

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di laurea in Scienze Psicologiche dello Sviluppo
della Personalità e delle Relazioni interpersonali

Tesi di laurea triennale

La valutazione delle abilità cognitive dei bambini in ambienti scolastici rumorosi tramite l'app CoEN

**The assessment of children's cognitive abilities
in noisy school environments using the CoEN App**

Relatrice

Prof.ssa Barbara Arfé

Correlatrice

Dott.ssa Gaia Spicciarelli

Laureanda: Carolina Braghenti

Matricola: 2012246

Anno Accademico 2022-2023

SOMMARIO

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1: IL RUMORE E I SUOI EFFETTI NELL'AMBIENTE SCOLASTICO	2
1.1 . Il rumore nelle aule scolastiche	2
1.1.1. Come valutare il rumore	2
1.2 . Gli effetti del rumore sulla performance scolastica.....	3
1.2.1. Il rumore interno alle aule	4
1.2.2. Il rumore esterno alle aule	4
1.2.3. L'impatto del rumore bianco su bambini con difficoltà attentive	5
1.3 Sforzo da ascolto e affaticamento cognitivo	6
CAPITOLO 2: VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEL RUMORE SU PERCEZIONE E COGNIZIONE NEI BAMBINI – CoEN project.....	8
2.1 Struttura e funzioni dell'app CoEN	8
2.1.1. La struttura dell'app	8
2.1.2. I test utilizzati	11
2.1.3. I questionari	16
CAPITOLO 3: LA RICERCA.....	18
3.1. Ipotesi	18
3.2. I partecipanti	18
3.3. La procedura	18
3.4 Risultati.....	19
3.4.1. Statistiche descrittive	19
3.4.2. Confronto entro il gruppo	21
CAPITOLO 4: CONCLUSIONI, LIMITI DELLO STUDIO E IMPLICAZIONI FUTURE	23
4.1. Discussione e conclusioni	23
4.2. Limiti dello studio.....	24
4.3. Implicazioni future.....	24
4.3.1. Linee guida per una corretta progettazione delle aule scolastiche.....	24
BIBLIOGRAFIA.....	26
RINGRAZIAMENTI.....	29

INTRODUZIONE

Ogni giorno i bambini si ritrovano in ambienti scolastici molto rumorosi, che spesso non rispettano i requisiti acustici richiesti dalle normative nazionali vigenti.

Numerosi studi evidenziano come svolgere attività in condizioni acustiche sfavorevoli comporti un maggiore affaticamento cognitivo che incide sulle capacità di apprendimento degli studenti, specialmente dei più piccoli.

In ambienti rumorosi, infatti, è necessario impiegare molte più risorse cognitive nell'ascolto, che si sottraggono a quelle che si possono utilizzare per svolgere i compiti scolastici.

L'obiettivo del presente studio è quello di analizzare l'effetto del rumore sulla performance cognitiva di bambini in età scolare, durante lo svolgimento di compiti di memoria, attenzione e inibizione in condizioni di ascolto differenti (in quiete e in presenza di un multitalker babble noise).

Per svolgere i compiti è stata impiegata l'App CoEN ("Cognitive Effort in Noise"), che propone una serie di test neuropsicologici validati per la popolazione in età scolare.

Sulla base di quanto riportato dalla letteratura, l'aspettativa è di ottenere delle prestazioni peggiori associate a un maggior affaticamento cognitivo di tutti i bambini in condizione di rumore.

I risultati derivanti dall'analisi riportano però, in alcune delle prove, un miglioramento della performance nella condizione di rumore.

Risulta quindi di fondamentale importanza migliorare la qualità acustica delle aule, tenendo a mente le esigenze specifiche dei bambini in termini di rapporto segnale-rumore e tempo di riverbero, al fine di garantire una corretta qualità di ascolto e apprendimento.

CAPITOLO 1: IL RUMORE E I SUOI EFFETTI NELL'AMBIENTE SCOLASTICO

1.1. Il rumore nelle aule scolastiche

Nelle aule scolastiche è spesso, se non sempre, presente rumore di fondo generato sia da rumori esterni, quali traffico o parchi giochi vicini alle scuole, sia da rumori interni all'edificio e alla classe stessa, tra cui lo spostamento dei banchi e sedie e il chiacchiericcio degli studenti durante le attività scolastiche.

In uno studio condotto da Shield e Dockrell (2003) sono state individuate le principali fonti di rumore esterno alle scuole in diversi sobborghi di Londra, tra cui: il traffico stradale e aereo e le sirene dei mezzi d'emergenza che risultano essere una caratteristica comune delle grandi città (Shield & Dockrell, 2003).

Per quanto riguarda il rumore presente all'interno degli edifici scolastici, lo studio ha rilevato come questo vari a seconda del numero di alunni all'interno della classe e della loro età, oltre che dipendere dal tipo di attività che si sta svolgendo, dal tipo di finestre dell'edificio e dall'anno di costruzione dell'edificio scolastico (Shield & Dockrell, 2003).

È importante quindi tenere in considerazione, oltre al numero di alunni presenti nell'aula, anche i materiali utilizzati per pareti, porte e finestre per favorire una buona comprensione verbale tra allievi ed insegnanti.

1.1.1. Come valutare il rumore

Per comprendere l'impatto del rumore di fondo sulla percezione uditiva e sulla comprensione dei bambini in aula bisogna tenere conto dei seguenti parametri: lo spettro del rumore, la fluttuazione di intensità del rumore nel tempo e il rapporto segnale rumore (SNR) (Gheller, Lovo, Arsie e Bovo, 2019). Nello specifico, quest'ultimo, è il rapporto tra la potenza del segnale e quella del rumore e mette quindi a confronto il livello sonoro del parlato e il livello del rumore di sottofondo (Gheller et al, 2019).

Un altro parametro acustico da tenere in considerazione nella valutazione del rumore negli ambienti è il tempo di riverbero (RT), ovvero il tempo necessario affinché il suono decada in un ambiente chiuso dal momento in cui la fonte di rumore è interrotta (Gheller et al., 2019).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha stabilito i limiti seguenti (World Health Organization, 1999):

-35dB per il rumore di sottofondo e 0.6s per il RT nelle aule scolastiche

-55dB come massimo negli ambienti ricreativi.

Il nuovo standard italiano sull'acustica nelle scuole, presentato durante il ventitreesimo Congresso sull'Acustica tenutosi ad Aquisgrana, è basato sui dati raccolti e sulle esperienze

fatte in molti paesi europei, suggerisce che il rumore di sottofondo idealmente dovrebbe essere al massimo compreso tra i 38 e i 48 dB. Il tempo di riverbero, dovrebbe essere invece in un range tra $(0.26 \log V - 0.14)$ s e $(0.45 \log V + 0.07)$ s per aule occupate all'80%, mentre per aule non occupate, il range dovrebbe essere compreso tra $(0.75 \log V - 1)$ s e 2s (con V rappresentate il volume dell'aula in m³) (Gheller et al, 2019).

Recenti indagini (Astolfi, Puglisi e Shtrepi, 2020) mostrano come la maggior parte delle aule scolastiche italiane, non siano acusticamente adeguate poiché non rispondono ai requisiti minimi riportati da norme tecniche e letteratura internazionale. Sul territorio nazionale, la riqualifica degli ambienti scolastici risulta spesso difficoltosa, dato che vi sarebbe la necessità di una ristrutturazione strutturale delle aule, cosa che però frequentemente richiede molto tempo e ingenti somme di denaro. Idealmente, le aule dovrebbero essere costruite utilizzando materiali fonoassorbenti e fonodiffondenti sia per le pareti laterali che per il soffitto in modo tale da garantire una buona intellegibilità da parte degli alunni (Astolfi et al., 2020).

1.2. Gli effetti del rumore sulla performance scolastica

Una delle maggiori conseguenze del rumore all'interno delle aule scolastiche è la riduzione dell'intellegibilità del parlato (Shield & Dockrell, 2003). Se gli studenti non sono in grado di comprendere ciò che dice l'insegnante, la funzione principale dell'aula scolastica non viene soddisfatta. Nei decenni passati, molti studi hanno indagato la relazione esistente tra l'esposizione al rumore nelle aule e la performance degli studenti in diversi compiti cognitivi e, complessivamente, i risultati dimostrano che il rumore ha un effetto negativo sull'apprendimento e sui risultati dei bambini della scuola primaria (Shield & Dockrell, 2003). Garantire un buon livello di intellegibilità del parlato, non è importante solo per raggiungere buoni obiettivi scolastici, ma anche al fine di sostenere lo sviluppo di relazioni sociali e dialogo tra gli studenti (Shield & Dockrell, 2003).

Diversi studi, che si sono concentrati sul rapporto tra la comprensione del parlato e le condizioni di riverbero, hanno evidenziato come minore è l'età dei bambini e maggiore è l'effetto negativo del rumore sulla performance.

In particolare, lo studio condotto da Klatte, Lachmann e Meis (Klatte et al., 2010) ha mostrato come la performance in contesti rumorosi dei bambini del primo e terzo anno della scuola primaria, subiva un decremento molto maggiore rispetto a quanto diminuiva la prestazione

degli adulti posti nelle medesime condizioni. Questo dato è stato interpretato come evidenza del fatto che il rumore ha un effetto largamente più dannoso sui bambini che sugli adulti.

La presenza di rumore di sottofondo, per gli studenti, andava a inficiare sia i risultati in compiti di percezione del parlato che in comprensione orale, e le difficoltà risultavano maggiori per i bambini iscritti al primo anno.

La scarsa comprensione delle indicazioni date dall'insegnante comporta il rischio di scarsi risultati a livello scolastico (Klatte et al., 2010), perciò risulta fondamentale l'analisi dell'acustica nelle aule scolastiche così da poter apportare poi le modifiche necessarie.

Come riportato nei precedenti paragrafi, il rumore interno all'aula è dato dalla somma del rumore proveniente dall'esterno e del rumore interno all'edificio stesso, vedremo ora come ciascuno di questi influisce sulla performance scolastica dato che, sia il rumore ambientale esterno che si sente all'interno di una scuola sia il rumore generato all'interno della struttura stessa hanno un impatto sui punteggi dei bambini ai test, ma in modo differente (Shield & Dockrell, 2008).

1.2.1. Il rumore interno alle aule

Il risultato alle prove svolte in aula subisce un decremento con l'aumento del livello equivalente continuo (L_{Aeq}), ovvero il livello sonoro medio, e del rumore di sottofondo (L_{A90}). Il parametro maggiormente correlato ai punteggi nei test risulta essere il livello del rumore di sottofondo nelle classi occupate (Shield & Dockrell, 2008). Come mostrato nello studio condotto da Shield e Dockrell (Shield & Dockrell, 2006), il chiacchiericcio nelle aule comporta una riduzione della performance sia in compiti verbali che non verbali, andando a inficiare particolarmente il risultato nei compiti verbali di spelling e lettura. Perciò, risulta necessario, tenere sotto controllo il livello di rumore di sottofondo interno alle aule per garantire l'insegnamento e, conseguentemente, l'apprendimento.

1.2.2. Il rumore esterno alle aule

Lo studio condotto da Shield e Dockrell (Shield & Dockrell, 2008) in alcuni sobborghi più o meno centrali di Londra ha mostrato come il rumore esterno influenza maggiormente le prestazioni degli studenti di undici anni, rispetto a quelli dei bambini di sette anni. In linea con l'ipotesi secondo cui l'effetto negativo del rumore ambientale esterno è cumulativo e a lungo termine (Hygge, Evans, Bullinger, 1999), questo risultato potrebbe riflettere il fatto che maggiore è l'età dei bambini e maggiore è stato il tempo in cui sono stati esposti a questo tipo di rumore.

Shield e Dockrell (2008), inoltre, indicano come il rumore dei singoli eventi esterni potrebbe essere il fattore che influisce maggiormente sulla performance degli studenti: la stretta relazione tra il livello massimo di rumore e i punteggi ai test supportano l'idea che siano i singoli eventi acustici ad avere maggiore impatto sulla performance complessiva dello studente.

Altri studi mettono in evidenza come, non solo il rumore prodotto dal traffico stradale, ma anche il rumore prodotto dal traffico aereo (Hygge et al., 1999; Haines, Stansfeld, Head & Job, 2002), e ferroviario (Bronzfart, McCarthy, 1975) influenzano negativamente la performance degli studenti.

1.2.3. L'impatto del rumore bianco su bambini con difficoltà attentive

Come riportato in precedenza, spesso il rumore comporta un calo nella performance cognitiva dei soggetti, ma uno studio condotto nel 2007 da Soderlund, Sikstrom e Smart (Soderlund, Sikstrom & Smart, 2007) ha dimostrato che una certa quantità di rumore può migliorare le prestazioni cognitive di soggetti con Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD) grazie alla risonanza stocastica. La risonanza stocastica (SR) è il fenomeno per cui il rilevamento di un segnale sottosoglia viene potenziato dall'aggiunta di rumore in un sistema non lineare (Soderlund et al., 2007). Quindi contrariamente a quanto si potrebbe pensare, in determinate circostanze, una data quantità ottimale di rumore può essere benefica per le prestazioni cognitive (Soderlund et al., 2007).

Per generare l'effetto di risonanza stocastica, il suono deve essere continuo per non distogliere l'attenzione dal compito principale e con un livello di energia elevato a tutte le frequenze, come accade per il rumore bianco o rosa (Soderlund et al., 2007).

Le persone con diagnosi di ADHD presentano ridotta attività neurale di fondo e ipofunzionalità del sistema dopaminergico (Solanto, 2002) e, dunque, la presenza di una certa quota di rumore di sottofondo, dovrebbe andare ad attivare la risposta dell'organismo e il livello di arousal e perciò a compensare la ridotta attività.

Infatti, secondo quanto riportato dal Modello di Eccitazione celebrale moderata o Moderate Brain Arousal Model (MBA) (Sikstrom, Soderlund, 2007), il rumore generato nell'ambiente circostante, che si riflette all'interno dell'organismo grazie al sistema percettivo, produce rumore interno al sistema neurale e un conseguente aumento dell'attività neurale. Secondo il modello MBA, il rumore dovrebbe migliorare i risultati in compiti di memoria per soggetti con ADHD, mentre per i soggetti privi di diagnosi ci dovrebbe essere un decremento della performance in compiti di memoria (Soderlund et al., 2007).

Poiché la dopamina è un neurotrasmettitore coinvolto in molte funzioni cognitive superiori quali attenzione, motivazione e apprendimento (Cohen, Cicchetti, 2006), se presente nell'organismo in quantità ridotte, implica un basso signal to noise ratio o rapporto segnale-rumore (SNR) e prestazioni cognitive peggiori in aree quali la memoria di lavoro e il controllo inibitorio. In altre parole, la relazione tra prestazioni cognitive e trasmissione dopaminergica mostra una curva a U rovesciata, in cui livelli troppo alti o troppo bassi attenuano le prestazioni (Goldman-Rakic, Muly, & Williams, 2000).

I risultati dello studio (Soderlund et al., 2007) supportano le idee alla base del modello MBA (moderate Brain Arousal) il quale sostiene che il livello di rumore neurale nei bambini con ADHD è inferiore alla media. Inoltre, il modello MBA suggerisce che il fenomeno della risonanza stocastica (SR), dipende dal livello di dopamina presente nel soggetto, dunque i partecipanti con minori livelli di dopamina, richiedono un maggiore livello di rumore di sottofondo rispetto al gruppo di controllo per raggiungere prestazioni cognitive ottimali (Soderlund et al., 2007).

1.3 Sforzo da ascolto e affaticamento cognitivo

Pichora-Fuller e colleghi (Pichora-Fuller et al., 2016) definiscono lo sforzo da ascolto (listening effort) come "l'allocazione deliberata di risorse mentali per superare gli ostacoli nel perseguimento di un obiettivo, quando si sta svolgendo un compito che coinvolge l'ascolto" (Pichora-Fuller et al., 2016, pagina 5S)

Questi ostacoli sono rappresentati dal rumore di fondo, dalla riverberazione, da discorsi concorrenti o da parlanti con accento straniero (Van Engen, Peelle, 2014). Fonti di interferenza esterne ed interne, mettono spesso a dura prova l'abilità di comprensione acustica degli ascoltatori.

Pelle (2018), analizzando i dati provenienti dall'osservazione del comportamento, dalla pupillometria e dalle neuroimmagini, dimostra che la comprensione del parlato degradato richieda un supporto cognitivo aggiuntivo (cognitive effort) e che questo carico cognitivo può interferire con altre operazioni, come ad esempio l'elaborazione del linguaggio e il mantenimento in memoria di ciò che è stato ascoltato (Pelle, 2018).

Diversi studi (Rabbitt 1968; Rönnberg et al. 2013; Rönnberg et al. 2008; Wingfield et al. 2015) hanno evidenziato che per comprendere meglio forme degradate di parlato, gran parte degli ascoltatori si affida maggiormente alla memoria di lavoro verbale. Questo accade perché, se un segnale non può essere immediatamente compreso, deve essere mantenuto

per più tempo in memoria cosicché abbiano il tempo di attivarsi anche i processi cognitivi più complessi (Pelle, 2018).

In ambiente rumoroso però, in cui l'intelligibilità del parlato è ridotta, sembra che la memoria a breve termine sia compromessa e, con essa, la capacità di memorizzazione e di mantenimento delle informazioni (Hughes et al., 2007). Ci si aspetterebbero quindi dei punteggi inferiori al test in condizione di rumore; quindi, è fondamentale che le aule scolastiche non comportino un deterioramento del parlato.

È comunque importante sottolineare che vi sono altri fattori relati allo sforzo d'ascolto tra cui la motivazione (Eckert et al. 2016; Richter 2016) la fatica (Hornsby et al. 2016) e i fattori psicosociali (Pichora-Fuller 2016).

CAPITOLO 2: VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEL RUMORE SU PERCEZIONE E COGNIZIONE NEI BAMBINI – CoEN project

2.1 Struttura e funzioni dell'app CoEN

Per attuare una corretta valutazione delle principali funzioni cognitive dei bambini in ambienti scolastici rumorosi è stata progettata l'applicazione CoEN (Cognitive Effort in Noise). Questa applicazione digitale, scaricabile tramite App Store e Play Store, permette ai bambini di età scolare di svolgere in autonomia dei brevi test neuropsicologici presentati sotto forma di videogioco. I giochi vengono svolti in due condizioni acustiche: in quiete e rumore.

L'app è stata sviluppata da un gruppo psicologi, medici e ingegneri dell'Università degli Studi di Padova, nell'ambito di un progetto promosso dal centro Human Inspired Technology (HIT), coordinato dalla Professoressa Barbara Arfè e finanziato dal Programma Operativo Regionale F.S.E. 2014-2020 Regione Veneto.

L'obiettivo di questo studio, strutturato secondo un disegno di ricerca within e between subjects, è quello di valutare le conseguenze che i diversi ambienti acustici hanno sulla performance dei bambini.

I test presenti nell'app possono essere somministrati a bambini di età compresa tra i 6 e i 13 anni.

2.1.1. La struttura dell'app

L'applicazione, sviluppata per tablet e Ipad, presenta una schermata d'apertura in cui il bambino deve inserire i propri dati e indicare in che condizione si svolgeranno le prove, tra quiete e rumore.

Il gioco è stato progettato come fosse un percorso ad ostacoli per cui, prova dopo prova, il bambino arriva ad una destinazione finale che differisce a seconda della condizione acustica (nella tranquilla città di Ambios, per la condizione di quiete; nella caotica città di Brumbo per la condizione di rumore). Accompagnato, rispettivamente, dalle due mascotte Quietly e Noisy. (cfr. immagine n. 1-3)

In entrambe le condizioni, tutti i partecipanti devono svolgere un totale di sei prove e, alla fine di ciascuna di esse, si colorerà una nuova parte del tragitto che li condurrà alla città.

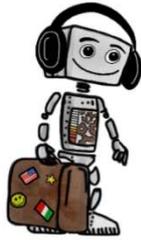


Figura 1- robottino Noisy

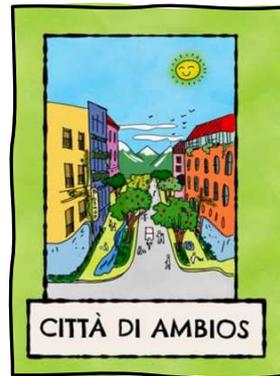


Figura 2 - illustrazione della città di Brumo



Figura 3- Robottino Quiety



Figura 4 - illustrazione della città di Ambios

I giochi sono stati riadattati dai seguenti test neuropsicologici standardizzati:

1. Digit Span test diretto (WISC-IV, Wechsler, 2012)
2. Digit Span test indiretto (WISC-IV, Wechsler, 2012)
3. Reading Span Test (Arfè, Rossi, Sicoli, 2015)
4. Attenzione visiva e sostenuta (NEPSY-II, 2011)
5. Attenzione visiva e sostenuta (WISC-IV, Wechsler, 2012)
6. Test di inibizione (Diamond et al. 2007)

Dopo aver giocato con l'applicazione CoEN ai partecipanti vengono somministrate delle prove carta matita per la valutazione degli apprendimenti.

La prima è una prova di Generazione di frasi (Arfè, Pizzoccaro, 2016), utile per valutare la fluenza verbale. Ai bambini viene fornita una coppia di parole e si chiede loro di scrivere quante più frasi possibili con i termini forniti, in massimo cinque minuti. Una volta terminato,

i bambini devono voltare pagina ed eseguire nuovamente il compito con una nuova coppia di parole per altri cinque minuti.

Una volta terminata la prova di generazione di frasi, si conclude il tutto con una prova di comprensione del testo (Cornoldi, Colpo e Carretti 2017) volta ad indagare le capacità di lettura e comprensione dei bambini.

Infine, vengono somministrati diversi questionari carta matita volti a valutare sia la piacevolezza e l'usabilità dell'app CoEN, (cfr. immagine n. 6-7) che l'affaticamento cognitivo (cfr. immagine n. 5) (Bess et al., 2014)

ID	CLASSE					DATA
SELF-REPORT LISTENING EFFORT (Bess et al., 2014)						
		Mi sento stanco/a				
Per niente	Un po'	Abbastanza	Molto	Moltissimo		
I	II	III	IIII	IIIII		
		Gli esercizi erano facili				
Per niente	Un po'	Abbastanza	Molto	Moltissimo		
I	II	III	IIII	IIIII		
		Mi fa male la testa				
Per niente	Un po'	Abbastanza	Molto	Moltissimo		
I	II	III	IIII	IIIII		
		È stato facile rimanere attento/a				
Per niente	Un po'	Abbastanza	Molto	Moltissimo		
I	II	III	IIII	IIIII		
		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 5- questionario self-report sull'affaticamento cognitivo

Figura 6 - questionario di piacevolezza e usabilità, pagina 1

Figura 7 - questionario di piacevolezza e usabilità, pagina 2

2.1.2. I test utilizzati

Le sei prove di cui si compone l'applicazione, sono descritte qui di seguito.

1. DIGIT SPAN TEST DIRETTO (WISC-IV, Wechsler, 2012)

Il Digit Span Test viene utilizzato al fine di valutare e misurare la memoria a breve termine dei partecipanti e presenta due diverse varianti: il Digit Span test Forward, o diretto, e il digit span test Backward, o indiretto.

Il primo che viene svolto dal bambino è quello diretto. Nella somministrazione classica del test, l'esaminatore dice a voce una sequenza numerica con una velocità di circa un numero al secondo e il partecipante deve ripetere la stringa di numeri nell'ordine in cui l'ha sentita. Poiché la somministrazione del test, nel caso in analisi, avviene all'interno di un'aula con diversi bambini, non sarà lo psicologo a pronunciare le cifre una dopo l'altra, ma queste compariranno sulla schermata del dispositivo fornito a ciascuno dei partecipanti.

Dunque, nell'applicazione, le cifre compaiono una dopo l'altra sullo schermo e, una volta conclusa tutta la sequenza, al centro dello schermo appare un riquadro in cui il bambino deve digitare le cifre che ha visto.

Il calcolo del tempo di reazione inizia nel momento esatto in cui il riquadro compare sullo schermo e termina quando il bambino inizia a digitare le cifre sulla tastiera.

Se il bambino, per due volte consecutive, non è in grado di riportare correttamente delle stringhe appartenenti ad uno stesso item, il gioco si interrompe e appare sullo schermo un feedback positivo: compare improvvisamente la mascotte scelta inizialmente e la prima lettera della città misteriosa. Viene inoltre colorata la prima parte del percorso, inizialmente in bianco e nero.

Il punteggio finale si ottiene, considerando che per ogni stringa corretta viene assegnato 1 punto, mentre 0 se c'è un errore.

2. DIGIT SPAN TEST INDIRETTO (WISC-IV, Wechsler, 2012)

Il test di Digit Span Indiretto o Backward, dal punto di vista procedurale è molto simile a quello diretto: l'esaminatore legge una sequenza numerica (un numero al secondo) e il soggetto deve riprodurre correttamente quanto ha sentito. A differenza del precedente, però qui il partecipante deve riportare la stringa di numeri al rovescio, perciò partendo dall'ultimo che ha sentito fino al primo.

In CoEN, le cifre appaiono una dopo l'altra al centro dello schermo, sempre alla velocità di una cifra al secondo, fino a quando compare il riquadro.

Come nel test diretto, il gioco viene interrotto quando il soggetto fallisce una coppia di sequenze della stessa lunghezza. Anche per quanto riguarda i punteggi, i criteri sono i medesimi del test precedente.

Quando il gioco si interrompe, compare sempre la mascotte e la seconda lettera della città verso cui è diretto il personaggio.

3. READING SPAN TEST (Arfè, Rossi, Sicoli, 2015)

Questa prova è un riadattamento dell'originale proposta da Daneman e Carpenters nel 1980 (Daneman, Carpenters, 1980). I test di Reading Span, sono compiti molto complessi tipicamente utilizzati per valutare l'esecutivo centrale della memoria di lavoro o working memory. (Conway et al., 2005).

Sullo schermo compaiono delle brevi frasi in set di numerosità crescente (prima due, poi tre, fino a cinque): il bambino deve leggere le frasi e rispondere ad una domanda vero o falso. Inoltre, i bambini devono ricordare l'ultima parola di ogni frase e digitarle poi alla fine di ogni set.

Questo compito, misura quindi non soltanto la capacità di comprensione, (“il leone mette sempre il cappello in testa”, falso), ma soprattutto la capacità di memoria (tenendo in mente l’ultimo elemento della frase - “testa”).

Tutte le frasi presentate, sono state costruite in modo da essere sintatticamente e semanticamente semplici.

Prima però di avviare il gioco, compare una schermata in cui vi sono tutte le istruzioni e successivamente due esempi guidati, così che il bambino possa comprendere al meglio ciò che dovrà fare. Subito dopo ha effettivamente inizio il gioco e tutte le frasi appaiono per un intervallo di 4.5 secondi sullo schermo. È necessario, se non fondamentale, impostare un tempo limite di lettura cosicché i bambini non possano leggere troppo lentamente andando poi a migliorare la strategia di recupero (Van Den Noort et al. 2008). Quindi, una volta passati i secondi prestabiliti, il soggetto non ha la possibilità di tornare indietro per rileggere la frase e, compare automaticamente sulla schermata la domanda “la frase è vera o falsa?” sotto alla quale vi sono due icone “VERO” e “FALSO” che il bambino deve cliccare per dare la risposta (cfr. immagine n. 8).

Una volta superata questa fase compare una nuova schermata in cui viene richiesto al bambino di indicare qual è l’ultima parola di ciascuna delle frasi lette precedentemente (cfr. immagine n.9). L’ordine di scrittura è libero e questo è fondamentale perché ci da informazioni in merito alla presenza di un possibile effetto Primacy o un effetto Recency (Baddley,1997).

La prova viene interrotta se il bambino commette due errori consecutivi nello stesso set. Una volta che il gioco si è concluso, ricompare il personaggio scelto inizialmente che porta con sé anche la terza lettera della città e permette così ad un'altra parte della mappa di diventare colorata.

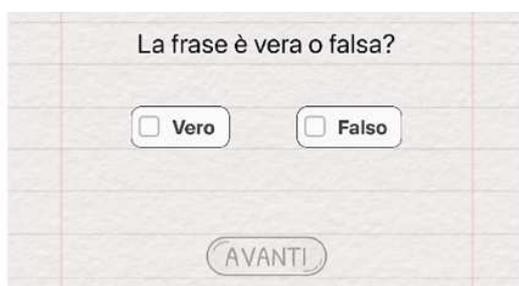


Figura 8- schema di risposta del reading span test, parte 1

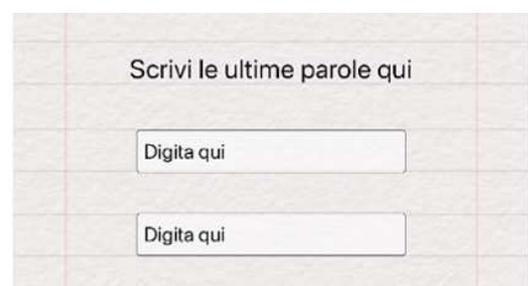


Figura 9 - schema di risposta del reading span test, parte 2

4. ATTENZIONE VISIVA SOSTENUTA (NEPSY-II, 2011)

Questo test valuta l'attenzione visiva sostenuta dei bambini. L'attenzione sostenuta è la capacità di mantenere le risorse cognitive focalizzate su un target per periodi prolungati di tempo (Marini,2017).

Quindi, il gioco proposto permette di analizzare la velocità e l'accuratezza con cui il partecipante riesce a focalizzare e mantenere l'attenzione su stimoli target visivi, inseriti nel contesto di una serie di altri stimoli, posizionati in maniera strutturata, formando una sorta di griglia.

Dopo aver visto due facce, che rappresentano gli stimoli target, il bambino deve riuscire a ritrovarle il più velocemente e accuratamente possibile tra 176 volti, divisi in otto schermate (cfr. immagine n. 10)

Il gioco ha una durata complessiva di 180 secondi e termina allo scadere del tempo o nel momento in cui il bambino clicca su "fine".

Per l'assegnazione del punteggio si prendono in considerazione: il tempo di completamento (se l'ha terminato), il numero di stimoli segnati correttamente e il numero di stimoli non target che il bambino potrebbe aver segnato erroneamente. L'accuratezza del test si ricava dalla sottrazione tra il numero di target segnati correttamente e il numero di elementi cliccati per sbaglio.

Come per i giochi precedenti, una volta giunti al termine il bambino riceve un feedback positivo e la quarta lettera.

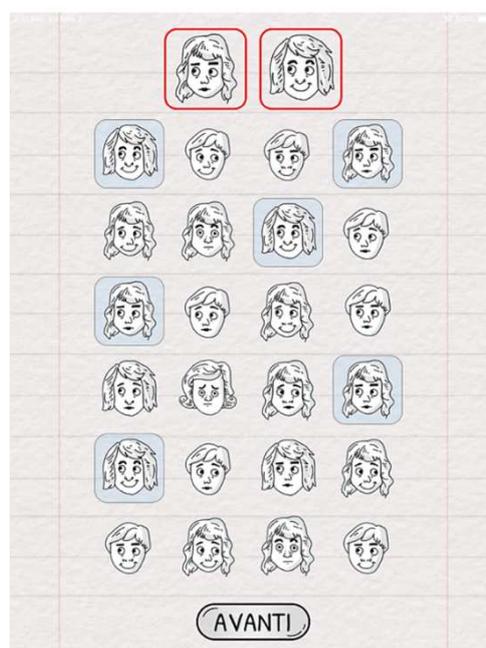


Figura 10 - esempio di stimoli del test di attenzione visiva sostenuta (NEPSY-II)

5. ATTENZIONE VISIVA SOSTENUTA (WISC-IV, Wechsler, 2012)

Al bambino vengono presentate in totale 320 immagini e ogni schermata presenta 40 stimoli, suddivisi in 8 righe x 5 colonne. L'obiettivo è la selezione di tutte le immagini raffiguranti degli animali (stimoli target), nel minor tempo possibile.

Essendo qui proposta una versione digitalizzata del test originale, al bambino è richiesto di cliccare sul tablet la figura dell'animale che si evidenzia tramite un quadratino azzurro con bordo grigio (cfr. immagine n.11).

Una volta cliccato sull'immagine, non è più possibile deselegionarla, a riprodurre la modalità di somministrazione originale del test in cui è fornita soltanto una matita, senza la gomma. Il tempo limite per lo svolgimento della prova è di 45 secondi, ma se conclude prima, il gioco termina.

Per ottenere il punteggio corretto, è necessario sottrarre al numero totale di risposte corrette, il numero di risposte sbagliate. Solo nel caso in cui la differenza sia maggiore o uguale a 60, si aggiungono i punti supplementari per la velocità; se la differenza è minore di 60, la si considera come punteggio grezzo totale.

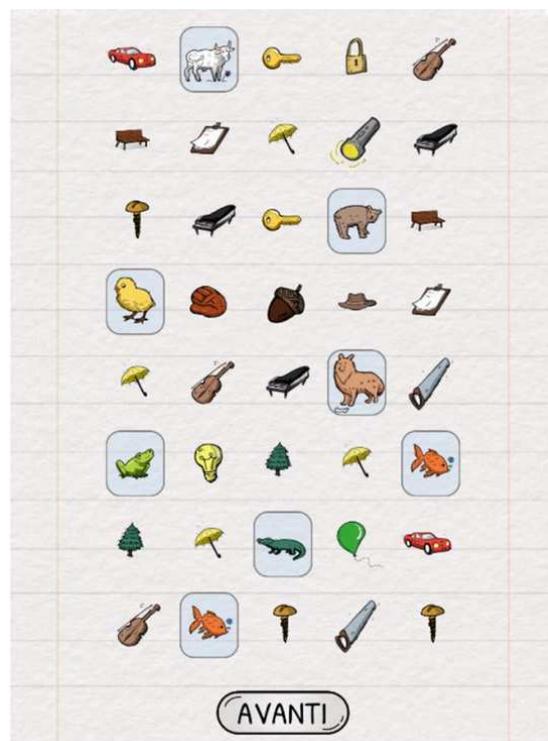


Figura 11- esempio di stimoli della prova di attenzione visiva sostenuta (WISC-IV)

6. TEST DI INIBIZIONE (Diamond et al., 2007)

L'ultimo gioco è dato da tre fasi differenti. Nella prima, comparirà sullo schermo un cuore accompagnato da due frecce, una indicante a destra e una a sinistra; il compito del bambino sarà qui quello di premere la freccia rivolta dallo stesso lato in cui compare lo stimolo (condizione congruente).

Nella seconda fase, insieme alle due frecce comparirà un fiore e, in questo caso, il bambino dovrà selezionare la freccia che indica la posizione opposta a quella di comparsa dello stimolo. (condizione incongruente).

Durante la terza e ultima parte, sullo schermo potranno comparire entrambi gli stimoli (fiore e cuore), con ordine casuale (condizione mista) e il bambino dovrà essere in grado di cliccare la freccia corretta in base al simbolo presentato, nel minor tempo possibile.

Il punteggio totale viene calcolato sulla base dei tempi di reazione e dell'accuratezza delle risposte.

Al termine della prova, i bambini scoprono l'ultima lettera del nome della città e, avranno la possibilità di vedere tutto il percorso colorato.

2.1.3. I questionari

Ai bambini viene poi somministrato il questionario di piacevolezza e usabilità dell'applicazione CoEN, in forma self report.

In questo modo è possibile ottenere una valutazione soggettiva dello sforzo cognitivo percepito.

Nella prima pagina (cfr. immagine 6), per ogni item i bambini devono indicare su una scala likert da 1 a 5 (dove 1 sta per "per niente" e 5 sta per "moltissimo") piacevolezza e usabilità dell'app. Per evitare fraintendimenti e guidare il soggetto nella risposta, ogni domanda è accompagnata da un'illustrazione.

Nella seconda pagina del questionario (cfr. immagine 7), vi sono dei fonometri, derivati dallo studio di Read e colleghi (Read et al., 2001), per valutare la piacevolezza dei diversi giochi presenti nell'app. Maggiore è il numero di caselle colorate in ciascun fonometro e più piacevole è stato lo svolgimento di quel particolare test.

In ultimo, viene somministrato, sempre in forma self-report, il questionario che valuta l'affaticamento cognitivo dei bambini. Questo è stato utilizzato anche da Bess e colleghi nel 2014 (Bess et al., 2014) e qui tradotto in italiano.

I questionari descritti sono stati creati dal gruppo di ricerca coinvolto nel progetto CoEN, partendo da materiale già standardizzato e presente in letteratura (Markopoulos e Bekker, 2003; Sim et al., 2006; Read et al., 2009).

CAPITOLO 3: LA RICERCA

3.1. Ipotesi

Nello studio, è stato utilizzato un disegno di ricerca within-subjects, perciò i soggetti, sottoposti ad entrambe le condizioni sperimentali, sono stati da controllo per sé stessi. Questo per valutare se e quanto il rumore interferisce in modo significativo sulle prestazioni dei bambini, in compiti di memoria, attenzione e inibizione.

Ci si aspetta che tutti i bambini, in condizione di rumore, riportino dei punteggi inferiori ai test.

3.2. I partecipanti

Sono stati coinvolti in totale 48 bambini, con un'età compresa tra 8 e 10 anni (età media= 9,08; ds= 0,347), del quarto anno della scuola primaria "Sant'Agostino" (PD) (cfr. tabella 1).

	Numero di soggetti	Genere		Età			
		M	F	Min	Max	Media	DS
Campione	48	17	31	8	10	9.08	0.347

Tabella 1. Statistiche descrittive dei partecipanti totali

Ai fini del presente elaborato, sono stati esclusi i bambini con sviluppo atipico (4 con DSA e 1 con sindrome di Down), così da rendere il campione più omogeneo (cfr. tabella 2).

	Numero di soggetti	Genere		Età			
		M	F	Min	Max	Media	DS
Campione	43	15	28	8	10	9.07	0.338

Tabella 2. Statistiche descrittive del campione normo-tipico

3.3. La procedura

Prima di iniziare la somministrazione tramite l'App CoEN ai genitori di tutti gli alunni sono stati consegnati il consenso informato ed il foglio informativo del progetto.

La somministrazione è avvenuta in modalità collettiva e ha avuto luogo durante l'orario scolastico.

La modalità è stata la stessa per tutti i partecipanti: inizialmente è stato chiesto ad ogni bambino di compilare in autonomia un questionario conoscitivo sulle abitudini tecnologiche e, successivamente, gli veniva fornito il tablet con cui poi svolgere i test.

Una volta terminato, ai bambini venivano consegnate le due prove cartacee di lettura e scrittura (Test di Generazione di Frasi e Prova di Comprensione del Testo).

In ultimo, ogni bambino doveva compilare il questionario di piacevolezza e usabilità relativo all'App stessa.

L'intera procedura si è svolta due volte per ogni bambino (una per ogni condizione acustica), a distanza di due settimane, per cercare di limitare un eventuale effetto apprendimento.

Alla fine del progetto è stato consegnato ad ogni bambino un certificato di partecipazione personalizzato con il nome di ciascuno.

La durata complessiva della ricerca per ogni condizione è stata di circa 30 minuti, intervallo di tempo ottimale per evitare di generare un eccessivo affaticamento cognitivo nei bambini.

3.4 Risultati

Nella fase di analisi dei dati è stato utilizzato il software SPSS.

Ai fini del presente elaborato le classi 4A e 4B sono state considerate come un campione unico dato che le analisi statistiche (t-test per campioni indipendenti) hanno mostrato come non sussistano differenze significative tra le prestazioni delle due classi.

È stato necessario escludere i dati di alcuni bambini sia nel test di Reading Span che nel test di Digit Span, poiché avevano copiato.

Inoltre, a causa di un problema tecnico con la strumentazione, entrambe le classi hanno svolto prima la prova in condizione di quiete, rendendo dunque impossibile il controbilanciamento della situazione acustica.

3.4.1. Statistiche descrittive

Al fine di avere un'idea generale delle performance dei partecipanti ai test, sono state svolte delle analisi descrittive dei dati per entrambe le condizioni sperimentali (cfr. Tabelle 3a e 3b).

STATISTICHE DESCRITTIVE CONDIZIONE DI QUIETE				
Tipologia di test	Numero partecipanti	Media	Deviazione standard	Errore standard dalla media
Digit Span Diretto (corrette)	34*	5,65	1,840	0,316
Digit span indiretto (corrette)	34*	5,29	1,962	0,337
Reading Span (no ordine)	34*	2,03	1,660	0,285
Reading Span (ordine)	34*	1,88	1,409	0,242
Attenzione visiva facce -NEPSY II (accuratezza)	38	13,16	13,594	2,205
Attenzione visiva animali – WISC-IV (accuratezza)	38	18,92	15,039	2,440
Test inibizione congruente (corrette)	38	18,45	3,600	0,584
Test di inibizione incongruente (corrette)	38	13,92	8,384	1,360
Test di inibizione misto (corrette)	38	15,47	4,554	0,739
Comprensione del testo	38	9,11	2,749	0,446
Generazione di frasi (TOT)	38	10,829	5,714	0,927
Self-report (affaticamento cognitivo- TOT)	38	1,6711	0,465	0,075

Tabella 3a. statistiche descrittive per la condizione di quiete

*= esclusione dei quattro partecipanti sorpresi a copiare nei test di memoria (Digit Span e Reading Span)

STATISTICHE DESCRITTIVE CONDIZIONE DI RUMORE				
Tipologia di test	Numero partecipanti	Media	Deviazione standard	Errore standard dalla media
Digit Span Diretto (corrette)	34*	5,91	1,583	0,272
Digit span indiretto (corrette)	34*	5,53	2,121	0,364
Reading Span (no ordine)	34*	2,24	1,707	0,293
Reading Span (ordine)	34*	2,15	1,598	0,274
Attenzione visiva facce NEPSY-II (accuratezza)	38	18,29	8,727	1,416
Attenzione visiva animali –WISC-IV (accuratezza)	38	26,87	9,444	1,523
Test inibizione congruente (corrette)	38	18,50	3,689	0,598
Test di inibizione incongruente (corrette)	38	18,24	4,077	0,661
Test di inibizione misto (corrette)	38	16,45	4,452	0,722
Comprensione del testo	38	8,99	3,010	0,488
Generazione di frasi (TOT)	38	15,474	8,433	1,368
Self-report (affaticamento cognitivo- TOT)	38	1,7307	0,583	0,0946

Tabella 3b. statistiche descrittive per la condizione di rumore

*= numero inferiore di partecipanti per i 4 che avevano copiato nei test

3.4.2. Confronto entro il gruppo

Per analizzare le differenze delle performance dei partecipanti nelle condizioni di quiete e rumore, è stato utilizzato il t-test per campioni accoppiati, ovvero uno strumento di analisi dei dati che permette di mettere a confronto le medie di uno stesso gruppo in due momenti e condizioni differenti.

La tabella 4 “t-test per campioni accoppiati” (cfr. Tabella 4), mostra il confronto tra le prestazioni nei test di memoria, attenzione e inibizione, per condizione acustica.

Dai risultati dell’analisi statistica (cfr. Tabella 4) è possibile notare che la differenza tra le due condizioni acustiche, risulta statisticamente significativa:

- Per il test di attenzione appartenente alla batteria NEPSY-II (facce) ($t_{(37)} = -2,382, p = 0,022$)
- Per il test di attenzione appartenente alla WISC-IV (animali) ($t_{(37)} = -3,426, p < 0,001$)
- Per il test di inibizione nella condizione incongruente ($t_{(37)} = -3,295, p < 0,001$)
- Per il test di generazione di frasi ($t_{(37)} = -4,915, p < 0,001$)

Considerando il segno del t-test e sapendo in quale condizione acustica sono stati svolti inizialmente i test, possiamo definire se i bambini hanno ottenuto un punteggio maggiore in quiete o in rumore. È possibile fare lo stesso facendo riferimento ai valori medi dei punteggi del campione.

Dalle medie riportate nelle tabelle 3a e 3b (cfr. Tabelle 3a e 3b) si evince, infatti, come per tutti i test sopra elencati i punteggi siano significativamente più alti in condizione di rumore rispetto alla quiete, in contrapposizione con l’ipotesi di partenza.

T-TEST PER CAMPIONI ACCOPPIATI								
	Differenze accoppiate					t	gl (n-1)	Significatività (a due code)
	Media	Deviazione standard	Errore standard della media	Intervallo di confidenza della differenza di 95%				
				Inferiore	Superiore			
Digit Span Diretto Quiete (corrette) - Digit Span Diretto Rumore (corrette)	-0,265	1,814	0,311	-0,898	0,368	-0,851	33	0,401
Digit Span Indiretto Quiete (corrette) - Digit Span Indiretto Rumore (corrette)	-0,235	2,413	0,414	-1,077	0,607	-0,569	33	0,573
Quiete Reading Span - Corrette (no order) - Rumore Reading Span - Corrette (no order)	-0,206	1,366	0,234	-0,682	0,271	-0,879	33	0,386
Quiete Reading Span - Corrette (ordered) - Rumore Reading Span - Corrette (ordered)	-0,265	1,263	0,217	-0,705	0,176	-1,222	33	0,230
Test Attenzione Facce Quiete (accuratezza) - Test Attenzione Facce Rumore (accuratezza)	-5,132	13,279	2,154	-9,496	-0,767	-2,382	37	0,022
Test Attenzione Animali Quiete (accuratezza) - Test Attenzione Animali Rumore (accuratezza)	-7,974	14,300	2,323	-12,648	-3,247	-3,426	37	<0,001
Test Inibizione congruente Quiete(errori) - Test Inibizione congruente Rumore (errori)	-0,053	4,538	0,736	-1,544	1,439	-0,071	37	0,943
Test Inibizione incongruente Quiete(corrette) - Test Inibizione incongruente Rumore (corrette)	-4,316	8,074	1,310	-6,970	-1,662	-3,295	37	0,002
Test Inibizione misto Quiete(corrette) - Test Inibizione misto Rumore (corrette)	-0,974	3,767	0,611	-2,212	0,264	-1,593	37	0,120
Quiete Comprensione del testo- Rumore Comprensione del testo	0,118	2,415	0,392	-0,675	0,912	0,302	37	0,764
Quiete Generazione di frasi - TOT - Rumore Generazione di frasi - TOT	-4,645	5,8250	0,945	-6,559	-2,730	-4,915	37	<0,001
Quiete Self report TOT - Rumore Self report TOT	-0,059	0,339	0,055	-0,171	0,052	-1,083	37	0,286

Tabella 4. t-test per campioni accoppiati

CAPITOLO 4: CONCLUSIONI, LIMITI DELLO STUDIO E IMPLICAZIONI FUTURE

4.1. Discussione e conclusioni

I risultati analizzati, a differenza di quanto atteso inizialmente, mostrano un miglioramento nei punteggi ai test in condizione di rumore.

Una possibile spiegazione potrebbe derivare dal fatto che, come riportato da Shield e Dockrell (2008), ciò che sembra influenzare maggiormente la performance degli studenti è il rumore generato da singoli eventi acustici di forte impatto: nello studio oggetto del presente elaborato, invece, il rumore utilizzato era un multitalker bubble noise, di intensità costante a 65dB e, nonostante vi fossero degli elementi sonori “a sorpresa”(es. apertura della porta, caduta di qualche oggetto, ambulanza), il file audio completo durava soltanto quattro minuti per poi ricominciare da capo.

Quindi, già a partire dagli ascolti successivi al primo, anche questi elementi divenivano delle costanti che dunque avevano meno influenza sulla performance dei bambini.

Inoltre, è possibile supporre la presenza di un effetto apprendimento, poiché in entrambe le classi sono state svolte le prove a partire dalla condizione di quiete e questo potrebbe aver alterato risultati ai test nella seconda prova (condizione di rumore).

Infine, per spiegare i risultati ottenuti nei test di attenzione, potremmo fare riferimento al concetto di interferenza strutturale, ovvero la situazione in cui l'esecuzione di un compito interferisce sull'altro se essi condividono lo stesso livello di elaborazione o lo stesso meccanismo di base. Questa si mostra sperimentalmente nel paradigma del doppio compito, durante il quale si chiedono ai soggetti di svolgere due compiti in simultanea.

Come riportato da Wickens (2008), le risorse cognitive non sono da intendersi come un singolo pool, ma come insiemi differenti per ciascuna modalità sensoriale. I test di attenzione sostenuta coinvolgono principalmente i meccanismi visivi e quindi vie sensoriali diverse rispetto a quelle coinvolte nell'ascolto. Perciò, secondo quanto detto sopra, il livello di interferenza cognitiva in questa fase è basso. Inoltre, è plausibile che i partecipanti fossero molto concentrati sullo svolgimento del compito e questo potrebbe aver diminuito ulteriormente l'interferenza, contribuendo ad aumentare la performance nei suddetti test.

4.2. Limiti dello studio

È importante sottolineare che la numerosità campionaria dei partecipanti allo studio è relativamente ridotta e, sarà necessario ampliare il campione per poter eventualmente confermare questi dati preliminari.

Inoltre, a causa di un problema tecnico durante le prove, non è stato possibile alternare le due condizioni acustiche nei campioni e quindi il disegno di ricerca non è stato controbilanciato. In aggiunta, i due incontri si sono svolti a distanza di un intervallo di tempo abbastanza breve che potrebbe aver contribuito a generare effetto apprendimento.

Infine, poiché di norma il livello di rumore negli ambienti scolastici è superiore a 65 dB, non è stato possibile ricreare un ambiente sperimentale davvero ecologico. Se però il rumore generato avesse superato questa soglia, secondo quanto riportato dall'OMS (World Health Organization, 1999), si sarebbero potuti provocare dei danni a livello uditivo nei partecipanti.

4.3. Implicazioni future

Nonostante i limiti evidenziati, i risultati ottenuti possono essere il punto di partenza per la progettazione di interventi in contesti educativi e clinici e per la ristrutturazione adeguata degli ambienti scolastici.

Infatti, rendere strutturalmente e acusticamente adatti gli edifici scolastici potrebbe comportare notevoli benefici per gli studenti.

4.3.1. Linee guida per una corretta progettazione delle aule scolastiche

Per rendere più adeguati gli spazi scolastici dal punto di vista acustico, è necessario seguire alcune indicazioni. Infatti, a seconda della destinazione d'uso dell'ambiente è importante stabilire i m³ per occupante, così da dimensionare correttamente il volume dell'aula a fini acustici. Se, ad esempio, nell'aula l'attività principale sarà il parlato l'indice di volume, dato dal rapporto m³/occupante dovrà essere compreso tra 3-6 (Furlan et al., 2017). Il rapporto tra queste due variabili deve essere ben calibrato, evitando ambienti troppo stretti e lunghi o molto bassi. Piante di forma circolare o ellittica non ci garantiscono il massimo rendimento acustico, l'ideale sarebbe progettare un'aula con forma rettangolare o, se viene utilizzata una pianta trapezoidale, l'oratore dovrebbe posizionarsi sul lato più lungo, proiettando la presentazione verso il punto in cui convergono le pareti. (Furlan et.al, 2017).

Se ci si trova in presenza di soffitti a volta o grandi pareti piane e riflettenti, per evitare echi ripetuti e concentrazioni del suono in alcuni punti dell'ambiente, è opportuno gestire

attentamente le riflessioni provenienti da queste superfici. (Furlan et al., 2017). Queste modifiche permetterebbero agli studenti di acquisire maggiori conoscenze con uno sforzo e un affaticamento cognitivo minore.

BIBLIOGRAFIA

1. Arfé, B., Pizzocaro, E. (2016). Sentence Generation in Children with and Without Problems of Written Expression. In J. Perera, M. Aparici, E. Rosado, & N. Salas (A c. Di), *Written and Spoken Language Development across the Lifespan: Essays in Honour of Liliana Tolchinsky* (pagg. 327–344). Springer International Publishing.
2. 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
3. Astolfi, A., Puglisi, G. & Shtrepi, L. (2020, 8 settembre). Acustica delle aule scolastiche: un esempio di intervento di miglioramento innovativo e integrato. Ingenio. Consultato da <https://www.ingenio-web.it/articoli/acustica-delle-aule-scolastiche-un-esempio-di-intervento-di-miglioramento-innovativo-e-integrato/>.
4. Baddeley, A.D. (1997). "Human memory: Theory and practice". Hove, UK: Psychology Press.
5. Bronzaft, A.L. McCarthy, D.P. (1975). "The effect of elevated train noise on reading ability", *Environment and Behaviour*, 7(4), 517-527
6. Cohen, D.J., Cicchetti D. (2006). "Developmental Psychopathology, Developmental Neuroscience", Wiley
7. Conway, A. R., Kane M. J., Bunting M. F., Hambrick D. Z., Wilhelm O. & Engle R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 769-786
8. Cornoldi, C., Colpo, G., Carretti, B., Gola, M. L., Saponaro, C., & Viola, F. (2017). *Prove MT-Kit scuola: classi 1-2 primaria: dalla valutazione degli apprendimenti di lettura e comprensione al potenziamento*. Giunti Edu
9. Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466.
10. 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.
11. Eckert, M. A., Teubner-Rhodes, S., & Vaden Jr, K. I. (2016). Is listening in noise worth it? The neurobiology of speech recognition in challenging listening conditions. *Ear and hearing*, 37(Suppl 1), 101S

12. Gheller, F., Lovo, E., Arsie, A., & Bovo, R. (2020). Classroom acoustics: Listening problems in children. *Building Acoustics*, 27(1), 47-59.
13. Goldman-Rakic, P. S., Muly III, E. C., & Williams, G. V. (2000). D1 receptors in prefrontal cells and circuits. *Brain Research Reviews*, 31(2-3), 295-301
14. Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Head, J., & Job, R. F. S. (2002). Multilevel modelling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow Airport London. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56(2), 139-144
15. Hornsby, B. W., Naylor, G., & Bess, F. H. (2016). A taxonomy of fatigue concepts and their relation to hearing loss. *Ear and hearing*, 37(Suppl 1), 136S
16. Hughes, R. W., Vachon, F., & Jones, D. M. (2007). Disruption of short-term memory by changing and deviant sounds: support for a duplex-mechanism account of auditory distraction. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(6), 1050
17. Hygge, S. (1996). The Munich Airport noise study-cognitive effects on children from before to after the change over of airports. *Proc. of Inter-Noise'96*, 2189-2192
18. Klatté, M., Lachmann, T., & Meis, M. (2010). Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise and Health*, 12(49), 270
19. Li, S. C., von Oertzen, T., & Lindenberger, U. (2006). A neurocomputational model of stochastic resonance and aging. *Neurocomputing*, 69(13-15), 1553-1560
20. Marini, A. (2017). Introduzione: le funzioni esecutive nei Disturbi (Primari) di Linguaggio.
21. Markopoulos, P., & Bekker, M. (2003). On the assessment of usability testing methods for children. *Interacting with computers*, 15(2), 227-243
22. Peelle, J. E. (2018). Listening effort: How the cognitive consequences of acoustic challenge are reflected in brain and behavior. *Ear and hearing*, 39(2), 204-214.
23. Pichora-Fuller, M. K., Kramer, S. E., Eckert, M. A., Edwards, B., Hornsby, B. W., Humes, L. E., ... & Wingfield, A. (2016). Hearing impairment and cognitive energy: The framework for understanding effortful listening (FUEL). *Ear and hearing*, 37, 5S-27S.
24. Rabbitt, P. M. (1968). Channel-capacity, intelligibility and immediate memory. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 20(3), 241-248.
25. Richter, M. (2016). The moderating effect of success importance on the relationship between listening demand and listening effort. *Ear and Hearing*, 37, 111S-117S.

26. Rönnerberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., ... & Rudner, M. (2013). The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 31.
27. Rönnerberg, J., Rudner, M., Foo, C., & Lunner, T. (2008). Cognition counts: A working memory system for ease of language understanding (ELU). *International journal of audiology*, 47(sup2), S99-S105.
28. Shield, B. M., & Dockrell, J. E. (2003). The effects of noise on children at school: A review. *Building Acoustics*, 10(2), 97-116.
29. Shield, B., & Dockrell, J. (2008). The Effects of classroom and environmental noise on children's academic performance. In *9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*, Foxwoods, CT.
30. 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.
31. Sikström, S., & Söderlund, G. (2007). Stimulus-dependent dopamine release in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychological review*, 114(4), 1047–1075. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.4.1047>
32. Solanto, M. V. (2002). Dopamine dysfunction in AD/HD: integrating clinical and basic neuroscience research. *Behavioural brain research*, 130(1-2), 65-71.
33. Urgesi, C., Campanella, F., & Fabbro, F. (2011). NEPSY II—Edizione Italiana.
34. Van Den Noort, M., Bosch, P., Haverkort, M., & Hugdahl, K. (2008). A standard computerized version of the reading span test in different languages. *European Journal of Psychological Assessment*, 24(1), 35-42.
35. Van Engen, K. J., & Peelle, J. E. (2014). Listening effort and accented speech. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 577.
36. Wechsler, D. (2012). WISC-IV Wechsler Intelligence Scale for Children Quarta Edizione.[Manuale di Somministrazione e Scoring]. *Firenze: Giunti OS*.
37. Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human factors*, 50(3), 449-455.
38. Wingfield, A., Amichetti, N. M., & Lash, A. (2015). Cognitive aging and hearing acuity: Modeling spoken language comprehension. *Frontiers in Psychology*, 6, 684.
39. World Health Organization (1999). Guidelines for community noise. Disponibile su <http://www.who.int/peh/>

RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo elaborato, voglio ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione dello stesso.

Ringrazio innanzitutto la Professoressa Barbara Arfé per avermi seguita e aiutata in questo percorso. Ringrazio anche la Dottoressa Gaia Spicciarelli per la Sua attenta e costante supervisione sul progetto e per i preziosi consigli forniti.

Un immenso grazie va a mia mamma che da sempre mi sostiene e mi accompagna, a mio fratello, ai miei nonni e a mio zio che con il loro affetto e la loro vicinanza mi hanno aiutato ad arrivare fino a qui.

Ringrazio poi anche tutti i miei amici, in particolare Matilde e Virginia, per essermi sempre stati accanto.

In ultimo, ma non per importanza, voglio ringraziare Matteo per credere sempre in me e nelle mie potenzialità.