

Progettazione acustica delle superfici urbane per la riduzione del rumore ambientale - Acoustic design of urban surfaces for the reduction of environmental noise

*Original*

Progettazione acustica delle superfici urbane per la riduzione del rumore ambientale - Acoustic design of urban surfaces for the reduction of environmental noise / Badino, Elena; Shtrepi, Louena; Calleri, Cristina; Astolfi, Arianna. - In: RIVISTA ITALIANA DI ACUSTICA. - ISSN 2385-2615. - ELETTRONICO. - 43:3-4(2019), pp. 14-25.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2807775 since: 2020-03-31T16:31:18Z

*Publisher:*

Associazione Italiana Acustica

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

## **PROGETTAZIONE ACUSTICA DELLE SUPERFICI URBANE PER LA RIDUZIONE DEL RUMORE AMBIENTALE**

## **ACOUSTIC DESIGN OF URBAN SURFACES FOR THE REDUCTION OF ENVIRONMENTAL NOISE**

Elena Badino \*, Louena Shtrepi, Cristina Calleri, Arianna Astolfi

Dipartimento Energia (DENERG), Politecnico di Torino

\* Indirizzo dell'autore di riferimento - Corresponding author's address:

Dipartimento Energia (DENERG), Politecnico di Torino,

Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129, Torino, Italia

e-mail: elena.badino@gmail.com

### **RIASSUNTO**

La ricerca è stata finalizzata a valutare quanto il progetto architettonico di una facciata possa contribuire al miglioramento del comfort acustico in un canyon urbano in presenza di rumore da chiacchiericcio in strada. È stata simulata l'applicazione di un materiale fonoassorbente sia alle superfici esterne della facciata di un edificio selezionato come caso-studio, sia al manto stradale. L'effetto di queste variazioni è stato valutato sulla base dei livelli di pressione sonora ponderati "A" in posizioni esterne in prossimità della facciata stessa. I risultati mostrano che l'applicazione di materiali fonoassorbenti alla facciata e di un manto stradale fonoassorbente porta a riduzioni di livello sonori medi in facciata rispettivamente di 5,6 dB e 1,6 dB, mentre la riduzione conseguibile con le due strategie combinate è di 6,8 dB.

### **ABSTRACT**

The research investigated the potentialities of façade design in the enhancement of acoustic comfort in a street canyon in presence of leisure noise at the street level. The application of sound absorbing materials to the façade cladding and to the street paving has been simulated on a case-study building. The effect of these strategies has been evaluated on the basis of the differences between of the A-weighted sound pressure levels over the façade itself and those achieved by actual scenario. The results highlight that the application of sound absorbing cladding materials to the façade and of a sound absorbing asphalt to the street reaches sound level reductions over the façade equal to 5.6 dB and 1.6 dB, respectively, while the two strategies combined achieves a reduction of 6.8 dB.

Parole chiave: progetto di facciata; performance-based design; chiacchiericcio.

Keywords: façade design; performance-based design; leisure noise.

## 1 Introduzione

La mitigazione dell'inquinamento acustico è una delle maggiori sfide che le città contemporanee devono affrontare [1,2]. La criticità dell'impatto del rumore ambientale sul benessere e sulla salute della popolazione urbana è stata evidenziata da recenti studi ed è stata riconosciuta anche dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) [3] e dalla Commissione Europea [4].

Il traffico veicolare, quello aereo e la presenza di cantieri sono tra le più comuni sorgenti di inquinamento acustico nelle città contemporanee. In particolare, a livello mondiale, il traffico stradale è la causa primaria di inquinamento acustico nelle aree urbane. Ciononostante, in alcuni scenari prevalgono altre sorgenti di rumore, come ad esempio il rumore da "movida", particolarmente presente nelle aree urbane vocate alla vita notturna [5]. In questi contesti, la presenza diffusa di gruppi di persone in strada durante le ore notturne spesso rappresenta la causa primaria di disturbo per la popolazione residente [6–9].

La morfologia prevalente nelle città contemporanee è quella degli "street canyon" [10], che sono costituiti da strade a larghezza contenuta e delimitate su entrambi i lati da cortine continue di edifici. Questa configurazione fa sì che il rumore ambientale generato al loro interno venga incrementato dalle riflessioni sonore che avvengono sulle superfici, ed in particolare sulle facciate degli edifici. Queste riflessioni, combinandosi al suono diretto, incrementano il livello di pressione sonora all'interno del "canyon" ed esasperano il disturbo percepito dalla popolazione urbana.

Nonostante si riscontri una sempre maggiore consapevolezza riguardo all'impatto del rumore ambientale sulla salute pubblica, gli aspetti acustici generalmente non vengono considerati durante lo sviluppo di interventi a scala urbana e micro-urbana [11]. Di conseguenza, il tema dell'inquinamento acustico tende ad essere affrontato solamente nelle fasi finali del progetto o tramite strategie di mitigazione attuate "a posteriori", con risultati che spesso risultano di ridotta efficacia e poco integrati con l'architettura urbana [12].

Pertanto, questo studio intende valutare l'efficacia dell'inclusione degli aspetti acustici durante lo sviluppo di un progetto di facciata urbana. Data l'elevata incidenza delle riflessioni sonore delle facciate sull'acustica degli "street canyon", esse possono essere intenzionalmente progettate per contribuire alla mitigazione del rumore ambientale, tenendo conto dell'obiettivo di minimizzare le riflessioni sonore durante i processi decisionali delle fasi di progettazione. La presente analisi rappresenta un ulteriore sviluppo del precedente lavoro degli autori [13], a cui si rimanda per maggiori dettagli sulla metodologia e sul caso-studio. In particolare, questo studio ha analizzato l'effetto dell'applicazione di materiali fonoassorbenti alle superfici esterne di una facciata di un edificio sui livelli di rumore calcolati in prossimità della facciata stessa. I risultati ottenuti sono stati confrontati con i benefici derivanti dall'applicazione di un asfalto fonoassorbente al tratto stradale antistante l'edificio. L'analisi è stata condotta tramite simulazioni acustiche sul modello digitale di un edificio selezionato come caso-studio, localizzato a Torino, in un quartiere caratterizzato da alti livelli di rumore da "movida". Gli effetti delle modifiche apportate alla facciata sono stati valutati in termini di livelli di pressione sonora ( $L_p$ ) ponderati "A" calcolati in posizioni esterne in prossimità della facciata stessa. Questa scelta è coerente con le raccomandazioni per la salvaguardia della salute pubblica fornite dalla OMS, espresse come soglie di  $L_p$  in ambiente esterno da rispettare per le più comuni sorgenti di inquinamento acustico.

Il confronto tra i livelli sonori ottenuti dall'applicazione di materiali fonoassorbenti applicati in facciata e applicati alla pavimentazione stradale ha permesso di comparare la potenziale riduzione del rumore ambientale dovuta al progetto architettonico di facciata con quella di un tipico intervento attuabile dalle Amministrazioni Comunali. Infine, è stato valutato l'effetto combinato delle sue strategie di mitigazione.

Oltre a quantificare e confrontare i contributi dei progettisti e delle Amministrazioni Comunali, i risultati e le conclusioni di questo studio possono suggerire ai progettisti delle soluzioni di facciata in grado di promuovere il comfort acustico dei residenti.

### **1.1 Strategie per la riduzione dell'inquinamento acustico negli "street canyon"**

Diversi studi precedenti hanno suggerito strategie in grado di mitigare l'effetto acustico degli "street canyon", agendo sulla geometria e/o sui materiali applicati alle superfici urbane.

Tra le soluzioni proposte emerge che l'aumento delle proprietà fonoassorbenti delle superfici di rivestimento delle facciate è in grado di ridurre il livello di pressione sonora negli "street canyon", in quanto comporta una riduzione della porzione di energia sonora incidente che viene riflessa verso altre superfici urbane [14–16]. In particolare, l'applicazione di materiali fonoassorbenti alle superfici dei balconi è stata precedentemente investigata in diversi studi, tra cui [17–22]. Come riportato in [13], la riduzione dei livelli sonori esterni in prossimità della facciata dovuta all'aumento delle proprietà fonoassorbenti dei materiali di rivestimento della stessa è superiore a quella ottenibile con la variazione della geometria di facciata (es. forma dei balconi, inclinazione delle superfici di facciata, ecc.).

### **1.2 Obiettivi**

Questo studio intende valutare la riduzione dei livelli di rumore ambientale risultante dall'applicazione di materiali fonoassorbenti in diverse posizioni all'interno di uno "street canyon". Lo studio è stato svolto tramite simulazioni acustiche sul modello digitale della facciata di un edificio sito a Torino, scelta come caso-studio, in presenza di rumore da "movida" a livello stradale. Questo lavoro rappresenta un'ulteriore analisi fatta sulle premesse di un precedente lavoro, pubblicato in [13], a cui si rimanda per approfondimenti riguardanti il metodo e i parametri del modello. In particolare, è stata analizzata la variazione dei livelli di rumore calcolati per una griglia di ricevitori posti a simulazione di persone che si trovino sui balconi dello stabile, valutando sia una variazione media di livello sonoro sull'intera facciata, sia la variazione ai diversi piani dello stabile. Sono state ipotizzate tre configurazioni diverse, per confrontare il potenziale contributo alla mitigazione dell'inquinamento acustico urbano dei progettisti architettonici con quello delle Amministrazioni Comunali. In particolare, è stata simulata l'applicazione di materiali fonoassorbenti secondo le seguenti configurazioni:

- a) superfici di rivestimento della facciata del caso-studio;
- b) manto stradale antistante l'edificio;
- c) contemporaneamente nelle posizioni al punto a) e b).

Queste soluzioni rappresentano tipici interventi attuabili dai progettisti architettonici, configurazione (a), dalle Amministrazioni Comunali, configurazione (b), e da entrambe le figure insieme, configurazione (c).

## 2 Metodo

Il modello virtuale utilizzato per il presente caso studio è stato tarato acusticamente sulla base di misure effettuate in situ [23]. L'effetto delle configurazioni a), b) e c) è stato valutato in base alle variazioni dei livelli di pressione sonora globali ponderati "A" ( $L_p(A)$ ), calcolati in posizioni esterne in prossimità della facciata del caso-studio. Questi valori sono stati confrontati con quelli dello stato di fatto, che presenta l'applicazione di materiali riflettenti (intonaco e vetro alla facciata, asfalto tradizionale sul manto stradale).

### 2.1 Il caso-studio

L'edificio selezionato come caso-studio è situato in San Salvario, uno dei quartieri di Torino dedicati alla "movida", in cui sono presenti forti criticità dovute alla compresenza di locali notturni e abitazioni [24,25]. L'edificio è stato completato nel 2010 e presenta 5 piani fuori terra, di cui il piano terra ospita attività commerciali e quelli superiori sono adibiti a residenze (Figura 1a). L'altezza e la larghezza dell'edificio sono rispettivamente pari a circa 18 m e 25 m, mentre la larghezza della strada antistante l'edificio è di 11 m (Figura 1b). Dal primo al terzo piano dello stabile sono presenti logge che corrono lungo la larghezza dell'edificio, chiuse da un parapetto a filo facciata; al secondo e al terzo piano è inoltre presente un pattern alternato di balconi. I materiali applicati alla facciata sono principalmente intonaco (rivestimento delle componenti opache) e vetro (infissi, parapetti delle logge e dei balconi). Le proprietà acustiche di questi materiali, che riflettono specularmente il suono incidente, contribuiscono all'aumento delle riflessioni sonore all'interno dello "street canyon".

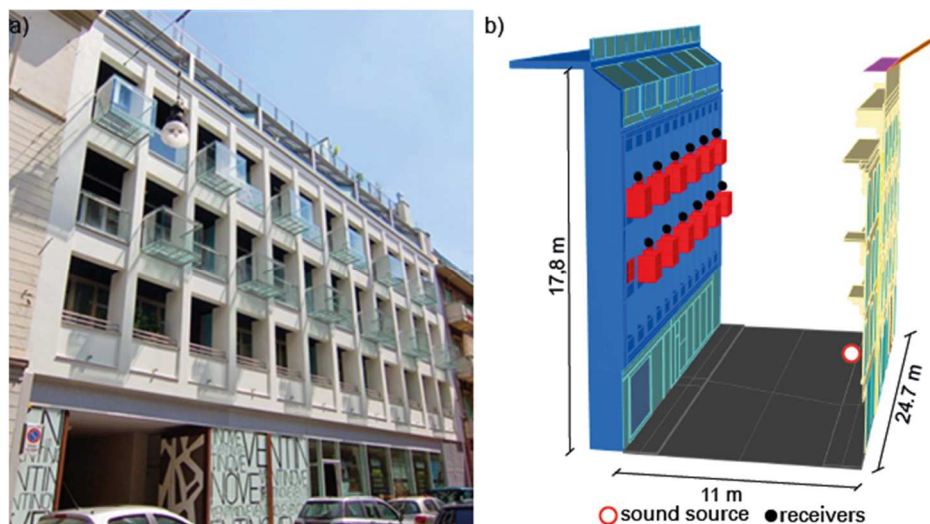


Figura 1 – a) La facciata del caso-studio; b) modello virtuale del caso-studio e del contesto urbano – a) The façade of the case-study building; b) the virtual model of the case-study building and urban context.

### 2.2 Impostazioni del modello virtuale e delle simulazioni acustiche

Lo studio è stato condotto tramite simulazioni acustiche effettuate con Pachyderm Acoustics [26,27], un software open-source basato sui principi dell'acustica geometrica (sorgenti immagine + ray-tracing). L'integrazione di Pachyderm all'interno dell'interfaccia di Grasshopper e Rhinoceros ha permesso di usare un'unica piattaforma

(Rhinoceros) per modellare lo scenario di riferimento del caso-studio e per condurre le simulazioni acustiche.

Questo metodo integrato, descritto approfonditamente in [13], permette di ridurre i problemi di interoperabilità tra i software di modellazione e di simulazione, rendendo più rapida la valutazione delle prestazioni delle alternative progettuali. La procedura seguita in questo studio permette di avere riscontri sulle prestazioni acustiche del progetto sin dalle fasi di design preliminare e può suggerire una metodologia applicabile anche nella pratica professionale.

L'analisi è stata condotta sul modello digitale dello scenario urbano tarato acusticamente. Esso riproduce fedelmente il contesto reale, sia a livello geometrico (facciata del caso-studio, facciata opposta e strada compresa), che acustico (proprietà acustiche dei materiali). La taratura acustica del modello è stata condotta modificando iterativamente i coefficienti di assorbimento dei materiali del modello virtuale fino a quando le differenze tra il tempo di riverberazione ( $T_{30}$ ) simulato e quello misurato in sito [23,28,29] sono risultate inferiori al Just Noticeable Difference (JND) per il  $T_{30}$  [30]. La descrizione della procedura seguita e i coefficienti acustici dei materiali sono riportati in [13].

Le simulazioni sono state effettuate con 100.000 raggi, coerentemente a quanto suggerito in [31], e ordine di transizione (transition order) 1, come raccomandato in [32,33]. Queste impostazioni sono state ulteriormente verificate tramite le analisi condotte in [13], i cui risultati dimostrano che questi parametri permettono di contenere i tempi di simulazione senza compromettere l'attendibilità dei risultati (differenze di  $L_p(A)$  medi inferiori al  $JND_{SPL}$  di 1 dB). Per verificare la ripetibilità delle simulazioni, queste ultime sono state ripetute tre volte in sequenza e i valori di  $L_p(A)$  riportati in seguito sono la media aritmetica dei tre risultati ottenuti.

Per simulare la presenza di rumore ambientale da “movida”, è stata ipotizzata la presenza di un gruppo di persone che parlano in corrispondenza del dehors di un bar, sul lato opposto della strada rispetto all'edificio caso-studio. Pertanto, come mostrato nelle Figure 1b e 2a, è stata inserita in questa posizione una sorgente omnidirezionale a un'altezza di 1,5 m e a una distanza di 1,7 m dalla facciata opposta.

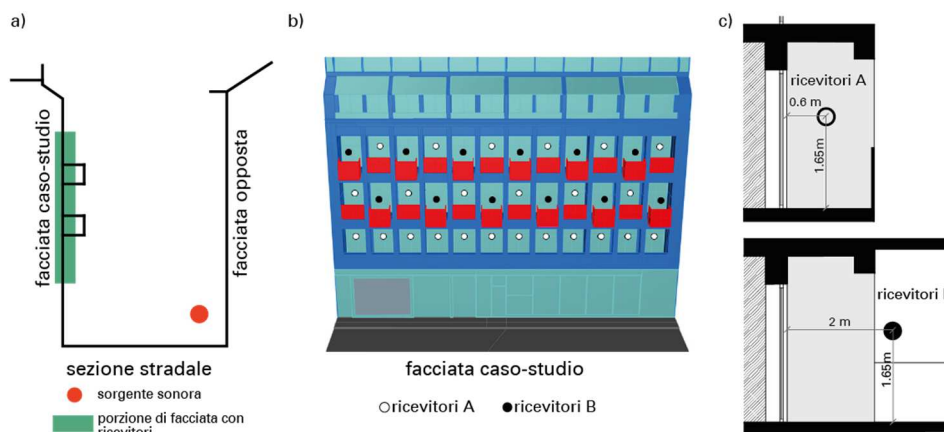


Figura 2 – a) Sezione dello street canyon con posizione della sorgente e della facciata del caso-studio; b) facciata del caso-studio con posizione dei ricevitori A e B; c) posizione dei ricevitori A e B rispetto al filo facciata – Street section with source position and case-study façade; b) case-study facade with position of receivers A and B; c) positions of receivers A and B with respect to the facade.

La potenza sonora della sorgente è stata caratterizzata sulla base del livello sonoro equivalente di una registrazione di rumore da chiacchiericcio effettuata dagli autori in loco, a 2 m da un gruppo di persone e in presenza di un leggero rumore di traffico di sottofondo. Il livello di potenza sonora della sorgente e il suo spettro è dettagliato in Tabella 1.

Tabella 1 – Livello di potenza sonora della sorgente omnidirezionale – Sound power level of the omnidirectional sound source.

Sorgente	Bande di ottava (Hz)								Globale
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Livello di potenza sonora (dB)	77.5	72.5	72.0	73.0	68.5	67.0	59.5	51.0	80.9

Per analizzare i livelli di rumore ambientale a cui i residenti dell'edificio caso-studio sono esposti, i ricevitori sono stati posizionati in esterno, ai diversi piani residenziali. In particolare, sono stati installati 36 ricevitori, dal primo al terzo piano (12 per piano), in base alle indicazioni fornite dalla normativa ISO 1996-2 [34]. I ricevitori sono posizionati a un'altezza di 1,65 m rispetto al pavimento del piano di pertinenza, con distanze dalla facciata di 0,6 m in assenza di balconi (ricevitori A) e di 1,5 m in presenza di balconi (ricevitori B), come mostrato in Figura 2b e 2c.

### 2.3 Variazioni dei materiali di rivestimento della facciata e del manto stradale

I materiali scelti come alternative fonoassorbenti ai più tradizionali materiali applicati allo stato di fatto (intonaco, vetro e asfalto comune) sono prodotti commerciali adatti all'applicazione in ambiente esterno. I coefficienti di assorbimento ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ) dei materiali per le diverse bande di ottava considerate (frequenze di centro banda da 63 Hz a 8000 Hz) sono riportati nella Tabella 2. La tabella riporta inoltre i coefficienti di scattering dei materiali, che sono stati standardizzati a due opzioni, per caratterizzare due livelli di irregolarità superficiali (s1 - scattering basso, per i materiali fonoassorbenti applicati in facciata, e s2 - scattering medio, per l'asfalto poroso).

Tabella 2 – Coefficienti di assorbimento ( $\alpha$ ) e di scattering (s) dei materiali fonoassorbenti applicati alle superfici della facciata e al manto stradale – Absorption coefficients ( $\alpha$ ) and scattering coefficients (s) of the sound absorbing materials applied to the façade cladding and to the street paving.

Descrizione	Coefficienti	Bande di ottava (Hz)									
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	media	
facciata	Rivestimento della facciata	$\alpha_1$	0.80	0.80	1.00	0.95	0.75	0.80	0.85	0.85	0.85
		s1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02
	Parapetti dei balconi	$\alpha_2$	0.05	0.05	0.31	0.73	0.97	1.00	1.00	1.00	0.64
		s1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02
facciata	Superfici inferiori dei balconi	$\alpha_3$	0.55	0.55	1.00	1.00	0.90	0.80	0.90	0.90	0.83
		s1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02
strada	Asfalto poroso	$\alpha_4$	0.58	0.58	0.50	0.60	0.52	0.38	0.45	0.45	0.51
		s2	0.01	0.01	0.01	0.04	0.10	0.20	0.30	0.35	0.13

Al di là delle loro prestazioni acustiche, i materiali sono stati scelti anche sulla base al loro aspetto visivo, nel tentativo di formulare una proposta coerente con il progetto architettonico originale. In particolare, sono stati applicati pannelli fonoassorbenti porosi di colore bianco a base di aggregati di pietra riciclati alle componenti opache della facciata ( $\alpha_1+s_1$ ), una lamiera metallica perforata all e superfici laterali degli stessi ( $\alpha_2+s_1$ ) e un materiale poroso derivato dal vetro, sempre di colore bianco alle superfici inferiori dei balconi ( $\alpha_3+s_1$ ).

L'analisi ha permesso di stimare le variazioni di  $L_p(A)$  sulla facciata dell'edificio derivanti da:

- l'applicazione di materiali fonoassorbenti alle componenti opache della facciata e ai balconi ( $\alpha_1+s_1$  alle componenti opache della facciata,  $\alpha_2+s_1$  e  $\alpha_3+s_1$  rispettivamente applicati ai parapetti e alle superfici inferiori dei balconi);
- l'applicazione di un asfalto poroso con proprietà fonoassorbenti ( $\alpha_4+s_2$ ) al manto stradale nel tratto antistante l'edificio caso-studio;
- l'effetto combinato delle due strategie al punto a) e b).

L'effetto delle soluzioni a), b) e c) è stato valutato sulla base delle differenze di  $L_p(A)$  osservate rispetto alla condizione di riferimento (stato di fatto), in cui sono applicati asfalto tradizionale al manto stradale, intonaco alle componenti opache della facciata e vetro ai balconi. In particolare, le variazioni di livello sonoro sono state valutate sia considerando la media aritmetica dei livelli sonori dei 36 ricevitori in facciata, sia considerando la media dei 12 ricevitori posizionati su ciascuno dei tre piani residenziali dell'edificio. Ciò ha permesso di aver sia un riscontro complessivo per la facciata, sia di analizzare la variazione dei livelli sonori ai diversi piani del fabbricato.

### 3 Risultati

La figura 3 mostra i livelli medi di pressione sonora ponderati "A" ottenuti dallo stato di fatto e dalle configurazioni fonoassorbenti a), b), e c), espressi come valore medio in facciata, e come valore medio al primo, secondo e terzo piano dell'edificio.

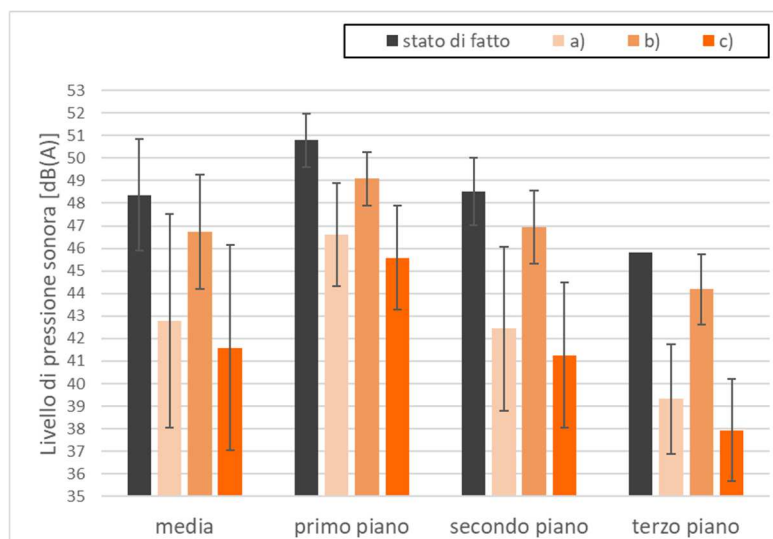


Figura 3 – Livello sonoro medio ponderato "A" risultante dalle configurazioni a), b) e c), sull'intera facciata del caso-studio e ai diversi piani dell'edificio – Averaged A-weighted SPLs for the configurations a), b) and c) over the case-study façade and at the different floors of the building.

I risultati evidenziano i benefici dell'applicazione di materiali fonoassorbenti alle superfici urbane. Considerando la media complessiva dei livelli sonori in facciata, l'applicazione di materiali di rivestimento fonoassorbenti alla facciata produce una riduzione di  $L_p(A)$  di 5,6 dB, mentre l'applicazione di un asfalto poroso alla strada comporta una riduzione di  $L_p(A)$  di 1,6 dB. Infine, le due strategie combinate portano a una riduzione del livello sonoro medio in facciata pari a circa 6,8 dB.

Considerando le differenze di  $L_p(A)$  ai diversi piani dell'edificio rispetto allo stato di fatto, si nota che, indipendentemente dalle configurazioni,  $L_p(A)$  decresce quasi linearmente dal primo al terzo piano, e che tale riduzione è più marcata nelle configurazioni a) e c), che presentano materiale fonoassorbente in facciata. La differenza di  $L_p(A)$  tra primo e terzo piano è pari a circa 5 dB nel caso dello stato di fatto e della configurazione b), mentre le configurazioni a) e c), è di circa 7,5 dB. In particolare, al terzo piano le riduzioni di livello sonoro sono pari a 6,5 dB, 1,6 dB e 7,9 dB per le configurazioni a), b) e c), rispettivamente. Al primo piano le stesse configurazioni portano a riduzioni di 4,2 dB, 1,7 e 5,2 dB, rispettivamente. Ciò evidenzia che i benefici derivanti dall'applicazione di un materiale di rivestimento fonoassorbente alla facciata sono particolarmente evidenti ai piani superiori dell'edificio, e in particolare al terzo piano dell'edificio in esame. Oltre alla maggiore distanza sorgente-ricevitori, il materiale fonoassorbente applicato in facciata riduce la frazione di energia sonora che raggiunge i ricevitori ai piani superiori dell'edificio dopo essere stata riflessa dalle superfici urbane. Diversamente, l'applicazione di un asfalto fonoassorbente al manto stradale produce riduzioni di livello sonoro ai diversi piani dell'edificio tra loro paragonabili, sebbene significativamente inferiori a quelle derivanti dalla facciata fonoassorbente.

In conclusione, si evidenzia che il potenziale contributo del progetto architettonico di facciata al miglioramento del comfort acustico degli abitanti risulta essere fortemente superiore a quello di un intervento tipico delle Amministrazioni Comunali, configurazione b). Si nota inoltre che le riduzioni di livello sonoro dovute all'applicazione di materiali fonoassorbenti in facciata sono maggiormente evidenti ai piani superiori dell'edificio. In queste posizioni è più evidente l'influenza della distanza dalla sorgente di rumore e l'effetto schermante dei balconi.

## Conclusioni

In questo studio è stato analizzato il contributo del progetto architettonico di una facciata alla riduzione del rumore da chiacchiericcio in un canyon urbano, tramite simulazioni acustiche. Un edificio a Torino è stato scelto come caso-studio per testare l'effetto dell'applicazione di materiali fonoassorbenti alla facciata e al manto stradale sulla variazione di livello di pressione sonora globale medio ponderato "A", calcolato in posizioni esterne in prossimità della facciata dell'edificio in esame. Si osserva che:

- L'applicazione di materiali fonoassorbenti alla facciata (configurazione a)) e di un asfalto fonoassorbente (configurazione b)) porta a riduzioni dei livelli sonori medi in facciata rispettivamente pari a 5,6 dB e 1,6 dB, mentre la riduzione dovuta a queste due strategie combinate (configurazione c)) è di 6,8 dB.
- I benefici dovuti all'applicazione di materiale fonoassorbente in facciata sono maggiormente evidenti ai piani superiori dell'edificio rispetto a quelli inferiori. In particolare, al terzo piano i livelli sonori medi sono inferiori di circa 7,5 dB rispetto a quelli al primo piano per le configurazioni a) e c), che presentano un materiale di rivestimento della facciata fonoassorbente. Tale riduzione è di circa 5 dB per lo stato

di fatto e per l'applicazione di asfalto poroso al manto stradale senza trattamento fonoassorbente sulla facciata (configurazione b)).

- Al terzo piano le riduzioni di livello sonoro rispetto allo stato di fatto sono massime per tutte le configurazioni e sono pari a 6,5 dB, 1,6 dB e 7,9 dB per le configurazioni a), b) e c), rispettivamente.

Pertanto, si evidenzia quanto un'attenta selezione dei materiali di rivestimento della facciata sia in grado di migliorare significativamente il comfort acustico percepito dagli abitanti. I benefici di una corretta progettazione di facciata risultano essere superiori a quelli ottenibili tramite l'applicazione di un asfalto poroso al manto stradale, che è una comune strategia di mitigazione acustica attuata dalle Amministrazioni Comunali. Sebbene in tutte le configurazioni analizzate i livelli sonori si riducano ai piani superiori dell'edificio, questa tendenza è più marcata qualora sia applicato un materiale fonoassorbente in facciata rispetto a quanto osservato con l'installazione di un manto stradale fonoassorbente.

Viene infine rimarcata l'importanza della valutazione delle prestazioni acustiche delle alternative progettuali in fase di progetto, in modo da poter selezionare e implementare, alla luce dei risultati delle simulazioni, quelle che più favoriscono la salvaguardia della salute e del benessere dei residenti.

## **Conclusions**

In this work, the effectiveness of architectural design of an urban façade in the reduction of leisure noise level in a "street canyon" has been explored through acoustic performance simulation. The research considers an actual building in Turin to test the acoustic performances of the application of sound absorbing materials to the façade cladding and to the street paving. These variations are evaluated considering the resulting variation in mean A-weighted Sound pressure level (SPL) over both case-study façade.

- The application of sound absorbing materials to the façade (configuration a)) and of a sound absorbing street paving (configuration b)) provides mean SPL reductions over the façade equal to 5.6 dB and 1.6 dB, respectively. The two above-mentioned measures combined (configuration c)) achieve a SPL reduction of 6.8 dB.
- The benefits deriving from the sound absorbing façade cladding are more evident at the upper floors of the building with respect to the lower ones. The mean SPL at the third floor is about 7.5 dB less to that at first floor for the configurations a) and c) which feature a sound absorbing façade cladding. Such difference is limited to 5 dB in the actual scenario and in case of the application of the sound absorbing paving without the sound absorbing treatment of the façade, i.e. configuration b).
- With respect to the actual scenario, at the third floor of the building the SPL reductions are 6.5 dB, 1.6 dB and 7.9 dB for the configurations a), b) and c), respectively.

These results show that a proper selection of the cladding materials applied to an urban façade can greatly contribute to the enhancement of acoustic comfort perceived by the dwellers. Moreover, the findings show that the benefits of such treatment are greater than those generated by the application of a sound absorbing street paving, which is a common noise reduction measure carried out by City Administrations. It is noteworthy that, although the SPLs decrease for increasing floor level for all the configurations studied,

this trend is more evident in case of the application of a sound absorbing cladding material than in case of the selection of a sound absorbing street paving. Therefore, these results remark the importance of the evaluation of the acoustic performance in the design process, in order to being able to select the most favorable design alternative to promote the health and well-being of the dwellers.

## Bibliografia

- [1] de Roo, G. (1998). Environmental planning and the compact city a dutch perspective. *Studies in Environmental Science* 72, pp. 1027–42.
- [2] Douglas, I. (2013). *Urban sounds and smells. The noisy, aromatic city. Cities: An Environmental History*, London, United Kingdom: I.B. Tauris.
- [3] World Health Organization. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*.
- [4] European Environmental Agency. (2014). *Noise in Europe 2014*.
- [5] Arpa Piemonte. (2018). *Valutazione dell'inquinamento da rumore in ambiente esterno*. Torino, Italia.
- [6] Jesús, M., Fernández, M.D., Flindell, I., Torija, A.J., Ballesteros, J.A. (2014). Estimating leisure noise in Spanish cities. *Applied Acoustics* 86, pp. 17–24.
- [7] Ballesteros Garrifo, J., Torija, A.J., Fernández, M.D., Ballesteros, J.A. (2016). Differences Between Road Traffic and Leisure Noise in Urban Areas. Developing a Model for Automatic Identification. *ACTA Acustica United with Acustica* 102 (December 2015), pp. 35–44.
- [8] Ottoz, E., Rizzi, L., Nastasi, F. (2018). Recreational noise: Impact and costs for annoyed residents in Milan and Turin. *Applied Acoustics* 133(May 2017), pp. 173–81.
- [9] Arpa Piemonte. (2017). Studio sul rumore da movida nel quartiere di San Salvario a Torino. <http://relazione.ambiente.piemonte.it/2017/it/territorio/risposte/rumore> (ultimo accesso: 15/01/2020).
- [10] Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54, pp. 1002–17.
- [11] Alves, S., Estévez-Mauriz, L., Aletta, F., Echevarria-Sanchez, G.M., Puyana Romero, V. (2015). Towards the integration of urban sound planning in urban development processes: the study of four test sites within the SONORUS project. *Noise Mapping* 2(1), pp. 57–85.
- [12] Echevarría Sánchez, G.M., Van Renterghem, T., Botteldooren, D. (2015). The influence of urban canyon design on noise reduction for people living next to roads. In: *Atti del 10° European Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Euronoise 2015)*. Maastricht, The Netherland, pp. 1571–6. European Acoustics Association.
- [13] Badino, E., Manca, R., Shtrepi, L., Calleri, C., Astolfi, A. (2019). Effect of façade shape and acoustic cladding on reduction of leisure noise levels in a street canyon. *Building and Environment* 157, pp. 242–56.
- [14] Hornikx, M., Forssén, J. (2009). Noise abatement schemes for shielded canyons. *Applied Acoustics* 70(2), pp. 267–83.
- [15] Van Renterghem, T., Hornikx, M., Forssen, J., Botteldooren, D. (2013). The potential of building envelope greening to achieve quietness. *Building and Environment* 61, pp. 34–44.
- [16] Kang, J. (2002). Numerical modelling of the sound fields in urban streets with diffusely reflecting boundaries. *Journal of Sound and Vibration* 258(5), pp. 793–813.
- [17] Echevarria Sanchez, G.M., Van Renterghem, T., Thomas, P., Botteldooren, D.

- (2016). The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads. *Building and Environment* 97, pp. 96–110.
- [18] Lee, P.J., Kim, Y.H., Jeon, J.Y., Song, K.D (2007). Effects of apartment building façade and balcony design on the reduction of exterior noise. *Building and Environment* 42(10), pp. 3517–28.
- [19] May, D.N. (1979). Freeway noise and high-rise balconies. *Journal of the Acoustical Society of America* 65(3), pp. 699–704.
- [20] Tong, Y.G., Tang, S.K., Yeung, M.K.L. (2011). Full scale model investigation on the acoustical protection of a balcony-like façade device (L). *The Journal of the Acoustical Society of America* 130(2), pp. 673–6.
- [21] Hothersall, D.C., Horoshenkov, K. V., Mercy, S.E. (1996). Numerical modelling of the sound field near a tall building with balconies near a road. *Journal of Sound and Vibration* 198(4), pp. 507–15.
- [22] Kropp, W., Bérillon, J. (2000). A Theoretical Model to Consider the Influence of Absorbing Surfaces Inside the Cavity of Balconies. *Acta Acustica United with Acustica* 86, pp. 485–94.
- [23] Calleri, C., Manca, R., Shtrepi, L., Astolfi, A. (2018). Building façades optimization at preliminary design stage for outdoor noise mitigation. *Euronoise*, Crete, Greece, pp. 1513–1250.
- [24] Caracciolo, P.F. (2017). Basta fracasso, a San Salvario colletta anti-rumore per fare causa al Comune.
- [25] Ordinanza del Sindaco n 46 del 7/6/2017(2017), Disciplina degli orari di vendita di bevande alcoliche e superalcoliche nell’ambito di alcune aree delimitate della città. Comune di Torino.
- [26] Van der Harten, A. (2015). Pachyderm 2.0 - Gone Github. <http://www.perspectivesketch.com/pachyderm/index.php/18-pachyderm-2-0-gone-github> (ultimo accesso: 15/01/2020).
- [27] Calamia, P.T., Svensson, U.P. (2007). Fast Time-Domain Edge-Diffraction Calculations for Interactive Acoustic Simulations 2007.
- [28] Manca, R. (2017). Acoustic optimization of the urban façades in the preliminary stages of the project. (Tesi di Laurea Magistrale).
- [29] Vorländer, M. (2013). Computer simulations in room acoustics: Concepts and uncertainties. *The Journal of the Acoustical Society of America* 133(3), pp. 1203–13.
- [30] ISO (2009). ISO 3382-1:2009. Acoustic, Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces. Geneva, Switzerland: ISO.
- [31] Vorländer, M., (2008). *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Berlin, Germany: Springer Science+Business Media LLC.
- [32] Naylor, G., Rindel, J.H. (1992). Predicting room acoustical behavior with the ODEON computer model. In: *Atti del 124° Meeting of the Acoustical Society of America (Paper 3aAA3)*, vol. 92. New Orleans, USA, pp. 2346–2346. Acoustical Society of America.
- [33] Van der Harten, A. (2015). Selecting Simulation Settings. <http://www.perspectivesketch.com/pachyderm/index.php/pachyderm/pachyderm-tutorials/10-selecting-simulation-settings> (ultimo accesso: 15/01/2020).
- [34] ISO (2007). ISO 1996-2:2007 Acoustics, Description and measurement of environmental noise - Part 2: Acquisition of data pertinent to land use. Geneva, Switzerland: ISO.

- [30] Kang, Y.J., Bolton, J.S. (1995). Finite element modeling of isotropic elastic porous materials coupled with acoustical finite elements. *J. Acoust. Soc. Am.*, 98, pp. 635–643.
- [31] Wang, X., Lu, T.J. (1999). Optimized acoustic properties of cellular solids. *J. Acoust. Soc. Am.*, 106, pp. 756–765.
- [32] Maa, D.Y. (1998). Potential of microperforated panel absorber. *J. Acoust. Soc. Am.*, 104, pp. 2861–2866.
- [33] Lu, T.J., Chen, F., He, D. (2000). Sound absorption of cellular metals with semiopen cells. *J. Acoust. Soc. Am.*, 108, pp. 1697–1709.
- [34] Benedetto, G., Spagnolo, R. (1985). Reverberation time in enclosures: The surface reflection law and the dependence of the absorption coefficient on the angle of incidence. *J. Acoust. Soc. Am.*, 77, pp. 1447–1451.