

Verifica di un modello per la previsione dei livelli di rumore all'interno delle mense scolastiche

Sepulcri D., Remigi F.

Arpa Veneto, via Lissa 6, 174 Venezia Mestre (VE) dsepulcri@arpa.veneto.it

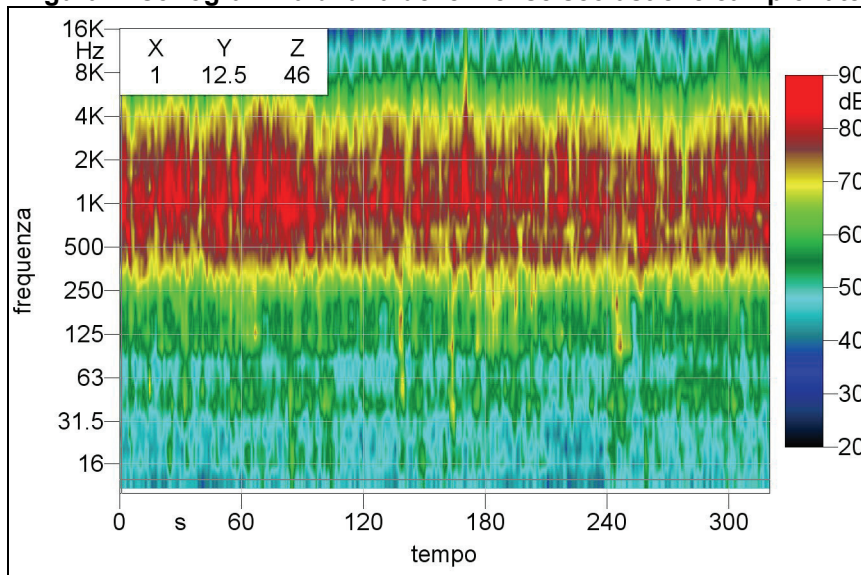
RIASSUNTO

Il problema delle condizioni acustiche all'interno degli edifici scolastici è oggetto di numerosi studi. Molti di questi riguardano gli effetti dell'esposizione sui bambini e l'influenza sulle capacità di apprendimento. Nelle sale mensa in particolare il rumore raggiunge soglie molto elevate e spesso gli ambienti non risultano acusticamente adeguati. Su incarico della Regione Veneto è stata eseguita una campagna di monitoraggio dei parametri acustici nelle scuole del territorio regionale. Nel corso di tale campagna, svoltasi da dicembre 2010 a maggio 2011 è stato possibile caratterizzare 15 mense scolastiche presenti in 10 scuole primarie statali scelte nel territorio comunale di Venezia. I risultati delle misure sono stati poi confrontati con quelli ottenuti applicando il modello di propagazione di Lazarus per "ambienti particolarmente affollati" cercando di attribuire un valore tipo ai parametri c e g.

METODI E MISURE

Le mense oggetto della campagna di monitoraggio hanno volumi compresi tra 150 e i 1500 m³. Le piante degli ambienti sono di forma regolare e le superfici al loro interno risultano essere particolarmente lisce e compatte anche per una questione legata all'igiene. La qualità acustica delle mense campionate è stata analizzata sulla base di misurazioni del *tempo di riverbero* e del *livello di pressione sonora*. La campagna di monitoraggio acustico ha messo in luce come ci si aspettava una situazione critica. I tempi di riverbero misurati all'interno delle mense vuote così come i valori di pressione sonora misurati mentre le mense erano al completo e in piena attività sono risultati molto elevati. Il monitoraggio fonometrico è stato effettuato con un microfono posizionato al centro delle sale, a 1,5 m di altezza dal pavimento. Facendo riferimento al descrittore acustico LA_{eq} , il rumore prodotto all'interno degli ambienti, relativo a misurazioni dai 5 ai 15 minuti di durata effettuate a mensa piena, varia dai 70,1 agli 88,1 dB(A).

Figura 1- sonogramma di una delle mense scolastiche campionate



In ascissa viene riportato il tempo espresso in secondi e in ordinata le frequenze dai 16Hz ai 16 KHz e l'intensità sonora è espressa in dB

IL MODELLO DI LAZARUS

Per la previsione dei livelli di rumore all'interno delle mense si è adottato il modello per "ambienti affollati" proposto da Lazarus [1] e sviluppato poi da altri tecnici quali Pimentel, Hodgson e Rindel.

Il modello utilizzato tiene conto dell' *effetto Lombard*, effetto per il quale uno speaker adatta l'intensità della propria voce inversamente a come detta intensità è percepita dal suo stesso udito. In presenza di un livello di rumore ambientale L_{NA} superiore a 45 dB uno speaker normo udente solitamente aumenta l'intensità della sua voce da 3 a 6 dB per ogni incremento di 10 dB del rumore mascherante il messaggio verbale [2]. Supponendo una relazione lineare per livelli di rumore ambientale superiori a 45 dB, il livello del discorso può essere espresso dalla formula seguente:

$$(1) L_{SA,1m} = 55 + c \cdot (L_{NA} - 45) \quad [dB]$$

Nella relazione (1) c è il parametro descrittore dell'*effetto Lombard*.

In ipotesi di campo diffuso la relazione tra il livello di potenza sonora L_{WA} e livello di pressione sonora L_{SA} ad una distanza r può essere espresso dalla formula seguente:

$$(2) L_{SA}, r = L_{WA} + 10 \log(Q) - 10 \log(4\pi r^2) \quad [dB]$$

Dove Q è il fattore di direttività e r la distanza in metri dalla sorgente emissiva. Assumendo un valore di Q pari a 2 e riferendo il livello di pressione sonora alla distanza di 1 m il livello di potenza sonora di uno speaker si può scrivere:

$$(3) L_{WA} = L_{SA,1m} + 8 \quad [dB]$$

Nell' ipotesi di N_s sorgenti di rumore attive nello stesso momento il livello medio di pressione sonora nell'ambiente può essere espresso nel seguente modo:

$$(4) L_{NA} = L_{WA} + 10 \log N_s - 10 \log\left(\frac{A}{4}\right) \quad [dB]$$

Dove N_s è il numero di sorgenti attive L_{WA} la potenza sonora di ciascuna di esse e A l'area di assorbimento equivalente dell'ambiente espresso in m^2 . Si arriva quindi alla seguente espressione:

$$(5) L_{NA} = \frac{1}{1-c} \left(69 - c \cdot 45 - 10 \log \left(g \cdot \left(\frac{0.16 \cdot V}{T_0 \cdot N} + A_p \right) \right) \right) \quad [dB]$$

Dove il rapporto tra il numero di persone e il numero di persone che parlano è espresso dal termine $g = \frac{N}{N_s}$ e il termine A_p rappresenta il coefficiente di assorbimento per persona. [7]

L'equazione (5) è il modello di previsione proposto per il calcolo del rumore che può essere generato all'interno di una mensa, i principali parametri d'ingresso risultano essere: il *volume dell'ambiente*, il *tempo di riverbero* e il *numero di persone* all'interno dell'ambiente, i parametri c e g giocano un ruolo fondamentale.

VERIFICA DEL MODELLO

Per il calcolo A_p è stato posto pari a 0,3 come da letteratura [3] [5] [10], il parametro c è stato fatto variare da 0,4 a 0,7 e il parametro g da 2 a 4 [6]. Nelle tabelle sottostanti si riportano le differenze tra il livello continuo sonoro misurato all'interno degli ambienti e i valori stimati con il modello di calcolo. Si può osservare che tali differenze risultano minime in due casi, ovvero per valori di c pari a 0,4 e valori di g pari a 2 e per valori di c pari a 0,5 e valori di g pari a 4.

Assegnare valori di g pari a 4 vorrebbe dire che all'interno dell'ambiente parla 1 bambino su quattro, ciò non appare però verosimile, la scelta più coerente risulta quella che assegna valori di c pari a 0,4 e valori di g pari a 2.

Tabella 1 – Differenze tra i valori misurati e calcolati al variare dei parametri c e g

	G	G
--	---	---

Caso 1		2	2,5	3	3,5	4	Caso 2		2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	-3,5	-4,8	-6,0	-6,9	-7,8	C	0,3	-6,4	-7,8	-8,9	-9,9	-10,7
	0,4	2,7	1,1	-0,2	-1,4	-2,3		0,4	-1,2	-2,8	-4,1	-5,2	-6,2
	0,5	11,3	9,4	7,8	6,4	5,3		0,5	6,2	4,2	2,6	1,3	0,1
	0,6	24,2	21,8	19,8	18,1	16,7		0,6	17,2	14,8	12,8	11,1	9,6
	0,7	45,7	42,5	39,8	37,6	35,6		0,7	35,5	32,3	29,7	27,4	25,5

Caso 3		G					Caso 4		G				
		2	2,5	3	3,5	4			2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	-5,3	-6,7	-7,8	-8,8	-9,6	C	0,3	-5,6	-7,0	-8,2	-9,1	-9,9
	0,4	0,0	-1,7	-3,0	-4,1	-5,1		0,4	-0,1	-1,7	-3,1	-4,2	-5,1
	0,5	7,3	5,4	3,8	2,4	1,3		0,5	7,6	5,6	4,1	2,7	1,6
	0,6	7,3	5,4	3,8	2,4	1,3		0,6	19,2	16,7	14,8	13,1	11,6
	0,7	36,7	33,5	30,8	28,6	26,7		0,7	19,2	16,7	14,8	13,1	11,6

Caso 5		G					Caso 6		G				
		2	2,5	3	3,5	4			2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	-6,3	-7,7	-8,8	-9,7	-10,6	C	0,3	-6,6	-8,0	-9,1	-10,1	-10,9
	0,4	-0,6	-2,2	-3,5	-4,6	-5,6		0,4	-0,9	-2,5	-3,9	-5,0	-5,9
	0,5	7,4	5,5	3,9	2,6	1,4		0,5	7,0	5,1	3,5	2,2	1,0
	0,6	19,4	17,0	15,0	13,3	11,9		0,6	19,0	16,5	14,5	12,9	11,4
	0,7	39,4	36,1	33,5	31,3	29,3		0,7	38,8	35,6	33,0	30,7	28,8

Caso 7		G					Caso 8		G				
		2	2,5	3	3,5	4			2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	-4,7	-6,1	-7,2	-8,2	-9,0	C	0,3	-3,9	-5,2	-6,4	-7,3	-8,2
	0,4	0,3	-1,3	-2,6	-3,7	-4,7		0,4	1,4	-0,2	-1,5	-2,6	-3,6
	0,5	7,4	5,5	3,9	2,6	1,4		0,5	8,8	6,8	5,2	3,9	2,7
	0,6	18,0	15,6	13,6	11,9	10,5		0,6	19,8	17,4	15,4	13,7	12,3
	0,7	35,7	32,5	29,8	27,6	25,7		0,7	38,2	35,0	32,3	30,1	28,2

Caso 9		G					Caso 10		G				
		2	2,5	3	3,5	4			2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	-2,1	-3,5	-4,6	-5,6	-6,4	C	0,3	-7,3	-8,7	-9,8	-10,7	-11,6
	0,4	2,9	1,3	0,0	-1,1	-2,1		0,4	-1,9	-3,5	-4,8	-6,0	-6,9
	0,5	10,0	8,0	6,5	5,1	4,0		0,5	5,6	3,6	2,1	0,7	-0,4
	0,6	20,5	18,1	16,1	14,5	13,0		0,6	16,8	14,4	12,4	10,8	9,3
	0,7	38,2	34,9	32,3	30,1	28,1		0,7	35,6	32,3	29,7	27,5	25,5

	G						G				
--	---	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--

Caso 11		2	2,5	3	3,5	4	Caso 12		2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	-7,4	-8,8	-10,0	-10,9	-11,7	C	0,3	-7,6	-9,0	-10,1	-11,1	-11,9
	0,4	-1,5	-3,1	-4,5	-5,6	-6,5		0,4	-1,7	-3,3	-4,7	-5,8	-6,7
	0,5	6,8	4,8	3,3	1,9	0,8		0,5	6,6	4,6	3,0	1,7	0,5
	0,6	19,2	16,8	14,8	13,1	11,7		0,6	19,0	16,6	14,6	12,9	11,5
	0,7	40,0	36,7	34,1	31,9	29,9		0,7	39,7	36,4	33,8	31,6	29,6

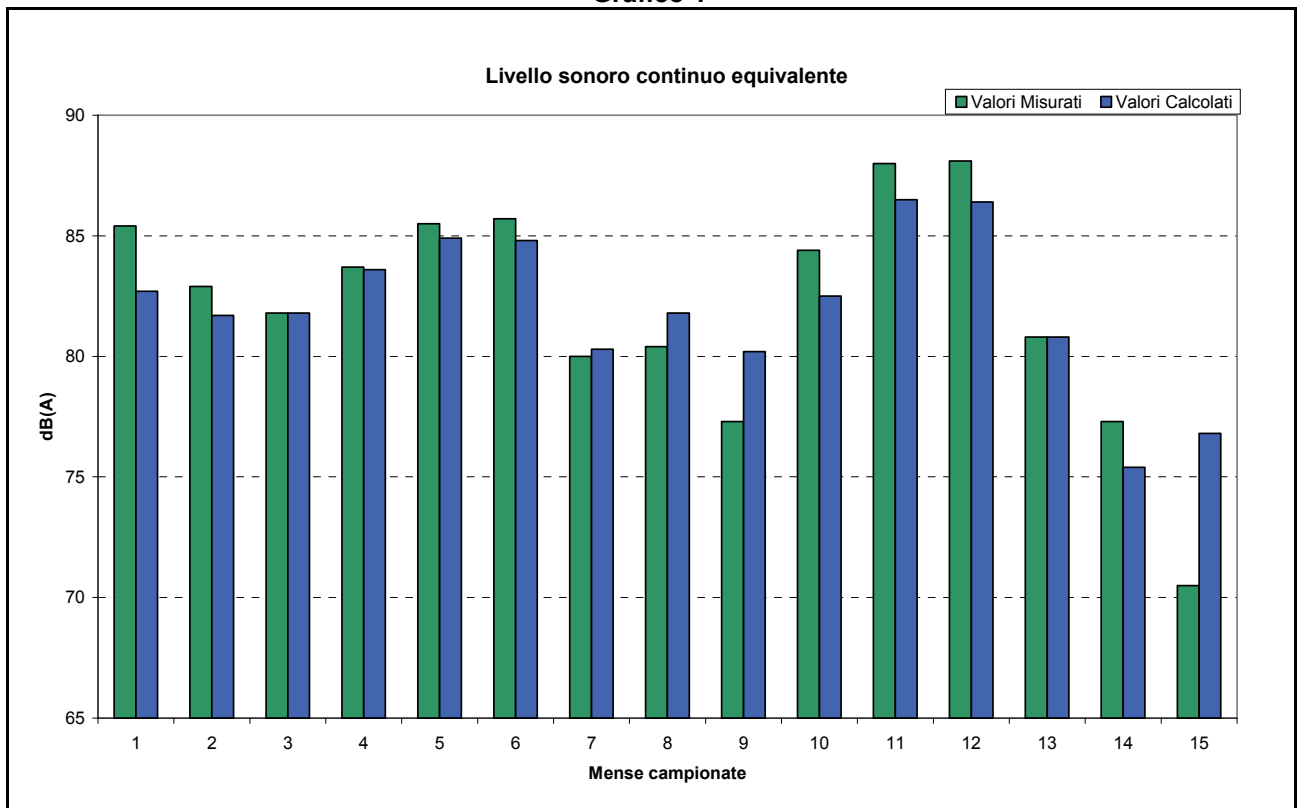
Caso 13		G					Caso 14		G				
		2	2,5	3	3,5	4			2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	-5,1	-6,5	-7,6	-8,5	-9,4	C	0,3	-3,0	-4,3	-5,5	-6,4	-7,3
	0,4	0,0	-1,6	-2,9	-4,0	-5,0		0,4	1,9	0,3	-1,0	-2,1	-3,1
	0,5	7,2	5,3	3,7	2,4	1,2		0,5	8,8	6,8	5,2	3,9	2,7
	0,6	18,0	15,5	13,6	11,9	10,4		0,6	19,0	16,6	14,6	13,0	11,5
	0,7	35,9	32,7	30,0	27,8	25,9		0,7	36,2	32,9	30,3	28,0	26,1

Caso 13		G				
		2	2,5	3	3,5	4
C	0,3	1,7	0,4	-0,8	-1,7	-2,6
	0,4	6,3	4,7	3,3	2,2	1,3
	0,5	12,6	10,7	9,1	7,8	6,6
	0,6	22,2	19,8	17,8	16,1	14,6
	0,7	38,1	34,8	32,2	30,0	28,0

Tabella 2 - Somma dei quadrati delle differenze tra valori misurati e calcolati

	G				
C	2	2,5	3	3,5	4
0,3	2,3	3,7	5,1	6,3	7,3
0,4	2,1	2,3	3,0	3,9	4,7
0,5	7,7	6,0	4,6	3,5	2,6
0,6	18,2	15,9	14,1	12,5	11,2
0,7	35,8	32,8	30,3	28,2	26,4

Grafico 1



Differenze tra il livello sonoro continuo equivalente misurato all'interno delle mense e il valore calcolato applicando il modello di *Lazarus* ($c=0,4$ $g=2$)

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hodgson M. Steiniger G. Razavi Z. Measurement and prediction of speech and noise levels and the Lombard effect in eating establishments. 2007 JASA 121: 2023–33.
- [2] Ispesi, *Manuale di buona pratica: Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro*. 16/12/2004
- [3] Kang J., *Numerical modelling of the speech intelligibility in dining spaces*. 2002 Applied Acoustic 63: 1315-1333.
- [4] Lazarus H. *Prediction of verbal communication in noise – a development of generalized SIL curves and the quality of communication (part 2)*. 1987 Applied Acoustic 20: 245–61.
- [5] Navarro M.P.N. Pimentel R.L. *Speech interference in food courts of shopping centres*. 2007 Applied Acoustics 68: 364-375.
- [6] Rindel J.H *Verbal communication and noise in eating establishments*. 2010, Applied Acoustic 71: 1156-1161.
- [7] Rindel J.H *Speech Levels in rooms*. 2009, Multiconsult Memo AKU 001.
- [8] Tang S.K. Chan D.W.T. Chan K.C. *Prediction of sound-pressure level in an occupied enclosure*. 1997 JASA 101, 2990-2993.
- [9] Trombetta Zannin P.H. Zanardo Zwirter D.P. *Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools*, 2009 Applied Acoustics 70: 626–635.
- [10] Viazzo C. *L'acustica delle mense scolastiche*, 2005 Tesi si Laurea Politecnico di Torino Facoltà di Architettura.