POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

UN PROTOCOLLO PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE DI PRIMA ELEMENTARE

Original
UN PROTOCOLLO PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE DI PRIMA ELEMENTARE / Astolfi, A., Minelli, G., Puglisi, G.E.. - ELETTRONICO. - (2022). (48° Convegno Nazionale AIA Matera 25-27 maggio 2022).

Availability:
This version is available at: 11583/2971587 since: 2022-09-21T18:55:47Z

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)

14 October 2026

Associazione Italiana di Acustica
48 Convegno Nazionale
Matera, 25-27 maggio 2022

UN PROTOCOLLO PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE DI PRIMA ELEMENTARE

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

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

SOMMARIO

Per promuovere una rapida ed efficace caratterizzazione, oltre che un'adeguata progettazione, dell'acustica dell'aula, questo studio fornisce un protocollo di misura essenziale, basato su un numero minimo di parametri e di posizioni. Le analisi condotte sui risultati delle misure acustiche di 29 aule suggeriscono l'utilizzo di parametri più convenienti, come la chiarezza nella posizione centrale dell'aula, rispetto al tempo di riverbero, che implica una procedura di misurazione più laboriosa.

1. Introduzione

Il presente lavoro si è occupato di identificare i parametri essenziali ed loro valori ottimali necessari per caratterizzare in modo rapido ed efficace la qualità acustica di aule di scuola primaria con forma parallelepipeda e con volumi compresi tra 100 e 290 m^3. Sulla base della consapevolezza che molti degli indici disponibili e dei parametri utilizzati per la caratterizzazione acustica dell'aula sono strettamente correlati, lo studio propone un una semplificazione dei protocolli di misura in modo da risparmiare tempo e consentire ampie campagne sperimentali per certificare un numero maggiore di aule. A tal fine, sono state considerate 29 aule di scuola primaria, eterogenee in tipologie edilizie e condizioni acustiche. Questo lavoro ha ampliato il database usato in Astolfi *et al.* (2019) [1], dove è stato applicato lo stesso protocollo.

2. Materiali e metodi

Le misure sono state effettuate in 29 aule di prima elementare appartenenti a 13 scuole di Torino, coinvolgendo circa 550 alunni di età compresa tra i 6 e i 7 anni.

2.1 Caratterizzazione dell'acustica delle aule

I dettagli delle misurazioni, della configurazione e dell'attrezzatura utilizzata sono pubblicati in Astolfi *et al.* (2019) [1]. I parametri misurati sono: T20, che è il tempo di riverbero con bambini in classe; $T20_{_e}$, che si riferisce alle condizioni di aula non occupata; L_{N_sil}, che è il rumore acquisito con gli studenti in silenzio, e L_{N_gr}, che è il rumore acquisito mentre gli studenti svolgono attività di gruppo. Inoltre è stato registrato il livello del parlato a 1 m dalla sorgente, L_{S_ref}, e poi in altre posizioni, ed è stata valutata la sua pendenza al raddoppio della distanza lungo l'asse principale, mL_S; la chiarezza del parlato ed il rapporto utile/dannoso riferiti alle distribuzioni medie in classe sono stati etichettati con il pedice "M", es. $C50_{_M}$ e $U50_{_M}$, mentre quelli riferiti a singoli valori al centro dell'aula, sono stati etichettati con il pedice "ctr" , ad esempio, $C50_{_ctr}$ e $U50_{_ctr}$.

2.2 Analisi statistiche

Le analisi statistiche sono state effettuate con SPSS (IBM Statistics 20, IBM, Armonk, NY, the USA). Le analisi hanno riguardato:

- la determinazione del tipo di distribuzione (non-normale) del database e la conseguente applicazione di metodi non-parametrici;
- l'identificazione delle correlazioni per ranghi di Spearman [2] con un p-value < 0.01 per successive analisi di regressione lineare;
- la suddivisione delle classi in due gruppi, a partire da un valore di riferimento T20 scelto arbitrariamente tra quelli individuati come soglie per valutare la conformità o non conformità delle condizioni acustiche dell'aula alla letteratura o agli standard considerati; le aule sono state suddivise in due gruppi per due volte, cioè assumendo valori di cut-off T20 arbitrari rispettivamente di 0,8 s (a) e di 0,6 s (b);
- l'identificazione delle differenze significative, ovvero con un p-value < 0.05, tra i valori dei parametri tra i due gruppi attraverso il Test U di Mann-Whitney;
- il ricorso all'approccio Receiver Operating Characteristic (ROC) per (i) valutare l'accuratezza di ogni parametro nel classificare i casi tra i gruppi di aule conformi (C) o non conformi (NC) in base al valore di riferimento T20, (ii) identificare i valori soglia più appropriati per ogni parametro sulla base della distanza minima al quadrato [3], (iii) testare l'accuratezza e la precisione delle soglie identificate nel classificare le classi come C o NC [4]. Per l'esecuzione di queste analisi, i valori dei parametri sono stati indicati come Vero Positivo (TP), Vero Negativo (TN), Falso Positivo (FP), Falso Negativo (FN).

3. Risultati

La tabella 1 mostra i risultati delle misure acustiche nelle aule. I parametri acustici misurati coprono un ampio intervallo di valori e rappresentano la maggior parte delle tipologie di ambiente scolastici [5].

3.1 Relazioni tra i parametri acustici

Le correlazioni e le analisi di regressione confermano i risultati già riscontrati in Astolfi *et al.* (2019) [1]. In particolare, si ipotizza che l'acustica in classe può essere completamente caratterizzata da una singola misura, ad esempio T20 o $C50_{_ctr}$, poiché è possibile stimare gli altri parametri attraverso equazioni

Associazione Italiana di Acustica, 2022
ISBN: 978-88-88942-62-9

CC BY

robuste. $C50_{ctr}$ può essere considerata una delle grandezze più efficaci per le misurazioni all'interno di un'aula per studiare l'acustica dell'aula. È preferibile a T20 e U50, per la sua procedura di misurazione più semplice.

La stretta relazione tra T20 e $T20_e$ emersa dalle analisi di regressione suggerisce che per un'indagine sperimentale sia necessaria solo la condizione di aula non occupata.

3.2 Aule conformi e non conformi

La Tabella 2 mostra, in grassetto, le soglie dei parametri che possono essere utilizzati alternativamente per caratterizzare l'acustica dell'aula, per prestazioni moderate o severe. Nel caso di requisiti moderati, come per la ristrutturazione di aule esistenti o nel caso di alunni più grandi [6], nonché nel caso di requisiti specifici per il supporto vocale [7] dove è richiesto un tempo di riverbero leggermente superiore a 0,6 s, sono preferibili le soglie (a). In questo caso i parametri che è preferibile utilizzare in alternativa per la caratterizzazione acustica dell'aula sono T20, $T20_e$, $C50_M$, $C50_{ctr}$ e $U50_M$. Nel caso di un requisito di prestazione severo, si consigliano le soglie (b). T20, $C50_M$ e $C50_{ctr}$ risultano essere i parametri più accurati e precisi per un uso alternativo per caratterizzare pienamente l'acustica delle aule sia per requisiti moderati che severi.

Tabella 1 - Parametri acustici misurati per ogni aula. Le deviazioni standard sono indicate tra parentesi, quando disponibili; n.a. sta per non disponibile. Viene inoltre indicato se le aule appartengono al gruppo C, oppure al gruppo NC, nel caso dei raggruppamenti (a) e (b). I valori che non rispettano la soglia, ovvero Falso Positivo (FP) e Falso Negativo (FN), in base ai diversi gruppi, sono evidenziati in grassetto quando si considera (a), in corsivo quando si considera (b) e in corsivo grassetto se il valore non è conforme alle suddivisioni (a) o (b).

	Parametri acustici										Raggrupp.	
ID	T20 [s]	$T20_e$ [s]	L_{N_sil} [dBA]	L_{N_gr} [dBA]	L_{s_ref} [dBA]	mL_S [dBA/dd]	$C50_M$ [dB]	$C50_{ctr}$ [dB]	$U50_M$ [dB]	$U50_{ctr}$ [dB]	T20≤ 0.8 s (a)	T20≤ 0.6 s (b)
A1	0,9 (0,02)	***0,9*** (0,04)	51,7	n,a,	61,3	-1,9	1,3 (1,2)	1,0	-1,2 (1,0)	-1,1	NC	NC
A2	1,0 (0,06)	***0,8*** (0,06)	49,0	**64,7**	61,2	-2,4	2,2 (1,8)	0,0	0,2 (1,1)	-1,3	NC	NC
A3	0,8 (0,06)	*0,8* (0,05)	38,4	61,8	60,3	-2,0	4,1 (0,9)	5,1	3,8 (0,9)	4,8	C	NC
A4	0,7 (0,03)	*0,7* (0,06)	47,1	**69,2**	61,3	-1,6	4,7 (1,4)	4,4	3,4 (1,4)	3,4	C	NC
A5	0,7 (0,04)	*0,8* (0,06)	46,3	**78,4**	61,0	-2,3	*5,4* (0,4)	4,8	3,9 (0,6)	3,5	C	NC
B1	0,5 (0,01)	0,6 (0,07)	49,3	66,3	60,8	-2,1	7,6 (1,5)	7,3	4,0 (1,9)	2,9	C	C
B2	0,5 (0,09)	0,5 (0,02)	39,9	66,3	61,7	-2,6	7,0 (1,0)	8,1	6,5 (0,9)	7,3	C	C
C1	0,7 (0,03)	*0,9* (0,03)	49,3	62,2	62,8	-1,6	3,3 (0,8)	2,8	2,2 (0,6)	1,9	C	NC
D1	1,3 (0,05)	1,4 (0,06)	51,2	68,0	63,0	-1,8	-0,1 (0,6)	-0,6	-1,6 (0,8)	-2,1	NC	NC
D2	1,3 (0,10)	1,4 (0,01)	52,0	n,a,	62,7	-2,1	-0,1 (1,0)	0,0	-1,6 (1,3)	-1,6	NC	NC
E1	1,2 (0,06)	1,3 (0,06)	54,0	**66,6**	62,1	-1,4	1,1 (0,9)	0,7	-1,2 (0,6)	-1,5	NC	NC
E2	1,0 (0,08)	1,0 (0,15)	54,3	73,7	61,5	-1,9	2,7 (1,0)	**3,8**	-0,9 (0,8)	0,0	NC	NC
F1	1,2 (0,03)	1,5 (0,01)	52,0	75,1	62,1	-1,7	-0,3 (1,8)	1,1	-2,2 (1,6)	-0,9	NC	NC
F2	1,4 (0,13)	1,7 (0,03)	52,0	73,8	62,9	-1,8	-0,1 (1,2)	-1,1	-1,8 (1,3)	-2,7	NC	NC
G1	0,9 (0,05)	1,2 (0,07)	51,5	72,2	62,3	-2,1	2,6 (1,0)	**3,3**	0,9 (0,9)	**1,3**	NC	NC
G2	0,6 (0,01)	0,9 (0,01)	51,9	65,3	60,7	-0,8	2,9 (0,9)	3,3	0,8 (0,6)	1,4	C	C
G3	0,7 (0,05)	*0,8* (0,04)	52,5	63,5	n,a,	0,0	4,4 (0,3)	4,7	n,a,	n,a,	C	NC
H1	0,7 (0,03)	*0,8* (0,03)	51,6	**71,9**	61,5	-1,1	3,6 (0,2)	3,9	1,5 (0,1)	1,4	C	NC
H2	0,6 (0,08)	0,9 (0,04)	55,9	**68,1**	62,4	-2,2	5,3 (0,3)	5,9	**-0,7** (0,5)	**-1,0**	C	C
H3	0,7 (0,04)	**1,0** (0,19)	45,5	63,9	62,9	-1,8	3,8 (0,3)	3,8	3,2 (0,5)	3,0	C	NC
H4	0,7 (0,03)	*0,8* (0,04)	53,1	65,5	62,9	-2,1	4,1 (0,6)	3,6	0,7 (0,6)	**-0,1**	C	NC
I1	1,3 (0,10)	1,3 (0,07)	45,7	**59,9**	61,9	-1,6	-2,2 (0,2)	-1,1	-1,7 (0,3)	-2,6	NC	NC
I2	1,1 (0,03)	1,3 (0,03)	42,3	71,1	63,3	-2,3	0,0 (0,9)	-0,3	-0,2 (0,9)	-0,5	NC	NC
L1	0,9 (0,05)	n,a,	47,9	67,4	61,1	-1,9	1,6 (1,0)	1,0	0,3 (1,1)	0,0	NC	NC
L2	1,0 (0,04)	1,2 (0,02)	46,0	71,6	62,0	-2,2	0,5 (2,0)	0,6	-0,2 (2,1)	-0,1	NC	NC
L3	1,0 (0,05)	1,3 (0,04)	43,0	81,3	62,6	-2,3	0,8 (0,7)	0,7	0,5 (0,7)	0,3	NC	NC
M1	0,9 (0,04)	1,1 (0,06)	52,0	81,9	63,0	-1,7	2,1 (1,3)	2,3	0,4 (0,9)	0,5	NC	NC
N1	1,1 (0,05)	1,1 (0,04)	54,3	76,1	63,9	-1,4	1,4 (0,7)	0,9	-1,0 (1,0)	-1,4	NC	NC
O1	1,0 (0,04)	1,1 (0,04)	49,6	76,7	62,3	-1,9	2,3 (1,1)	2,4	0,5 (0,7)	**0,7**	NC	NC

Tabella 2 - Area sotto la curva (AUC), soglie identificate attraverso la distanza minima al quadrato dalla curva ROC e la loro accuratezza e precisione per i raggruppamenti (a) e (b). In grassetto sono riportati i dati dei parametri che possono essere utilizzati alternativamente per caratterizzare l'acustica dell'aula, a seconda dei diversi livelli di prestazione richiesti in aula.

Raggrupp.		$T20_e$ [s]	L_{N_gr} [dBA]	$C50_M$ [dB]	$C50_{ctr}$ [dB]	$U50_M$ [dB]	$U50_{ctr}$ [dB]
(a) T20≤0,8 s	AUC	**0,95**	0,77	**1,00**	**0,98**	**0.95**	0.90
	Threshold for C classrooms	**≤0,9**	≤67	**≥3**	**≥3**	**≥1**	≥1
	Accuracy	**89%** **(25/28)**	74% (20/27)	**100 %** **(29/29)**	**93%** **(27/29)**	**100%** **(28/28)**	86% (24/28)
	Precision	**92%** **(11/12)**	67% (8/12)	**100 %** **(12/12)**	**100%** **(12/12)**	**100%** **(11/11)**	82% (9/11)
(b) T20≤0,6 s	AUC	0,85		**0,91**	**0,92**		
	Threshold for C classrooms	≤0,9	n.a.	**≥5**	**≥6**	n.a.	n.a.
	Accuracy	68% (19/28)		**93%** **(27/29)**	**100%** **(29/29)**		
	Precision	100% (4/4)		**75%** **(3/4)**	**100%** **(4/4)**		

4. Conclusioni

I risultati ottenuti mostrano che la maggior parte dei parametri solitamente considerati sono strettamente correlati. T20, $C50_{ctr}$ o $C50_M$ possono essere tutti utilizzati come parametri più rappresentativi per caratterizzare l'acustica della classe. Da loro è possibile stimare U50, che è il parametro più strettamente correlato all'intelligibilità del parlato. Per ridurre al minimo i punti di misura si consiglia di caratterizzare prima le aule tramite $C50_{ctr}$. Inoltre, per rendere più rapido il procedimento, è sufficiente misurare T20 in condizioni non occupate.

Per i requisiti moderati, per gli alunni più grandi e per la ristrutturazione, e severi, per gli alunni più giovani e per nuove scuole, sono previste nuove soglie per i parametri acustici delle aule che discriminano la qualità acustica delle aule della scuola primaria tra conforme e non conforme. Per requisiti moderati le soglie sono 0,8 s per T20, 0,9 s per $T20_e$, 67 dB(A) per L_{N_gr}, 3 dB per $C50_M$ e $C50_{ctr}$, 1 dB per $U50_M$ e $U50_{ctr}$. Per requisiti severi le soglie sono 0,6 s per T20, 0,9 s per $T20_e$, 5 dB per $C50_M$ e 6 dB per $C50_{ctr}$. Tuttavia, le nuove soglie non intendono essere definitive poiché non si basano su studi che mettono alla prova le prestazioni o la percezione soggettiva degli alunni.

5. Bibliografia

[1] Astolfi A., Puglisi G. E., Murgia S., Minelli G., Pellerey F., Prato A., and Sacco T. (2019), The influence of classroom acoustics on noise disturbance and well-being for first graders, Frontiers in Psychology 10, 1-20.

[2] Croux C., and Dehon C. (2010), Influence functions of the Spearman and Kendall correlation measures, Journal of the Italian Statistical Society, 19, 2010-40.

[3] Hajian-Tilaki K. (2018), The choice of methods in determining the optimal cut-off value for quantitative diagnostic test evaluation, Stat. Methods Med. Res. 27 (8), 2374–2383.

[4] Zou H.K., O'Malley A.J., Mauri L. (2007), Receiver-Operating Characteristic Analysis for Evaluating Diagnostic Tests and Predictive Models, Circulation 115(5), 654-657, 2007.

[5] Secchi S., Astolfi A., Calosso G., Casini D., Cellai G., Scamoni F., Scrosati C., and Shtrepi L. (2017), Effect of outdoor noise and façade sound insulation on indoor acoustic environment of Italian schools, Applied Acoustics, 126, 120-130.

[6] Building Bulletin 93 (2015), Acoustic design of schools: performance standards, Department for Education, London.

[7] Calosso G., Puglisi G. E., Astolfi A., Castellana A., Carullo A., and Pellerey F. (2017), A one-school year longitudinal study of secondary school teachers' voice parameters and the influence of classroom acoustics. J. Acoust. Soc. Am., 142(2), 1055-1066.