

La Nuova Biblioteca Civica Centrale di Torino: studio del rumore simulato percepito e i suoi effetti sulla prestazione cognitiva

Ioana Grozeva^a | Arianna Astolfi^{a*} | Louena Shtrepi^a

^a Dipartimento di Energia,
Politecnico di Torino,
Corso Duca degli Abruzzi, 24, 10129 Torino

* Autore di riferimento:
arianna.astolfi@polito.it

Ricevuto: 27/2/2026

Accettato: 27/7/2026

DOI: 10.3280/ria2026oa22147

ISSN: 2385-2615

Le biblioteche contemporanee sono ambienti multifunzionali in cui studio, socialità ed eventi culturali coesistono, rendendo centrale la gestione dell'ambiente sonoro. La criticità aumenta negli edifici storici, dove i vincoli conservativi limitano gli interventi acustici. Il presente studio analizza la Nuova Biblioteca Civica Centrale di Torino, che sarà ospitata in uno dei padiglioni di Torino Esposizioni, attualmente oggetto di trasformazione funzionale, con volume di circa 160.000 m³ e tempo di riverberazione medio di 6 s. Attraverso un modello tridimensionale sviluppato in Odeon 18 è stato simulato lo scenario sonoro comprendente traffico urbano, impianti e rumori antropici in una postazione selezionata come acusticamente critica. Il livello globale simulato pari a 61,8 dB(A) è stato usato per valutare i suoi effetti sulla prestazione cognitiva attraverso una sessione sperimentale con 10 partecipanti (23-59 anni), sottoposti a test in condizioni di quiete e rumore. I risultati non evidenziano differenze statisticamente significative nelle prestazioni, a fronte di un moderato fastidio percepito.

Parole chiave: biblioteca, ambiente sonoro, simulazione, concentrazione.

The New Civic Central Library of Torino: a study of the perceived simulated noise and its effects on cognitive performance

Contemporary libraries are multifunctional spaces in which study, social interaction and cultural events coexist, making the management of the acoustic environment a central issue. This challenge is amplified in historic buildings, where conservation constraints limit acoustic interventions. The present study examines the New Civic Central Library of Turin, which will be housed in one of the pavilions of Torino Esposizioni, currently under functional transformation, with a volume of approximately 160,000 m³ and an average reverberation time of 6 s. A three-dimensional model developed in Odeon 18 was used to simulate a realistic sound scenario including traffic, HVAC and anthropogenic noise in a position considered acoustically critical. The simulated overall sound pressure level of 61.8 dB(A) was used to evaluate its effects on cognitive performance through an experimental session involving 10 participants (23-59 years old), who were tested under both quiet and noise conditions. The results did not reveal statistically significant differences in performance, despite a moderate level of perceived annoyance.

Keywords: library, acoustic environment, simulation, concentration.

1 | Introduzione

Negli ultimi decenni le biblioteche hanno progressivamente superato il modello tradizionale di ambiente esclusivamente dedicato alla lettura silenziosa, trasformandosi in spazi multifunzionali in cui studio individuale, lavoro collaborativo, attività culturali e interazione sociale coesistono. Questa evoluzione ha determinato una crescente complessità dell'ambiente sonoro interno, dovuta alla presenza simultanea di diverse sorgenti, quali sistemi di ventilazione, parlato spontaneo, attività collaborative e utilizzo di dispositivi digitali [1-3]. In ambienti caratterizzati da grandi open space e funzioni eterogenee, tali sorgenti risultano difficilmente confinabili e incidono significativamente sui livelli di pressione sonora complessivi.

Studi precedenti indicano che nelle biblioteche storiche i livelli di pressione sonora si attestano generalmente tra 45 e

55 dB(A), con incrementi nelle ore di maggiore affluenza. Nei contesti contemporanei multifunzionali, invece, i livelli medi risultano più elevati, compresi tra 50 e 60 dB(A), come riportato per la Library of Birmingham [1] e per alcune biblioteche di Sheffield [2], soprattutto in ambienti destinati ad attività collettive spesso si hanno dei valori tra 56,5 e 61,4 dB(A). In tali contesti, la configurazione spaziale e la distribuzione delle funzioni incidono in modo determinante sulla propagazione del rumore, con particolare criticità nelle aree dedicate ai bambini, dove le attività ludiche e l'interazione verbale possono compromettere le condizioni di concentrazione nelle zone di studio.

Il rumore è riconosciuto come un fattore ambientale in grado di interferire con processi cognitivi quali attenzione e memoria. In particolare, l'esposizione a parlato intelligibile o a segnali sonori variabili è stata associata a una riduzione delle prestazioni nei compiti verbali, risultato del fenomeno detto

Irrelevant Speech Effect [4]. Tuttavia, le evidenze della letteratura non sono univoche e dipendono dalla tipologia di segnale, dal livello sonoro e dalla natura del compito [5]. Alla luce di questo, il presente studio si propone di valutare se lo scenario sonoro simulato della futura Biblioteca Civica Centrale di Torino possa influenzare la concentrazione e la prestazione cognitiva degli utenti.

2 | Materiali

2.1 | Il caso studio

Il progetto della nuova Biblioteca Civica Centrale di Torino, sviluppato da Rafael Moneo e Isolarchitetti, prevede la trasformazione di uno dei padiglioni del complesso Torino Esposizioni, originariamente concepito come spazio espositivo in una biblioteca multifunzionale. L'edificio, realizzato nel 1938 e successivamente ricostruito nel 1948, è caratterizzato da una configurazione a pianta libera e da un volume complessivo di circa 160.000 m³. Le dimensioni monumentali e la prevalenza di superfici riflettenti determinano un tempo di riverberazione medio pari a circa 6 s.

Il progetto architettonico preserva l'integrità spaziale originaria del padiglione, evitando suddivisioni interne significative e mantenendo la continuità visiva del grande ambiente centrale, come si vede in Fig. 1. Il piano terra si sviluppa attorno a un asse longitudinale che organizza aree per lo studio individuale e zone più informali dedicate alla socialità. La suddivisione degli spazi nel progetto risponde a diverse modalità di utilizzo: il piano terra presenta un ampio spazio con aree di studio formali e informali; il seminterrato, accessibile tramite ampie scalinate, è destinato all'archivio e alla conservazione delle collezioni storiche e ospita un "Giardino Incantato", un'area di lettura con tavoli e sedie tra aiuole e alberi; il piano superiore, che si estende lungo due ali ai lati dell'edificio, accoglie spazi per lo studio collaborativo. La porzione absidale del piano terra, mostrata in Fig. 2, ospita l'area bambini, concepita come spazio interattivo e dinamico che, però, dal punto di vista acustico costituisce la maggiore preoccupazione e

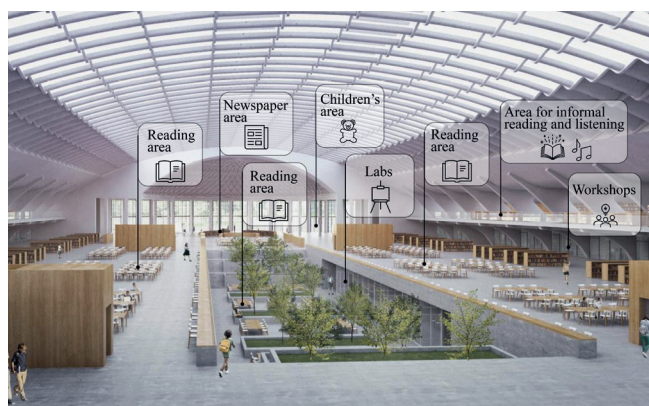


Fig. 1 – Vista generale della Biblioteca Civica Centrale di Torino
General render of the Civic Central Library of Torino



Fig. 2 – Vista dell'area bambini
Render of the children's area

criticità per il controllo del rumore e il mantenimento della concentrazione. La combinazione di ampio volume, limitate possibilità di intervento acustico dovute ai vincoli conservativi e compresenza di funzioni eterogenee rende l'edificio un caso particolarmente significativo per l'analisi della propagazione sonora e dei suoi potenziali effetti sulla percezione e sulle attività che richiedono notevole sforzo cognitivo.

2.2 | Modello acustico 3D

Il modello acustico tridimensionale della Biblioteca Centrale di Torino utilizzato per le simulazioni è stato sviluppato con il software Odeon 18. Odeon è un software sofisticato progettato per la simulazione e l'analisi acustica degli ambienti interni, con applicazioni principali nei campi dell'architettura e dell'ingegneria acustica [6]. Questo strumento consente la modellazione e l'analisi del comportamento del suono all'interno di spazi complessi, come teatri, auditorium e sale conferenze.

La geometria del padiglione è stata ricostruita a partire dagli elaborati progettuali architettonici, includendo le superfici verticali perimetrali, la copertura voltata e gli elementi interni rilevanti ai fini della diffusione sonora. Il modello riproduce il volume complessivo di circa 160.000 m³ e la configurazione spaziale prevista. Una volta completata la struttura 3D, a ogni superficie è stato assegnato un materiale con i relativi coefficienti di assorbimento per banda d'ottava, secondo il progetto di ristrutturazione, come illustrato in Fig. 3. I coefficienti di scattering sono mostrati in Tab. 1. Sulla base di tali proprietà acustiche, il tempo di riverberazione è stato valutato in funzione della frequenza. In particolare, si osservano valori pari a 9,0 s alle basse frequenze, 5,0 s alle frequenze medie e 2,3 s alle alte frequenze. Per simulare la condizione peggiore è stato scelto di considerare la massima capienza della biblioteca, cioè circa 1.200 persone. A causa delle restrizioni imposte dalle autorità per la tutela dei beni culturali, la maggior parte dei materiali utilizzati è riflettente, con l'unica eccezione della superficie verticale verso l'abside, che è stata rivestita con un intonaco fonoassorbente.

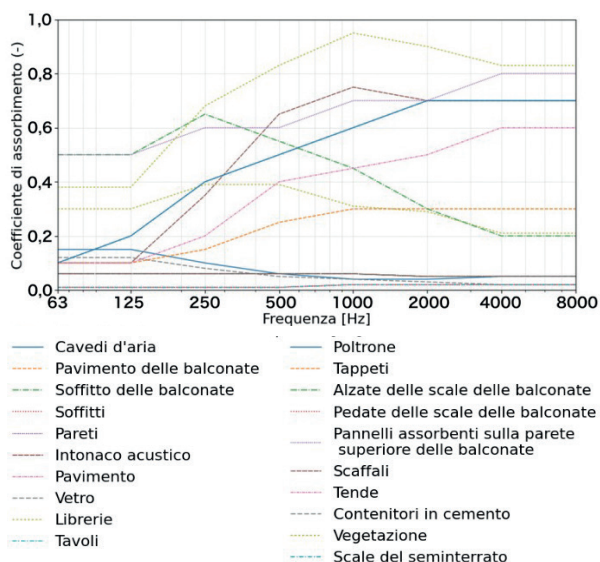


Fig. 3 – Coefficienti di assorbimento dei materiali
Absorbing coefficients of the materials

Tab. 1 – Coefficienti di scattering dei materiali
Scattering coefficients of the materials

Materiale	Coefficiente di scattering	Materiale	Coefficiente di scattering
Cavedi d'aria	0,1	Poltrone	0,5
Pavimento delle balconate	0,1	Tappeti	0,1
Soffitto delle balconate	0,2	Alzate delle scale delle balconate	0,1
Soffitto	0,8	Pedate delle scale delle balconate	0,5
Pareti	0,1	Pannelli assorbenti sulla parete superiore	0,1
Intonaco acustico	0,1	Scaffali	0,2
Pavimento	0,1	Tende	0,1
Vetro	0,1	Contenitori in cemento	0,2
Librerie	0,5	Vegetazione	0,2
Tavoli	0,8	Scale del seminterrato	0,2

Il modello, illustrato in Fig. 4, offre una visualizzazione dettagliata dello spazio utilizzato per le simulazioni acustiche. La simulazione ha impiegato un ordine di transizione pari a 2, il quale definisce il numero massimo di riflessioni considerate nell'analisi acustica. Inoltre, sono stati utilizzati 50.000 raggi per garantire un'elevata accuratezza nei calcoli relativi alla propagazione del suono.

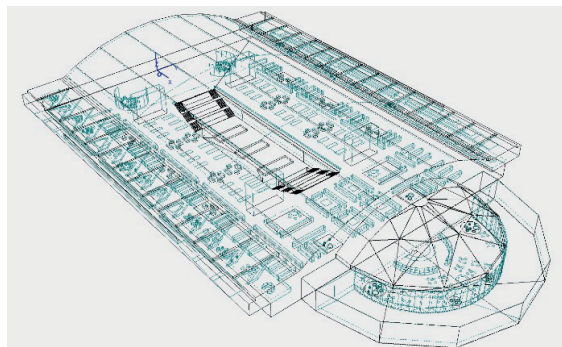


Fig. 4 – Modello 3D della biblioteca in Odeon
3D model of the library in Odeon

2.3 | Sorgenti sonore e ricevitori

Definito il modello geometrico, sono state individuate e posizionate le sorgenti sonore e il ricevitore, mostrati in Fig. 5. La collocazione delle sorgenti è stata effettuata in coerenza con la configurazione funzionale prevista per la biblioteca, al fine di rappresentare condizioni realistiche di esercizio.

Le principali sorgenti considerate includono contributi esterni da traffico urbano, rumore impiantistico (HVAC) e sorgenti interne di natura antropica, con particolare riferimento al parlato e sulla base di un'analisi preliminare delle attività previste tipiche di uno spazio bibliotecario multifunzionale. In particolare, sono state posizionate le seguenti sorgenti sonore:

- S1-S2: sistema di ventilazione, rappresentato da una sorgente superficiale distribuita su tutta l'area del pavimento e due sorgenti lineari che simulano i diffusori a soffitto;
- S3A, S3B, S3C: rumore del traffico, rappresentato come una sorgente superficiale posizionata sul tetto dell'edificio;
- S4: parlato non intelligibile emesso da un'area sopra i tavoli, all'altezza ipotetica della bocca degli oratori;
- S5: sorgenti puntiformi che rappresentano parlato intelligibile, con una o due persone che parlano;
- S6: sorgenti puntiformi che rappresentano le frasi equivalenti, ovvero frasi composte da 5 parole ciascuna, che sono sintatticamente corrette ma prive di significato semantico nel loro insieme e hanno lo stesso contributo energetico tra loro [7];
- S7: rumori di sfogliamento di pagine, penne e notifiche da dispositivi personali, rappresentati come sorgenti puntiformi;
- S8: passi, rappresentati come sorgenti puntiformi che simulano camminate lente o veloci all'interno della biblioteca;
- S7: passi, rappresentati come sorgenti puntiformi che simulano una persona che scende le scale all'interno della biblioteca.

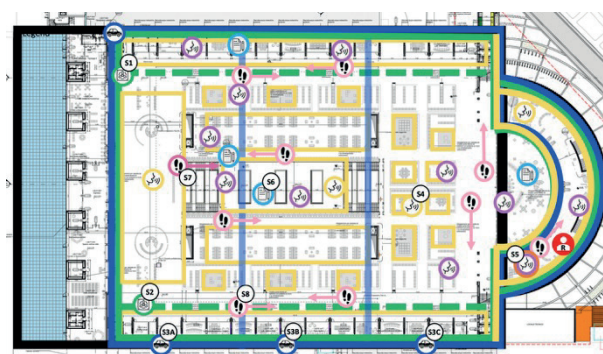


Fig. 5 – Pianta con posizionate le sorgenti sonore e il ricevitore
Plan with positioned the sound sources and the receiver

La posizione del ricevitore è stata collocata nell'edera semi-toroidale situata nella parte retrostante della sala, a 1,6 m dal piano di calpestio e orientata verso l'area principale della biblioteca. Essa è stata selezionata in quanto rappresentativa della zona acusticamente più critica dell'edificio, coincidente con l'area bambini, caratterizzata da una configurazione a gal-

leria con due superfici vetrate parallele che determinano un significativo incremento delle riflessioni e del campo riverberato.

2.3.1 | Rilevamento delle sorgenti sonore

- Rilevamento in camera anecoica

Per la definizione realistica dello scenario sonoro, a ciascuna sorgente modellata è stato associato un campione audio registrato in condizioni controllate. In particolare, i suoni riconducibili alle attività interne della biblioteca (parlato intelligibile e non intelligibile, sfogliamento di pagine, utilizzo di penne e dispositivi mobili) sono stati registrati nella camera anecoica del Politecnico di Torino, al fine di acquisire segnali privi di contributi riverberanti e idonei alla successiva auralizzazione nel modello tridimensionale.

- Rilevamento dei suoni in situ

Il rumore da traffico urbano è stato acquisito mediante misurazioni in situ effettuate sulla copertura di un edificio bibliotecario di forma parallelepipedica (circa 100 m × 180 m × 18 m), esposto a una viabilità urbana a diverso grado di intensità. Le registrazioni sono state eseguite a tre differenti distanze dalla strada principale (circa 90 m, 130 m e 165 m), ciascuna corrispondente a una diversa area della copertura, mediante fonometro calibrato posizionato a 1,5 m dal piano di calpestio, come mostrato in Fig. 6. Sul lato opposto dell'edificio è presente un'area verde e una strada a minore traffico, elemento considerato nella valutazione del contributo sonoro complessivo. I livelli di pressione sonora misurati sono stati successivamente elaborati per derivare i corrispondenti livelli di potenza sonora da assegnare nel modello tridimensionale, tenendo conto delle condizioni di propagazione e delle caratteristiche dell'involucro edilizio previste nel progetto.

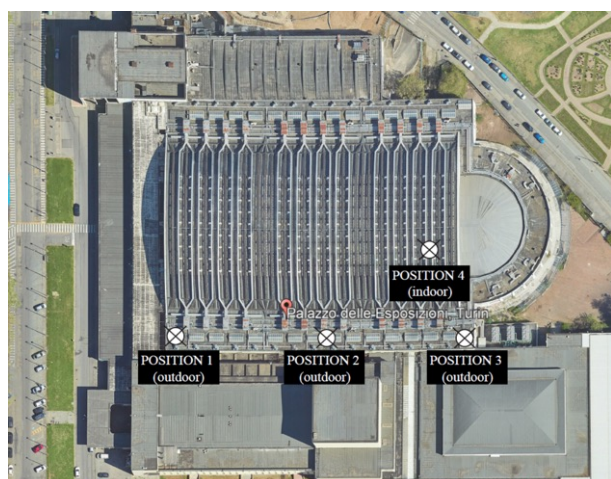


Fig. 6 – Ortofoto con indicazione dei punti di misura del rumore di traffico sulla copertura
Orthophoto indicating the traffic noise measurement locations on the roof

- Rilevamento del suono dei passi

Per registrare il suono dei passi, è stato necessario utilizzare il plug-in Edward Foley Art [8], che consente di impostare una serie di parametri, tra cui il tipo di scarpa da simulare e la

superficie di contatto. In questo caso, i parametri sono stati configurati per riflettere il suono dei passi di una donna che indossa tacchi alti su un pavimento in ceramica, come quello presente in una biblioteca.

- Rilevamento degli altri suoni

Gli ulteriori contributi sonori impiegati nel modello sono stati acquisiti da fonti preesistenti, nel rispetto delle normative vigenti in materia di diritti d'autore. In particolare, i campioni audio sono stati forniti dal Politecnico di Torino e derivano da registrazioni realizzate nell'ambito di precedenti progetti di ricerca universitari. Tra questi rientrano il rumore dei sistemi di ventilazione, utilizzato per la modellazione delle sorgenti impiantistiche, e il brusio non intelligibile, registrato in camera anecoica e costituito da conversazioni sovrapposte tra più parlanti, tali da rendere non intellegibile il contenuto verbale. Sono state inoltre impiegate frasi equivalenti registrate in camera anecoica, costituite da sequenze di cinque parole sintatticamente corrette ma semanticamente prive di significato, tratte dall'Italian Matrix Sentence Test [7]. Ciascuna frase presenta caratteristiche acustiche equivalenti in termini di livello sonoro, consentendo di simulare il parlato mantenendo costante il contenuto energetico tra le diverse tracce utilizzate.

2.3.2 | Caratterizzazione delle sorgenti sonore

In fase preliminare alle simulazioni acustiche è stato necessario determinare, per ciascuna sorgente, il livello di pressione sonora, il corrispondente livello di potenza sonora e le relative caratteristiche spettrali. Per garantire una corretta implementazione all'interno del software ODEON, è stata adottata una procedura strutturata che ha previsto: la definizione dei livelli di pressione sonora (SPL) per bande d'ottava, il calcolo dei corrispondenti livelli di potenza sonora (L_w) e la definizione di uno spettro con andamento in frequenza reale e di una configurazione a spettro piatto. Questo approccio metodologico consente di descrivere le sorgenti in modo coerente dal punto di vista energetico e spettrale, assicurando la loro compatibilità con diversi scenari di simulazione e garantendo uniformità nei confronti tra configurazioni acustiche differenti. Il livello globale di pressione sonora (SPL) è stato determinato mediante una procedura di media energetica, necessaria in considerazione della natura logaritmica della scala in decibel. Un semplice calcolo della media aritmetica dei valori di SPL non sarebbe infatti fisicamente corretto, poiché i decibel esprimono una grandezza proporzionale all'energia sonora su scala logaritmica. Per questo motivo, ciascun valore di SPL è stato preliminarmente convertito dalla scala logaritmica alla corrispondente rappresentazione lineare in termini di potenza, così da consentire un'operazione di media coerente dal punto di vista energetico.

Una volta definiti i livelli di pressione sonora per bande d'ottava, il livello globale di pressione sonora è stato calcolato mediante media energetica, mostrata in Eq. (1). Tali livelli di pressione sonora per banda sono stati determinati a partire dalla caratterizzazione spettrale delle sorgenti, derivata dai se-

gnali anecoici utilizzati nello studio. In particolare, nel modello acustico lo spettro del livello di potenza sonora è reso piatto in frequenza, preservando il contenuto energetico complessivo della sorgente, al fine di distribuire coerentemente l'energia tra le bande d'ottava. Una descrizione dettagliata della procedura e dei segnali utilizzati è disponibile nel dataset pubblicato su Zenodo [9], al quale si rimanda per ulteriori dettagli metodologici. Ciascun valore SPL_i è stato quindi convertito in scala lineare e mediato secondo la relazione:

$$SPL_{average} = 10 \log\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{SPL_i}{10}}\right) \quad (1)$$

dove N rappresenta il numero di bande considerate.

Il livello di potenza sonora L_w è stato successivamente ricavato secondo l'Eq. (2) a partire dal livello di pressione sonora assumendo condizioni di campo libero con distanza di riferimento $r = 1,5$ m, coerentemente con le condizioni di misura. Poiché le registrazioni del livello di pressione sonora sono state effettuate in campo libero a tale distanza dalla sorgente, è stata adottata la seguente relazione per il calcolo del livello di potenza sonora (SWL, in dB) per ciascuna banda d'ottava:

$$SWL = SPL + 11 + 20 \log_{10}(1,5) \quad (2)$$

Ai fini dell'auralizzazione, per quanto riguarda le sorgenti che rappresentano il parlato intellegibile dato dalle conversazioni tra una o due persone o dalle frasi equivalenti, è stata usata la caratteristica chiamata "natural sources" fornita nel software di simulazione. Tale proprietà dà la possibilità di simulare la sorgente già con la sua direttività [6]. Per tutte altre sorgenti è stato invece costruito uno spettro piatto distribuendo uniformemente la potenza sonora globale tra le bande d'ottava, come mostrato in Eq. (3), mantenendo tuttavia invariato il contenuto energetico complessivo della sorgente. Tale scelta non è finalizzata a rappresentare realisticamente il contenuto spettrale della sorgente, bensì a fornire una configurazione neutra all'interno del modello acustico. Nelle procedure di auralizzazione, infatti, il contenuto in frequenza può essere incluso sia nel pattern di direttività sia nel segnale audio utilizzato, con il rischio di una duplicazione della risposta spettrale [6]. L'adozione di uno spettro piatto consente quindi di evitare tale sovrapposizione, preservando il contenuto in frequenza dei segnali anecoici impiegati come input. Inoltre, la differenza tra i livelli globali ottenuti nelle due configurazioni risulta pari a 1,9 dB(A), valore compatibile con la just noticeable difference (JND) per segnali complessi, tipicamente compresa tra circa 2 e 3 dB in letteratura [10].

In questo contesto, la resa percettivamente realistica dell'auralizzazione deriva dal contenuto spettrale del segnale sorgente e dalla modellazione degli effetti di propagazione dell'ambiente attraverso la risposta all'impulso, garantendo una riproduzione sonora percettivamente coerente:

$$SWL_{flat} = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{\frac{SWL_{global}}{10}}}{N} \right) \quad (3)$$

All'interno del software di simulazione ne sono state quindi definite la tipologia geometrica: puntiforme, lineare oppure superficiale, insieme ai parametri acustici necessari alla modellazione, ossia lo spettro del livello di potenza sonora (SWL, in dB) e l'indice di direttività (DI, in dB). Una descrizione dettagliata della metodologia è disponibile nel dataset pubblicato su Zenodo "Anechoic samples of noise sources typical of a library" [9].

2.4 | Auralizzazione

L'auralizzazione è il processo mediante il quale un ambiente acustico simulato viene reso percepibile sotto forma di segnale audio, permettendo di valutare come un determinato evento sonoro venga modificato dal contesto spaziale in cui è inserito. Dal punto di vista operativo, essa si basa sulla convoluzione tra un segnale anecoico e la risposta all'impulso (RIR) dell'ambiente, trasferendo al segnale le caratteristiche di propagazione proprie dello spazio modellato, quali contributo diretto, riflessioni precoci e campo riverberante.

Nel presente studio, le risposte all'impulso sono state generate in ODEON 18 per la configurazione sorgente-ricevitore definita nel modello acustico. Le RIR direzionali fornite dal software descrivono la distribuzione spaziale dell'energia sonora in funzione della posizione e dell'orientamento del ricevitore. Tali risposte sono state successivamente utilizzate per la codifica sia in formato binaurale che in formato ambisonico, consentendo una rappresentazione tridimensionale del campo sonoro e preservando le informazioni direzionali sia sul piano orizzontale sia su quello verticale. Il rendering sonoro ambisonico permette di mantenere la coerenza spaziale del campo acustico simulato e di riprodurre in modo immersivo l'ambiente modellato, risultando particolarmente adatto alla simulazione di scenari complessi caratterizzati dalla presenza simultanea di più sorgenti sonore.

2.5 | Composizione dei mix finali

Una volta generati i file audio tramite convoluzione, questi sono stati organizzati e combinati per ottenere i mix finali utilizzati nelle prove sperimentali. L'assemblaggio è stato effettuato mediante la digital audio workstation Reaper, seguendo uno schema temporale definito a priori per garantire uniformità e ripetibilità nella costruzione delle tracce.

Ciascun mix ha una durata complessiva di tre minuti. Sono state sviluppate sei configurazioni differenti, corrispondenti a sei diverse distribuzioni temporali delle sorgenti sonore all'interno della traccia.

La struttura di ciascuna configurazione è stata definita suddividendo i tre minuti in intervalli consecutivi di 20 secondi, così da controllare in modo sistematico la distribuzione temporale e la sovrapposizione di tutte le sorgenti sonore all'interno della traccia. Tab. 2 mostra una delle sei matrici con gli intervalli di 20 secondi (1-9). Per ciascuna configurazione è stata variata

la collocazione temporale alcune sorgenti come i passi, il parlato intelligibile, le frasi equivalenti e il rumore di penne e cellulari, evitando la riproduzione di sequenze identiche e garantendo una differenziazione controllata tra le condizioni considerate.

Tab. 2 – Esempio di matrice per la randomizzazione dell'ordine delle sorgenti sonore nel mix finale

Example of a matrix for the randomization of the sound sources' order in the final mix

Sorgente sonora	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sistema di ventilazione	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Traffico	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Brusio non intelligibile	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Brusio intelligibile	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pagine, penne, ecc.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Frasi equivalenti		x			x			x	
Persona che cammina	x			x			x		
Persona che cammina			x			x			x
Persona che cammina		x			x			x	
Persona che cammina	x			x			x		
Persona che cammina			x			x			x
Persona che cammina		x			x			x	
Persona che cammina	x			x			x		
Persona che cammina			x			x			x
Persona che cammina		x			x			x	
Persona che cammina	x			x			x		
Persona che cammina			x			x			x
Persona che cammina		x			x			x	
Persona che scende le scale	x			x			x		

2.6 | Livelli globali di pressione sonora

Definiti i livelli di potenza sonora, il software Odeon ha generato i segnali spazializzati corrispondenti alla posizione considerata. Da tali segnali sono stati estratti i livelli globali di pressione sonora ponderati A. La combinazione dei contributi di tutte le sorgenti sonore ha restituito, nella posizione di ricevitore analizzata, un livello globale di pressione sonora pari a 63,7 dB(A) nella configurazione a spettro piatto e 61,8 dB(A) nella configurazione a spettro non piatto. Tab. 3 mostra i livelli di pressione sonora per ciascuna sorgente e il livello globale nella configurazione di spettro piatto.

Tab. 3 – I livelli di pressione sonora ponderati A (SPL), relativi a ciascuna sorgente nella configurazione di spettro piatto
A-weighted sound pressure levels associated with each individual source in the flat-spectrum configuration

Sorgente sonora	SPL in dB(A)
Traffico	24,4
Impianti di ventilazione	24,4
Brusio non intelligibile	60,8
Pagine, penne, ecc.	12,6
Brusio intelligibile	55,0
Frasi equivalenti	47,5
Camminate	47,3
Mix totale	61,8

2.7 | Calibrazione dei file audio

La fase di calibrazione è stata effettuata presso l'Audio Space Lab del Politecnico di Torino, al fine di garantire la corrispondenza tra i livelli di pressione sonora riprodotti e quelli calcolati tramite simulazione in Odeon.

L'Audio Space Lab è dotato di un sistema di riproduzione ambisonica ad alta risoluzione atto a garantire una resa immersiva del campo sonoro. Nel punto centrale dell'ambiente di ascolto è stato posizionato un microfono di misura, preventivamente calibrato mediante calibratore acustico di riferimento. Una registrazione di calibrazione è stata eseguita nella stessa giornata delle prove, al fine di assicurare la coerenza tra risposta strumentale e condizioni ambientali effettive. Ciascun mix è stato riprodotto nel sistema ambisonico e il segnale risultante è stato acquisito dal microfono e analizzato in tempo reale tramite uno script sviluppato con il software MATLAB. Il valore di livello di pressione sonora misurato è stato confrontato con il livello obiettivo derivato dalle simulazioni in bande d'ottava. Sulla base della differenza riscontrata, è stato calcolato un fattore di correzione in guadagno, applicato alla traccia audio, e la riproduzione è stata reiterata. La procedura è stata ripetuta in modo iterativo fino al raggiungimento della corrispondenza tra livello misurato e livello target. In tal modo, ciascun scenario sonoro è stato calibrato individualmente, garantendo l'allineamento tra i risultati della simulazione numerica e le condizioni fisiche di riproduzione in ambiente ambisonico.

3 | Test soggettivi

3.1 | Audio Space Lab

La sessione sperimentale è stata condotta presso l'Audio Space Lab del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino, ambiente progettato per applicazioni di ricerca in ambito psicoacustico e cognitivo. La sala, mostrata in Fig. 7, presenta

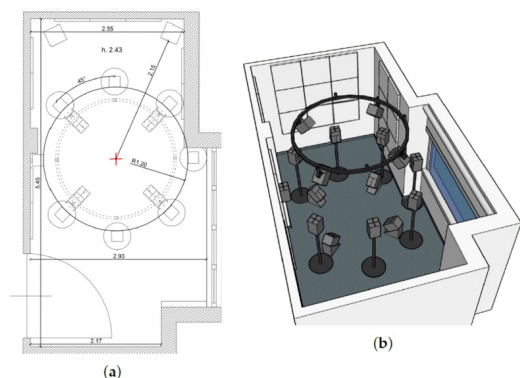


Fig. 7 – (a) La planimetria dell'Audio Space Lab con il sistema audio. Il segno rosso indica la posizione dell'ascoltatore. (b) Modello 3D dell'Audio Space Lab con l'array sferico a 16 diffusori, come riportato in [11]

(a) The plan of the Audio Space Lab with the audio system. The red sign indicates the position of the listener. (b) A 3D model of the Audio Space Lab with the spherical 16-speaker array, reported by [11]

dimensioni pari a circa 5,45 m × 2,67 m × 2,43 m ed è caratterizzata da un trattamento fonoassorbente che garantisce un tempo di riverberazione medio di circa 0,17 s nell'intervallo di frequenze compreso tra 250 Hz e 4 kHz [11]. Il livello di rumore di fondo risulta estremamente contenuto (NR 10-15 per frequenze inferiori a 1 kHz), assicurando condizioni di ascolto controllate e riproducibili. Il sistema di riproduzione è costituito da un array ambisonico di terzo ordine composto da 16 altoparlanti per le medie-alte frequenze e due diffusori dedicati alla gamma bassa, disposti in configurazione spaziale centrata sulla posizione dell'ascoltatore. Tale configurazione consente una riproduzione immersiva e accurata del campo sonoro tridimensionale simulato.

3.2 | Test cognitivi

I test cognitivi sono stati condotti su 10 partecipanti (3 uomini e 7 donne) di età compresa tra 23 e 59 anni ($31,4 \pm 10,4$) e si sono svolti all'interno dell'Audio Space Lab del Politecnico di Torino. Per quanto riguarda le condizioni sensoriali, 6 partecipanti hanno riportato lievi problemi visivi, mentre i restanti 4 non hanno segnalato difficoltà. Tutti i partecipanti hanno dichiarato di non presentare disturbi uditivi. Non sono stati effettuati test audiometrici strumentali, e le informazioni relative allo stato uditivo sono basate su auto-dichiarazione. I soggetti testati erano posizionati al centro del sistema di riproduzione audio. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico del Politecnico di Torino (protocollo n. 97549/2025). Tutti i partecipanti hanno fornito consenso informato alla partecipazione.

Ciascun test in entrambe le simulazioni è composto da una sequenza predefinita suddivisa in tre fasi distinte:

1. Prima fase – Breve introduzione e completamento di:

- Questionario personale;
- Test di sensibilità al rumore:

La sensibilità individuale è stata valutata mediante la Weinstein Noise Sensitivity Scale (WNSS), sviluppata da Weinstein nel 1978 e successivamente validata in italiano da Senese et al. [12]. Il questionario prevede affermazioni relative alla percezione del rumore, valutate su scala Likert a sei punti; il punteggio totale, ottenuto dalla somma delle risposte, rappresenta il livello di sensibilità, con valori più elevati indicativi di maggiore suscettibilità.

- Test di disturbo da rumore:

Il livello di disturbo percepito è stato valutato mediante una scala numerica, con l'obiettivo di quantificare l'impatto dello scenario sonoro riprodotto [13]. I partecipanti hanno espresso il grado di fastidio su una scala discreta da 0 ("per nulla disturbante") a 10 ("estremamente disturbante").

2. Seconda fase – Completamento di sei test cognitivi in presenza di rumore, con i file che riproducono l'ambiente sonoro della biblioteca, e in quiete. I test cognitivi sono strumenti utilizzati per misurare diverse abilità mentali, come la memoria e l'attenzione. In particolare, sono

stati somministrati i seguenti test, forniti dal Professore Massimiliano Zampini, docente di neuroscienze presso il Dipartimento di Psicologia e Scienze Cognitive dell'Università di Trento:

- A. Lettura silenziosa di una lista di 15 parole cercando di memorizzarle [14], [15];
- B. Lettura ad alta voce di un brano in cui vengono misurati la velocità di lettura e il numero di errori [16];
- C. Trail Making Test in cui il partecipante deve collegare dei numeri o/e lettere in ordine crescente [17];
- D. Test di Semantic Verbal Fluency (SVF) in cui il partecipante deve dire il maggior numero di parole che gli vengono in mente rispetto a una categoria A o B [18];
- E. test open-source e open-access che misura il tempo di reazione (OORTT) [19];
- F. Il partecipante deve ricordare il maggior numero possibile di parole del primo passaggio letto (p. A) [14], [15].

La durata di ciascun test era di 30 secondi per l'acclimatazione al rumore o al silenzio e 2 minuti e 30 secondi per il completamento del test.

Sono state create due versioni equivalenti dei sei test cognitivi (versione A e versione B): una versione è stata somministrata in presenza di rumore e l'altra in silenzio. La somministrazione dei test è stata controbalanciata tra i partecipanti, alternando condizioni di rumore e quiete e variando l'ordine di esecuzione delle diverse versioni, al fine di ridurre effetti di sequenza e apprendimento. Ogni partecipante ha ascoltato sei tracce con identico contenuto acustico e medesimo livello di pressione sonora, ma con diversa distribuzione temporale degli eventi sonori, come mostrato in Tabella 1, così da introdurre variabilità senza alterare la struttura complessiva dello scenario.

4 | Risultati

4.1 | Analisi statistica

L'analisi statistica è stata condotta al fine di confrontare le prestazioni cognitive ottenute nelle condizioni di rumore e di quiete. Considerata la natura appaiata del disegno sperimentale, in cui ciascun partecipante è stato esposto a entrambe le condizioni, è stato adottato il test non parametrico di Wilcoxon per campioni dipendenti. Tale scelta è stata motivata dalla numerosità contenuta del campione e dall'assenza di assunzioni di normalità nella distribuzione dei dati. La soglia di significatività è stata fissata a $p < 0,05$.

Per ciascun compito cognitivo sono stati analizzati gli indicatori quantitativi specifici, ad esempio numero di risposte corrette, tempi di esecuzione o punteggi ottenuti, confrontando i valori registrati nelle due condizioni sperimentali. A supporto dell'analisi inferenziale, sono stati realizzati box plot per rappresentare la distribuzione dei dati, evidenziando mediane, intervalli interquartili, dispersione e presenza di eventuali outlier. Tale approccio ha consentito di integrare la valutazione statistica con una lettura descrittiva della variabilità osservata.

4.2 | Test di sensibilità al rumore

I risultati della sensibilità al rumore, mostrati in Fig. 8, presentano una media pari a 73,70 (SD = 6,45), indicando un livello medio-alto con una variabilità contenuta tra i partecipanti. I punteggi variano da un minimo di 61 a un massimo di 83, con una mediana di 74,50. Questo indica una distribuzione piuttosto concentrata attorno ai valori centrali. Nel complesso, i dati evidenziano una distribuzione relativamente omogenea, senza ampia dispersione o valori estremi marcati.

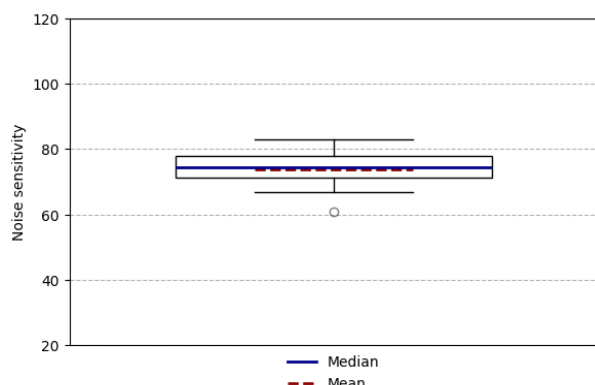


Fig. 8 – Box plot del punteggio ottenuto dai partecipanti nel test di sensibilità al rumore

Box plot of the score obtained by the participants in the noise sensitivity test

4.3 | Test di disturbo dal rumore

I risultati del test di disturbo mostrano un punteggio medio pari a 6,10 (SD = 1,73), indicando un livello di disturbo moderato con una variabilità contenuta tra i partecipanti. I valori osservati variano da un minimo di 3 a un massimo di 8. La mediana è pari a 7, suggerendo una concentrazione dei dati nella fascia medio-alta della scala. Nel complesso, la distribuzione appare relativamente compatta, con una tendenza verso livelli di disturbo medio-elevati.

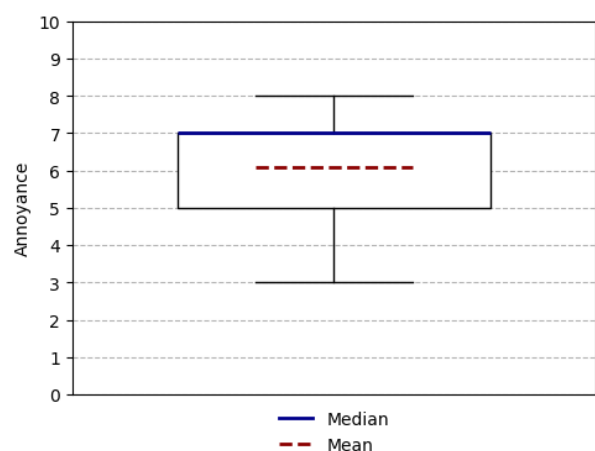


Fig. 9 – Box plot del punteggio ottenuto dai partecipanti nel test di disturbo dal rumore

Box plot of the score obtained by the participants in the noise disturbance test

4.4 | Test cognitivi

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati delle diverse prove cognitive. In particolare, in Tab. 4 sono stati mostrati la media, la mediana e deviazione standard.

Tab. 4 – Risultati dei test cognitivi: media, mediana e deviazione standard

Results of the cognitive tests: mean, median and standard deviation

Task	Condizione	Media	Mediana	SD
A-F (-)	rumore	9,90	12,00	3,67
	silenzio	8,60	9,00	3,24
B_velocità di lettura (s/sillabe)	rumore	0,18	0,18	0,02
	silenzio	0,18	0,18	0,01
B_errori (-)	rumore	1,80	1,50	1,55
	silenzio	1,60	1,00	2,01
C_TMTA (s)	rumore	36,80	34,00	11,36
	silenzio	39,80	40,00	13,75
C_TMTB (s)	rumore	60,30	61,00	20,08
	silenzio	63,60	61,50	26,91
D_numero di parole (-)	rumore	30,00	28,50	8,84
	silenzio	25,70	25,00	6,99
E_tempo di reazione (ms)	rumore	293,59	276,43	60,70
	silenzio	294,46	266,56	61,21

4.4.1 | Task A-F

Per quanto riguarda la prova di memorizzazione delle parole, si osserva una tendenza a prestazioni migliori nel compito di memoria verbale in presenza di rumore, con una media di 9,90 e una deviazione standard di 3,67, rispetto alla quiete, dove la media è 8,60 e la deviazione standard è 3,24. Anche la mediana e i percentili risultano più elevati nella condizione con rumore. Tuttavia, il test di Wilcoxon non evidenzia una differenza statisticamente significativa, con un p-value pari a 0,248. Nel complesso emerge un andamento favorevole al rumore, ma non conclusivo dal punto di vista statistico.

4.4.2 | Task B

I risultati della velocità di lettura del brano ad alta voce mostrano che media e deviazione standard sono sovrapponibili nelle due condizioni, confermando una distribuzione molto simile; il test di Wilcoxon non evidenzia differenze statisticamente significative, con un valore di p pari a 0,646.

Anche per il numero di errori le differenze sono minime ovvero la media è leggermente più alta nel rumore rispetto alla quiete, con una variabilità comparabile tra le condizioni. Il test di Wilcoxon conferma l'assenza di differenze significative, con p-value pari a 0,733. Nel complesso, i risultati indicano che né la velocità né l'accuratezza sono state influenzate in modo significativo dalla presenza di rumore di fondo.

4.4.3 | Task C

Per il TMT-A, il tempo medio di esecuzione è pari a 36,80 secondi nel rumore e 39,80 secondi nella quiete, con una deviazione standard rispettivamente di 11,36 e 13,75, indicando una maggiore variabilità in assenza di rumore. Nonostante una tendenza descrittiva a tempi leggermente più lunghi nella quiete, il test di Wilcoxon non evidenzia differenze statisticamente significative, con p-value pari a 0,758.

Per il TMT-B emerge un andamento analogo: il tempo medio è 60,30 secondi nel rumore e 63,60 secondi nella quiete, con deviazioni standard di 20,08 e 26,91, a indicare una maggiore dispersione dei punteggi nella condizione silenziosa. Anche in questo caso il test di Wilcoxon non mostra differenze significative, con p-value pari a 0,307.

4.4.4 | Task D

I risultati del Semantic Verbal Fluency Task mostrano una tendenza a una produzione lessicale più elevata in presenza di rumore rispetto alla quiete. La media delle parole prodotte passa da 30,00 nel rumore a 25,70 nella quiete, con una riduzione analoga anche nella mediana. Anche la variabilità risulta leggermente maggiore nella condizione con rumore, suggerendo una gamma di prestazioni più ampia. Nonostante questa tendenza descrittiva a favore del rumore, il test di Wilcoxon non evidenzia una differenza statisticamente significativa, con p-value pari a 0,221. Nel complesso, i dati indicano un possibile effetto facilitante del rumore sulla fluency semantica, che tuttavia non raggiunge la soglia di significatività statistica.

4.4.5 | Task E

Per quanto riguarda la prova del tempo di reazione, le medie risultano sostanzialmente sovrapponibili, pari a 293,59 ms nel rumore e 294,46 ms nella quiete, con deviazioni standard molto simili, rispettivamente 60,70 ms e 61,21 ms. Il test di Wilcoxon non evidenzia differenze statisticamente significative, con p-value pari a 0,878, indicando che la velocità di risposta non è stata influenzata dalla condizione acustica.

Anche per la variabilità delle risposte emergono differenze minime: la deviazione standard media è 79,27 ms nel rumore e 78,50 ms nella quiete, con valori centrali pressoché identici. Il test di Wilcoxon conferma l'assenza di differenze significative, con p-value pari a 0,721. Nel complesso, le prestazioni risultano stabili tra le due condizioni, senza effetti rilevanti attribuibili alla presenza di rumore di fondo.

5 | Discussione

Il presente studio ha analizzato lo scenario sonoro simulato della futura biblioteca, con particolare riferimento alla zona ritenuta più critica dal punto di vista acustico. In tale area,

configurata come una galleria in prossimità della sezione bambini, è stato stimato un livello globale pari a 61,8 dB(A). Tale valore non è attribuibile esclusivamente alla presenza delle sorgenti sonore considerate, ma è strettamente connesso alla configurazione architettonica dello spazio. La presenza di due superfici vetrate parallele favorisce infatti la riflessione multipla del suono e l'incremento del campo riverberato locale, amplificando l'effetto combinato delle diverse sorgenti. Questo risultato è coerente con studi precedenti che sottolineano come i fattori spaziali e la morfologia degli ambienti incidano direttamente sui parametri acustici misurati [2]. Lo scenario simulato è stato costruito come combinazione di contributi differenti ovvero traffico urbano, rumore impiantistico e attività antropiche, con l'obiettivo di riprodurre una condizione realistica di esercizio della biblioteca. Non si trattava quindi di un'esposizione a una sorgente impulsiva o isolata, ma di un campo sonoro continuo e distribuito, coerente con l'utilizzo quotidiano di uno spazio multifunzionale. In questo tipo di contesto, il livello complessivo rappresenta l'esito dell'interazione tra architettura e sorgenti, più che l'effetto di un singolo elemento disturbante.

Nonostante il livello globale stimato e una loudness percepita relativamente elevata, l'analisi statistica non ha evidenziato differenze significative nelle prestazioni cognitive tra le condizioni di rumore e di quiete. Tale risultato suggerisce che, nelle condizioni considerate, il rumore non abbia superato una soglia tale da compromettere in modo sistematico l'efficienza nei compiti di memoria, lettura e attenzione. Questo dato si colloca nel quadro di evidenze non univoche riportate in letteratura [5, 20], secondo cui l'effetto del rumore dipende dall'interazione tra intensità, tipologia del segnale e caratteristiche del compito svolto. Nel contesto analizzato, il rumore, pur percepito come moderatamente disturbante, non si è configurato come una condizione cognitivamente perturbante. Una possibile interpretazione dell'assenza di effetti significativi può essere ricondotta al ruolo dell'attivazione fisiologica indotta dal rumore. Secondo la teoria dell'arousal e la legge di Yerkes-Dodson [21], la relazione tra attivazione e prestazione segue un andamento a U rovesciata, per cui livelli intermedi di stimolazione non determinano necessariamente un peggioramento della performance. È plausibile che il livello sonoro simulato abbia collocato i partecipanti in una condizione di attivazione moderata, sufficiente a non compromettere in modo misurabile l'efficienza cognitiva. Un'altra possibile interpretazione riguarda anche la limitata potenza statistica dello studio, che potrebbe non essere stata sufficiente a rilevare effetti di entità ridotta o moderata. Pertanto, l'assenza di associazioni significative dovrebbe essere interpretata con cautela e non necessariamente come evidenza dell'assenza di un effetto del rumore.

6 | Limitazioni e studi futuri

Il presente studio presenta alcune limitazioni. In primo luogo, la dimensione ridotta del campione e il suo mancato bilanciamento limitano la possibilità di estendere i risultati. Inoltre,

le informazioni relative allo stato sensoriale dei partecipanti sono basate su auto-dichiarazione e non su misure oggettive. Pertanto, i risultati devono essere interpretati come preliminari ed esplorativi. Studi futuri con campioni più ampi e una caratterizzazione più accurata dei partecipanti saranno necessari per confermare i risultati ottenuti. In tale contesto, l'integrazione di misure di parametri fisiologici potrà consentire una valutazione più completa degli effetti del rumore.

7 | Conclusioni

Il presente studio ha sviluppato e simulato lo scenario sonoro della Nuova Biblioteca Civica Centrale di Torino mediante modellazione acustica geometrica e tecniche di auralizzazione, considerando una condizione di massima capienza. Lo scenario sonoro, comprendente traffico urbano, impianti e rumori antropici, è stato riprodotto per un'unica posizione di ricezione individuata come acusticamente critica, con un livello di pressione sonora pari a 61,8 dB(A), in linea con valori riscontrati in biblioteche contemporanee. La condizione acustica è stata valutata in ambiente ambisonico su 10 partecipanti adulti (23-59 anni), sottoposti a prove cognitive in condizioni di quiete e rumore. I risultati non hanno evidenziato differenze statisticamente significative nelle prestazioni tra le due condizioni nonostante la moderata percezione del rumore. Nel complesso, i dati suggeriscono che, nelle condizioni considerate, un livello sonoro di tale entità non determina un impatto misurabile sulla prestazione cognitiva. Si sottolinea tuttavia che il numero limitato di partecipanti configura il presente studio come un'indagine preliminare, finalizzata a fornire una prima esplorazione degli effetti del rumore in ambienti complessi quali le biblioteche contemporanee. Studi futuri, basati su campioni più ampi e su un approccio multimodale, includente anche misure fisiologiche, potranno contribuire a una comprensione più approfondita delle interazioni tra ambiente sonoro e carico cognitivo.

Conclusions

The present study developed and simulated the sound scenario of the New Civic Central Library of Turin through geometrical acoustic modelling and auralisation techniques, considering a full-occupancy condition. The sound environment, including urban traffic, building services and anthropogenic noise, was reproduced for a single receiver position identified as acoustically critical, with an overall sound pressure level of 61.8 dB(A), consistent with values reported in contemporary libraries. The acoustic condition was evaluated in an ambisonic environment with 10 adult participants (23-59 years old), who performed cognitive tasks under both quiet and noise conditions. The results did not reveal statistically significant differences in performance between the two conditions, despite a moderate perception of noise. Overall, the findings suggest that, under the tested conditions, a sound level of this magnitude does not produce a measurable impact on cognitive performance. It should be noted, however, that the limited number of participants characterizes the present study as a

preliminary investigation, aimed at providing an initial exploration of the effects of noise in complex environments such as contemporary libraries. Future studies, based on larger sample sizes and a multi-modal approach, including physiological measurements, may contribute to a more comprehensive understanding of the interactions between the acoustic environment and cognitive load.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano i partecipanti alla sessione sperimentale per la loro disponibilità, nonché i collaboratori coinvolti nella modellazione acustica per il supporto tecnico fornito. Si ringrazia inoltre Vibes Srl per il contributo alla definizione dello ambiente sonoro e il Professor Franco Pellerey del Politecnico di Torino per il significativo apporto all'analisi statistica dei dati.

Bibliografia

- [1] J. Xiao, F. Aletta (2016). A soundscape approach to exploring design strategies for acoustic comfort in modern public libraries: a case study of the Library of Birmingham. *Noise Mapping*, 3(1). <https://doi.org/10.1515/noise-2016-0018>.
- [2] J. Xiao, F. Aletta (2016). Analysing Sound Environment and Architectural Characteristics of Libraries through Indoor Soundscape Framework. *Archives of Acoustics*, 41(2). <https://doi.org/10.1515/aoa-2016-0020>.
- [3] P. Rajagopalan, H.T.H. Nguyen, A. Carre (2017). Acoustic performance of contemporary public libraries: an evaluation of public libraries in Melbourne, Australia. *Architectural Science Review*, 60(2), 104–115. <https://doi.org/10.1080/00038628.2016.1265483>.
- [4] J. Zhang, L. Pang, C. Yang, Y. Fan, B. Zhao, X. Cao (2024). Experimental evaluation of noise exposure effects on subjective perceptions and cognitive performance. *Buildings*, 14, 1100. <https://doi.org/10.3390/buildings14041100>.
- [5] F. Gheller, G. Spicciarelli, P. Scimemi, B. Arfé (2024). The effects of noise on children's cognitive performance: A systematic review. *Environment and Behavior*, 55(8–10), 698–734. <https://doi.org/10.1177/00139165241245823>.
- [6] Odeon A/S (2023). ODEON Room Acoustics Software User's Manual, Version 18. Odeon A/S, Kgs. Lyngby, Denmark. <https://odeon.dk/download/Version18/OdeonManual.pdf> (accessed January 24, 2025).
- [7] G.E. Puglisi, A. Warzybok, S. Hochmuth, C. Visentin, A. Astolfi, N. Prodi, B. Kollmeier (2015). An Italian matrix sentence test for the evaluation of speech intelligibility in noise. *International Journal of Audiology*, 54, 1–7. <https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1061707>.
- [8] Tovusound (2026). Edward Foley Artist Instrument. <https://tovusound.com/shop/edward-foley-artist-instrument/> (accessed April 22, 2025).
- [9] A. Astolfi, M. Modica, I. Grozeva, D. Cetani, L. Lavagna, L. Shtrepi, M. Zampini (2025). Anechoic samples of noise sources typical of a library. Politecnico di Torino, Department of Energy; Centro Interdipartimentale Mente/Cervello - CIMEC, Rovereto (TN). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15696713>.

- [10] McShefferty, D., Whitmer, W.M., Akeroyd, M.A. (2015). The just noticeable difference in speech-to-noise ratio. *Trends in Hearing*, 19, 1–9. <https://doi.org/10.1177/2331216515572316>.
- [11] A. Guastamacchia, R.G. Rosso, G.E. Puglisi, F. Riente, L. Shtrepi, A. Astolfi (2024). Real and Virtual Lecture Rooms: Validation of a Virtual Reality System for the Perceptual Assessment of Room Acoustical Quality. *Acoustics*, 6, 933–965. <https://doi.org/10.3390/acoustics6040052>.
- [12] V.P. Senese, F. Ruotolo, G. Ruggiero, T. Iachini (2011). The Italian Version of the Weinstein Noise Sensitivity Scale: Measurement Invariance Across Age, Sex, and Context. *European Journal of Psychological Assessment*, 28, 118–124. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000099>.
- [13] J. Zhang, K. Chen, H. Li, X. Chen, N. Dong (2023). The effects of rating scales and individual characteristics on perceived annoyance in laboratory listening tests. *Applied Acoustics*, 202, 109137. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109137>.
- [14] M. Osimani (Year). *Percezione del Tempo Esplicito e del Tempo Implicito in pazienti con ictus al cervelletto*. Tesi di Laurea, Nome Università.
- [15] S. Bianca, M. Bianca (2006). A new deletion in autosomal dominant guanosine triphosphate cyclohydrolase I deficiency gene-Segawa disease. *Journal of Neural Transmission*, 113, 159–162. <https://doi.org/10.1007/s00702-005-0329-7>.
- [16] De Luca, Maria, et al. Prove di velocità di lettura brani.
- [17] S. Wagner, I. Helmreich, N. Dahmen, K. Lieb, A. Tadić (2011). Reliability of Three Alternate Forms of the Trail Making Tests A and B. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(4), 314–321. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr024>.
- [18] D. Quaranta, A. Papagno, L. Biondo, C. Rizzo, C. Capone, C. Gainotti (2016). Standardization, clinical validation, and typicality norms of a new test assessing semantic verbal fluency. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 31(5), 434–445. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw052>.
- [19] M. Rigoli, A. Facchin, D. Cardile, N. Beschini, C. Luzzatti (2021). Open-source open-access reaction time test (OORTT): an easy tool to assess reaction times. *Neurological Sciences*, 42, 2461–2469. <https://doi.org/10.1007/s10072-020-04954-0>.
- [20] C. Song, H. Li, H. Ma, T. Han, and J. Wu. «Effects of noise type and noise sensitivity on working memory and noise annoyance». In: *Noise Health* 24 (2022), pp. 173–181.
- [21] K. Teigen (1994). Yerkes-Dodson: A law for all seasons. *Theory & Psychology*, 4, 525–547. <https://doi.org/10.1177/09593543940444004>.