

## ANALISI PRELIMINARE DELL'ANNOYANCE E DELL'INTRUSIVITÀ DELLE SORGENTI DI RUMORE ALL'INTERNO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

Domenico De Salvio (1), Veronica Amodeo (2), Massimo Garai (1), Simone Secchi (2)

1) Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN), Università di Bologna, Bologna, domenico.desalvio2@unibo.it

2) Dipartimento di Architettura (DiDA), Università degli Studi di Firenze, Firenze, veronica.amodeo@unifi.it

### SOMMARIO

Il rumore negli ospedali incide profondamente sul comfort di pazienti e personale. Lo studio analizza un reparto italiano confrontando la Psychoacoustic Annoyance (modello Fastl & Zwicker) e l'intrusività (UNI/TS 11844:2022). Sebbene i livelli superino i limiti OMS, l'analisi spettrale e temporale offre una comprensione profonda del disturbo. Questi metodi sono strumenti preziosi per la progettazione e la diagnostica acustica in ambienti critici.

### 1. Introduzione

L'inquinamento acustico rappresenta uno dei fattori ambientali più critici per la salute umana a causa del suo potenziale impatto psicofisico [1]. Tale problematica assume una rilevanza ancora maggiore se riferita a categorie vulnerabili come i bambini, gli anziani e i pazienti ospedalizzati [2]. Gli ospedali sono ecosistemi complessi in cui pazienti e personale sono sottoposti a continui stimoli esterni [3]. Tra gli effetti più critici si riscontrano disturbi del sonno, aumento del fastidio percepito e interferenza con i segnali di allerta o la comunicazione verbale [4]. La privazione del sonno nei degenti può indurre stati di allerta che compromettono l'umore, le capacità di adattamento, la funzione muscolare respiratoria e i tempi di guarigione, prolungando di conseguenza la degenza [5].

Per tutelare la salute degli utenti, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) stabilisce che nelle aree di degenza il livello di pressione sonora equivalente pesato A (LAeq) non debba superare i 30 dBA, sia durante il giorno che durante la notte, e che i livelli massimi (LAm<sub>ax</sub>) debbano restare inferiori a 40 dBA [4]. Nonostante tali raccomandazioni, numerosi studi internazionali evidenziano come i livelli sonori nei reparti superino costantemente queste soglie [6-8], con una tendenza all'aumento su base annuale [9]. È stato osservato che la maggior parte del rumore avvertito dai pazienti ha origine all'esterno delle stanze [8], rendendo fondamentale lo studio dei corridoi, aree spesso trascurate dal punto di vista acustico nonostante siano sedi di intense attività di cura e non semplici zone di transito [10].

La valutazione del disturbo non può tuttavia basarsi solo sui livelli energetici globali [11, 12]. Ricerche precedenti hanno dimostrato l'assenza di una correlazione statisticamente significativa tra il semplice LAeq e il fastidio (annoyance) riferito dal personale [13]. Risulta quindi essenziale considerare le caratteristiche spettrali e temporali, oltre al contesto e alle caratteristiche socio-demografiche degli utenti [14]. In questo ambito, le teorie sul soundscape e i parametri psicoacustici offrono un approccio complementare: il modello di Fastl & Zwicker mira a quantificare il fastidio attraverso parametri quali Loudness, Sharpness e Roughness [15]. Parallelamente, la norma italiana UNI/TS 11844:2022 introduce un metodo per valutare l'intrusività delle sorgenti basato sulla Detection Theory [16, 17]. Il presente lavoro si propone di confrontare questi due approcci per analizzare le principali sorgenti sonore rilevate in un reparto ospedaliero.

### 2. Metodo

La presente ricerca si inserisce in una più ampia campagna di indagini condotta all'interno di un reparto di medicina generale in Italia. Il layout del reparto è caratterizzato da un corridoio centrale sul quale si affacciano, in modo speculare, stanze di degenza a due letti. Preliminarmente, è stato somministrato un breve questionario al personale sanitario per individuare le aree più critiche e le sorgenti sonore più disturbanti nel reparto. Poiché gli utenti hanno segnalato che la maggior parte dei rumori potenzialmente disturbanti raggiunge i pazienti transitando dal corridoio, la postazione di monitoraggio è stata collocata in quest'area. Sono state eseguite quattro sessioni di misurazione, della durata di 20 minuti ciascuna, durante il normale orario diurno lavorativo, utilizzando un fonometro di Classe 1. I livelli di pressione sonora e i relativi spettri sono stati acquisiti impostando una costante di tempo Fast e un intervallo di acquisizione di 0,1 s. Contestualmente, l'audio è stato registrato in formato .wav con una frequenza di campionamento di 48 kHz per consentire le successive rielaborazioni in laboratorio.

#### 2.1 Valutazione della Psychoacoustic Annoyance

Per valutare il disturbo generato dalle specifiche sorgenti rilevate, è stato applicato il modello di Fastl & Zwicker per calcolare la Psychoacoustic Annoyance (PA). Questo modello consente di valutare in che modo il fastidio percepito sia significativamente influenzato dalle caratteristiche temporali e spettrali del suono. Il calcolo della PA integra diversi parametri psicoacustici: il 5° percentile dei livelli di Loudness (N<sub>5</sub>, espressa in sone), la Sharpness (S, espressa in acum), la Fluctuation Strength (F, espressa in vacil) e la Roughness (R, espressa in asper). Per consentire un confronto più diretto con i risultati di intrusività, i valori di PA sono stati tradotti in indici di fastidio medio (MA, valutato su una scala 0-10) adottando i modelli di regressione logistica proposti in letteratura per il rumore delle sottostazioni [18].

#### 2.2 Valutazione dell'intrusività

L'intrusività delle principali sorgenti sonore è stata determinata applicando la specifica tecnica italiana UNI/TS 11844:2022. Il metodo si fonda sulla Detection Theory e quantifica la capacità di un ascoltatore di distinguere un evento sonoro all'interno di uno specifico scenario acustico. La procedura calcola il Detection Level (D'L) confrontando lo spettro della singola sorgente con quello del rumore residuo circostante. Per

modellare accuratamente l'effetto di mascheramento uditivo, lo standard richiede che l'analisi venga condotta in bande critiche secondo la scala Bark, considerando un'efficienza dell'osservatore umano convenzionalmente fissata a 0,4. In base al valore logaritmico cumulativo del D'L ottenuto su tutte le bande, la norma assegna alla sorgente una classe di intrusività su una scala a sei gradi, che spazia da "Trascurabile" ( $D'L < 13$  dB) a "Molto alta" ( $D'L \geq 43$  dB).

### 3. Risultati e Discussione

Quattro sessioni di monitoraggio puntuale della durata di 20 minuti sono state effettuate all'interno del corridoio del reparto durante un'intera giornata lavorativa. I livelli di pressione sonora equivalente pesata A ( $L_{Aeq}$ ) sono risultati compresi tra 53,0 e 60,5 dBA, mentre i livelli massimi ( $L_{Amax}$ ) hanno raggiunto picchi tra 74,8 e 84,8 dBA. Tali valori superano ampiamente i limiti specificati dall'OMS per la tutela della salute umana ( $L_{Aeq} < 30$  dBA e  $L_{Amax} < 40$  dBA). In nessuna delle misurazioni effettuate il  $L_{Aeq}$  è sceso al di sotto della soglia di 30 dBA. Per analizzare nel dettaglio la percezione delle diverse sorgenti, la Tabella 1 riporta i risultati specifici della sessione di monitoraggio "Spot 02", presa come scenario rappresentativo delle dinamiche del reparto.

Tabella 1 – Sintesi dei risultati di Annoyance e Intrusività dello Spot 02.

| Sorgente            | PA   | MA  | D'L (dB) |
|---------------------|------|-----|----------|
| Allarme stanza      | 13,3 | 3,6 | 21,7     |
| Campanello          | 15,6 | 4,0 | 28,9     |
| Barella + Carrello  | 34,1 | 7,4 | 33,7     |
| Telefono di reparto | 19,4 | 4,7 | 27,6     |
| Parlato             | 41,5 | 8,3 | 39,1     |

L'analisi dei dati dello Spot 02 evidenzia come le due metriche descrivano aspetti complementari del disturbo sonoro in corsia. Osservando i parametri psicoacustici basati sul modello di Fastl & Zwicker, si nota che il "Parlato" risulta la sorgente più disturbante in questo intervallo, registrando il valore più alto di Annoyance ( $PA = 41,5$ ) e un disturbo medio ( $MA$ ) pari a 8,3. Anche la sovrapposizione di eventi, come nel caso di "Barella + Carrello", genera un forte fastidio complessivo ( $PA = 34,1$ ).

Valutando l'intrusività secondo la norma UNI/TS 11844:2022, si osserva che sia il parlato sia la combinazione barella-campanello raggiungono livelli superiori a 30 dB, nello specifico 33,7 dB e 39,1 dB, indicando una forte emergenza spettrale rispetto al rumore di fondo. Risulta particolarmente interessante il comportamento degli eventi di breve durata o intermittenti: il singolo "Campanello" e il "Telefono di reparto" presentano un'intrusività rispettivamente di 28,9 dB e 27,6 dB, dimostrando di essere facilmente rilevabili, ma generano un fastidio psicoacustico limitato ( $MA$  intorno a 4,0 - 4,7).

Questo scenario conferma che l'intrusività è strettamente legata alla salienza percettiva di un suono. Un suono inaspettato o con caratteristiche tali da risaltare sul rumore di fondo cattura facilmente l'attenzione (risultando intrusivo), pur non causando necessariamente un'elevata annoyance a lungo termine, specialmente se di breve durata. Al contrario, sorgenti come il parlato continuo presentano sia un'alta capacità di catturare l'attenzione sia un elevato potenziale di fastidio persistente, interferendo attivamente con il riposo dei pazienti.

### 4. Conclusioni

La presente ricerca evidenzia che i soli livelli di pressione sonora risultano insufficienti per quantificare il reale disturbo percepito in ospedale da pazienti e personale. Per una diagnosi approfondita, si propongono due approcci complementari basati sulle caratteristiche spettrali e temporali dei suoni. Da un lato, il modello di Fastl & Zwicker valuta la Psychoacoustic Annoyance, adottando una prospettiva concettuale per quantificare la percezione soggettiva del fastidio. Dall'altro, la norma UNI/TS 11844:2022 offre un metodo pratico per calcolare preliminarmente l'intrusività mediante misurazioni fonometriche in situ. L'integrazione di questi due metodi fornisce uno strumento utile per migliorare la progettazione acustica dei reparti, sebbene siano necessari ulteriori studi per affinarne l'applicazione in scenari sanitari diversificati.

### Bibliografia

- [1] European Environmental Agency (EEA), Report No 22/2019, Environmental Noise in Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020.
- [2] World Health Organization (WHO), Environmental noise guidelines for European Region, WHO Regional Office for Europe, 2018.
- [3] Del Nord R., Marino D., Peretti G., Humanization of care spaces: A research developed for the Italian Ministry of Health, *TECHNE J. Technol. Archit. Environ.*, 9 (2015), pp. 224–229.
- [4] World Health Organization (WHO), Guidelines for Community Noise, World Health Organization: Geneva, Switzerland, 1999.
- [5] Ryherd E., Ackerman J., Zimring C., Okcu S., Wayne K.P., Noise pollution in hospitals: impacts on staff, *Journal of Clinical Outcomes Management*, 19 (2012), pp. 491–500.
- [6] Shield B., Shiers N., Glanville R., The acoustic environment of inpatient hospital wards in the United Kingdom, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140 (2016), p. 2213.
- [7] Deng Z., Xie H., Kang J., The acoustic environment in typical hospital wards in China, *Applied Acoustics*, 203 (2023).
- [8] Secchi S., Setola N., Marzi L., Amodeo V., Analysis of the Acoustic Comfort in Hospital: The Case of Maternity Rooms, *Buildings*, 12(8) (2022).
- [9] Busch-Vishniac I.J., West J.E., Barnhill C., Hunter T., Orellana D., Chivukula R., Chivukula R., Noise levels in Johns Hopkins Hospital, *Journal of Acoustic Society of America*, 118(6) (2005), pp. 3629–3645.
- [10] Negreira J., Rossell I., Beldam M.B., On the importance of room acoustic treatment of hospital corridors – Acoustic intervention in Hospital Vall d'Herbron (Barcelona), in *Proc. of Forum Acusticum*, Turin, Italy, 14 Sept. 2022.
- [11] Cingolani M., De Salvo D., D'Orazio D., Garai M., Clustering analysis of noise sources in healthcare facilities, *Applied Acoustics*, 214 (2023), 109660.
- [12] De Salvo D., Amodeo V., D'Orazio D., Garai M., Secchi S., Noise within hospital wards: a survey method, in *Proceedings of InterNoise, 53rd International Congress & Exposition on Noise Control Engineering*, 270 (2024), pp. 4933–4942.
- [13] Nassiri P., Heidari H.R., Khadem M., Rahimifard H., Rostami E., Assessment of Noise Annoyance and its Effects on Healthcare Staff Based on Sound Pressure Level and Annoyance Scale, *International Journal of Occupational Hygiene*, 6 (2015), pp. 23–30.
- [14] Cai J., Mei-Po K., Zihan K., Jianwei H., Perceiving noise in daily life: How real-time sound characteristics affect personal momentary noise annoyance in various activity microenvironments and times of day, *Health & Place*, 83 (2023).
- [15] Fastl H., Zwicker E., *Psychoacoustics, facts and models*, Springer, 1990.
- [16] UNI/TS 11844:2022, Procedure per la misurazione e l'analisi del rumore intrusivo, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, Italy, 2022.
- [17] Fidell S., Tefeteller S., Scaling the annoyance of intrusive sounds, *Journal of Sound and Vibration*, 78 (1981), pp. 291–298.
- [18] Guoqing Di, Cong Chen, Yao Yao, Li Dong, Jian Wu, A study on the conversion relationship of noise perceived annoyance and psychoacoustic annoyance—a case of substation noise, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 41 (2022), pp. 810–818.