

Intelligibilità del parlato e benefici spaziali in aule scolastiche con e senza trattamento di correzione acustica

*Original*

Intelligibilità del parlato e benefici spaziali in aule scolastiche con e senza trattamento di correzione acustica / Minelli, Greta; Puglisi, GIUSEPPINA EMMA; Astolfi, Arianna. - ELETTRONICO. - (2021). (Intervento presentato al convegno 47° Convegno Nazionale AIA tenutosi a online nel 24-28 maggio 2021).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2924279 since: 2021-09-16T12:37:40Z

*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)

## INTELLIGIBILITÀ DEL PARLATO E BENEFICI SPAZIALI IN AULE SCOLASTICHE CON E SENZA TRATTAMENTO DI CORREZIONE ACUSTICA

Greta Minelli (1), Giuseppina Emma Puglisi (2), Arianna Astolfi (3)

1) Dipartimento Energia – Politecnico di Torino, Torino, greta.minelli@polito.it  
2) Dipartimento Energia – Politecnico di Torino, Torino, giuseppina.puglisi@polito.it  
3) Dipartimento Energia – Politecnico di Torino, Torino, arianna.astolfi@polito.it

### SOMMARIO

La qualità acustica delle aule scolastiche influenza lo sviluppo del linguaggio, della comprensione e delle abilità cognitive degli studenti, soprattutto ai primi anni di scolarizzazione. In questo lavoro è stato applicato un modello di calcolo previsionale (Binaural Speech Intelligibility Model) per valutare l'effetto combinato di riverberazione e rumore proveniente da una sorgente co-locata e poi separata rispetto al ricevitore. Sono state considerate due aule di scuola primaria, una dotata di trattamento acustico e una no.

### 1. Introduzione

L'effetto di eccessivi livelli di rumore e riverberazione nelle aule scolastiche è stato studiato soprattutto in rapporto all'intelligibilità del parlato (ossia alla percentuale di messaggio verbale correttamente compreso [1]) [2], e più recentemente anche in rapporto al rendimento scolastico e alle capacità cognitive [3-4].

L'effetto del rumore sulla comprensione del parlato è stato studiato in termini di capacità di discriminare il segnale prodotto dal parlatore rispetto a quello generato dalla sorgente di rumore, fenomeno conosciuto come "cocktail party effect" [5]. In particolare, è noto che l'intelligibilità (espressa come Speech Recognition Threshold, SRT, in dB SNR) migliori se la sorgente del rumore (masker, M) si trova in una posizione "separata" rispetto alla testa del ricevitore (receiver, R) ed alla posizione sorgente parlatore (talker, T). Valutando il beneficio di tale separazione spaziale come Spatial Release from Masking (SRM, calcolata come differenza di SRT tra la condizione separata e quella co-locata), il miglioramento può raggiungere 12 dB se M è posizionata a 120° rispetto a R, avendo T in asse a 0° rispetto a R [6]. In presenza di riverberazione e rumore i benefici spaziali di discriminazione di T da M sono profondamente compromessi [7]. Gli studi in letteratura, però, sono principalmente riferiti a condizioni acustiche di laboratorio, mentre sono pochi quelli che fanno riferimento a condizioni ecologiche di ambienti di vita.

Questo lavoro ha l'obiettivo di studiare l'effetto di rumore e riverberazione sulla SRT e sulla SRM in un'aula di scuola primaria dotata di trattamento acustico e in una senza trattamento. Per valutare l'intelligibilità del parlato, le SRT nelle configurazioni spaziali sono state ottenute con un modello di calcolo previsionale (Binaural Speech Intelligibility Model, BSIM [8]) basato sulle risposte all'impulso binaurali misurate in campo.

### 2. Metodologia

#### 2.1 Caso studio

Sono state considerate due aule di una scuola primaria, analoghe per dimensioni, architettura e finiture interne, e differenti per la presenza di un trattamento acustico che interessa una sola delle due. Per valutare l'efficacia del trattamento acustico, i risultati fanno riferimento all'ambiente prima e dopo l'intervento stesso (*ante-operam*, AO, e *post-operam*, PO, rispettivamente). Le aule hanno pianta rettangolare 6,7 m x 8,4 m, e un volume di 258 m<sup>3</sup>. Sono situate al piano terra dell'edificio, collocato in un'area caratterizzata da un volume di traffico veicolare medio,

lungo la parete affacciata sul cortile interno della scuola hanno tre grandi superfici vetrate. Il pavimento è in cotto, le pareti e il soffitto sono intonacati nella condizione AO. In PO, sono stati utilizzati pannelli fonoassorbenti in lana di vetro a parete ( $\alpha_{0,5-1\text{kHz}} = 1$ ) per un totale di 25,9 m<sup>2</sup> e a soffitto ( $\alpha_{0,5-1\text{kHz}} = 0,95$ ) per un totale di 56,3 m<sup>2</sup>. Sia in AO sia in PO sono state svolte misurazioni di caratterizzazione acustica dell'aula con pannelli di fibbra 100% poliestere per simulare l'occupazione di 23 studenti.

#### 2.2 Misurazioni acustiche

La caratterizzazione acustica AO e PO è stata svolta con misurazioni monoaurali e binaurali in accordo con la EN ISO 3382-2 [9] e la UNI 11532-2 [10], rispettivamente. Come ricevitore è stato utilizzato un fonometro calibrato in classe 1 (XL2, NTi Audio), e come sorgente un modello con direttività della voce umana (Talkbox, NTi Audio). A partire dalle sweep prodotte dalla Talkbox ed acquisite dal fonometro, opportunamente convolute per ottenere le risposte all'impulso in diversi punti dell'aula, sono stati estratti il tempo di riverberazione (T30, s, mediato tra 0,25-2 kHz), l'Early Decay Time (EDT, s, mediato tra 0,5-1 kHz) e la chiarezza del parlato (C50, dB, mediata tra 0,5-1 kHz). Le misurazioni binaurali sono state eseguite per ricavare le risposte all'impulso binaurali attraverso cui ricavare le misure di intelligibilità per mezzo del metodo previsionale del Binaural Speech Intelligibility Model (BSIM, [8]). È stata impiegata una testa artificiale (HaTS modello 4128, Brüel & Kjær) come ricevitore (receiver, R), e la Talkbox già descritta come sorgente parlatore (talker, T). La HaTS ha anche acquisito le sweep, poi convolute per ottenere le risposte all'impulso, generate da un dodecaedro (Larson Davis) usato come sorgente di rumore (masker, M). Per valutare l'effetto dell'acustica dell'aula e delle configurazioni spaziali di posizionamento di parlatore-ricevitore-rumore, i punti di misura sono stati così individuati:

- 1) T a 1 m dalla parete della lavagna, ad 1,5 m da terra;
- 2) R a 1,5 m, 4,0 m e 6,5 m da T, in asse, e ad 1,5 m da terra;
- 3) M a 1,5 m da terra, a diversi azimut (co-locato a 0° e 180°, separato a 120°) e distanze (1,0 m, 2,5 m e 5,0 m) da R.

#### 2.3 Misure di intelligibilità

Con le risposte all'impulso binaurali descritte precedentemente è stato possibile utilizzare il BSIM [8] per ricavare la Speech Recognition Threshold (SRT, dB SNR) necessaria per

comprendere l'80% del messaggio vocale (SRT80) e la Spatial Release from Masking (SRM, dB), calcolata come differenza tra la SRT80 misurata in una condizione svantaggiata (es, SRT80 con M co-locata meno SRT80 con M separata [11]). Ottenute le SRT80 e SRM per le condizioni AO e PO, è possibile dunque valutare l'influenza combinata di riverberazione e rumore sull'intelligibilità del parlato in ambienti di vita reale.

### 3. Risultati

#### 3.1 Misurazioni acustiche

In Tabella 1 sono riportati i risultati di caratterizzazione delle aule. I parametri considerati ( $T_{30,0,25-2\text{kHz}}$ ,  $EDT_{0,5-1\text{kHz}}$  e  $C50_{0,5-1\text{kHz}}$ ) sono conformi ai valori di riferimento solo in PO.

Tabella 1 - Parametri acustici dell'aula in assenza (ante-operam, AO) e presenza (post-operam, PO) del trattamento acustico. Le deviazioni tipo associate ai valori medi sono riportate tra parentesi; i valori medi che rispettano i relativi valori di riferimento sono indicati in grassetto.

	Parametri acustici		
	$T_{30,0,25-2\text{kHz}}$ [s]	$EDT_{0,5-1\text{kHz}}$ [s]	$C50_{0,5-1\text{kHz}}$ [dB]
AO	1,4 (0,1)	1,4 (0,1)	-1,1 (2,3)
PO	<b>0,4 (0,0)</b>	<b>0,3 (0,1)</b>	<b>10,6 (3,2)</b>
Ottimali	0,5 [10]	0,3-0,7 [12]	> 2 [10]

#### 3.2 Misure di intelligibilità

##### 3.2.1 Speech Recognition Threshold (SRT)

La Figura 1 riporta le differenze di SRT80 calcolate tra la condizione PO e quella AO. In tutti i casi considerati, in termini di diverse configurazioni spaziali tra parlatore-ricevitore-rumore, si ha un  $\Delta\text{SRT80}$  sempre superiore a 8,0 dB SNR. In particolare, nel caso di posizionamento avvantaggiato della sorgente di rumore rispetto alle orecchie del ricevitore, cioè nella posizione separata a  $120^\circ$ , il  $\Delta\text{SRT80}$  aumenta ulteriormente fino a 14,0 dB SNR e 10,0 dB SNR quando M dista da R di 1,0 m e 2,5 m, rispettivamente. I risultati sono coerenti con [6-7], riportando la riduzione dell'intelligibilità dovuta alla riverberazione. I miglioramenti di intelligibilità in PO sono supportati dai risultati monoaurali, sempre ottimali a differenza dell'AO.

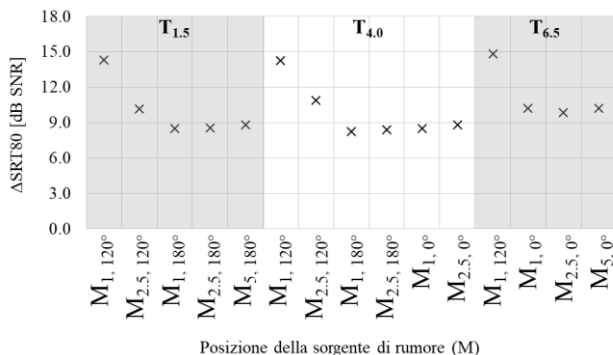


Figura 1 - Differenza tra SRT80 ante-operam (AO) e post-operam (PO) in corrispondenza dei ricevitori posizionati a 1,5 m, 4,0 m e 6,5 m dalla sorgente parlatore (target, T) e in funzione della posizione della sorgente di rumore (masker, M) a diverse distanze e azimut.

##### 3.2.2 Spatial Release from Masking (SRM)

La letteratura indica valori di SRM fino a 12 dB, ma si tratta di riferimenti che considerano il solo effetto della direzione di provenienza di M. Questo studio, invece, è stato svolto in ambienti reali considerando la combinazione dell'effetto di rumore e riverberazione sull'intelligibilità del parlato. Per questo i valori

massimi di SRM, mediamente 6,0 dB, possono essere considerati significativi. Senza dubbio sono necessari ulteriori studi in futuro che considerino proprio condizioni acustiche di vita reale.

Altre considerazioni riguardano l'aspetto che la SRM calcolata nelle possibili configurazioni parlatore-ricevitore-rumore risulta essere maggiore sempre nel caso di PO. Inoltre, a parità di distanza tra T e R, e tra M e R, spostare M da  $180^\circ$  a  $120^\circ$  risulta apportare una SRM maggiore che spostare M da  $0^\circ$  a  $120^\circ$ .

Tabella 2 - Beneficio spaziale (SRM) per lo spostamento della sorgente di rumore da una posizione co-locata ( $180^\circ$  o  $0^\circ$ ) ad una separata ( $120^\circ$ ) in ante-operam (AO) o post-operam (PO).

Distanza del ricevitore dalla sorgente parlatore	Distanza della sorgente di rumore dal ricevitore	Beneficio spaziale		
		Sorgente di rumore	SRM	
			AO	PO
R1 – 1,5 m	1,0 m	da $180^\circ$ a $120^\circ$	1,5 dB	7,3 dB
	2,5 m	da $180^\circ$ a $120^\circ$	1,2 dB	2,8 dB
R2 – 4,0 m	1,0 m	da $180^\circ$ a $120^\circ$	0,6 dB	6,6 dB
	1,0 m	da $0^\circ$ a $120^\circ$	-0,4 dB	5,3 dB
	2,5 m	da $180^\circ$ a $120^\circ$	0,9 dB	3,3 dB
	2,5 m	da $0^\circ$ a $120^\circ$	0,3 dB	2,3 dB
R3 – 6,5 m	1,0 m	da $0^\circ$ a $120^\circ$	0,0 dB	4,6 dB

### 4. Conclusioni

Questo lavoro ha indagato l'effetto dell'acustica sull'intelligibilità, in termini di Speech Recognition Threshold (SRT), combinata al rumore proveniente da diversi azimut. Le SRT sono state ottenute con il Binaural Speech Intelligibility Model (BSIM), e le principali conclusioni sono: (i) le SRT sono più basse (migliori) nell'aula con il trattamento acustico, (ii) la bassa riverberazione dell'aula trattata garantisce un maggiore supporto spaziale (in termini di Spatial Release from Masking) perché una quota ridotta di riflessioni in ambiente permette all'ascoltatore di beneficiare delle differenze interaurali che stanno alla base dell'abilità di discriminare un target da un rumore.

### 5. Bibliografia

- [1] IEC 60268-16:2011, *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*
- [2] Astolfi A., Bottalico P., Barbato G., *Subjective and objective speech intelligibility investigations in primary school classrooms*, J. Acoust. Soc. Am. **131**(1) (2012), pp 247-57
- [3] Visentin C., Prodi N., Cappelletti F., Torresin S., Gasparella A., *Using listening effort assessment in the acoustical design of rooms for speech*, Build. Environ. **136** (2018), pp. 38-53
- [4] Puglisi G.E., Prato A., Sacco T., Astolfi A., *Influence of classroom acoustics on the reading speed: A case study on Italian second-graders*, J. Acoust. Soc. Am. **144**(2) (2018), pp. EL144-149
- [5] Bronkhorst A.W., *The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions*, Acta Acustica United with Acustica **86** (2000), pp. 117-128
- [6] Warzybok A., Rennies J., Brand T., Doclo S., Kollmeier B., *Effects of spatial and temporal integration of a single early reflection on speech intelligibility*, J. Acoust. Soc. Am. **133**(1) (2013), pp. 269-282
- [7] Rennies J., Brand T., Kollmeier B., *Prediction of the influence of reverberation on binaural speech intelligibility in noise and in quiet*, J. Acoust. Soc. Am. **130**(5) (2011), pp. 2999-3012
- [8] Beutelmann R., Brand T., Kollmeier B., *Revision, extension, and evaluation of a binaural speech intelligibility model*, J. Acoust. Soc. Am. **127**(4) (2010), pp. 2479-2497
- [9] EN ISO 3382-2:2008, *Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*
- [10] UNI 11532-2:2020, *Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico*
- [11] Westermann A., Buchholz J.M., *The effect of spatial separation in distance on the intelligibility speech in rooms*, J. Ac. Soc. Am. **137**(2) (2015), 757-767
- [12] Bradley J.S., *Review of objective room acoustics measures and future needs*, Appl. Acoust. **72**(10) (2011), pp. 713-720