sia frutto di uno sforzo cognitivo maggiore rispetto alla

norma. Questa seconda condizione, che implica quindi minori capacità cognitive di riserva disponibili, può essere rilevata in situazione multi-tasking, in particolare nell'esecuzione di altre operazioni mentali, che risulteranno in qualche misura inficiate in termini di accuratezza o di velocità di elaborazione. Questo tipo di processo, quindi, non necessariamente si riflette in una peggiore accuratezza acustica, ma può anche manifestarsi come una percezione sonora ottimale grazie a un coinvolgimento cognitivo maggiore, con una conseguente minore disponibilità cognitiva per processi di maggiore livello. (Gheller et al., 2020; Koelewijn et al., 2015; McGarrigle et al., 2014; Osman & Sullivan, 2014; Peelle, 2017; Rudner & Signoret, 2016; Visentin et al., 2018; Zekveld et al., 2014)

La misurazione dei costrutti di *listening* e *cognitive effort* può avvenire attraverso l'utilizzo di indici appartenenti a tre macrocategorie: si possono valutare indici di tipo fisiologico, di tipo comportamentale e di tipo soggettivo.

Gli indici di tipo fisiologico possono essere suddivisi in due tipologie, ovvero una prima riguardante misure dell'attività cerebrale, attraverso l'utilizzo di *neuroimaging*, e una seconda riferita a misurazioni dell'attività del sistema nervoso autonomo. Le principali tecniche di neuroimaging utilizzate sono quattro: la magnetoencefalografia (MEG) e i potenziali evento-correlati (ERP) vengono impiegati per determinare le attività neurali in risposta alla presentazione di un dato stimolo; la presenza di oscillazioni di potenza nell'elettroencefalogramma (EEG) viene interpretata in funzione di richieste cognitive specifiche nel tempo; ed infine, la risonanza magnetica funzionale (fMRI) permette una stima dell'attività cerebrale, attraverso la domanda neuronale di ossigeno. Attraverso l'utilizzo di queste tecniche di neuroimaging, è stato possibile individuare vari network cerebrali legati al *listening effort*, legati sia ad aree dominio-specifiche del linguaggio e dell'acustica, sia ad aree dominio-generalì concernenti processi cognitivi e funzioni esecutive. (Peelle, 2017; Pichora-Fuller et al., 2016) Le misure più propriamente fisiologiche si originano nel sistema simpatico del sistema nervoso autonomo e includono la risposta pupillometrica, la conduttanza cutanea, i livelli ormonali e la risposta cardiaca. (Pichora-Fuller et al., 2016) La pupillometria riguarda i cambiamenti fisiologici della pupilla ed in particolare i cambiamenti nel diametro della stessa. Questi ultimi riflettono l'attivazione di particolari regioni cerebrali, quali il locus coeruleus e il sistema noradrenalinico, e vengono interpretati come indici del carico cognitivo. (McGarrigle et

al., 2017; Peelle, 2017; Pichora-Fuller et al., 2016; Zekveld et al., 2014) La conduttanza cutanea, utilizzata anche per valutare l'attenzione automatica, la motivazione e la reattività emotiva, consiste nella misurazione della conduttanza di attività elettrica sulla superficie della pelle (Pichora-Fuller et al., 2016). I livelli di specifici ormoni permettono, invece, di valutare la risposta di stress di un individuo: una maggiore secrezione di cortisolo, infatti, è associata all'esperienza soggettiva di stress (Pichora-Fuller et al., 2016). Per quanto riguarda la risposta cardiaca, vengono presi in considerazione diversi parametri, afferenti sia al sistema nervoso simpatico che al sistema nervoso parasimpatico che, combinati tra loro, possono tracciare una valutazione della risposta del sistema nervoso autonomo a condizioni di affaticamento acustico e cognitivo. Il vantaggio di questi indici riguarda l'indipendenza rispetto l'esito comportamentale, per cui è possibile individuare il *cognitive effort* in termini psichici, anche a fronte di una performance ottimale. Tuttavia, non vi è ancora l'assoluta certezza che i cambiamenti fisiologici e neurali riflettano realmente differenze interindividuali e intraindividuali nei processi mentali. (McGarrigle et al., 2014; Pichora-Fuller et al., 2016).

Gli indici comportamentali riguardano la misurazione di specifici parametri delle performance, relativi in particolar modo ad abilità dominio-general e funzioni esecutive come attenzione, memoria (in particolare, la memoria di lavoro) e velocità di elaborazione. La valutazione di questi parametri avviene attraverso due indici: l'accuratezza e la rapidità. Per quanto riguarda l'accuratezza, si può ricorrere al paradigma del doppio compito (*dual-task paradigm*): partendo dall'assunto per cui le capacità cognitive sono limitate e di conseguenza un maggiore investimento in un processo determina una limitata disponibilità cognitiva per ulteriori operazioni mentali, si propongono due compiti simultanei (un compito primario e un compito secondario). Una performance peggiore nel compito secondario, quando svolto in presenza anche del compito primario (la sfida acustica che causa l'affaticamento), rispetto alla sua esecuzione in assenza del compito primario permette di valutare quanto quest'ultimo sia stato caricato e processato cognitivamente. La rapidità viene misurata attraverso i tempi di risposta, un indice che permette di valutare la velocità di elaborazione: maggiore rapidità implica maggiori risorse cognitive a disposizione, mentre al contrario un rallentamento nei tempi di risposta sottende una riduzione della disponibilità cognitiva. Questa tipologia di indici presenta, tuttavia, il limite di appoggiarsi su alcuni assunti

cognitivi: innanzitutto, che nell'esecuzione del paradigma del doppio compito la disponibilità cognitiva sia impiegata nei due compiti simultanei nella sua totalità; inoltre, l'ipotesi che l'individuo investa tutte le risorse disponibili rimaste dal compito primario in quello secondario. (McGarrigle et al., 2016; Peelle, 2017; Pichora-Fuller et al., 2016) Gli indici di tipo soggettivo dell'affaticamento acustico e cognitivo, infine, riguardano autovalutazioni raccolte attraverso questionari chiusi o scale valutative, per cui si valuta la percezione e l'esperienza soggettiva dell'individuo riguardo lo sforzo vissuto nell'affrontare la sfida acustica. Pur presentando il vantaggio di una raccolta dati veloce e semplice, questo tipo di indici si appoggia su valutazioni soggettive, che in quanto tali differiscono tra gli individui, non solo in termini di valutazione per sé, ma anche di attribuzione del significato, per esempio, alla parola "sforzo" o alle soglie ritenute critiche. (McGarrigle et al., 2014; Pichora-Fuller et al., 2016)

Due concetti vicini al costrutto di *listening effort* sono la *listening fatigue* e la *listening efficiency*. Il primo insorge quando i livelli di *listening effort* vengono mantenuti costantemente alti per lunghi periodi, come una sensazione di stanchezza e un peggioramento in termini fisici e cognitivi della performance, misurabile attraverso indici di tipo fisiologico e soggettivo (McGarrigle et al., 2017; Visentin et al., 2018). Il secondo è una misura diretta, in grado di rappresentare il costo energetico totale nell'esecuzione di un processo mentale, dai punti di vista sia percettivo che cognitivo, che permetterebbe di valutare, a parità di intelligibilità acustica, differenti condizioni acustiche. (Prodi, Visentin & Farnetani, 2010; Prodi & Visentin, 2015)

La *noise annoyance* può essere definita come una risposta soggettiva all'esposizione al rumore, caratterizzata da stati emotivi di segno negativo quali paura, rabbia e senso di impotenza. La sua valutazione avviene prevalentemente attraverso indici soggettivi, come questionari chiusi o scale di autovalutazione, ed in molti studi i punteggi relativi alla *noise annoyance* correlano con misurazioni di tipo acustico o con valutazioni di tipo fisiologico o comportamentale di *listening effort*, nonostante sia stato dimostrato come la *noise annoyance* sia un costrutto separato rispetto all'interferenza effettiva del rumore sulla performance (Massonnié et al., 2022). Sono stati individuati alcuni predittori acustici della *noise annoyance*: l'intensità del suono, reale o percepita; la frequenza del suono, che peggiora l'esperienza di *noise annoyance* all'aumentare del suo valore; la sua sorgente e il controllo che l'ascoltatore è in grado di esercitare su di esso. (Basner et al.,

2013; Haines et al., 2001; Schlittmeier et al., 2015; Stansfeld & Matheson, 2003; Stansfeld et al., 2005)

2.3 EFFETTI DEL RUMORE SULLE FUNZIONI ESECUTIVE

Molti studi di laboratorio e ricerche sul campo hanno confermato come l'esposizione al rumore nel contesto scolastico, a prescindere dalla sua origine, dalle sue caratteristiche acustiche e dalla sua durata, comporta una serie di effetti dannosi in particolare per il benessere dei bambini, in termini percettivi ma anche e soprattutto cognitivi, in particolare per quanto riguarda le abilità dominio-generalì di memoria ed attenzione. I lavori focalizzati sull'effetto di condizioni acustiche avverse sulla performance cognitiva, tuttavia, non presentano risultati omogenei tra loro: alcuni riferiscono un effetto negativo del rumore, altri un effetto positivo sulle performance ed altri ancora, infine, riportano l'assenza di alcun effetto. (Berglund et al., 1999; Jafari et al., 2019)

Secondo un resoconto redatto da Stansfeld e Matheson (2003), gli studi più informativi riguardo gli effetti del rumore sulla cognizione hanno come soggetti bambini della scuola primaria. Da questi, è possibile ricavare una serie di associazioni tra tipo di rumore ed effetto sulla cognizione. L'esposizione cronica al rumore ambientale scolastico è associata a funzioni implicate nell'elaborazione centrale e nella comprensione verbale: difficoltà nell'attenzione sostenuta, discriminazione acustica ridotta, minore intelligibilità dell'eloquio, caduta nella memoria ad alta richiesta cognitiva, oltre un peggioramento generale nelle performance scolastiche. (Stansfeld & Matheson, 2003)

Tra le funzioni cognitive più indagate in questo campo sicuramente si trova la memoria: in linea generale, i risultati raccolti nella popolazione evolutiva sembrano tendenzialmente seguire gli stessi pattern della popolazione adulta, pur se con le dovute differenze (Evans & Lepore, 1993). Da studi svolti su entrambi i tipi di popolazioni, sia la memoria a breve termine che la memoria a lungo termine sono disturbate dal rumore ambientale di traffico aereo, mentre minor certezza scientifica riguarda l'influenza di traffico ferroviario e stradale (Clark & Paunovic, 2018). Risultati parzialmente contraddittori provengono da uno studio su larga scala, svolto in tre paesi europei (Paesi Bassi, Spagna e Regno Unito): dai risultati è emersa un'associazione lineare tra l'esposizione al rumore del traffico aereo e un peggioramento nelle prove di memoria episodica, mentre non sono emerse associazioni con la memoria di lavoro e la memoria

prospettica. Inoltre, è emersa inaspettatamente un'associazione lineare tra esposizione al rumore del traffico stradale e un miglioramento nel compito di memoria episodica (Stansfeld et al., 2005). Risultati peculiari sono quelli riferiti agli effetti del rumore bianco. Secondo il modello *moderate brain arousal* (MBA), il cervello ipodopaminergico, tipico di soggetti con capacità attentive ridotte, necessita di input sonori di maggiore entità per un funzionamento ottimale: di conseguenza, la presenza di rumore bianco potrebbe compensare i comportamenti disfunzionali dovuti alla trasmissione dopaminergica non ottimale. Questo assunto si trova alla base di un lavoro in cui sono state messe a confronto le performance in un compito di rievocazione libera di contenuti verbali di un gruppo di studenti "attenti" rispetto a quelle di un gruppo di studenti "disattenti", nelle due condizioni acustiche di quiete e rumore bianco in sottofondo. I risultati hanno presentato due tendenze opposte nei due gruppi: mentre per i soggetti "attenti" la presenza di rumore bianco ha avuto un effetto negativo sulla memoria episodica, gli studenti "disattenti" hanno migliorato la loro performance nella condizione di rumore bianco rispetto alla quiete. (Söderlund et al., 2010)

Ad essere maggiormente inficiato dalla presenza di rumore, a prescindere che l'esposizione sia cronica o acuta, sembra essere l'aspetto legato alla memoria di lavoro. (Evans & Lepore, 1993): difatti, compiti che necessitano il ricorso alla memoria di lavoro, in particolare a quella uditiva (loop fonologico), risultano avere prestazioni inferiori quando vengono svolti in condizioni acustiche avverse, in diverse età (Bell, Buchner & Mund, 2008; Howard, Munro & Plack, 2010; Hurtig et al., 2016; Osman & Sullivan, 2014). Dall'analisi degli effetti del rumore di tipo verbale è stato sviluppato il modello di "*irrelevant speech effect*" (ISE), relativo alla compromissione della prestazione in compiti di rievocazione di materiale verbale a causa della presenza del rumore dell'eloquio (Ellermeier & Zimmer, 2014; Hughes & Jones, 2001; Osman & Sullivan, 2014). Sono stati indagati vari aspetti riguardo l'eloquio che avrebbero potuto spiegare il suo impatto negativo sulle prestazioni di rievocazione: l'intensità o il livello di pressione del rumore; il significato, sia in termini di significato dell'eloquio di per sé che in termini di somiglianza semantica tra l'eloquio e gli item del compito di rievocazione; la fonologia, ovvero la somiglianza fonologica presente tra il rumore dell'eloquio e il contenuto verbale da rievocare; ed infine, le variazioni uditive, ovvero proprietà acustiche dell'eloquio stesso. Solo quest'ultimo fattore, però, sembra effettivamente correlare con

il peggioramento delle performance mnemoniche, per cui un rumore impatta sulle prestazioni solo se mostra al suo interno cambiamenti acustici apprezzabili da un'entità sonora all'altra: quindi, ad esempio, avrà un maggiore effetto negativo un eloquio con la presenza di consonanti differenti tra loro, con parole non rimate tra loro e con una sequenza di toni che variano in altezza. Ciò che rende particolarmente impattante l'eloquio verbale, quindi, è il fatto che presenti un alto grado di variazioni acustiche. Alla luce di queste considerazioni, di conseguenza, si è giunti alla conclusione che il linguaggio di per sé non abbia un ruolo particolare rispetto ad altri tipi di rumore. Il concetto di "*irrelevant speech effect*" è stato quindi riformulato come "*irrelevant sound effect*", in virtù dei risultati ottenuti dalla ricerca che dimostrano come, ad avere un impatto determinante, siano i costituenti acustici del suono (Ellermeier & Zimmer, 2014; Tremblay et al., 2000). Questo effetto riguarda qualsiasi compito che implichi la disposizione di item in un ordine o una successione, anche se nel caso in cui il compito implichi un'analisi semantica, come in prove di problem-solving, di scrittura o di memoria di prosa, si potrebbe presentare una vulnerabilità particolare per l'eloquio comprensibile nel significato. (Hughes & Jones, 2001; Klatte, Bergström & Lachmann, 2013; Sörqvist, 2010; Sörqvist, Nörtl & Halin, 2012; Tremblay et al., 2000) Un fattore centrale in questa dinamica è la capacità della memoria di lavoro, anche se tale variabile non sembra produrre un ulteriore effetto interazione con il rumore (Osman & Sullivan, 2014; Sörqvist, 2010; Surprenant, 1999).

Un'altra dimensione cognitiva ampiamente indagata rispetto all'influenza subita dal rumore è l'attenzione (Clark & Paunovic, 2018; Fernandes, Vidor & Oliveira, 2018; Jafari et al., 2019; Kujala et al., 2004; Sanz, Garcia & Garcia, 1993; Stansfeld et al., 2005). Non tutti gli studi concordano sul grado con cui la presenza di rumore influisce sulla capacità attentive, in particolare se si prendono in esame i lavori sul rumore dei trasporti, che presentano risultati a volte controversi e poco conclusivi anche a causa di limiti metodologici (Clark & Paunovic, 2018; Ecans & Lepore, 1993; Klatte, Bergström & Lachmann, 2013). Nonostante ciò, non è da sottostimare il ruolo dell'attenzione nella gestione del carico cognitivo: in presenza di condizioni acustiche avverse, l'aumento della richiesta cognitiva determina un investimento cognitivo peculiare, che risulta dipendente dalle risorse attentive a disposizione del soggetto. Osservazioni realizzate sulla popolazione adulta riportano, in seguito ad esposizione al rumore perdurata nel tempo,

effetti a lungo termine sul controllo attentivo. (Kujala et al., 2004) Inoltre, i risultati riguardo i fattori propedeutici a una migliore prestazione di *speech intelligibility* suggeriscono che le risorse attentive abbiano un ruolo cruciale sia nell'esperienza del *listening effort* che nella gestione delle risorse cognitive per l'elaborazione del segnale acustico (Koelewijn et al., 2015). Dai risultati di uno studio condotto da Jafari e colleghi (2019) emerge che il carico di lavoro mentale e l'attenzione visuo-attentiva subiscono un decremento significativo in presenza di alti livelli di rumore, dimostrando come l'intensità del rumore.

Uno studio pubblicato nel 2015 ha indagato l'effetto di varie condizioni acustiche avverse, attraverso la somministrazione di tre diversi compiti: un primo compito basato sull'attenzione sostenuta e i processi inibitori, un secondo incentrato sull'attenzione sostenuta e la memoria a breve termine, ed infine un ultimo compito riferito alle funzioni di immagazzinamento delle informazioni. Dal risultato è emerso come i vari compiti hanno subito effetti differenti da tipologie di rumori eterogenei per natura o intensità: i compiti che richiedevano capacità attentive hanno mostrato un peggioramento all'aumentare dell'intensità del rumore di traffico stradale a cui i soggetti sono stati esposti; tale tendenza non è stata riscontrata nel compito puramente mnemonico, il quale ha subito l'impatto della condizione di rumore verbale. (Schlittmeier et al., 2015)

Una funzione esecutiva che sembra avere un particolare ruolo nelle performance svolte in condizioni acustiche degradate è la flessibilità cognitiva (*set-switching*): questa capacità cognitiva risulta determinante sia nella misura con cui il rumore interferisce con la prestazione cognitiva, che nella percezione di fastidio che si ha rispetto a questa interferenza: ad esempio, una ridotta flessibilità cognitiva comporta maggior difficoltà nel rimanere agganciati ad un discorso in presenza di un rumore di sottofondo. Fattori protettivi rispetto all'effetto negativo risultano buone capacità di controllo inibitorio e di memoria di lavoro. (Massonnié et al., 2022).

Tra le funzioni dominio-generalì della cognizione si trova anche la velocità di elaborazione, un indice della rapidità con cui la mente è in grado di svolgere operazioni mentali, il che permette di avere maggiore o minore spazio mentali disponibile per ulteriori elaborazioni. In presenza di rumore linguistico (condizione *babble*), è stato osservato che le prestazioni in compiti non verbali sulla velocità di elaborazione subiscono un peggioramento, che diventa ancora più marcato se si aggiungono anche

rumori ambientali intermittenti (condizione *babble and environment*) (Dockrell & Shield, 2006)

2.4 EFFETTI DEL RUMORE SUGLI APPRENDIMENTI

I primi studi sugli effetti del rumore sulla cognizione nei bambini che sono stati svolti sul campo hanno sfruttato la vicinanza delle scuole a sorgenti costanti di rumore ambientale potenzialmente stressante e disturbante: non sorprende, quindi, che molti lavori in questo ambito, soprattutto negli scorsi decenni, si siano basati sull'esposizione cronica dei bambini a rumori dei trasporti, come il traffico aereo, ferroviario e stradale. I risultati di questi lavori, in generale, sembrano suggerire che l'esposizione cronica a questo tipo di rumore ambientale comporti nei bambini un generale peggioramento nella totalità, o quasi, degli apprendimenti accademici. (Clark & Paunovic, 2018; Shield & Dockrell, 2008; Stansfeld & Matheson, 2003)

L'abilità della lettura, sia in termini strumentali di velocità ed accuratezza che in termini di comprensione del testo, sembra essere l'apprendimento più indagato e associato all'effetto dovuto alla presenza di rumore. In generale, la conclusione a cui si è giunti è che questa abilità di base sia negativamente impattata dalla presenza del rumore (Evans & Lepore, 1993): è possibile, però, fare delle distinzioni in funzione dell'aspetto della lettura indagato e del tipo di rumore a cui sono stati associati gli effetti sulla lettura. È stato dimostrato come gli effetti del rumore possano impattare già sui prerequisiti di questa abilità di base, come nelle valutazioni degli insegnanti sulla scala del linguaggio e nelle prestazioni in compiti di riconoscimento di lettera-numero-parola. (Klatte, Bergström & Lachmann, 2013; Maxwell & Evans, 2000). L'abilità della lettura come funzione strumentale può essere valutata in termini di velocità e di accuratezza (numero di errori nella lettura): molti studi hanno dimostrato come questi due parametri mostrino valori peggiori in condizioni di rumore, rispetto a quanto accade in condizione di quiete. (Dockrell & Shield, 2006; Evans, Hygge & Bullinger, 1995; Hygge, Evans & Bullinger, 2002; Klatte, Bergström & Lachmann, 2013; Ljung, Sörqvist & Hygge, 2009; Puglisi et al., 2018; Shield & Dockrell, 2003) Grazie a due studi svolti a Monaco, a distanza di tempo l'uno dall'altro, è stato dimostrato tuttavia che l'effetto dell'esposizione cronica al rumore sull'abilità della lettura può essere reversibile: dopo la chiusura dell'aeroporto, infatti, gli studenti non hanno più presentato le performance deficitarie, precedentemente

mostrate in presenza dell'aeroporto ancora aperto. (Hygge, Evans & Bullinger, 2002) Oltre ai suoi aspetti più puramente strumentali, la lettura include anche la capacità di comprensione del testo, una funzione in cui convergono un carico visuo-percettivo e un carico cognitivo. A questo proposito, si è ipotizzato che questi due fattori avessero un ruolo moderatore rispetto all'effetto negativo del rumore sulla comprensione del testo: i risultati, tuttavia, non hanno confermato l'ipotesi dei ricercatori (Hao & Conway, 2022). Diverse ricerche hanno indagato l'effetto di condizioni acustiche avverse sulle performance degli studenti. In linea generale, si può concludere come il rumore abbia un effetto negativo su questa competenza (Hannes et al., 2001; Shield & Dockrell, 2003; Stansfeld et al., 2005), anche se alcuni risultati non confermano questa associazione (Ljung, Sörqvist & Hygge, 2009). Prendendo in considerazione la natura stessa del rumore a cui i soggetti sono esposti, in particolare sono presi in esame l'eloquio (*speech*) e il rumore dei trasporti. Riguardo l'effetto dell'eloquio, sono presenti in letteratura risultati contrastanti: se da una parte sono stati individuati degli effetti negativi sui compiti verbali, ed in particolare sulla lettura, (Dockrell & Shield, 2006); dall'altra, non è stato rilevato nessun effetto tra l'eloquio e la lettura, sia in termini di velocità che di comprensione (Ljung, Sörqvist & Hygge, 2009). Il rumore dei trasporti è stato ampiamente indagato, differenziando tra gli effetti dovuti al traffico aereo, al traffico ferroviario e al traffico stradale. Riguardo il traffico aereo, sono stati documentati effetti negativi sia sull'aspetto strumentale della lettura, sia nella funzione di comprensione (Evans, Hygge & Bullinger, 1995; Haines et al., 2001; Haines et al., 2002; Hygge, Evans & Bullinger, 2002; Shield & Dockrell, 2003; Stansfeld et al., 2005). Riguardo il traffico ferroviario, sono emersi effetti sulla lettura strumentale (Bronzaft & McCarthy, 1975; Shield & Dockrell, 2003), mentre rispetto al traffico stradale si sono osservati effetti sulla lettura strumentale e sulla comprensione del testo (Ljung, Sörqvist & Hygge, 2009; Papanikolaou, Skenteris & Piperakis, 2015; Shield & Dockrell, 2003), anche se alcuni studi hanno evidenziato assenza di effetti da parte del traffico stradale sulla lettura (Stansfeld et al., 2005).

Riguardo l'abilità di scrittura, è stato osservato un decremento nelle performance degli studenti a causa dell'esposizione degli stessi ad un rumore di tipo verbale (*babble* o eloquio vero e proprio): sembra che il processo di scrittura sia particolarmente inficiato

dalla semantica dell'eloquio piuttosto che dalle proprietà acustiche del rumore (Dockrell & Shield, 2006; Fernandes, Vidor & Oliveira, 2018; Sörqvist, Nösth & Halin, 2012).

Le abilità matematiche sembrano particolarmente compromesse da esposizioni a rumore di tipo impulsivo e intermittente, ma allo stesso tempo anche l'esposizione cronica al rumore risulta comunque avere un effetto sulle performance in ambito matematico, sia che si tratti di basi della matematica, sia che riguardi ragionamenti di più alto livello (Dockrell & Shield, 2006; Haines et al., 2002; Ljung, Sörqvist & Hygge, 2009; Papanikolaou, Skenteris & Piperakis, 2015; Shield & Dockrell, 2003).

Un'ultima considerazione da fare riguarda la variabilità interindividuale dei bambini di fronte a compiti cognitivi ed apprendimenti accademici: nel considerare i singoli studenti, infatti, è necessario valutare la presenza di eventuali disabilità associate di tipo sensoriale (problematiche al sistema uditivo), o cognitivo (difficoltà cognitive come sindromi, quadri psicopatologici) oppure di fattori socioculturali (ad esempio, bilinguismo), che possono rappresentare un ostacolo ulteriore nello sviluppo cognitivo e nell'apprendimento in presenza di rumore. In effetti, diversi studi hanno dimostrato come rientrare in queste categorie possa tradursi in prestazioni cognitive ed accademiche in presenza di rumore inferiori rispetto a quelle dei coetanei. (Berglund et al., 1999; Gheller et al., 2020; Hurtig et al., 2016; Massonnié et al., 2022; Shield & Dockrell, 2003)

2.4.1 Il rumore a scuola

Negli ultimi decenni, diversi studi hanno accertato la presenza di livelli di rumore critici in corrispondenza degli edifici scolastici, in particolare se si considerano istituti di aree urbane. (Lamotte et al., 2021; Sanz, García & García, 1993; Shield & Dockrell, 2004; Shield & Dockrell, 2008) In una ricerca svolta in alcune scuole di Copenaghen, più dell'80% delle insegnanti riferisce come il rumore a cui si è soggetti risulta disturbante per almeno un quarto del tempo delle attività didattiche (Persson et al., 2013). All'interno del contesto scolastico quindi, che dovrebbe delinarsi come uno spazio prediletto per l'apprendimento di abilità e competenze essenziali per soggetti in età scolare, si possono rilevare una serie di interferenze, dovute all'esposizione ad uno o più distrattori di natura sonora, con ricadute sullo stato emotivo, sul comportamento e sulle performance degli studenti (Aguilar, 2019; Papanikolaou, Skenteris & Piperakis, 2015).

I tipi di rumore presenti nell'ambiente scolastico e che possono impattare sulla performance cognitiva dei bambini sono svariati e l'esposizione ad ognuno di essi può

comportare effetti di tipo differente, in funzione della peculiarità di alcuni parametri (Dockrell & Shield, 2006; Gheller et al., 2020; Prodi & Visentin, 2015).

Una prima distinzione possibile è operata a livello temporale, per cui il rumore può essere descritto secondo la sua durata: gli studenti possono essere soggetti a un'esposizione cronica o un'esposizione acuta. La prima si riferisce a un rumore ambientale relativamente costante nel tempo rispetto alla sua presenza e alla sua invadenza, con conseguenti esiti a breve e lungo termine, mentre la seconda riguarda alcuni singoli eventi occasionali di rumore che interferiscono con l'apprendimento nel momento in cui avvengono, contribuendo all'effetto del rumore ambientale. Un esempio concreto di questa differenziazione può essere illustrato prendendo in considerazione il rumore dovuto ai trasporti: gli studenti possono essere soggetti a un'esposizione cronica del traffico aereo, ferroviario o stradale e, saltuariamente, essere ulteriormente distratti da un'esposizione acuta di singoli eventi acustici particolarmente salienti, come il rumore di una sirena d'ambulanza, il passaggio ravvicinato di un aereo o di un treno. (Klatte, Berström & Lachmann, 2013; Shield & Dockrell, 2003) Entrambi i tipi di esposizione sembrano, pur se in maniera differente, comportare delle conseguenze avverse rispetto alle performance cognitive ed accademiche degli studenti (Klatte et al., 2013; Shield & Dockrell, 2003): difatti, nonostante la costanza di un'esposizione cronica al rumore, i bambini non presentano il fenomeno dell'abituazione, ma al contrario gli effetti dannosi del distrattore acustico a livello cognitivo, motivazionale e fisiologico si mostrano stabili nel tempo (Cohen et al., 1981) o perfino progressivamente peggiorati (Cohen et al., 1980). Un'altra classificazione possibile ed importante da fare, a causa degli effetti differenziati che si possono ritrovare, è distinguere il rumore in funzione della sua provenienza e della sua origine ambientale, per cui si individuano rumori esterni alla scuola, rumori interni alla scuola ma esterni alla classe e rumori interni alla classe (Aguilar, 2019; Gheller et al., 2020).

Per quanto riguarda i rumori esterni alla scuola, si fa riferimento soprattutto a rumori dovuti ai trasporti (traffico aereo, ferroviario e stradale), di natura industriale, di origine residenziale o di causa meteorologica (pioggia, tuoni). Moltissimi studi, soprattutto in riferimento ai primi lavori compiuti dal 1970 circa, si sono concentrati sugli effetti a breve e a lungo termine dei rumori dei trasporti sulle capacità cognitive di base e sugli apprendimenti scolastici degli studenti di età scolare (Clark et al., 2006; Clark &

Paunovic, 2018). Secondo uno studio di Shield e Dockrell (2004), nel contesto scolastico, il rumore esterno predominante sembra essere quello derivante dal traffico stradale, in particolare dovuto alla presenza di automobili (come riferito nell'86% delle scuole indagate), di autocarri ed autobus (Shield & Dockrell, 2004). Un fattore da prendere in esame è anche come i rumori esterni siano poi effettivamente percepiti all'interno della classe, per comprendere in che misura questi impattino sull'ambiente interno: il loro effetto potrebbe risultare relativamente contenuto rispetto ad altre fonti di rumore, maggiormente impattanti sulle attività di apprendimento degli studenti (Shield & Dockrell, 2004).

Se si considerano i rumori esterni alla classe ma interni alla scuola, ci si riferisce a rumori di servizio o originati dalle attività di altri studenti negli spazi comuni o nelle classi limitrofe a quella in esame, rumori che vengono trasmessi attraverso le pareti, il pavimento o il soffitto dell'aula. In uno studio di Persson et al. (2013), gli insegnanti riferiscono i rumori provenienti dal corridoio e da classi adiacenti come tra i più invadenti (Persson et al., 2013).

All'interno della classe stessa, si originano un'altra serie di rumori che possono fungere da distrattori e stimoli competitivi per l'apprendimento degli studenti: si tratta di rumori causati dai servizi dell'edificio, come il sistema di riscaldamento, di illuminazione e di ventilazione; rumori originati dalla strumentazione in uso da parte di insegnanti o studenti, come computer e proiettori; ed infine, rumori dovuti alle attività degli studenti stessi, come lo sfogliare di libri e quaderni, il movimento delle sedie, il cadere di matite e penne e il chiacchiericcio tra bambini (*babble*). (Gheller et al., 2020; Shield & Dockrell, 2003; Shield & Dockrell, 2006)

Tra i lavori che hanno indagato l'invadenza dei differenti tipi di rumori, lo studio di Persson et al. (2013) si è concentrato sulla percezione degli insegnanti: in linea generale, vengono identificati come rumori più disturbanti quelli causati dai comportamenti degli studenti e quelli provenienti dal corridoio e da aule confinanti, mentre vengono riferiti il rumore ambientale esterno (traffico stradale e aereo) e il rumore di servizio e della strumentazione come meno impattanti. (Persson et al., 2013)

Un'ulteriore ricerca sui rumori dalla provenienza differenziata è stata svolta da Shield e Dockrell (2004) in 142 scuole primarie appartenenti a tre quartieri londinesi. È emerso che il rumore all'interno della classe è in gran parte dovuto dal rumore prodotto dagli

studenti stessi: differenti attività comportano differenti livelli di rumore, con una disparità di circa 20 dB tra l'attività didattica più silenziosa e quella più rumorosa. Inoltre, a livello soggettivo, il rumore ambientale esterno è percepito come poco influente nel contesto interno della classe: le analisi correlazionali hanno confermato tali percezioni, con l'eccezione della condizione in cui i bambini sono coinvolti in un'attività silenziosa, come lo svolgimento di una verifica o la lettura a mente, per cui sono distratti in misura maggiore dal rumore ambientale esterno. (Shield e Dockrell, 2004)

Un'ulteriore considerazione che si può formulare riguarda la natura stessa del rumore: tipi di rumore differenti possono comportare conseguenze variabili in termini sia di gravosità, che di aree di interesse (Gheller et al., 2020). Vari studi hanno manipolato le condizioni acustiche esattamente al fine di indagare come suoni dai parametri dissimili potessero mostrare effetti eterogenei tra loro (Caviola et al., 2021; Dockrell & Shield, 2006; Prodi & Visentin, 2015; Sörqvist, 2010). Un esempio di tale obiettivo di ricerca è mostrato nello studio svolto da Dockrell e Shield (2006) nelle scuole primarie londinesi, in cui sono state valutate le performance accademiche e cognitive degli studenti, assegnati casualmente a tre condizioni sonore: una prima condizione "base"; una seconda condizione "babble", ovvero una registrazione di chiacchiericcio ad un costante livello di 65 dB(A); ed infine, una terza condizione "babble e rumore ambientale", ovvero la stessa registrazione di chiacchiericcio con l'aggiunta intermittente di alcuni rumori ambientali precedentemente valutati dai bambini stessi come estremamente fastidiosi (ad esempio, sirene e passaggio di autocarri). Dai risultati di questa ricerca emerge come condizioni di rumore differenti comportano prestazioni verbali e non-verbali con peculiarità proprie: le prove verbali di lettura e spelling sono risultate influenzate negativamente dalla condizione "babble", mentre la performance non-verbale (velocità di elaborazione), pur se peggiorata nella condizione "babble", si presenta come ancor più deficitaria nella condizione "babble e rumore ambientale" (Dockrell e Shield, 2006). Risultati solo parzialmente in linea provengono dallo studio di Ljung, Sörqvist e Hygge (2009), in cui sono state indagate alcune capacità accademiche nelle condizioni acustiche di traffico stradale e chiacchiericcio (irrelevant speech): il traffico stradale, pur non avendo effetto sulla comprensione del testo e il ragionamento matematico, si è rivelato negativamente influente sulla velocità di lettura e sulle basi matematiche, mentre nella condizione di

chiacchiericcio (irrelevant speech) non è emerso alcun effetto su nessuna delle prove. (Ljung, Sörqvist & Hygge, 2009)

La presenza di rumore all'interno del contesto scolastico e gli effetti che questo può avere sulle performance e sui processi di apprendimento degli studenti hanno portato sempre più all'indagine e alla valutazione delle caratteristiche acustiche delle aule. Moltissimi lavori hanno tracciato i criteri con cui valutare l'idoneità o l'inappropriatezza delle aule scolastiche. Tre parametri, in particolar modo, sono presi in considerazione dalla quasi totalità degli studi e dei documenti governativi che riguardano i requisiti acustici in ambito scolastico: il tempo di riverberazione, il rapporto segnale-rumore e il livello del suono (Picard & Bradley, 2001).

Il tempo di riverberazione (*reverberation time, RT*) è una misura standardizzata della riverberazione nello spazio. Quest'ultima si riferisce alle riflessioni delle onde sonore sulle superfici dell'aula, come muri, soffitto, pavimento, tavoli e lavagna, per cui la percezione del suono risulta prolungata rispetto all'emissione dello stesso; il tempo di riverberazione consiste nel tempo in secondi perché un suono decada da 60dB. (Aguilar, 2019; Dockrell & Shield, 2006; Gheller et al., 2020; Iglehart, 2016)

Il rapporto segnale-rumore (*signal-to-noise ratio, SNR*) si riferisce alla differenza in dB tra il livello del suono target e il livello del rumore distraente: un rapporto maggiore implica una maggiore differenza e quindi un'intelligibilità acustica migliore. Questa misura risulta inversamente proporzionale alla distanza tra la sorgente del suono target e l'ascoltatore. (Aguilar, 2019; Iglehart, 2016)

Riguardo questi due primi parametri, uno studio del 2016 ha indagato il loro effetto interazione, sottoponendo i soggetti a una prova di memoria, in due condizioni di tempo di riverberazione (1.2s e 0,3s) incrociate a due condizioni di rapporto segnale-rumore (+3dBA e +12dBA). I risultati hanno mostrato che, con un rapporto segnale-rumore alto (+12dBA), le prestazioni erano migliori con un tempo di riverberazione minore (0.3s), mentre con un rapporto segnale-rumore minore (+3dBA), le prestazioni migliori avvenivano con un tempo di riverberazione più lungo (1.2s). (Hurtig et al., 2016)

Il livello di rumore (L_{eqAS}), misurato in dB(A), converge in un unico dato il carico sonoro di tutti i rumori. (Aguilar, 2019) Questo dato può e dovrebbe essere valutato sia in aule occupate che in aule non occupate. Difatti, un parametro che risulta determinante in questo senso è il numero di bambini presenti all'interno dell'aula e la cui sola presenza,

seppur silenziosa, aumenta il livello di rumore in classe. (Shield & Dockrell, 2003; Shield & Dockrell, 2004)

Altri criteri presi in esame nella valutazione delle caratteristiche acustiche delle aule riguardano l'intelligibilità acustica, attraverso l'indice di trasmissione acustica (*Speech Transmission Index, STI*), e il coefficiente di isolamento acustico di mura e pavimenti. (Aguilar, 2019; Visentin et al., 2018)

Una tale mole di considerazioni e riflessioni riguardo ciò che si delinea come un problema comunitario ha comportato una serie di azioni politiche e prese di posizioni per poter limitare gli effetti dannosi sulle comunità. Perciò negli ultimi decenni sono stati redatti documenti nazionali ed internazionali riguardo standard acustici da rispettare in termini di requisiti acustici in contesti scolastici. (Aguilar, 2019; Berglund et al., 1999; Circolare Ministeriale 3150/1967; D.P.C.M. 05/12/97; Gheller et al., 2019; Shield & Dockrell, 2003; Shield & Dockrell, 2004; WHO. Regional Office for Europe, 2018)

Il documento di riferimento a livello globale è "Guidelines for community noise" (Berglund et al., 1999), in cui si possono trovare gli standard acustici adeguati agli ambienti scolastici. Secondo il team di esperti dell'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), il livello del suono di sottofondo, durante le ore didattiche, non deve superare 35dB L_{Aeq} nelle aule scolastiche e 55dB L_{Aeq} negli spazi esterni del complesso; il tempo di riverberazione deve essere inferiore a 0,6 secondi per le aule scolastiche ed inferiore a 1 secondo per spazi scolastici comuni (mensa, atrio). Tali parametri, inoltre, devono essere ancora più sensibili, nel caso ci si riferisca a soggetti con difficoltà uditive. (Berglund et al., 1999) Per quanto riguarda il rapporto segnale-rumore, solo gli Stati Uniti hanno un riferimento preciso, che si attesta al valore massimo di 15dB (Aguilar, 2019). In Italia, i requisiti acustici sono regolamentati da due documenti (Circolare Ministeriale 3150/1967; D.P.C.M. 05/12/97), all'interno di quali si possono trovare i valori del livello di rumore e del tempo di riverberazione massimi consentiti: il primo non deve essere superiore a 35dB L_{Aeq} , mentre il secondo deve risultare inferiore a 0,8 secondi.

Tuttavia, indagini sul campo hanno dimostrato come la realtà nelle scuole non sia mai del tutto conforme alle norme sopracitate, ma che al contrario presenti condizioni acustiche sfavorevoli rispetto a quelle ottimali, con livelli del rumore in classe tra 65 e 75 dB (Gheller et al., 2020; Massonnié et al., 2022; Papanikolaou et al., 2015; Shield e

Dockrell, 2004) e rapporti segnale-rumore inferiori, ovvero tra -7dB e +5dB (Howard, Murno & Plack, 2010).

CAPITOLO 3.

LO STUDIO

3.1 PROGETTO DI RICERCA

Lo studio di questa tesi si inserisce all'interno del progetto di ricerca "*Children's Cognitive effort in noise: L'impatto del rumore sulla qualità dell'ambiente interno delle classi*", il cui obiettivo è quello di studiare gli effetti del comfort acustico in aula sullo sforzo cognitivo e di ascolto degli alunni, e sviluppare nuove tecniche di misurazione della qualità ambientale delle aule scolastiche.

La ricerca è promossa dal Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione dell'Università degli Studi di Padova, nell'ambito del Programma Operativo Nazionale (PON) Ricerca e Innovazione 2014-2020 ed è coordinata dal DPSS con la collaborazione dello IUAV di Venezia e dei Centri Human Inspired Technology e I-APPROVE di Padova.

Il presente lavoro di tesi nasce con l'obiettivo di valutare, mediante l'utilizzo dell'App CoEN (acronimo di *Cognitive Effort in Noise*), quanto i bambini di scuola primaria riescono a concentrarsi durante lo svolgimento di una serie di test neuropsicologici in condizioni di ascolto diverse (quiete e rumore) e l'effetto del rumore su memoria, attenzione e altre abilità cognitive.

L'ipotesi iniziale dello studio era di un generale miglioramento delle prestazioni nei bambini con l'età, e che le prestazioni cognitive degli alunni in condizione di rumore risultassero in generale peggiori rispetto a quelle in condizione di quiete.

3.2 PARTECIPANTI

Il campione di soggetti coinvolti nello studio è costituito da un gruppo di 88 bambini di età compresa tra i 6 e gli 11 anni (età media=8.1, \pm 1.4; M=35, F=53), della scuola primaria "Dolores Prato", appartenenti all'Istituto Comprensivo "Enrico Mestica" del Comune di Macerata. Allo studio, hanno partecipato gli alunni di ciascuna classe, dalla prima alla quinta elementare.

La proposta della sperimentazione a docenti e genitori è avvenuta previa autorizzazione da parte del Dirigente Scolastico dell'Istituto Comprensivo, a cui è seguita una collaborazione con la coordinatrice scolastica del plesso "D. Prato" e degli altri docenti di ruolo nelle classi coinvolte. Gli insegnanti hanno fin da subito mostrato grande interesse e coinvolgimento nel progetto di ricerca, offrendo pieno supporto e disponibilità sia in termini di spazi che di tempo.

Prima dell'inizio della fase di valutazione, è stato fornito un foglio illustrativo del progetto di ricerca e il modulo del consenso informato da far firmare ai genitori degli studenti, in seguito raccolto dagli insegnanti.

Il campione coinvolto in questo studio è composto da un totale di 88 soggetti, di cui 35 maschi e 53 femmine e la cui distribuzione all'interno delle classi è relativamente omogenea. Non sono state eseguite particolari indagini riguardo il livello socioeconomico degli studenti e delle loro famiglie.

3.3 PROTOCOLLO SPERIMENTALE

Il disegno sperimentale su cui si basa lo studio di questa tesi è costituito da una valutazione a misure ripetute, entro i soggetti, per quanto riguarda la variabile condizione acustica nella quale sono stati somministrati i test (quiete-rumore), e una valutazione tra soggetti, per quanto riguarda la variabile classe di appartenenza, o età.

L'intera sperimentazione è avvenuta in ambienti interni al plesso scolastico "D. Prato", durante lo svolgimento delle lezioni scolastiche sia mattutine che pomeridiane. Le valutazioni hanno avuto luogo in più giornate, nei mesi di dicembre 2021 e gennaio 2022, con un intervallo tra le due fasi di valutazione (condizione quiete vs condizione rumore) per ogni classe di circa una settimana.

In un primo momento, è stato consegnato ad ogni bambino un tesserino con un codice numerico identificativo (Figura 1), da utilizzare nell'inserimento dei dati sia all'interno dell'app che sui questionari carta e matita nelle fasi successive.



Figura 1. Codice numerico identificativo.

In questo modo, è stato possibile procedere ad una valutazione che garantisse l'anonimato dei bambini. Successivamente, è stato consegnato e svolto in classe il questionario carta e matita "Conosciamoci" relativo alle abitudini dei bambini rispetto ai dispositivi digitali, ad eccezione dei soggetti di prima elementare che non hanno svolto questo questionario. Per la somministrazione delle prove dell'app CoEN, si è fatto ricorso all'uso di tre iPad mini, con la dotazione anche di tre paia di cuffie (modello AKG K240), utilizzate nella condizione di quiete per assicurare un maggior isolamento acustico rispetto ai rumori circostanti provenienti dai propri compagni o da ambienti scolastici limitrofi, e nella condizione di rumore per veicolare un rumore di tipo *multi-talker babble*, ad un'intensità di 65dB. La traccia utilizzata per la condizione di rumore è la medesima usata nella pratica clinica per il test di audiometria vocale (Audiometria vocale – Cutugno, Prosser, e Turrini). Per garantire il controllo sugli effetti di ordine e sequenza dello svolgimento dei test, si è effettuato un controbilanciamento delle condizioni acustiche: il 50% dei bambini ha effettuato la prima valutazione in condizione di quiete e la seconda in condizione di rumore, mentre la restante metà dei soggetti ha effettuato le valutazioni in ordine inverso. Dopo aver guidato i bambini nella compilazione di una schermata iniziale, con la richiesta di informazioni di tipo anagrafico, si lasciava che eseguissero le prove autonomamente, in modalità individuale, salvo alcune informazioni aggiuntive sull'utilizzo dell'App, se necessarie. In seguito, veniva compilato il questionario "*Self-report Cognitive Effort*", relativo all'affaticamento cognitivo percepito dai bambini. Alla fine dell'intero protocollo, ad ogni bambino è stato consegnato un certificato di partecipazione. Inoltre, al fine di non escludere gli studenti non coinvolti per motivazioni varie nella sperimentazione, è stato creato un certificato anche per la classe, da poter appendere nell'aula, come ricordo collettivo dell'esperienza. (Figura 2)



Figura 2. Certificati di partecipazione (per classe e per soggetto).

A causa della situazione di emergenza sanitaria ancora in vigore nel momento della sperimentazione, sono state rispettate tutte le misure anti-Covid19 previste all'interno dell'ambito scolastico: utilizzo della mascherina, sanificazione frequente delle mani, disinfezione degli strumenti (iPad, banchi), distanziamento tra gli studenti, utilizzo di copricuffie usa e getta per ogni valutazione.

3.4 STRUMENTI

3.4.1 App CoEN

L'app CoEN (Figura 3), somministrata attraverso l'utilizzo di iPad mini, si presenta come un gioco dalle caratteristiche grafiche colorate e accattivanti, rendendo i bambini che si apprestano ad utilizzarne le funzionalità molto motivati ed incuriositi.

Due mascotte, Quiety e Noisy (Figura 4), accompagnano i bambini nei vari giochi e li guidano mediante istruzioni e test di prova: nello specifico, Quiety viene utilizzato nella condizione di quiete, mentre Noisy in quella di rumore.

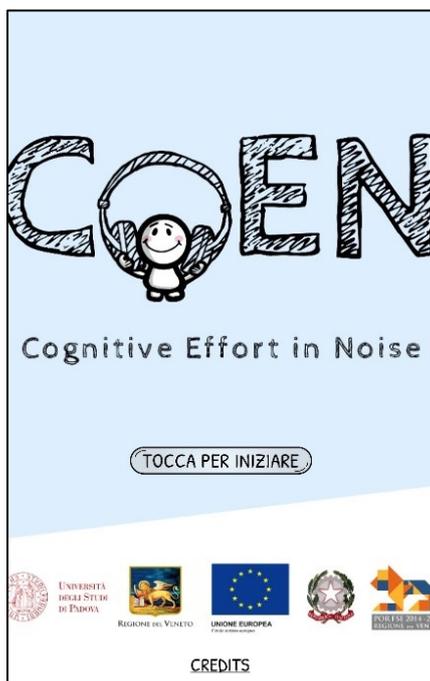


Figura 4. Schermata iniziale.

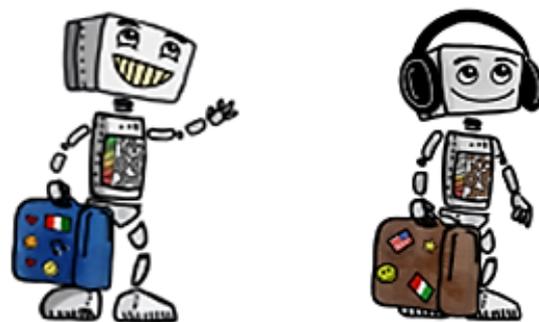


Figura 3. Quiety e Noisy.

L'idea di fondo è che il personaggio guidi i bambini in un viaggio verso la propria città di provenienza e che ogni prova consenta di ottenere una lettera per comporne il nome.

Alla fine di tutte le prove previste, l'unione delle lettere raccolte forma il nome della destinazione, la cui immagine compare come schermata conclusiva: Ambios, nel caso di Quietly, e Brumbo, nel caso di Noisy (Figura 5). La spiegazione delle consegne avviene attraverso il personaggio scelto che, con l'ausilio di alcune immagini, illustra l'esecuzione del compito. In seguito, viene proposto un compito di prova, con cui il bambino può verificare di aver capito la consegna e che può eseguire più volte se ne sente la necessità.

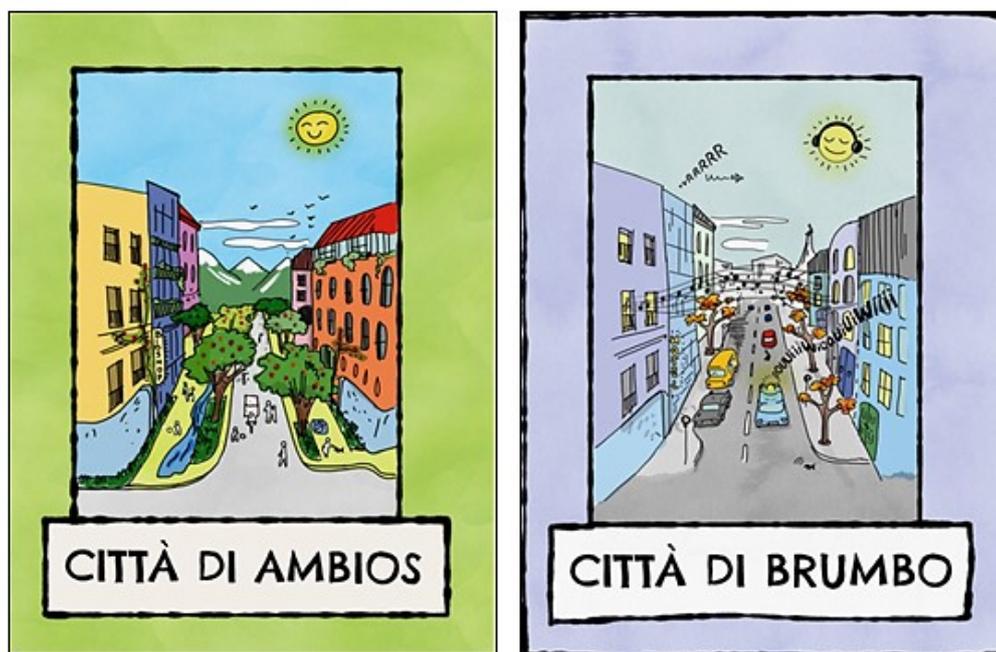


Figura 5. Destinazioni finali: Ambios e Brumbo.

I sei compiti presenti all'interno dell'app costituiscono degli adattamenti di prove di tipo neuropsicologico, ampiamente utilizzate nella letteratura e nella pratica clinica a livello nazionale e mondiale. In particolare, le prime tre prove riguardano la competenza della memoria, i due seguenti si focalizzano sulle capacità attentive ed infine l'ultimo gioco proposto valuta l'abilità di inibizione. Nello specifico, i compiti presentati sono i seguenti:

1. Digit Span Diretto
2. Digit Span Inverso
3. Reading Span Test (escluso dal protocollo di prima e seconda elementare)
4. Test di attenzione visiva sostenuta
5. Test di attenzione visiva sostenuta
6. Test di inibizione

Gli indici registrati nelle prove dell'app CoEN sono di tipo comportamentale: a seconda del test, i dati raccolti riguardano l'accuratezza, ovvero il numero di riposte corrette e di errori, e la rapidità, ovvero i tempi di reazioni con cui sono stati eseguiti i compiti.

3.4.1.1 Digit Span Test

Sia il test di digit span diretto che il test di digit span inverso appartengono alla scala di valutazione dell'intelligenza WISC-IV (*Wechsler Intelligence Scale for Children*, 4^a ed.), uno strumento valutativo somministrabile a bambini e adolescenti, che permette la valutazione del funzionamento cognitivo globale e di quattro indici specifici (comprensione verbale, ragionamento percettivo, memoria di lavoro, velocità di elaborazione). (Orsini & Pezzuti, 2012)

Nella versione originale, le sequenze di numeri da memorizzare vengono presentate in modalità orale dall'esaminatore e il soggetto, a seconda che si tratti del test diretto o inverso, deve ripetere ad alta voce i numeri letti dall'esaminatore nello stesso ordine o nell'ordine contrario. Questo test, denominato "memoria di cifre", offre una valutazione della memoria di lavoro: in particolare, la versione diretta permette la valutazione della capacità di mantenimento delle informazioni nel loop fonologico, mentre il test inverso consente di indagare riguardo le capacità esecutive della memoria di lavoro. Inizialmente, il livello iniziale del compito consiste in sequenze da due numeri da memorizzare: se il soggetto risponde correttamente a due sequenze dello stesso livello (stessa quantità di numeri per sequenza), si passa al livello successivo in cui le sequenze hanno un numero in più rispetto al livello precedente, fino al livello massimo di 8 numeri per sequenza. Nel caso in cui, invece, il soggetto risponda in maniera scorretta a due sequenze dello stesso livello, la prova si interrompe.

Nell'app CoEN, il riadattamento interessa sostanzialmente una modifica riguardo la modalità di presentazione degli item e di risposta del soggetto. Infatti, le sequenze vengono presentate visivamente, al centro della schermata (Figura 6), con un ritmo di un numero al secondo, a cui segue la comparsa di un punto di fissazione. Alla fine della sequenza numerica, compare una barra in cui il bambino può inserire i numeri memorizzati, attraverso l'utilizzo di una tastiera su schermo. Una volta confermata la risposta, se previsto, compare la successiva stringa di numeri, altrimenti la prova si interrompe e compare la schermata di fine gioco con la lettera ottenuta.

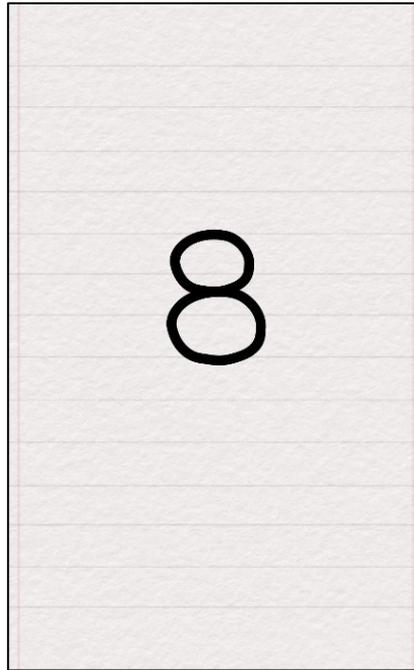


Figura 6. Grafica della presentazione dell'item numerico nel digit span.

In questa prova vengono registrati sia i punteggi relativi all'accuratezza, in termini di risposte corrette ed errori, sia i tempi di reazione intercorsi tra la comparsa del punto di fissazione e la conferma della stringa di numeri scritti dal bambino.

3.4.1.2 Reading Span Test

Questo compito, originariamente creato da Daneman e Carpenter (1980) e riadattato nel 2015 da Arfè e colleghi in lingua italiana, valuta in bambini tra i 7 e i 16 anni la memoria di lavoro verbale nei suoi aspetti più esecutivi. La fascia di età ammissibili giustifica l'esclusione di questa prova dai protocolli dei bambini della prima e della seconda elementare. (Arfè et al., 2015; Daneman & Carpenter, 1980)

Mentre nella versione originale del test, gli item, ovvero un set di brevi frasi con parole di uso comune, vengono trasmesse in modalità orale, nell'app CoEN vengono presentate visivamente al centro dello schermo per una durata di 5 secondi necessari per la lettura e la comprensione del periodo. Il tempo di presentazione dell'item è stato stabilito in funzione dei parametri standardizzati di velocità di lettura, ovvero di numero di sillabe lette in un secondo dai bambini in funzione della classe frequentata. (Cornoldi, Tressoldi & Perini., 2009; Tressoldi, Stella & Faggella, 2001) Allo stesso modo, nella versione originale le risposte vengono comunicate oralmente dal soggetto, mentre nell'app i bambini selezionano o scrivono le risposte. In entrambe le modalità, il compito consiste

nel recepire una frase, rispondere immediatamente ad una domanda di comprensione, ovvero esprimere un giudizio “vero o falso” rispetto alla frase, e contemporaneamente mantenere in memoria l’ultima parola della frase, che verrà richiesta assieme a quelle delle altre frasi, alla fine del set (Figura 7). Il numero di frasi all’interno del set aumenta con il proseguo della prova: si parte da un livello di due frasi, fino ad un massimo di cinque frasi. Inoltre, i periodi presentati possono variare nella lunghezza: la loro composizione può andare dalle 5 alle 8 parole. La prova si interrompe a fronte di due omissioni o errori consecutivi all’interno di un set di frasi.

In questo compito, i dati raccolti non riguardano i tempi di risposta, ma esclusivamente l’accuratezza, ovvero il numero di risposte corrette e di errori commessi dal soggetto.



Figura 7. Grafica dell’inserimento delle risposte nel test di reading span.

3.4.1.3 Test di attenzione visiva sostenuta

Il primo test di attenzione visiva sostenuta proposto all’interno dell’app CoEN consiste in un riadattamento di una prova contenuta nella NEPSY-II (*A Developmental NEuroPSYchological Assessment*), una batteria di valutazione neuropsicologica delle abilità cognitive, secondo sei domini, per soggetti tra i 3 e i 16 anni. (Korkman, Kirk & Kemp, 2011)

La differenza tra la versione originale e la versione digitalizzata dell'app CoEN consiste nella modalità di presentazione degli stimoli e di risposta del soggetto: nella prima, si faceva ricorso a modalità carta e matita, mentre nella seconda avviene appunto in modo digitalizzato.

Il compito consiste nella ricerca visiva e selezione di stimoli target, nello specifico due tipi di volti, immersi in una serie di distrattori, ovvero volti con caratteristiche parzialmente differenti dai target, come direzione dello sguardo, posizione e forma delle sopracciglia, tipo di pettinatura, sesso di appartenenza, disposti secondo una griglia ordinata (Figura 8). Non è consentita la deselegione degli stimoli evidenziati, in quanto nella versione originale una volta segnata una risposta, non è prevista la possibilità di cancellarla.

Nell'app CoEN, la totalità degli stimoli, che sono 176, necessita di più schermate: di conseguenza, il bambino quando ritiene di aver trovato tutti gli item target all'interno di una schermata, preme il tasto avanti in fondo alla schermata per passare alla pagina successiva e proseguire con la prova. La ricerca visiva può avvenire per una durata massima di 180 secondi, allo scadere dei quali la prova si interrompe a prescindere dalla schermata a cui il soggetto è riuscito ad arrivare.

Il secondo test sull'attenzione visiva sostenuta contenuto nell'app CoEN è il riadattamento di una prova contenuta nella WISC-IV (*Wechsler Intelligence Scale for Children, 4a ed*).

In questo compito, molto simile al precedente, viene richiesta con le stesse modalità la ricerca visiva degli stimoli target costituiti da forme varie di animali, all'interno di griglie ordinate in cui sono presenti anche gli stimoli distrattori di vari oggetti (Figura 9). Nella versione originale della prova, esiste anche una versione in cui gli item (target e distrattori) sono disposti in modo casuale: questa modalità, tuttavia, non è presente all'interno dell'app CoEN.

Differentemente dal precedente compito di attenzione visiva sostenuta, il tempo di esecuzione massimo è di 45 secondi e il numero totale degli stimoli presentati è di 320 item, disposti su più schermate.

In questo tipo di test, oltre all'attenzione visiva sostenuta, è possibile valutare l'abilità di discriminazione visiva e la flessibilità cognitiva. Inoltre, è possibile riflettere sul tipo di errori potenzialmente commessi dal soggetto, che possono rientrare in due categorie:

la selezione erronea di uno stimolo distrattore o l'omissione di selezione di uno stimolo target. (Lang et al., 2017)

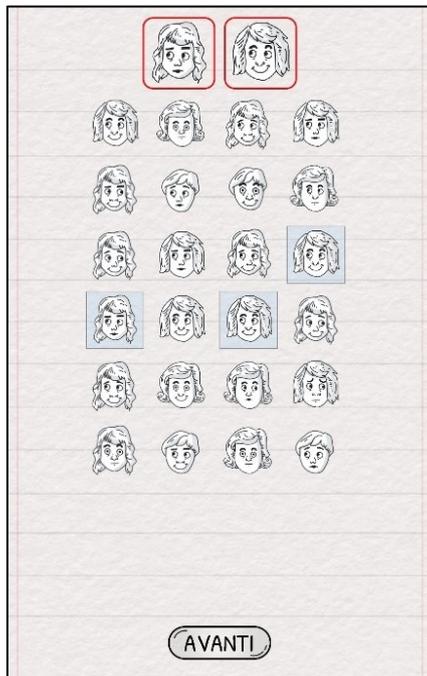


Figura 9. Grafica di presentazione degli item nel test di attenzione dei volti.



Figura 8. Grafica di presentazione degli item nel test di attenzione degli animali.

In entrambe le prove di attenzione visiva sostenuta, viene calcolato il punteggio finale, considerando tempo di esecuzione, numero di stimoli correttamente selezionati e numero di stimoli erroneamente selezionati. Inoltre, si raccoglie anche il punteggio di accuratezza, determinato dal numero degli stimoli target correttamente selezionati, diminuiti del numero di stimoli erroneamente selezionati.

3.4.1.4 Test di inibizione

Il sesto ed ultimo compito cognitivo proposto consiste in una valutazione della capacità di inibizione, intesa come la funzione esecutiva che permette il controllo attivo dei propri comportamenti, della propria attenzione, dei propri pensieri e delle proprie emozioni. (Diamond et al., 2013)

La versione originale della prova, denominata *Dots Test*, non differisce in nessuna caratteristica rilevante rispetto a quella proposta all'interno dell'app CoEN. In linea generale, il compito consiste nell'applicazione di una regola, legata alla visualizzazione di un cue visivo. In particolare, ci si avvale di tre fasi sequenziali caratterizzate da tre condizioni (congruente, incongruente e mista), che permettono la valutazione del

controllo inibitorio grazie all'effetto di ordine e sequenza. Nella condizione congruente, viene presentata una regola da rispettare sulla base di un primo cue visivo; nella successiva condizione incongruente, viene richiesta un'azione contraria rispetto alla regola precedentemente applicata grazie al ricorso ad un secondo cue visivo; ed infine, nella condizione mista, viene richiesta l'applicazione simultanea di entrambe le regole, grazie all'ausilio dei due cue visivi differenti. Quindi, la condizione congruente è caratterizzata dalla domanda cognitiva minore, che aumenta nella condizione incongruente, in cui il soggetto si deve necessariamente avvalere del controllo inibitorio per eseguire correttamente il compito senza erroneamente applicare la regola contraria precedentemente memorizzata. La condizione mista richiede anche il coinvolgimento della flessibilità cognitiva, che permette il passaggio continuo tra regole: l'applicazione di tutte le funzioni esecutive, a causa della maggior difficoltà del compito, necessita così di un maggiore investimento di risorse cognitive. (Diamond et al., 2007)

Nell'app CoEN, la condizione congruente consiste nel premere una freccia nella parte inferiore dello schermo, in corrispondenza all'apparizione di un cuore rosso, la quale può avvenire nella zona destra o sinistra dello schermo (Figura 10). La condizione incongruente richiede, invece, che alla comparsa del fiore viola nella zona destra o sinistra, venga selezionata la freccia opposta (Figura 11). Infine, nella condizione mista, i bambini devono applicare entrambe le regole, alla comparsa del cuore e del fiore.

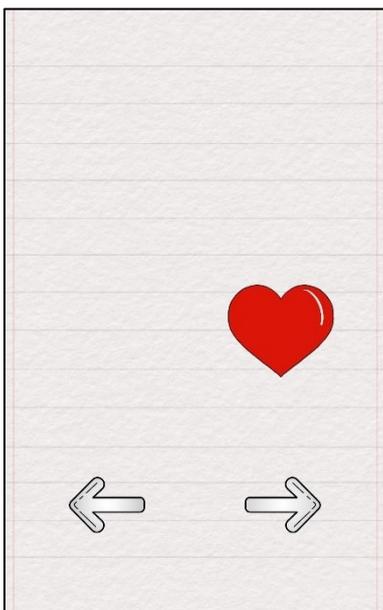


Figura 10. Grafica del test di inibizione del cuore rosso (condizione congruente).

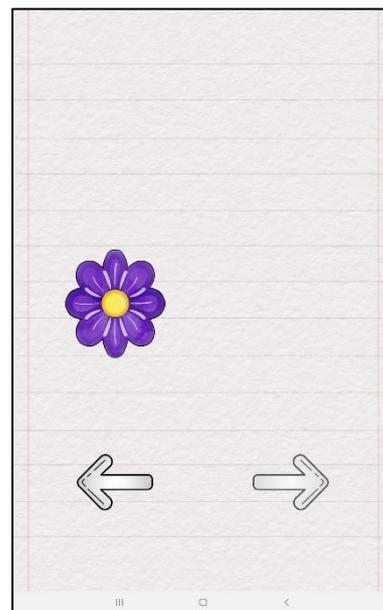


Figura 11. Grafica del test d'inibizione del fiore viola (condizione incongruente).

La prova, costituita da 20 item per ogni condizione, non possiede un criterio di interruzione, per cui il soggetto conclude la prova, indipendentemente dal tempo impiegato, una volta eseguiti tutti gli item previsti dal compito.

I dati raccolti per la valutazione riguardo sia il tempo di esecuzione che l'accuratezza, definita come il numero di risposte corrette espresse dal soggetto.

3.4.2 Questionari carta e matita

I questionari self-report somministrati ad ogni bambino sono stati selezionati ed adattati sulla base di precedente letteratura a riguardo (Markopoulos & Bekker, 2003; Read, MacFarlane & Casey, 2001; Sim, MacFarlane & Read, 2006): il primo, "Conosciamoci", è stato svolto in aula prima della somministrazione dei test neuropsicologici tramite app, mentre il secondo, il "*Self-report Cognitive Effort*", è stato compilato in seguito alle prove cognitive. Per i soggetti appartenenti alla classe prima sono stati raccolti solo i questionari autovalutativi sull'affaticamento cognitivo.

Il questionario "Conosciamoci" è stato somministrato con l'intenzione di studiare la familiarità riguardo l'utilizzo di dispositivi digitali, come computer, smartphone e tablet, nella vita quotidiana degli studenti successivamente testati (Figura 12). Tale indagine è giustificata dal ricorso, all'interno dello studio, di uno strumento digitale come l'iPad per la valutazione delle funzioni cognitive di attenzione, memoria ed inibizione.

CONOSCIAMOCI:

Ciao, vorrei farti una domanda prima di iniziare il gioco così possiamo conoscerci meglio! 😊

- Hai mai **giocato** ai videogiochi? SI NO

- Quale dei seguenti dispositivi usi per giocare ai **videogiochi**?
Puoi segnare più risposte

<input type="checkbox"/> PC/computer	<input type="checkbox"/> Xbox
<input type="checkbox"/> tablet	<input type="checkbox"/> Playstation
<input type="checkbox"/> smartphone	<input type="checkbox"/> Altri (specifica) _____
<input type="checkbox"/> Nintendo	

Figura 12. Parte del questionario "Conosciamoci".

Il questionario "*Self-report Cognitive Effort*", creato da Bess e Hornsby (2014) e tradotto in lingua italiana, valuta l'affaticamento cognitivo sperimentato soggettivamente dal soggetto, in relazione alle condizioni acustiche a cui si è stati esposti. La versione utilizzata nella sperimentazione (Figura 13) è composta da 6 domande, per ognuna delle

quali il soggetto può rispondere con una crocetta su una delle 5 alternative disponibili. Le risposte in realtà appartengono ad una scala Likert da 1 (per niente) a 5 (molto), la cui comprensione è aiutata dalla presenza di disegni rappresentativi delle due polarità estreme. Le risposte, incentrate sul grado di affaticamento e sforzo cognitivo vissuti nell'esecuzione dei giochi in app, vengono calcolate come un punteggio medio di tutti gli item del questionario, ad eccezione della quarta domanda in cui il punteggio viene invertito. (Bess & Hornsby, 2014; McGarrigle et al., 2017)

		Ho fatto fatica a ricordare				
Per niente	Un po'	Abbastanza	Molto	Moltissimo		
I	II	III	IIII	IIIII		
		Ero distratto/a dal rumore				
Per niente	Un po'	Abbastanza	Molto	Moltissimo		
I	II	III	IIII	IIIII		

Figura 13. Alcuni item del questionario "Self-report Cognitive Effort".

3.5 RISULTATI

Prima di procedere all'analisi dei dati, è stata eseguita una selezione sul campione di indagine: soggetti con esigenze educative e didattiche particolari, come nel caso di DSA, individuati grazie alla collaborazione degli insegnanti, hanno partecipato allo studio, ma i loro risultati non sono stati inclusi nell'analisi statistica, al fine di garantire l'omogeneità del campione. Il campione considerato nelle analisi statistiche che seguiranno, quindi, è composto da un totale di 84 soggetti, di cui 33 maschi e 51 femmine, distribuiti in modo relativamente omogeneo nelle cinque classi prese in esame (Tabella 1).

	Frequenza	Percentuale	Percentuale cumulativa
Prima elementare	16	19 %	19 %
Seconda elementare	18	21.4 %	40.5 %
Terza elementare	15	17.9 %	58.3 %
Quarta elementare	16	19 %	77.4 %
Quinta elementare	19	22.6 %	100 %

Tabella 1. Numerosità del campione per gruppo classe.

Per le analisi statistiche, è stato usato il software SPSS e sono state svolte le seguenti analisi:

- Statistiche descrittive
- Analisi della varianza (ANOVA) “*within e between-subjects*”

Sono stati in seguito effettuati anche dei t-test per dati appaiati, al fine di approfondire e confermare i risultati dell’ANOVA. I dati relativi al test di reading span non sono stati esaminati, in quanto ritenuti non attendibili a causa di problemi tecnici dell’app digitale CoEN. Per ogni singolo test, sono stati presi in esame solamente i dati relativi ai soggetti che hanno eseguito le valutazioni in entrambe le condizioni, in quanto alcuni dei bambini non hanno eseguito tutti i compiti, verosimilmente per problemi tecnici o errori nella procedura; inoltre, sono stati esclusi dalle analisi statistiche punteggi anomali e non coerenti con un normale svolgimento delle prove (outliers). Queste due motivazioni giustificano le piccole variazioni della numerosità presenti in alcune analisi statistiche. Le statistiche descrittive hanno consentito di ottenere una panoramica generale delle performance dei soggetti in ciascuna prova, in termini di media e deviazione standard relative a ciascun gruppo classe, in entrambe le condizioni acustiche (Tabella 2).

Test	Classe	N	Condizione	Media	DS	
Digit Span Diretto	Prima elementare	11	Quiete	4,27	1,191	
			Rumore	4,09	,944	
	Seconda elementare	15	Quiete	5,87	1,598	
			Rumore	5,73	1,280	
	Terza elementare	15	Quiete	5,73	1,100	
			Rumore	5,53	1,457	
	Quarta elementare	16	Quiete	6,50	1,713	
			Rumore	5,88	2,363	
	Quinta elementare	18	Quiete	6,67	1,188	
			Rumore	6,44	1,504	
	Campione totale	75	Quiete	5,93	1,563	
			Rumore	5,65	1,736	
	Digit Span Inverso	Prima elementare	11	Quiete	4,18	1,079
				Rumore	4,09	1,300
Seconda elementare		15	Quiete	4,20	2,908	
			Rumore	4,07	3,173	
Terza elementare		15	Quiete	3,93	2,282	
			Rumore	4,27	2,187	
Quarta elementare		16	Quiete	6,19	,911	
			Rumore	5,88	1,628	
Quinta elementare		19	Quiete	6,47	1,611	
			Rumore	6,63	1,770	
Campione totale		76	Quiete	5,13	2,187	
			Rumore	5,13	2,346	

Attenzione volti	Prima elementare	11	Quiete	10,55	7,891
			Rumore	8,18	9,228
	Seconda elementare	14	Quiete	10,79	11,301
			Rumore	11,57	10,797
	Terza elementare	14	Quiete	12,07	11,132
			Rumore	16,71	8,371
	Quarta elementare	16	Quiete	14,75	16,559
			Rumore	17,38	9,193
Quinta elementare	19	Quiete	18,58	12,941	
		Rumore	19,68	8,340	
Campione totale	74	Quiete	13,85	12,690	
		Rumore	15,38	9,800	
Attenzione animali	Prima elementare	11	Quiete	14,36	6,071
			Rumore	13,64	7,827
	Seconda elementare	17	Quiete	16,06	9,284
			Rumore	17,00	11,330
	Terza elementare	15	Quiete	21,20	6,560
			Rumore	20,07	13,392
	Quarta elementare	16	Quiete	23,81	6,666
			Rumore	23,81	4,385
Quinta elementare	19	Quiete	24,47	9,588	
		Rumore	24,84	9,459	
Campione totale	78	Quiete	20,45	8,756	
		Rumore	20,42	10,407	
Inibizione	Prima elementare	11	Quiete	54,09	9,137
			Rumore	55,18	6,400
	Seconda elementare	17	Quiete	48,12	11,005
			Rumore	52,06	11,443
	Terza elementare	14	Quiete	46,57	11,940
			Rumore	48,71	12,156
	Quarta elementare	16	Quiete	56,19	6,940
			Rumore	56,94	5,157
Quinta elementare	19	Quiete	54,53	8,382	
		Rumore	55,79	8,317	
Campione totale	77	Quiete	51,95	10,086	
		Rumore	53,83	9,415	

Tabella 2. Medie e deviazioni standard (DS), per test e gruppo classe (N=numero di studenti).

Sono state condotte delle analisi statistiche descrittive anche sui risultati ottenuti dal questionario sull'affaticamento cognitivo percepito, prendendo in considerazione il punteggio totale corrispondente alla media delle risposte ai singoli item (Tabella 3).

	Classe	N	Condizione	Media	DS
Self-report Cognitive Report	Prima elementare	11	Quiete	1,7879	,53276
			Rumore	2,3636	,93339
	Seconda elementare	15	Quiete	1,7000	,57113
			Rumore	1,7889	,83206
	Terza elementare	15	Quiete	1,5889	,59049
			Rumore	1,9800	,63029
	Quarta elementare	16	Quiete	2,1042	,67735
			Rumore	2,3438	,64253
	Quinta elementare	19	Quiete	1,7544	,44917
			Rumore	2,1228	,78733
Campione totale	76	Quiete	1,7895	,57887	
		Rumore	2,1101	,77203	

Tabella 3. Medie e deviazioni standard (DS), per test e gruppo classe (N=numerosità).

L'analisi della varianza mista (ANOVA) entro soggetti non riporta, in nessuna delle prove in esame, una differenza significativa tra le due condizioni o una interazione significativa tra condizione e gruppo classe. Emergono, tuttavia, differenze significative se si considerano le analisi tra soggetti, che considerano i 5 differenti gruppi classe indipendentemente dalla variabile condizione. Tali risultati sono stati confermati anche da un'ulteriore analisi statistica tramite t-test per dati appaiati.

Nello specifico, l'analisi dei dati del digit span diretto non evidenzia né un effetto principale della condizione ($F_{(1,70)}=1.47$, $p=0.22$) né un effetto interazione con la classe ($F_{(4,70)}<1$, $p=0.95$) (Tabella 4); emergono invece differenze significative per il fattore gruppo (Tabella 5) ($F_{(4,70)}=7.70$, $p<.05$), in particolare tra la prima e tutte le altre, come indicato dalle analisi post-hoc relative al gruppo classe (Grafico 1).

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Condizione	1	1,479	,228	,021
Condizione x classe	4	,170	,953	,010
Errore	70			

Tabella 4. ANOVA entro soggetti per il test di digit span avanti.

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Intercetta	1	1728,363	<.001	,961
Classe	4	7,705	<.001	,306
Errore	70			

Tabella 5. ANOVA tra soggetti per il test di digit span diretto.

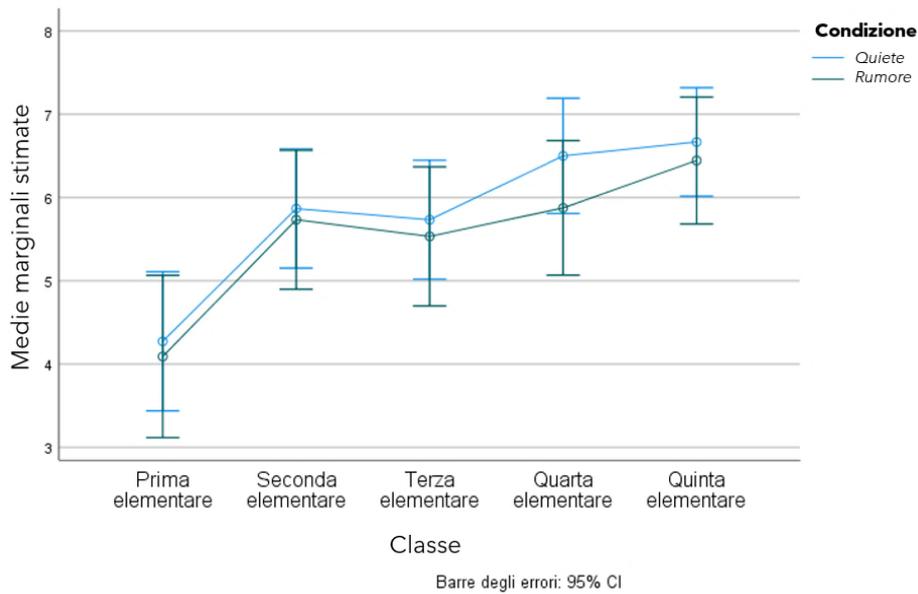


Grafico 1. Andamento delle medie per il test del digit span diretto.

I dati del digit span inverso, presentati nel grafico 2, non rilevano un effetto condizione ($F_{(1,71)} < 1$, $p = 0.96$) o un effetto interazione tra condizione e gruppo ($F_{(4,71)} < 1$, $p = 0.86$) (Tabella 6), ma evidenziano un effetto principale dovuto al gruppo ($F_{(4,71)} = 7.04$, $p < .05$), in particolare, come si vede dal grafico e come confermato dalle analisi post-hoc, tra le classi prima, seconda e terza, tra loro omogenee, e le classi quarta e quinta (Tabella 7).

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Condizione	1	,002	,965	<,001
Condizione x classe	4	,316	,866	,018
Errore	71			

Tabella 6. ANOVA entro soggetti per il test di digit span inverso.

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Intercetta	1	555,380	<.001	,887
Classe	4	7,047	<.001	,284
Errore	71			

Tabella 7. ANOVA tra soggetti per il test di digit span inverso.

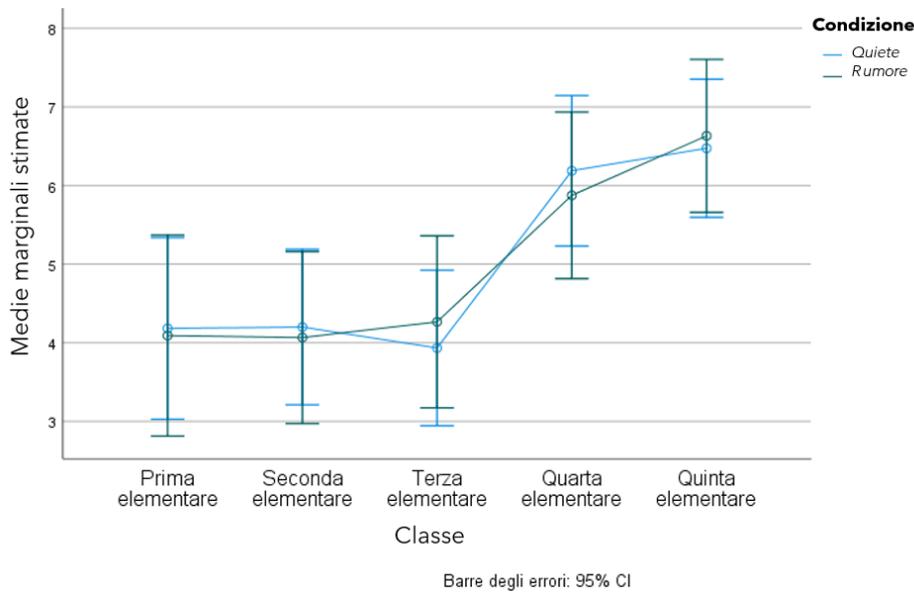


Grafico 2. Andamento delle medie per il test del digit span inverso.

Nel test di attenzione con i volti, a fronte dell'assenza di un effetto condizione ($F_{(1,69)} < 1$, $p = 0.46$) e un effetto interazione tra condizione e gruppo ($F_{(4,69)} < 1$, $p = 0.84$) nell'analisi entro soggetti (Tabella 8), l'analisi tra soggetti evidenzia una differenza significativa ($F_{(4,69)} = 3.616$, $p = .010$) nei dati, rappresentati dal grafico 3. Le analisi post-hoc relative al gruppo (classe) evidenziano una differenza significativa ($p < 0.05$), tra la classe prima e la classe quinta (Tabella 9).

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Condizione	1	,549	,461	,008
Condizione x classe	4	,345	,847	,020
Errore	69			

Tabella 8. ANOVA entro soggetti per il test di attenzione volti.

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Intercetta	1	228,973	<.001	,768
Classe	4	3,616	.010	,173
Errore	69			

Tabella 9. ANOVA tra soggetti per il test di attenzione volti.

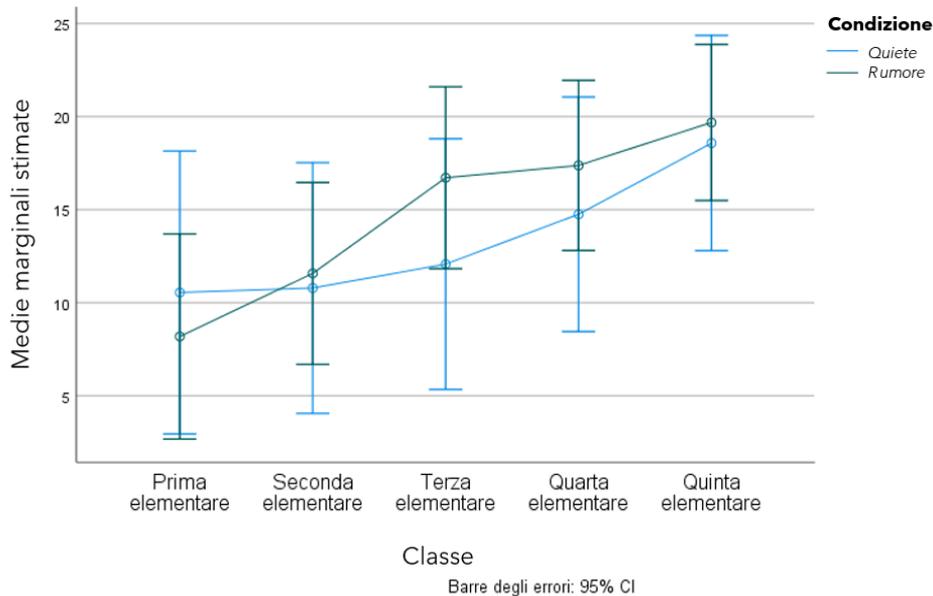


Grafico 3. Andamento delle medie per il test di attenzione volti.

Nel test di attenzione con gli animali non emerge una differenza significativa per condizione ($F_{(1,73)} < 1$, $p = 0.94$) o un effetto interazione con la variabile classe ($F_{(4,73)} < 1$, $p = 0.99$) (Tabella 10); le differenze significative emerse invece dall'analisi tra soggetti ($F_{(4,73)} = 7.763$, $p < .01$) e mostrate nel grafico 4 risultano significative ($p < 0.05$), dalle analisi post-hoc relative al gruppo (classe), tra le classi prima e seconda rispetto alle classi quarta e quinta (Tabella 11).

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Condizione	1	,006	,940	<,001
Condizione x classe	4	,066	,992	,004
Errore	73			

Tabella 10. ANOVA entro soggetti per il test di attenzione animali.

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Intercetta	1	751,791	<.001	,911
Classe	4	7,763	<.001	,298
Errore	73			

Tabella 11. ANOVA tra soggetti per il test di attenzione animali.

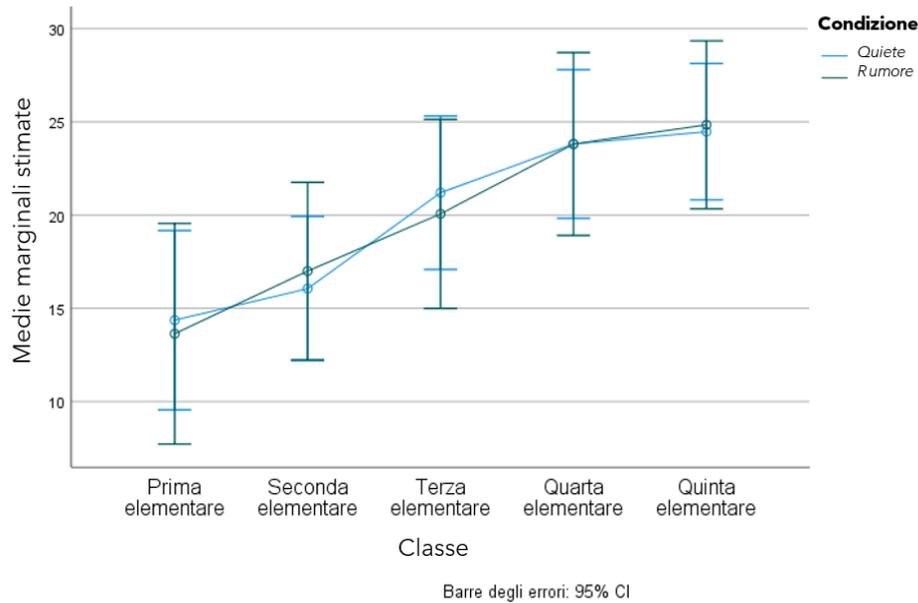


Grafico 4. Andamento delle medie per il test di attenzione animali.

Per quanto riguarda, infine, il test di inibizione, i cui risultati sono presentati nel grafico 5, le analisi non evidenziano un effetto condizione ($F_{(1,72)}=1.55$, $p=0.21$) o interazione tra condizione e gruppo ($F_{(1,72)}<1$, $p=0.95$) (Tabella 12), ma l'analisi tra soggetti evidenzia una differenza significativa ($F_{(4,72)}=4.533$, $p<0.05$). Nello specifico, come indicato nelle analisi post-hoc, significativa ($p<0.05$) tra la classe terza e le classi quarta e quinta (Tabella 13).

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Condizione	1	1,557	,216	,021
Condizione x classe	4	,167	,955	,009
Errore	72			

Tabella 12. ANOVA entro soggetti per il test di inibizione.

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Intercetta	1	4342,730	<.001	,984
Classe	4	4,533	.003	,201
Errore	72			

Tabella 13. ANOVA tra soggetti per il test di inibizione.

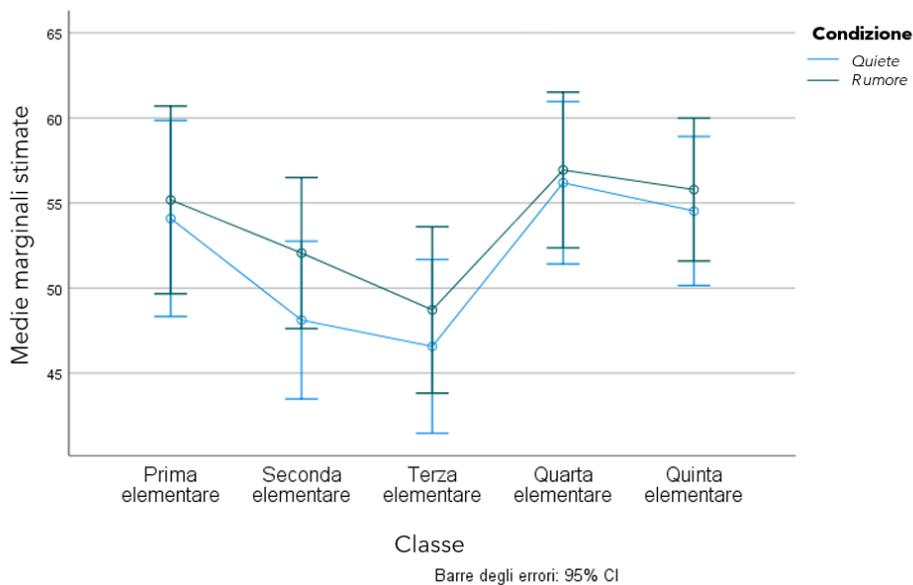


Grafico 5. Andamento delle medie per il test di inibizione.

Differentemente dagli altri compiti, nel test di inibizione sono stati valutati anche i tempi di reazione, indicatori particolarmente rilevanti in questo tipo di test cognitivo, per analizzare eventuali differenze nelle due condizioni acustiche in termini di velocità di esecuzione del compito. Anche in questo caso, tuttavia, non sono emerse differenze dovute al fattore condizione ($F(1,76)=0.31$, $p=0,57$), mentre è risultato significativo l'effetto gruppo (classe), con tempi di risposta decrescenti all'aumentare dell'età dei bambini.

Riguardo alle statistiche condotte sui dati relativi al questionario sull'affaticamento cognitivo, l'analisi della varianza mista, differentemente dai precedenti risultati, mostra una differenza significativa per la variabile condizione ($F(1,71)=17.89$, $p<.05$) (Tabella 14). Questa differenza, risulta inoltre indipendente rispetto alla variabile classe, ($F(1,71)=17.989$, $p<.001$) (Tabella 15). Come si può vedere dal grafico 6, esiste sempre una differenza tra le due condizioni, con valori relativi al rumore sempre maggiori rispetto a quelli corrispondenti alla quiete. Dalle analisi post-hoc risultano in particolare differenze statisticamente significative fra la condizione di quiete e di rumore per le classi prima ($p=0.006$), terza ($p=0.03$) e quinta ($p=0.02$).

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Condizione	1	17,898	<,001	,201
Condizione x classe	4	,957	,437	,051
Errore	71			

Tabella 14. ANOVA entro soggetti per il questionario sull'affaticamento cognitivo.

	gl	F	Valore p	Dimensione dell'effetto
Intercetta	1	832,639	<.001	,921
Classe	4	1,794	.140	,092
Errore	71			

Tabella 15. ANOVA tra soggetti per il questionario sull'affaticamento cognitivo.

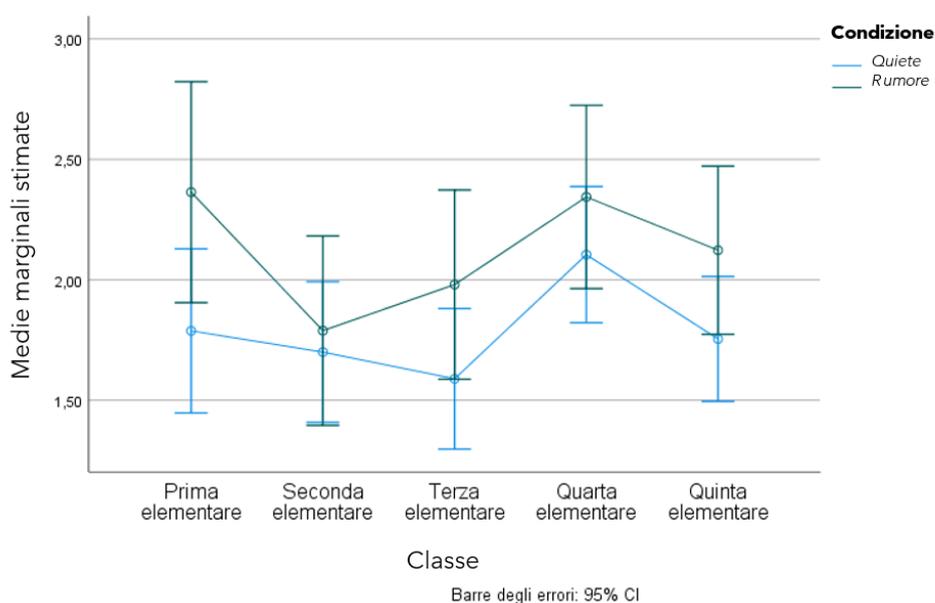


Grafico 6. Andamento delle medie per il questionario sull'affaticamento cognitivo.

3.6 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

I risultati raccolti nello studio di questa tesi concordano solo parzialmente con la letteratura scientifica presa in esame e non verificano completamente le ipotesi formulate in partenza.

L'analisi dei dati ha preso in considerazione due tipologie di indicatori dell'affaticamento cognitivo: i risultati delle prove eseguite con l'app CoEN, in termini di risposte corrette, accuratezza e tempi di risposta, che si configurano come indici comportamentali, e le

risposte fornite nei questionari “*Self-report Cognitive Effort*”, che rappresentano indici soggettivi, di self-report.

In partenza è stata fatta un’ipotesi relativa a due aspetti principali: la diversa condizione acustica, con l’ipotesi di un affaticamento cognitivo maggiore nella condizione di rumore rispetto alla condizione di quiete, e il fattore età (categorizzato attraverso l’appartenenza ad una delle cinque classi di scuola elementare) per il quale ci si aspettava un miglioramento delle performance cognitive nei bambini più grandi. La formulazione di tali ipotesi è legittimata dall’analisi della letteratura, in cui più volte sono stati confermati questo tipo di effetti nei bambini di scuola primaria (Berglund et al., 1999; Evans & Lepore, 1993; Klatte, Berström & Lachmann, 2013; Schlittmeier et al., 2015; Shield & Dockrell, 2003; Stansfeld & Matheson, 2003).

Per quanto riguarda le analisi relative alla variabile classe, sono state evidenziate in tutte le prove cognitive delle differenze statisticamente significative, con particolare riferimento alla differenza fra le classi prima e quinta. Un risultato di questo tipo conferma le aspettative riguardo performance migliori a fronte di una maggiore età ed è riconducibile al fatto che nei bambini più grandi alcune funzioni esecutive e abilità cognitive richieste per lo svolgimento dei test sono in una fase di sviluppo più avanzata rispetto ai bambini di età inferiore. Questa evidenza è ampiamente confermata in letteratura e riflette lo sviluppo graduale delle funzioni esecutive nei bambini appartenenti alla fascia d’età scolare (Anderson, 2002; Best & Miller, 2010; Ferguson, Brunson & Bradford, 2021; Vicari & Caselli, 2017; Zelazo et al., 2014).

Tuttavia, nonostante in letteratura si trovi ampia conferma della presenza di un effetto negativo del rumore sulle prestazioni cognitive di bambini di età scolare, ciò non è stato riscontrato nei risultati ottenuti sul campione di questo studio. Difatti, dalle analisi statistiche non sono emersi in nessuna delle prove cognitive prese in esame differenze significative tra la condizione di quiete e la condizione di rumore, in nessuna delle cinque classi scolastiche prese in considerazione.

Questo tipo di risultato può essere spiegato da una serie di fattori che possono aver influito sulla prestazione degli alunni. Ciò che viene sperimentato quotidianamente dai bambini all’interno del contesto di classe è uno scenario acustico nel quale i rumori si presentano a intensità variabile e possono essere di diversa natura, anche intermittente, in interazione tra loro e ulteriormente riverberati a causa delle superfici riflettenti presenti nell’aula.

Questo comporta probabilmente una richiesta cognitiva superiore a quella relativa al protocollo sperimentale di questo studio. È da sottolineare come nella raccolta dati descritta in questo lavoro, i test siano stati svolti dai bambini all'interno di un contesto particolarmente controllato: i bambini hanno eseguito le prove in modalità individuale, con l'assistenza dell'adulto esaminatore, presente in rapporto uno a tre rispetto agli alunni; il rumore, di natura non intermittente, era presentato in cuffia; inoltre, se necessario, venivano fornite al bambino indicazioni mirate e personalizzate per l'utilizzo dell'app. È possibile che l'esecuzione dei test previsti dall'app CoEN, nella condizione di rumore in cuffia, non abbia richiesto ai bambini un particolare sforzo cognitivo rispetto a quanto vissuto quotidianamente all'interno del contesto scolastico.

D'altra parte, è interessante notare tuttavia come delle differenze statisticamente significative siano state riscontrate nell'analisi dei punteggi del questionario di *self-report* per il *cognitive effort*. I risultati riguardanti la percezione dell'affaticamento cognitivo sperimentato nelle due diverse condizioni acustiche indicano infatti come i bambini abbiano sempre percepito un affaticamento maggiore nella condizione di rumore, e questo a prescindere dalla classe di appartenenza. I dati del questionario mostrano quindi che, nonostante ciò non sia rilevabile dagli indici comportamentali, nella condizione di rumore è stata effettivamente percepita una condizione di maggiore sforzo cognitivo. È possibile quindi che a fronte di prestazioni cognitive comparabili nelle due condizioni acustiche, lo sforzo percepito dai bambini durante il completamento delle prove in condizione di rumore sia stato maggiore.

Si può concludere quindi che il contesto controllato in cui gli alunni hanno svolto le prove cognitive ha permesso loro di mantenere in condizione di rumore una prestazione analoga a quella ottenuta in quiete, nonostante un questo possa aver comportato un maggiore sforzo cognitivo come testimoniato dai dati del questionario.

È estremamente importante la consapevolezza che ad uno stesso risultato possano corrispondere livelli diversi di carico cognitivo richiesto per il suo raggiungimento e di come queste differenze, oltre che a caratteristiche individuali degli alunni, possano essere dovute anche a caratteristiche ambientali dei contesti nei quali i bambini si trovano.

Al fine di un'analisi più approfondita e oggettiva di questi processi si potrebbe ipotizzare di valutare l'affaticamento del bambino durante lo svolgimento di un compito in presenza o meno di rumore utilizzando anche misure oggettive di variabili fisiologiche

generalmente associate allo sforzo cognitivo, come ad esempio la dilatazione pupillare o la risposta cardiaca (Einhauser, 2017; Evans, Hygge & Bullinger, 1995; Gómez-Merino et al., 2020; McGarrigle et al., 2017; Pichora-Fuller et al., 2016; Zekveld et al., 2014).

3.7 LIMITI DELLO STUDIO

Lo studio di questa tesi riporta indubbiamente diversi limiti metodologici, che possono avere verosimilmente influito in misura negativa rispetto all'oggettività della panoramica di dati raccolti.

Innanzitutto, le valutazioni delle varie classi sono state svolte in periodi differenti dell'anno scolastico, a causa delle tempistiche scolastiche: l'atteggiamento e il generale livello di stanchezza vissuto dagli studenti nelle ultime settimane di dicembre, subito prima dell'interruzione per le vacanze invernali, senza alcun dubbio risultano differenti da quelli sperimentati nelle prime settimane di gennaio, al rientro dalla pausa.

Inoltre, alcuni bambini delle classi terza, quarta e quinta, a causa di tempistiche didattiche interne alla scuola, hanno svolto la prima delle due valutazioni previste dall'iter nelle prime ore del pomeriggio invece che durante la mattina, come tutti i loro compagni di classe: l'esecuzione delle prove in seguito alla consumazione del pranzo e alle precedenti ore scolastiche mattutine può aver comportato un livello di stanchezza maggiore in questi soggetti, rispetto ai loro coetanei.

Un'altra variabile che verosimilmente può aver influito nella valutazione dei soggetti è il luogo nel quale sono stati effettuati i test: a causa del distanziamento previsto dalle misure dovute all'emergenza sanitaria del Covid-19, gli spazi scolastici disponibili erano limitati e, nella maggior parte delle valutazioni, adiacenti ad altre classi o a spazi comuni. Di conseguenza, pur svolgendo le prove in aule separate da quelle della propria classe, non è mai stato possibile raggiungere una completa condizione di silenzio. Inoltre, saltuariamente, nella stanza erano presenti altri insegnanti o alunni per questioni didattiche: questo tipo di interruzioni possono aver avuto sia ruolo di distrattore acustico che di distrattore attentivo, soprattutto nella condizione di quiete.

Infine, un ulteriore aspetto che può rappresentare un limite metodologico rispetto all'iter sperimentale riguarda il protocollo seguito con i soggetti appartenenti alla classe di prima elementare: gli studenti non possedevano la conoscenza del carattere minuscolo, il che non ha reso possibile l'esecuzione autonoma delle prove e dei questionari. Di

conseguenze, il procedimento attuato per questi bambini è stata la spiegazione in forma orale delle istruzioni relative ad app e questionari. Questa soluzione, seppur metodologicamente valida, potrebbe aver introdotto un ulteriore elemento di variabilità.

CONCLUSIONI

Dalla letteratura, è evidente come l'apprendimento nella fascia di età tra i 6 e gli 11 anni, sia influenzato da fattori individuali e contestuali, che possono ostacolare l'evoluzione ottimale.

Uno dei fattori che può impattare in modo particolarmente negativo su processi cognitivi, funzioni esecutive e quindi, a cascata, anche sulle prestazioni scolastiche, è la presenza di condizioni acustiche non adeguate all'interno del contesto scolastico. Il rumore può essere considerato una sorgente di stress e distrazione per gli alunni e i suoi effetti sui processi cognitivi in bambini di età scolare sono stati ampiamente indagati e documentati. Lo studio condotto in questo lavoro di tesi si presenta come un'ulteriore indagine sul campo dell'effetto del rumore sui processi cognitivi di memoria, attenzione e inibizione, in bambini di scuola primaria, attraverso l'analisi di indici comportamentali e soggettivi. Ciò è stato possibile grazie alla collaborazione del corpo docente della scuola "D. Prato", dei genitori degli studenti e dei bambini stessi. Questi ultimi si sono mostrati estremamente curiosi riguardo l'attività e interessati durante lo svolgimento delle prove previste dall'app e durante la compilazione dei questionari. Anche gli insegnanti hanno riferito come il progetto sia stato recepito dai bambini con interesse, divertimento e motivazione.

Dai risultati raccolti si può concludere che, nonostante le prestazioni cognitive siano state analoghe in condizione di quiete e di rumore, lo sforzo cognitivo percepito dai bambini sia stato significativamente maggiore in presenza di rumore.

Questo tipo di risultati incoraggia ulteriori analisi a riguardo, magari introducendo l'analisi di indici di tipo fisiologico, al fine di ottenere un quadro più completo che permetta di spiegare meglio alcuni processi cognitivi e gli effetti del rumore su bambini in età evolutiva.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar J. R. (2019). A review of acoustic design criteria for school infrastructure in Chile. *Revista Ingeniería de Construcción (RIC)*, 34 (2), 115-123. doi.org/10.4067/S0718-50732019000200115
- Anderson P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 8(2), 71-82. doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724
- Anolli L. & Legrenzi P. (2012). *Psicologia generale. Quinta edizione*. Bologna: Il Mulino.
- Arfé B., Rossi C., & Sicoli S. (2015). The Contribution of Verbal Working Memory to Deaf Children's Oral and Written Production. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 20 (3), 203-214. doi.org/10.1093/deafed/env005
- Baddeley A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature reviews. Neuroscience*, 4(10), 829–839. doi.org/10.1038/nrn1201
- Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Clark C., Janssen S. & Stansfeld S. (2013). Auditory e non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383 (9925), 1325-1332. doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X
- Bell R., Buchner A. & Mund I. (2008). Age-related differences in irrelevant-speech effects. *Psychology and Aging*, 23 (2), 377-391. doi.org/10.1037/0882-7974.23.2.377
- Belojevic G., Evans G. W., Paunovic K. & Jakovljevic B. (2012). Traffic noise and executive functioning in urban primary school children: the moderating role of gender. *Journal of Environmental Psychology*, 32, 337-341. doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.05.005

- Berglund B., Lindvall T., Schwela D. H. & World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. (1999). Guidelines for community noise. World Health Organization. <http://www.who.int/peh>
- Bess F. H., & Hornsby B. W. Y. (2014). Commentary: Listening Can Be Exhausting—Fatigue in Children and Adults With Hearing Loss. *Ear & Hearing*, 35(6), 592–599. doi.org/10.1097/AUD.0000000000000099
- Best J. R. & Miller P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Functions. *Child Development*, 81(6), 1641-1660. doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x
- Bluyssen P. M., Zhang D., Kurvers S., Overtom M. & Ortiz-Sanchez M.. (2018). Self-reported health and comfort of school children in 54 classrooms of 21 Dutch school buildings. *Building and Environment*, 138. doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.032
- Bronzaft A. L. & McCarthy D. P. (1975). The effect of elevated train noise on reading ability. *Environment and Behaviour*, 7 (4), 517-528. doi.org/10.1177/001391657500700406
- Bronzaft A. L. (1981). The effect of a noise abatement program on reading ability. *Journal of Environmental Psychology*, 1, 215-222. doi.org/10.1016/S0272-4944(81)80040-0
- Caiola S., Visentin C., Borella E., Mammarella I. & Prodi N. (2021). Out of noise: effects of sound environment on maths performance in middle-school students. *Journal of Environmental Psychology*, 73, 101552. doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101552
- Circolare Ministeriale n.3150, 22 maggio 1967. Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici. (Roma, Italia).
- Clark C. & Paunovic K. (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and cognition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (2), 285. doi.org/10.3390/ijerph15020285
- Clark C., Martin R., van Kempen E., Alfred T., Head J., Davies H. W., Haines M. M., Lopez Barrio I., Matheson M. & Stansfeld S. A. (2006). Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading

comprehension: the RANCH project. *American journal of epidemiology*, 163(1), 27-37. doi.org/10.1093/aje/kwj001

Cohen S., Evans G. W., Krantz D. S. & Stokols D. (1980). Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children: moving from the laboratory to the field. *American Psychologist*, 35(3), 231-243. doi.org/10.1037//0003-066x.35.3.231

Cohen S., Krantz D. S., Evans G. W., Stokols D. & Kelly S. (1981). Aircraft noise on children: longitudinal and cross-sectional evidenze on adaptation to noise and the effectiveness of noise abatement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 40 (2), 331-345. doi.org/10.1037/0022-3514.40.2.331

Coon D. & Mitterer J. O. (2011). *Psicologia generale*. Edizione italiana a cura di Giusberti F., Ricci Bitti P. E., Bonfiglioli L. & Gambetti E. Novara: UTET Università

Cornoldi C., Meneghetti C., Moè A. & Zamperlin C. (2018). *Processi cognitivi, apprendimento e motivazione*. Bologna: Il Mulino.

Cornoldi C., Tressoldi P.E. & Perini N. (2009). Valutare la rapidità e la correttezza della lettura di brani: nuove norme e alcune chiarificazioni per l'uso delle prove MT. *Dipartimento di Psicologia Generale, Università di Padova*.

Cortés Pascual A., Moyano Muñoz N. & Quílez Robres A. (2019). The relationship between executive functions and academic performance in primary education: review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 10, 1582. doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01582

Crook M. A. & Langdon F. J. (1974). The effects of aircraft noise in schools around London airport. *Journal of Sound and Vibration*, 34 (2), 221-232. doi.org/10.1016/S0022-460X(74)80306-8

Daneman M., & Carpenter P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466. doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6

- De Franchis V. & Usai M. C. (2013). Abilità di base nell'area alfabetica e matematica: il ruolo delle funzioni esecutive. *Psicologia clinica dello sviluppo*, 17 (1), 73-95. doi.org/10.1449/73827
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 05 dicembre 1997. Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici. (Italia) *Gazzetta Ufficiale*, n.297, 4-5.
- Diamond A. & Lee K. (2011). Interventions shown to Aid Executive Function Development in Children 4-12 Years Old. *Science*, 333(6045), 959-964. doi.org/10.1126/science.1204529
- Diamond A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64:135-168. doi.org/10.1146/annurev-psych-1130acousti11-143750
- Diamond, A., Barnett, W.S., Thomas, J. e Munro, S. (2007). Preschool Program Improves Cognitive Control. *Science*, 318(5855), 1387-1388. doi.org/10.1126/science.1151148
- Dockrell J. E. & Shield B. M. (2006). Acoustical barriers in classrooms: the impact of noise on performance in the classroom. *British Educational Research Journal*, 32 (3), 509-525. doi.org/10.1080/01411920600635494
- Einhauser W. (2017). The Pupil as Marker of Cognitive Processes. In Zhao Q., *Computational and Cognitive Neuroscience of Vision. Cognitive Science and Technology* (141-169). Singapore: Springer. doi.org/10.1007/978-981-10-0213-7_7
- Ellermeier W. & Zimmer K. (2014). The psychoacoustics of the irrelevant sound effect. *Acoustical Science and Technology*, 35 (1), 10-16. doi.org/10.1250/ast.35.10
- Evans G. W. & Lepore S. J. (1993). Nonauditory effects of noise on children: a critical review. *Children's Environments*, 10 (1), 31-51. doi.org/10.2307/41515250
- Evans G. W., Hugge S. & Bullinger M. (1995). Chronic noise and psychological stress. *Psychological Science*, 6 (6), 333-338. doi.org/10.1111/j.1467-9280.1995.tb00522.x
- Feldman R. S., Amoretti G. & Ciceri M. R. (2021). *Psicologia generale. Quarta edizione*. McGraw-Hill Education.

- Ferguson H. J., Brunson V. E. A. & Bradford E. E. F. (2021). The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific Reports*, 11(1), 1382. doi.org/10.1038/s41598-020-80866-1
- Fernandes R. A., Vidor D. & Oliveira A. A. (2019). The effect of noise on attention and performance in reading and writing tasks. *CoDAS*, 31(4), e20170241. doi.org/10.1590/2317-1782/20182017241
- Friedman N. P. & Miyake A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186-204. doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023
- Gómez-Merino N., Gheller F., Spicciarelli G. & Trevisi P. (2020). Pupillometry as a measure for listening effort in children: a review. *Hearing, Balance and Communication*, 18(3), 152-158. doi.org/10.1080/21695717.2020.1807256
- Gheller F., Lovo E., Arsie A. & Bovo R. (2020). Classroom acoustics: Listening problems in children. *Building Acoustics and Health*, 27(1), 47-59. doi.org/10.1177/1351010X19886035
- Haines M. M., Stansfeld S. A., Head J. & Job R. F. S. (2002). Multilevel modelling of aircraft noise on performance tests in school around Heathrow Airport London. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 56(2), 139-144. doi:10.1136/jech.56.2.139
- Haines M. M., Stansfeld S. A., Job R. F. S., Berglund B. & Head J. (2001). Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychological Medicine*, 31, 265-277. doi.org/10.1017/s0033291701003282
- Hao H. & Conway A. R. A. (2022). The impact of auditory distraction on reading comprehension: an individual differences investigation. *Memory & Cognition*, 50, 852-863. doi.org/10.3758/s13421-021-01242-6
- Howard C. S., Munro K. J. & Plack C. J. (2010). Listening effort at signal-to-noise ratios that are typical of the school classroom. *International Journal of Audiology*, 49, 928-932. doi.org/10.3109/14992027.2010.520036

- Hugge S., Evans G. W. & Bullinger M. (2002). A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. *Psychological Science*, 13 (5), 469-474. doi.org/ 10.1111/1467-9280.00483
- Hughes R. & Jones D. M. (2001). The intrusiveness of sound: laboratory findings and their implications for noise abatement. *Noise & Health*, 4:13, 51-70.
- Huizinga M., Baeyens D., & Burack J. A. (2018). Editorial: Executive Function and Education. *Frontiers in psychology*, 9, 1357. doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01357
- Hurtig A., van de Poll M. K., Pekkola E. P., Hygge S., Ljung R. & Sörqvist P (2016). Children's recall of words spoken in their first and second language: effects of signal-to-noise ratio and reverberation time. *Frontiers in psychology*, 6, 2029. doi.org/ 10.3389/fpsyg.2015.02029
- Iglehart F. (2016). Speech perception in classroom acoustics by children with cochlear implants and with typical hearing. *American Journal of Audiology*, 25, 100-109. doi.org/ 10.1044/2016_AJA-15-0064
- Isidori M. V. & Prospero M. (2019). Lo screening dei prerequisiti dell'apprendimento e il loro potenziamento. Un'indagine nella scuola dell'infanzia nell'ottica della didattica inclusiva. *Italian Journal of Special Education for Inclusion*, 7 (1), 171-188. doi.org/10.7346/sipes-01-2019-14
- Jafari M. J., Khosrowabadi R., Khodakarim S. & Mohammadian F. (2019). The effect of noise exposure on cognitive performance and brain activity patterns. *Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7 (17), 2924-2931. doi.org/10.3889/oamjms.2019.742
- Klatte M., Bergström K. & Lachmann T. (2013). Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Frontiers in psychology*, 4, 578. doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00578
- Koelewijn T., de Kluiver H., Shinn-Cunningham B. G., Zekveld A. A. & Kramer S. E. (2015). The pupil response reveals increased listening effort when it is difficult to focus attention. *Hearing Research*, 323, 81-90. doi.org/ 10.1016/j.heares.2015.02.004

- Korkman M., Kirk U. & Kemp S. (2011). *NEPSY-II – Second edition*. Adattamento italiano a cura di Urgesi C. & Fabbro F.. Giunti O.S, Firenze.
- Kujala T., Shtyrov Y., Winkler I., Saher M., Tervaniemi M., Sallinen M., Teder-Sälejärvi W., Alho K., Reinikainen K & Näätänen R. (2004). Long-term exposure to noise impairs cortical sound processing and attention control. *Psychophysiology*, 41, 875-881. doi.org/10.1111/j.1469-8986.2004.00244.x
- Lamotte A-S., Essadek A., Shadili G., P. J-M. & Raft J. (2021). The impact of classroom chatter noise on comprehension: a systematic review. *Perceptual and motor skills*, 128 (3), 1275-1291. doi.org/ 10.1177/00315125211005935
- Lang M., Di Pierro P., Michelotti C. e Squarza C. (2017). *WISC-IV – Wechsler Intelligence Scale for Children: lettura dei risultati e interpretazione clinica*. Raffaello Cortina Editore, Milano
- Ljung R., Sörqvist P. & Hygge S. (2009). Effects of road traffic noise and irrelevant speech on children's reading and mathematical performance. *Noise & Health*, 2009, 11, 194-198. doi.org/ 10.4103/1463-1741.56212
- Maniscalco M., Martorana C., Caci B. & Muratore V. (2015). L'importanza dei prerequisiti dello screening precoce nella scuola dell'infanzia. *International journal of developmental and educational psychology*, 1 (2), 219-231. doi.org/ 10.17060/ijodaep.2015.n2.v1.337
- Markopoulos P., & Bekker M. (2003). On the assessment of usability testing methods for children. *Interacting with Computers*, 15, 227-243. doi.org/10.1016/S0953-5438(03)00009-2
- Massonnié J., Frassetto P., Mareschal D., & Kirkham N. Z. (2022). Learning in Noisy Classrooms: Children's Reports of Annoyance and Distraction from Noise are Associated with Individual Differences in Mind-Wandering and Switching skills. *Environment and Behavior*, 54 (1), 58-88. doi.org/10.1177/0013916520950277
- Mattys S. L., Davis M. H., Bradlow A. R. & Scott S. K. (2012). Speech recognition in adverse conditions: a review. *Language and cognitive processes*, 27(7/8), 953-978. doi.org/10.1080/01690965.2012.705006

- Maxwell L. E. & Evans G. W. (2000). The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. *Journal of Environmental Psychology*, 20, 91-97. doi.org/10.1006/jevp.1999.0144
- McClelland M. M., Cameron C. E., Wanless S. B. & Murray A. (2007) Executive function, behavioural self-regulation, and social-emotional competence. Links to School Readiness. In Saracho O. N. & Spodek B., *Contemporary Perspectives on Social Learning in Early Childhood Education* (pp.83-107). Information Age Publishing.
- McGarrigle R., Dawes P., Stewart. A. J., Kuchinsky S. E. & Munro K. J. (2017). Measuring listening-related effort and fatigue in school-aged children using pupillometry. *Journal of Experimental Child Psychology*, 161, 95-112. doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.006
- McGarrigle R., Munro K. J., Dawes P., Stewart P., Stewart A. J., Moore D. R., Barry J. G. & Amitay S. (2014). Listening effort and fatigue: What exactly are we measuring? A British Society of Audiology in Hearing Special Interest Group "white paper". *International Journal of Audiology*, 53, 433-445. doi.org/10.3109/14992027.2014.890296
- Minichilli F., Gorini F., Ascari E., Bianchi F., Coi A., Fredianelli L., Licitra G., Manzoli F., Mezzasalma L. & Cori L. (2018). Annoyance judgement and measurements of environmental noise: a focus on Italian secondary schools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 208. doi.org/10.3390/ijerph15020208
- Miyake A. & Friedman N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current directions in psychological science*, 21(1), 8–14. doi.org/10.1177/0963721411429458
- Miyake A., Friedman N. P., Emerson M. J., Witzky A. H. & Howerter A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100. doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

- Orsini A., & Pezzuti L. (2012). *WISC-IV – Wechsler Intelligence Scale for Children*. Giunti O.S, Firenze.
- Osman H. & Sullivan J. R. (2014). Children’s auditory working memory performance in degraded listening conditions. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57, 1503-1511. doi.org/ 10.1044/2014_JSLHR-H-13-0286
- Papanikolaou M., Skenteris N. & Piperakis S. M. (2015). Effect of external classroom noise on schoolchildren’s reading and mathematics performance: correlation of noise levels and gender. *International journal of adolescent medicine and health*, 27 (1), 25-29. doi.org/10.1515/ijamh-2014-0006
- Peelle J. E. (2017). Listening Effort: how the cognitive consequences of acoustic challenge are reflected in brain and behaviour. *Ear & hearing*, 39 (2), 204-214. doi.org/10.1097/AUD.0000000000000494
- Persson R., Kristiansen J., Lund S. P., Shibuya H. & Nielsen P. M. (2013). Classroom acoustics and hearing ability as determinants for perceived social climate and intentions to stay at work. *Noise & Health*, 2013, 15, 446-453. doi.org/10.4103/1463-1741.121254
- Picard M. & Bradley J. S. (2001). Revisiting speech interference in classrooms. *Audiology*, 40, 22-244.
- Pichora-Fuller M. K., Kramer S. E., Eckert M. A., Edwards B., Hornsby B. W. Y., Humes L. E., Lemke U., Lunner T., Matthen M., Mackersie C. L., Naylor G., Phillips N. A., Richter M., Rudner M., Sommers M. S., Tremblay K. L. & Wingfield A. (2016). Hearing impairment and cognitive energy: the framework for understanding effortful listening (FUEL). *Ear & hearing*, 37 (1), 5S-27S. doi.org/ 10.1097/AUD.0000000000000312
- Prodi N. & Visentin C. (2015). Listening efficiency during lessons under various types of noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138 (4), 2438-2447. doi.org/10.1121/1.4932053
- Prodi N., Visentin C. & Farnetani A. (2010). Intelligibility, listening difficulty and listening efficiency in auralized classrooms. *The Journal of Acoustical Society of America*, 128 (1), 172-181. doi.org/ 10.1121/1.3436563

- Prodi N., Visentin C., Borella E., Mammarella I. C. & Di Domenico A. (2019). Noise, age, and gender effects on speech intelligibility and sentence comprehension for 11- to 12-years-old children in real classrooms. *Frontiers in Psychology*, 10, 2166. doi.org/ 10.3389/fpsyg.2019.02166
- Puglisi G. E., Prato A., Sacco T. & Astolfi A. (2018). Influence of classroom acoustics on the reading speed: a case study on Italian second-graders. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144 (2), EL144-EL149. doi.org/ 10.1121/1.5051050
- Read, J., MacFarlane, S., & Casey, C. (2001). Measuring the usability of text input methods for children. In *People and Computers XV—Interaction without Frontiers*, 559-572. Springer, London. doi.org/10.2196/jmir.2155
- Ronsse L. M. & Wang L. M. (2013). Relationships between unoccupied classroom acoustical conditions and elementary student achievement measured in eastern Nebraska. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133 (3), 1480-1495. doi.org/10.1121/1.4789356
- Rudner M. & Signoret C. (2016). Editorial: the role of working memory and executive function in communication under adverse conditions. *Frontiers in Psychology*, 7, 148. doi.org/ 10.3389/fpsyg.2016.00148
- Sanz S. A., García A. M. & García A. (1993). Road traffic noise around schools: a risk for pupil's performance? *International archives of occupational and environmental health*, 65, 205–207. doi.org/10.1007/BF00381157
- Schlittmeier S. J., Feil A., Liebl A. & Hellbrück (2015). The impact of road traffic noise on cognitive performance in attention-based tasks depends on noise level even within moderate-level ranges. *Noise & Health*, 17:76, 148-157. doi.org/10.4103/1463-1741.155845
- Shield B. & Dockrell J. E. (2004). External and internal noise surveys of London primary schools. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115 (2), 730-738. doi.org/ 10.1121/1.1635837
- Shield B. M. & Dockrell J. E. (2003). The effects of noise on children at school: a review. *Building acoustics*, 10 (2), 97-116. doi.org/ 10.1044/2021_JSLHR-21-00183

- Shield B. M. & Dockrell J. E. (2008). The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123 (1), 133-144. doi.org/ 10.1121/1.2812596
- Sim, G., MacFarlane, S. e Read, J. (2006). All work and no play: Measuring fun, usability, and learning in software for children. *Computers & Education*, 46, 235-248. doi.org/ 10.1016/j.compedu.2005.11.021
- Söderlund, Sikström, Loftsnæs & Sonuga-Barke (2010). The effects of background white noise on memory performance in inattentive school children. *Behavioural and Brain Functions*, 2010, 6, 55. doi.org/10.1186/1744-9081-6-55
- Sörqvist P (2010). Effects of aircraft noise and speech on prose memory: what role for working memory capacity?. *Journal of Environmental Psychology*, 30, 112-118. doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.11.004
- Sörqvist P., Nössl A. & Halin N. (2012). Disruption of writing processes by the semanticity of background speech. *Scandinavian Journal of Psychology*, 53, 97-102. doi.org/10.1111/j.1467-9450.2011.00936.x
- Stansfeld S. A. & Matheson M. P. (2003). Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68, 243-257. doi.org/10.1093/bmb/ldg033
- Stansfeld S. A., Berglund b., Clark c., Lopez-Barrío I., Fischer P., Öhrström E., Haines M. M., Head J., Hygge S., van Kamp I., Berry B. F., on behalf of the RANCH study team (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*, 365, 1942-1949. doi.org/10.1016/S0140-6736(05)66660-3
- Sullivan J. R., Osman H. & Schafer E. C. (2015). The effect of noise on the relationship between auditor working memory and comprehension in school-age children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58, 1043-1051. doi.org/ 10.1044/2015_JSLHR-H-14-0204
- Surprenant A. M. (1999). The effect of noise on memory for spoken syllables. *International Journal of Psychology*, 34 (6), 328-333. doi.org/10.1080/002075999399648

- Tremblay S., Nicholls A. P., Alford D. & Jones D. M. (2000). The irrelevant sound effect: does speech play a special role?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26 (6), 1750-1754. doi.org/ 10.1037//0278-7393.26.6.1750
- Tressoldi P. E., Stella G., & Faggella M. (2001). The development of reading speed in Italians with dyslexia: A longitudinal study. *Journal of learning disabilities*, 34(5), 414-417. doi.org/ 10.1177/002221940103400503
- van den Tillaart-Haverkate M., de Ronde-Brons I., Dreschler W. A. & Houben R. (2017). The influence of noise reduction on speech intelligibility, response times to speech, and perceived listening effort in normal-hearing listeners. *Trend in Hearing*, 21, 1-13. doi.org/ 10.1177/2331216517716844
- Vicari S. & Caselli M. C. (2017). *Neuropsicologia dell'età evolutiva*. Bologna: Il Mulino.
- Visentin C., Prodi N., Cappelletti F., Torresin S. & Gasparella A. (2018). Using listening effort assessment in the acoustical design of rooms for speech. *Building and Environment*, 136, 38-53. doi.org/ 10.1016/j.buildenv.2018.03.020
- Willoughby M. T., Piper B., Oyanga A. & Merseeth K. (2019). Measuring Executive Functions in Young Children in Kenya: Associations with School Readiness. *Developmental Science*, 22(5), e12818. doi.org/10.1111/desc.12818
- World Health Organization. Regional Office for Europe (2018). *Noise guidelines for the European Region*. WHO.
- Zekveld A. A., Henslenfeld D. J., Johnsrude I. S., Versfeld N. J. & Kramer S. E. (2014). The eyes as a window to the listening brain: neural correlates of pupil size as a measure of cognitive listening load. *Neuroimage*, 101, 76-86. doi.org/ 10.1016/j.neuroimage.2014.06.069
- Zelazo P. D., Anderson J. E., Richler J., Wallner-Allen K., Beaumont J. L., Conway K. P., Gershon R. & Weintraub S. (2014). NIH Toolbox Cognition Battery (CB): validation of executive function measures in adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(6), 620–629. doi.org/10.1017/S1355617714000472

Zhang D., Ortiz M. A. & Bluysen P. M. (2018). Clustering of Dutch school children based on their preferences and needs of the IEQ in classrooms. *Building and Environment*. doi.org/ 10.1016/j.buildenv.2018.10.014

RINGRAZIAMENTI

Anche se chi avrà la corona d'alloro sulla testa sarò io (o almeno spero), la verità è che arrivare a scrivere queste ultime righe dopo tre anni di studio matto e disperatissimo è stato più un lavoro di squadra, un traguardo che mi sento di dover e voler condividere con chi mi è stato accanto in questo viaggio.

Ringrazio la Prof.ssa Arfè, per la fiducia riposta in me dandomi la possibilità di partecipare a questo progetto di ricerca, per la disponibilità mostrata più volte in questi mesi e per avermi offerto l'occasione, mai da me contemplata, di incontrare quei bambini nascosti dietro l'etichetta di "soggetti" di cui ho letto in tanti articoli nella mia carriera universitaria.

Ringrazio la Dott.ssa Gheller, la mia correlatrice, per l'infinta pazienza e disponibilità, soprattutto nelle ultime settimane fitte di e-mail dagli orari improponibili; ringrazio Flavia, la ragazza sorridente dietro lo schermo del PC, per aver sopportato i miei dubbi da laureanda in panico, per le rassicurazioni tra una correzione e un'altra e per i saluti alle Marche, che ringraziano e ricambiano.

Ringrazio la scuola "Dolores Prato": gli insegnanti, per l'entusiasmo con cui hanno accolto il progetto, la loro disponibilità e l'interesse mostrato nel partecipare; e i bambini, per i loro sorrisi, le loro camminate saltellanti, le domande inaspettate, i loro sguardi curiosi, i "Grazie" scritti a fondo pagina e i loro commenti felici e gentili.

Ringrazio il reparto di Neuropsichiatria Infantile dell'Ospedale di Macerata, per avermi accolto a braccia aperte e avermi mostrato cosa vuol dire amare il proprio lavoro, nonostante le mille difficoltà: Alice, per avermi mostrato che aiutare con le parole è davvero possibile e che lo si può fare con serietà e la giusta dose di spensieratezza; Maddalena, per avermi insegnato con i gesti e l'infinita dedizione cosa significa "prendere in carico"; Paola, per lo sguardo saggio e la pazienza di chi, dopo anni, sceglie nonostante tutto di continuare ad aiutare gli altri; tutti i bambini, i ragazzi e le famiglie passate nel reparto, per aver messo, con fiducia cieca, dei pezzetti della loro vita nelle nostre mani; e il Dott. Pincherle, per aver permesso che io potessi vivere tutto ciò.

Ringrazio Patrizia, per la fiducia (non scontata) che ripone in me e per la testimonianza che ogni giorno mi dà su quanto sia difficile essere madri e su quanto, nonostante ciò, per

amore si possa trovare in questo la felicità. Ringrazio Giorgi, per la sua testardaggine, il suo disordine, e il suo essere già così grande e allo stesso tempo ancora così piccola, che mi ricorda tantissimo la me di dieci anni fa. Ringrazio Simo, per le chiacchierate infine su Disneyland, per le domande improvvisate e sorprendenti, per lo sguardo brillante e pieno di luce, per l'arrendevolezza con cui dona piena fiducia e per la risata più contagiosa della storia: mi insegna ogni giorno a vedere la realtà da un punto di vista diverso, "perenne" e "sdrucioloso", e a vivere ciò che succede con la leggerezza di un palloncino ad elio.

Ringrazio la comunità, perché accoglie la parte più vera e reale di me, nonostante me. Ringrazio Andrea e Roberta, per le loro rassicurazioni e parole, che sono state un seme i cui frutti stanno nascendo ora.

Ringrazio Don, per la presenza costante e silenziosa fatta di sguardi indagatori e saltuarie ma necessarie bastonate sui denti.

Ringrazio Chiara, la mia futura collega di lavoro, per le paranoie condivise sulla responsabilità, la sua fiducia nelle mie capacità, le consulenze logopediche gratuite e i sogni su quel centro che forse, chissà, un giorno apriremo davvero.

Ringrazio gli Amici, preziosi doni incartati più o meno bene, di cui sono profondamente grata, anche se non lo dico mai: per le passeggiate in mezzo al nulla, le serate sul divano, le cene improvvisate della domenica sera e le canzoni sparate a tutto nei viaggi in macchina. Ringrazio Martina, per gli scleri da laurea condivisi in queste ultime settimane e le videochiamate infinite per costringerci a vicenda a scrivere almeno qualche riga di tesi. Ringrazio Alessandro, per gli abbracci, le battute pungenti, gli scambi di cultura musicale e le conversazioni fatte di sole GIF. Ringrazio Vittorio, per le battute di vecchi film recitate a memoria, le chiacchierate infinite alle due di notte e la sincerità con cui mi mette di fronte alla realtà delle cose. Ringrazio Frafra, per i mille concerti a cui vorremmo ma non possiamo andare, la ferrea morale che cerco sempre di smontare e l'amicizia nata tra una risata e l'altra senza che neanche ce ne accorgessimo. Ringrazio Claudio, per le sue metafore fuori contesto, le sue perle di saggezza popolare e la schiettezza con cui riesce a farmi vedere le cose da un'altra prospettiva. Ringrazio Dori, per la nostra relazione di spaccio di libri, per avermi sopportato in questo lunghissimo anno e per essermi sempre rimasta accanto, rispettando i miei spazi e tempi.

Ringrazio Gaia, per gli improvvisi sguardi d'intesa da una parte all'altra della stanza, le chat da galera, i discorsi privi di ogni sorta di filtro e l'immane telepatia, ma sopra

ogni altra cosa per l'Amicizia più profonda, trasparente e libera che io abbia mai avuto: nonostante le incomprensioni (sempre a cavallo di grandi eventi) e le differenze (che ci sono, poche ma ci sono eccome), mi accetti per chi sono davvero, anche e soprattutto quando non ci riesco nemmeno io, e mi aiuti costantemente ad essere me stessa, ma migliore.

Ringrazio Nicola, Bimbo per gli amici, perché, anche se sembra ancora abbastanza inutile, mi ha insegnato l'elasticità del cuore, che si è allargato in maniera disarmante e improvvisa, per far spazio a un piccolo miracolo dalla faccia furba e sveglia e lo sguardo dolcissimo, pieno di speranze e di vita.

Ringrazio i miei genitori, le due persone che prima di chiunque altro hanno creduto nelle mie capacità e mi hanno sempre lasciato fare le mie scelte, anche se non comprese o condivise, e di questo non posso che esserne profondamente grata: so che ci siete, nonostante il tempo o la distanza, perché siete stati proprio voi ad insegnarmi che l'amore non si misura in ore o chilometri, ma con i gesti ed i fatti.

Ringrazio Ang, scontrosa con me il settanta per cento del tempo come ci si aspetta che faccia una sorella minore, ma che nelle scelte più difficili si confida e affida, e nei miei momenti di crisi, in punta di piedi, mi tende una mano e mi fa sentire che, per quanto siamo profondamente diverse, nessuna differenza può toglierci il fatto che siamo sorelle e questo significa esserci l'una per l'altra.

Ed infine, ringrazio Dio, perché "tutto concorre al Bene" e non smette mai di dimostrarmelo, ogni volta che io inizio a non crederci più.