

L'uso di Odeon per simulazioni a scala microurbana: un confronto con misure in campo

*Original*

L'uso di Odeon per simulazioni a scala microurbana: un confronto con misure in campo / Badino, Elena; Shtrepi, Louena; Astolfi, Arianna. - ELETTRONICO. - (2023). ( 49° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica Ferrara 7-9/06/2023).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2980447 since: 2023-07-17T15:52:09Z

*Publisher:*

Associazione Italiana di 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)

## L'USO DI ODEON PER SIMULAZIONI A SCALA MICROURBANA: UN CONFRONTO CON MISURE IN CAMPO

Elena Badino (1), Louena Shtrepi (2), Arianna Astolfi (3)

1) Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino, Torino, elena.badino@polito.it

2) Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino, Torino, louena.shtrepi@polito.it

3) Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino, Torino, arianna.astolfi@polito.it

### SOMMARIO

L'utilizzo di software di simulazione per l'acustica architettonica in ambienti esterni a scala microurbana è un valido supporto per confrontare diverse opzioni progettuali (e.g. materiali e forme delle facciate, etc.) al fine di mitigare il rumore ambientale. Questo studio valuta i livelli sonori simulati da Odeon in un modello di cortile urbano acusticamente calibrato, confrontandoli con i corrispondenti livelli sonori misurati, per esplorare l'uso di questi strumenti in esterno.

### 1. Introduzione

La mitigazione dell'inquinamento acustico è essenziale per assicurare il benessere e la salute della popolazione urbana. La riduzione del livello di rumore ambientale all'aperto può sia favorire la fruizione degli spazi urbani (parchi, zone pedonali ecc.), sia portare a un beneficio negli spazi interni, per esempio limitando il rischio di discomfort acustico all'apertura delle finestre, favorendo la ventilazione naturale. Questo aspetto è stato riconosciuto dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, le cui raccomandazioni di livelli massimi di rumore ambientale a tutela della salute pubblica sono riferite all'ambiente esterno [1].

Diversi studi hanno evidenziato come sia possibile ridurre il livello di rumore ambientale a cui è esposta la popolazione urbana andando ad agire sulla forma e sulle proprietà acustiche delle superfici urbane a scala architettonica. Ad esempio, l'applicazione di materiali fonoassorbenti in facciata o l'inclusione, sempre in facciata, di elementi schermanti, possono portare a una riduzione del livello sonoro esterno lungo la facciata stessa, con conseguenti benefici sia negli ambienti privati esterni, come balconi e terrazze, sia in ambienti interni alle abitazioni. Sebbene siano disponibili diversi strumenti per simulare la propagazione sonora in esterno (e.g. CadnaA, SoundPLAN), questi software spesso non sono in grado di stimare l'effetto di variazioni progettuali a scala architettonica, come quelle sopra citate. Di conseguenza, diversi studi hanno adoperato strumenti di simulazione per l'acustica architettonica (come Odeon, Pachyderm, CATT-Acoustic) in ambienti esterni, al fine di valutare l'efficacia di diverse opzioni di facciata in termini di riduzione di livello sonoro.

Questo contributo intende confrontare i risultati dei livelli sonori simulati da Odeon all'interno di un cortile in diverse posizioni con quelli ottenuti tramite misurazioni in campo nelle stesse posizioni.

### 2. Metodo

Una campagna di misurazioni è stata svolta all'interno di un cortile del Politecnico di Torino, mostrato in Figura 1.

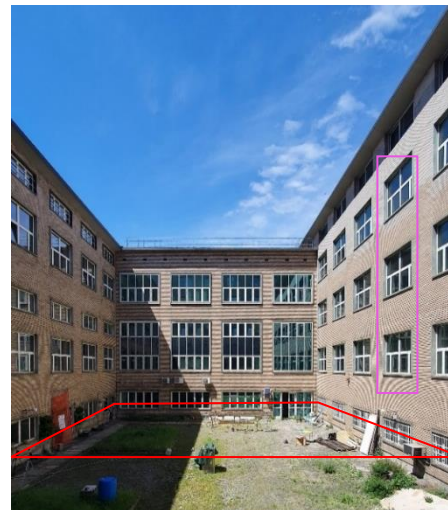


Figura 1. Fotografia del cortile

La campagna di misurazioni è stata volta a ottenere il tempo di riverberazione (RT) e il livello di pressione sonora ( $L_p$ ) in diverse posizioni a livello del cortile stesso (in rosso in Figura 1) e lungo la facciata di un edificio prospiciente il cortile (in rosa in Figura 1), ai diversi piani dello stabile. Le misure sono state fatte con due fonometri in classe 1 calibrati, e con una sorgente sonora omnidirezionale in una posizione centrale del cortile (h 1.5 m), utilizzando come segnale acustico un rumore bianco (per le misure di  $L_p$ ) o una sweep (misure di RT). I valori di RT sono stati utilizzati per calibrare il modello acustico del cortile in Odeon, mentre i valori di  $L_p$  misurati sono stati utilizzati per valutare l'affidabilità delle corrispondenti stime di livello sonoro di Odeon, sul modello precedentemente calibrato.

Le simulazioni acustiche sono state fatte con Odeon Combined (V. 16), con un numero di raggi pari a 300000, un cut-off time di 5000 ms, un ordine di transizione (TO) pari a 2. Il modello del cortile è stato incluso all'interno di un involucro perfettamente fonoassorbente per simulare lo spazio aperto.

Il modello acustico del cortile, mostrato in Figura 2, è stato inizialmente preparato applicando ai diversi materiali dei coefficienti di assorbimento e scattering presenti in letteratura o basati su un'investigazione visiva delle irregolarità superficiali.

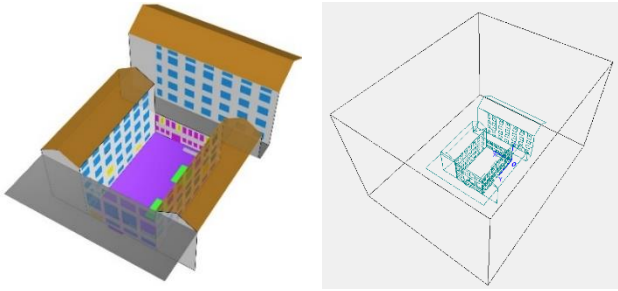


Figura 2. Modello virtuale del cortile in Rhinoceros (Pachyderm) e Odeon

Il modello virtuale è stato successivamente calibrato sulla base del confronto tra i valori medi di RT simulati o misurati nelle posizioni di misura del cortile (8 punti di misura) e della facciata (3 punti di misura), separatamente. In particolare, sono stati corretti i coefficienti di assorbimento acustico e di scattering dei materiali per minimizzare lo scarto tra il valore simulato e misurato di RT per le bande di ottava tra 125 e 4000 Hz. Alla fine del procedimento, la quasi totalità dei valori di RT simulati per bande di ottava presentano uno scarto inferiore al 10% rispetto al corrispondente dato misurato [2], come mostrato nei grafici in Figura 3.

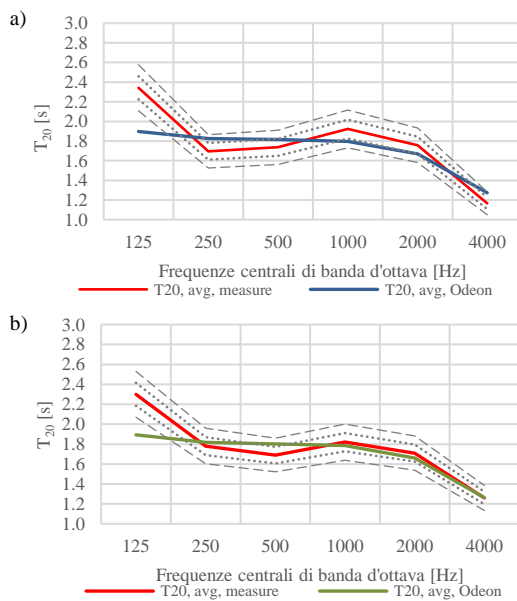


Figura 3. Confronto tra il tempo di riverbero medio misurato e simulato (a) nel cortile e (b) sulla facciata

I livelli sonori simulati da Odeon sul modello acustico calibrato del cortile sono stati confrontati con i valori misurati e simulati in 4 posizioni rappresentative a livello del cortile (G1, G5, G8, G9) e nelle tre posizioni ai diversi piani dell'edificio (F1, F2, F3). L'analisi è stata fatta sulla base del confronto dei livelli sonori globali nelle diverse posizioni di misura e come valore mediato per le posizioni del cortile e della facciata, separatamente, calcolando l'errore medio assoluto (EMA). La corrispondenza tra i livelli sonori è stata valutata rispetto alla minima differenza percepibile all'orecchio umano ( $JND_{Lp}$ , pari a 1 dB) e rispetto alla soglia di 3 dB considerata corrispondente a una differenza appena percepibile dell'intensità sonora apparente [3]. Inoltre, una valutazione più approfondita sulle differenze tra valori simulati e misurati di  $Lp$  ( $Lp_{sim}$  e  $Lp_{mis}$ ) in bande di ottava è stata fatta calcolando un indice di errore riferito al JND per il livello sonoro. Quest'ultimo, identificato per semplicità come

“Errore JND”, quantifica di quante volte il JND è multiplo della differenza di  $Lp$  media alle diverse bande di ottava e per le diverse posizioni di misura, ed è stato calcolato secondo l'equazione 1, in [4]:

$$(1) \text{ Errore JND} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{Freq}} \sum_{i=1}^{N_{Pos}} \frac{|Lp_{mis,n,i} - Lp_{sim,n,i}|}{JND_{Lp}}}{N_{Freq} \cdot N_{Pos}} \quad [-]$$

dove  $N_{Freq}$  e  $N_{Pos}$  indicano rispettivamente il numero di dati in banda di ottava e il numero di posizioni considerate.

### 3. Risultati

I risultati ottenuti dal confronto dei livelli sonori nelle varie posizioni di misura sono riportati in Tabella 1, mentre in Tabella 2 vengono mostrati i valori di errore medio assoluto (EMA) e di Errore JND per le posizioni a livello di facciata e del cortile.

Tabella 1. Differenza assoluta tra  $Lp$  misurati e simulati nelle diverse posizioni

	F1	F2	F3	G1	G5	G8	G9
Differenza assoluta tra $Lp$ [dB]	0.4	0.6	0.1	1.4	1.3	1.5	1.6

Tabella 2. MAE e Errore JND per le posizioni di misura del cortile e della facciata

	EMA [dB]	Errore JND [-]
Facciata	0.4	1.4
Cortile	1.5	1.5

Le differenze assolute di livello sonoro risultano essere al di sotto del  $JND_{Lp}$  per i ricevitori in facciata, mentre quelli a livello del cortile riportano valori maggiori, ma sempre al di sotto della soglia di 3 dB. Questa discrepanza può essere dovuta alla presenza nel cortile di alcuni elementi (e.g. sabbia, attrezzatura e disomogeneità nella pavimentazione) non modellati in dettaglio nel modello virtuale. I valori di Errore JND risentono maggiormente delle differenze di livello sonoro alle varie bande di ottava. Gli errori JND calcolati a livello di facciata e di cortile sono ~1.5 in entrambe le posizioni. L'Errore JND evidenzia che il  $JND_{Lp}$  è contenuto mediamente 1.5 volte nella differenza di livelli per bande di ottava nelle diverse posizioni. Sebbene quindi siano riportate differenze maggiori del JND, nel complesso è da ritenersi un risultato accettabile alla luce della soglia dei 3 dB.

### 4. Conclusioni

Il presente studio valuta i livelli sonori simulati da Odeon in un cortile esterno, su un modello acustico calibrato dello stesso, confrontandoli con i corrispondenti valori misurati. I risultati evidenziano che i livelli sonori simulati da Odeon presentano scarti rispetto ai livelli misurati inferiori ai 3 dB. Di conseguenza, Odeon si conferma un valido strumento per valutare l'efficacia di soluzioni progettuali di facciata in termini di variazione di livelli sonori in esterno.

### 5. Bibliografia

- [1] World Health Organization, *Environmental noise guidelines for the European Region*, World Health Organization, Copenhagen, Denmark, 2018.
- [2] M. Hodgson, When is diffuse-field theory applicable?, *Appl. Acoust.* 49 (1996) 197–207. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(96\)00010-2](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(96)00010-2).
- [3] D.A. Bies, C.H. Hansen, *Engineering Noise Control: Theory and practice*, 4th ed., CRC Press, 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315273464>.
- [4] J.H. Rindel, C.L. Christensen, G. Koutsouris, *Simulations, measurement and auralizations in architectural acoustics*, in: *Acoustics 2013*, New Delhi, India, 2013.