

Indagine fonometrica presso l'edificio scolastico *Scuola Primaria "Bruno Ciari"* di Chiugiana – Comune di Corciano (PG)

Rapporto Tecnico

Gennaio 2011



INDICE

1. Introduzione	3
2. Descrizione della zona in cui si trova l'edificio scolastico	4
3. Monitoraggio in ambiente esterno - descrizione del punto di misura	7
4. Metodologia di misura	8
5. Strumentazione di misura	8
6. Riferimenti normativi	9
7. Presentazione dei risultati	13
8. Misurazione del livello di rumore all'interno della mensa.	19
8. Misura del tempo di riverberazione	23
8. Indicazioni di massima per la correzione acustica della sala	27
9. Conclusioni	32

Gruppo di Lavoro

Redazione

Ing. Stefano Ortica
Ing. Nicola Sisti

Versione

Emissione

Visto

Dott.sa Giovanna Saltalamacchia

1. Introduzione

La scuola presso la quale è stata svolta la campagna di misure fonometriche è la Scuola Primaria "Bruno Ciari" di Chiugiana nel Comune di Corciano (fotografia 1).



Fotografia 1: Scuola Primaria Bruno Ciari – Chiugiana – Comune di Corciano (PG). Facciata su Via Montessori

La campagna fonometrica ha interessato sia l'ambiente esterno che quello interno: in ambiente esterno è stato condotto un monitoraggio acustico di quattro giorni in una postazione di misura prospiciente la facciata principale (fotografia 1); in ambiente interno sono state eseguite alcune misure nella sala mensa dove, durante l'ora di pranzo, sono presenti circa cento persone tra bambini ed insegnanti.

Il monitoraggio acustico in ambiente esterno ha avuto come obiettivo la caratterizzazione acustica del luogo per valutare la compatibilità dei livelli di rumore misurati con i rispettivi valori limite fissati dal Piano di Zonizzazione Acustica del Comune di Corciano.

In ambiente interno, nella sala mensa, sono state svolte due tipologie di misure:

- 1) rilievi fonometrici per stimare i livelli di rumore massimi che si raggiungono durante l'ora del pranzo quando nella sala sono presenti circa cento persone;

2) rilievi fonometrici per valutare il cosiddetto tempo di riverberazione della sala. Gli ambienti con un volume ampio ($> 200 \text{ m}^3$) e pareti spoglie determinano normalmente un'eccessiva riverberazione e un conseguente incremento dei livelli di rumore all'interno dell'ambiente stesso.

2. Descrizione della zona in cui si trova l'edificio scolastico

La scuola primaria "Bruno Ciari" si trova in Via Montessori in località Chiugiana, nel comune di Corciano, a nord del centro abitato di Ellera (fotografia 2).



Fotografia 2: Vista aerea del centro abitato di Ellera con indicazione della località di Chiugiana.

Un maggior dettaglio della zona intorno alla scuola è riportata nella fotografia 3 dove sono rappresentati i tre punti di vista V1, V2, V3 rispettivamente delle fotografie 4, 5, 6.



Fotografia 5: Vista dal punto di visuale V2



Fotografia 6: Vista dal punto di visuale V3

La zona in cui si trova la scuola è di tipo residenziale caratterizzata da abitazioni generalmente a due piani. Il traffico veicolare è concentrato principalmente sulla strada di Via Fratelli Cervi e si configura come un normale flusso di quartiere.

3. Monitoraggio in ambiente esterno - descrizione del punto di misura

Il punto di misura, indicato con PM1, è stato collocato sul terrazzo di pertinenza della Scuola dell'infanzia di Chiugiana prospiciente la scuola primaria "Bruno Ciari" (fotografia 7).



Fotografia 7: Vista aerea del luogo dove è stata installata la postazione fonometrica per il monitoraggio acustico in ambiente esterno.

La documentazione fotografica della postazione fonometrica è riportata nelle fotografie 8 e 9.

La stazione di monitoraggio acustico è costituita da un box impermeabile all'interno del quale è alloggiato il fonometro integratore (Marca 01dB Modello *Solo*) ed un pacco batterie per l'alimentazione elettrica sufficiente a garantire il funzionamento per sette giorni. Esternamente al box è agganciato un palo telescopico sulla cui sommità, ad un'altezza di circa 2,5 metri da terra, è fissato il microfono per monitoraggio in ambiente esterno (Marca GRAS Modello 40AL).



Fotografia 8: Stazione di monitoraggio acustico installata sul terrazzo della Scuola dell'infanzia di Chiugiana.



Fotografia 9: Stazione di monitoraggio acustico installata sul terrazzo della Scuola dell'infanzia di Chiugiana con vista della facciata della Scuola Primaria Bruno Ciari.

4. Metodologia di misura

Il monitoraggio acustico è stato condotto secondo le indicazioni stabilite dal DM 16/3/1998.

La misura è stata effettuata mediante campionamento in continuo di durata pari a quattro giorni, da venerdì 17 a martedì 21 dicembre 2010; è stata acquisita la storia temporale del livello equivalente ponderato A (LAeq) con tempo di integrazione pari a 5 secondi e dei livelli spettrali in bande di terzi d'ottava. In questo modo è stato possibile determinare il livello equivalente orario per ogni ora su tutto l'arco delle ventiquattro ore dei quattro giorni di misura, calcolando così i livelli equivalenti diurni e notturni, di ciascun giorno di monitoraggio, nonché i valori medi dell'intero periodo di misura.

5. Strumentazione di misura

La strumentazione utilizzata, conforme alle specifiche richieste dal DM 16/3/1998 art. 2, è descritta nella tabella 1.

Tabella 1: descrizione della strumentazione di misura utilizzata con riferimento alla certificazione di taratura relativa.

Strumento	Marca/Modello	Tarato il	Centro Taratura SIT	Certificato Taratura
Fonometro	01 dB Solo 10681	18/02/2010	n. 185	1676
Calibratore	01 dB Cal 21 00330488	18/02/2010	n. 185	1677
Microfono	GRAS 41AL 30191	18/02/2010	n. 185	1674

6. Riferimenti normativi

Il Comune di Corciano, approvando nel 2009 il Piano di Zonizzazione Acustica Comunale, ha provveduto a suddividere il proprio territorio in zone di classe acustica all'interno delle quali valgono specifici limiti assoluti di immissione e di emissione.

In base a quanto disposto dal DPCM 14/11/1997 le classi acustiche sono sei e sono riepilogate nella tabella 2.

Tabella 2: Valori Limite Assoluti di Immissione delle Classi Acustiche previste dal DPCM 14/11/1997.

Classe Acustica	Limite Diurno (dBA)	Limite Notturno (dBA)
I – Aree particolarmente protette	50	40
II – Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale	55	45
III – Aree di tipo misto	60	50
IV – Aree di intensa attività umana	65	55
V – Aree prevalentemente industriali	70	60
VI – Aree esclusivamente industriali	70	70

Nella figura 1 è riportato lo stralcio del Piano di Zonizzazione Acustica della zona di Chiugiana dove è anche evidenziata (numero 5) la posizione dell'intero complesso scolastico di cui la Scuola Primaria "Bruno Ciari" fa parte. Il complesso, come si deduce dalla tabella 3, è classificato come ricettore sensibile, pertanto, come specificato nella Relazione allegata al Piano Comunale di Classificazione Acustica, "è stata adottata una classificazione conforme al regolamento regionale, collocando rigidamente la parte edificata in classe I e le relative pertinenze esterne in classe II".

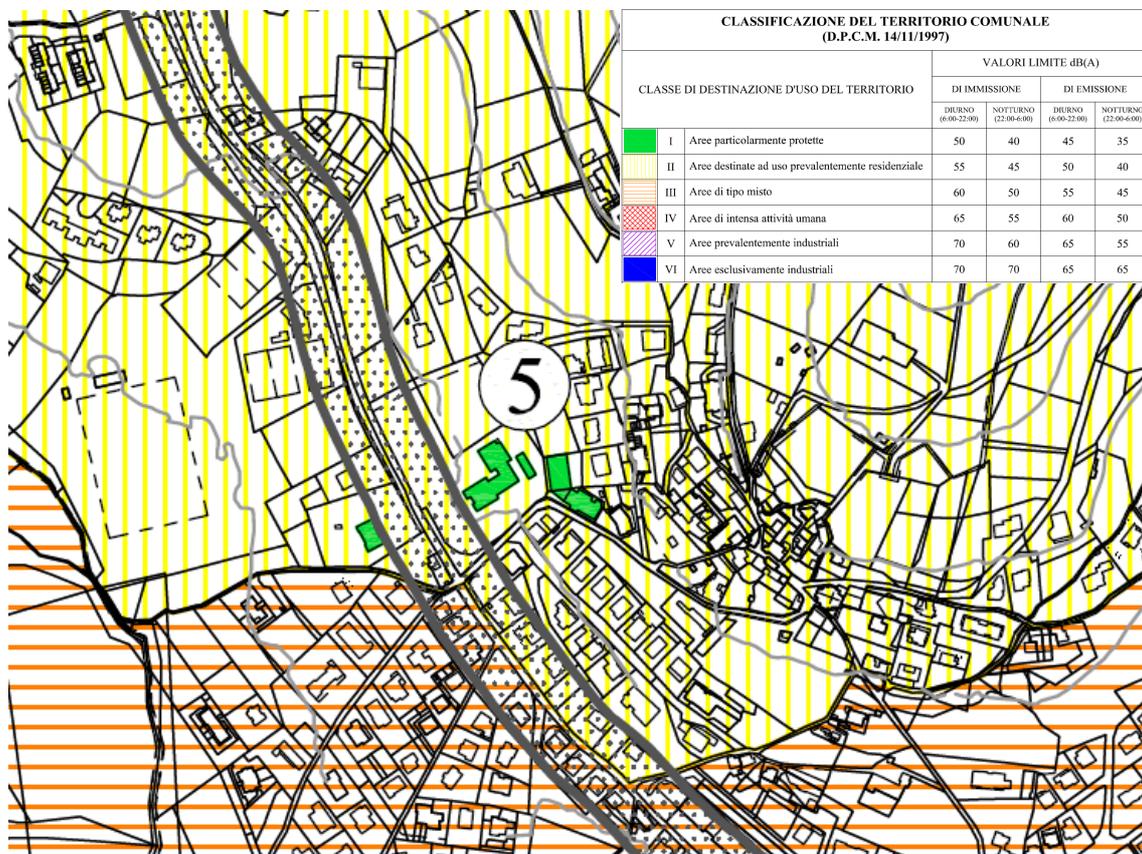


Figura 1: Stralcio del Piano di Zonizzazione Acustica dell'area intorno a Chiugiana con indicazione del Complesso Scolastico (5).

Tabella 3: Elenco dei ricettori sensibili del Comune di Corciano individuati nel Piano di Classificazione Acustica.

RICETTORI SENSIBILI		
RIC.	UBICAZIONE	DESCRIZIONE
1	Corciano capoluogo, Piazza Nicoletti	Scuola materna di Corciano
2	Corciano capoluogo, Via del Serraglio	Scuola elementare di Corciano
3	Corciano capoluogo, Via Ballerini	Scuola media "Bonfigli"
4	Mantignana, Via L. da Vinci	Scuola materna di Mantignana
		Scuola elementare di Mantignana
		Scuola media "Bonfigli"
5	Chiugiana, SP172	Asilo nido "Tana degli Orsetti"
	Chiugiana, Via Cervi	Scuola materna di Chiugiana
	Chiugiana, Via Montessori	Asilo nido "La Mongolfiera"
6	San Mariano, Via Settembrini	Scuola elementare "Ciari"
		Scuola materna "Girasole"
		Scuola elementare di San Mariano
7	San Mariano, Via Giolitti	Scuola media "Bonfigli"
		Asilo nido "Arcobaleno"
		Asilo nido "Albero Azzuro"
8	San Mariano, Via Fiorini	Asilo nido "Albero Azzuro"
	San Mariano, Via Cattaneo	Scuola materna "Lucina"
9	San Mariano, Via Benincasa	Asilo nido "Pane e Cioccolata"
10	San Mariano, Via Giolitti	Centro diurno alzheimer "Il Girasole"

Lo scopo del monitoraggio in ambiente esterno è quello di verificare il clima acustico nella zona in cui si inserisce il complesso, di conseguenza nella trattazione che segue sarà considerato come riferimento normativo la Classe II propria delle pertinenze esterne degli edifici scolastici (tabella 4).

Tabella 4: Limiti assoluti di immissione relativi alla classe acustica II.

Classe Acustica	Limite Assoluto Diurno	Limite Assoluto Notturno
II	55 dBA	45 dBA

Per quanto riguarda le sorgenti di rumore che caratterizzano l'area in cui si inserisce la scuola "Bruno Ciari", si riconosce la presenza di rumore di origine antropica e veicolare: quest'ultimo si manifesta principalmente sulle strade di Via Fratelli Cervi e Via Montessori, in cui ha sede anche il parcheggio a servizio della struttura scolastica, e in misura minore lungo Via Di Vittorio, data la maggiore distanza.

I limiti assoluti di immissione di rumore generato da infrastrutture di trasporto stradali sono stabiliti dal DPR 30/3/2004 n. 142 "Disposizioni per il contenimento e

la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447".

La tabella 5, in Allegato al decreto, riporta i limiti assoluti di immissione validi per le strade esistenti in funzione del tipo di strada e della posizione del ricettore all'interno della fascia di pertinenza acustica. Per fascia di pertinenza acustica si intende "la striscia di terreno misurata in proiezione orizzontale, per ciascun lato dell'infrastruttura, a partire dal confine stradale" (Art. 1 comma 1 Lettera n) DPR 30/3/2004 n. 142). Si osserva che per strade di *Tipo E – Urbana di quartiere* e di *Tipo F – locale* l'ampiezza della fascia di pertinenza acustica è pari a 30 metri per la quale il Decreto non specifica i limiti ma rimanda ai Comuni il compito di individuarli in accordo con i limiti già stabiliti dal Piano di Zonizzazione Acustica.

Tabella 5: DPR 30/3/2004 n. 142 Tabella 2 dell'Allegato I – limiti assoluti di immissione per strade esistenti.

TIPO DI STRADA (secondo Codice della Strada)	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI (secondo Norme CNR 1980 e direttive PUT)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m)	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri Ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
A - autostrada		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
B - extraurbana principale		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
C - extraurbana secondaria	Ca (strade a carreggiate separate e tipo IV CNR 1980)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
	Cb (tutte le altre strade extraurbane secondarie)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D - urbana di scorrimento	Da (strade a carreggiate separate e interquartiere)	100	50	40	70	60
	Db (tutte le altre strade urbane di scorrimento)	100			65	55
E - urbana di quartiere		30	definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al D.P.C.M. del 14 novembre 1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'articolo 6, comma 1, lettera a) della Legge n. 447 del 1995.			
F - locale		30				

* per le scuole vale il solo limite diurno

Dalla figura 1 si deduce come la scuola si trovi all'esterno della fascia di pertinenza propria di Via Di Vittorio (S.P. 172 di Corciano, tratto 3B), mentre ricade all'interno delle fasce relative a Via Fratelli Cervi e Via Montessori (ampiezza 30 metri), classificate come strade locali e per le quali il Comune di Corciano non ha stabilito limiti diversi da quelli individuati dalla classificazione acustica, che pertanto rimane il supporto normativo di riferimento.

7. Presentazione dei risultati

In questo capitolo sono riportati i risultati del monitoraggio acustico eseguito nei giorni dal 17/12/2010 al 21/12/2010.

La tabella 6 riporta per ogni ora dei quattro giorni di monitoraggio il livello equivalente di rumore misurato. Inoltre per ogni giorno di misura sono riportati, nelle ultime due colonne, il valore del livello equivalente diurno (LAeq D) e notturno (LAeq N).

Sono infine riportati i profili temporali del livello equivalente orario dei quattro giorni di misura (figura 2) e del cosiddetto giorno medio (figura 3).

Tabella 6: Riepilogo del livello equivalente orario, diurno (LAeqD), notturno (LAeqN) per ciascun giorno di misura

Giorno	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
Lunedì	45.1	43.7	44.6	43.9	46	46.3	48.5	54.5	56.7	53	54.2	52.6	53.2
Martedì	43.7	41.8	37.8	35.9	43.4	45	51.9	52.7	57	52.3	52.8	53.5	
Mercoledì													
Giovedì													
Venerdì													
Sabato	46.6	48.4	47.4	43	39.5	41.8	43.4	51	50.2	50.6	52.5	51.9	53.6
Domenica	48.2	45.6	44.7	42.9	41.8	39.4	41	45.3	46.5	48.9	50.1	49.4	54.6
Giorni Monitorati	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
LA_eq Medio	47.5	46.8	46.0	43.5	44.6	45.1	49.4	53.2	55.7	52.7	53.9	53.3	55.6

13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Laeq D	Laeq N
54.2	56.4	53.8	58	52.9	51.7	50.6	49.2	48.3	47.3	45.7	53.8	45.5
											53.8	42.3
											0.0	0.0
											0.0	0.0
53.6	54	54.9	57.4	56.3	52.4	52.4	50.7	51.5	49.4	50.2	54.2	49.8
50.6	50.4	51.5	52.1	51.9	50.5	51.4	53.9	49.7	49	49.8	51.4	46.9
47.9	48.8	52.2	50	49.7	49.8	49.8	48.9	48.4	46	44.4	49.7	44.8
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
53.5	54.6	54.6	56.8	54.6	52.5	52.4	52.4	50.9	49.4	49.5	53.9	47.0

Profilo Orario del Livello Equivalente di rumore nel periodo di monitoraggio 17/12/2010 - 21/12/2010

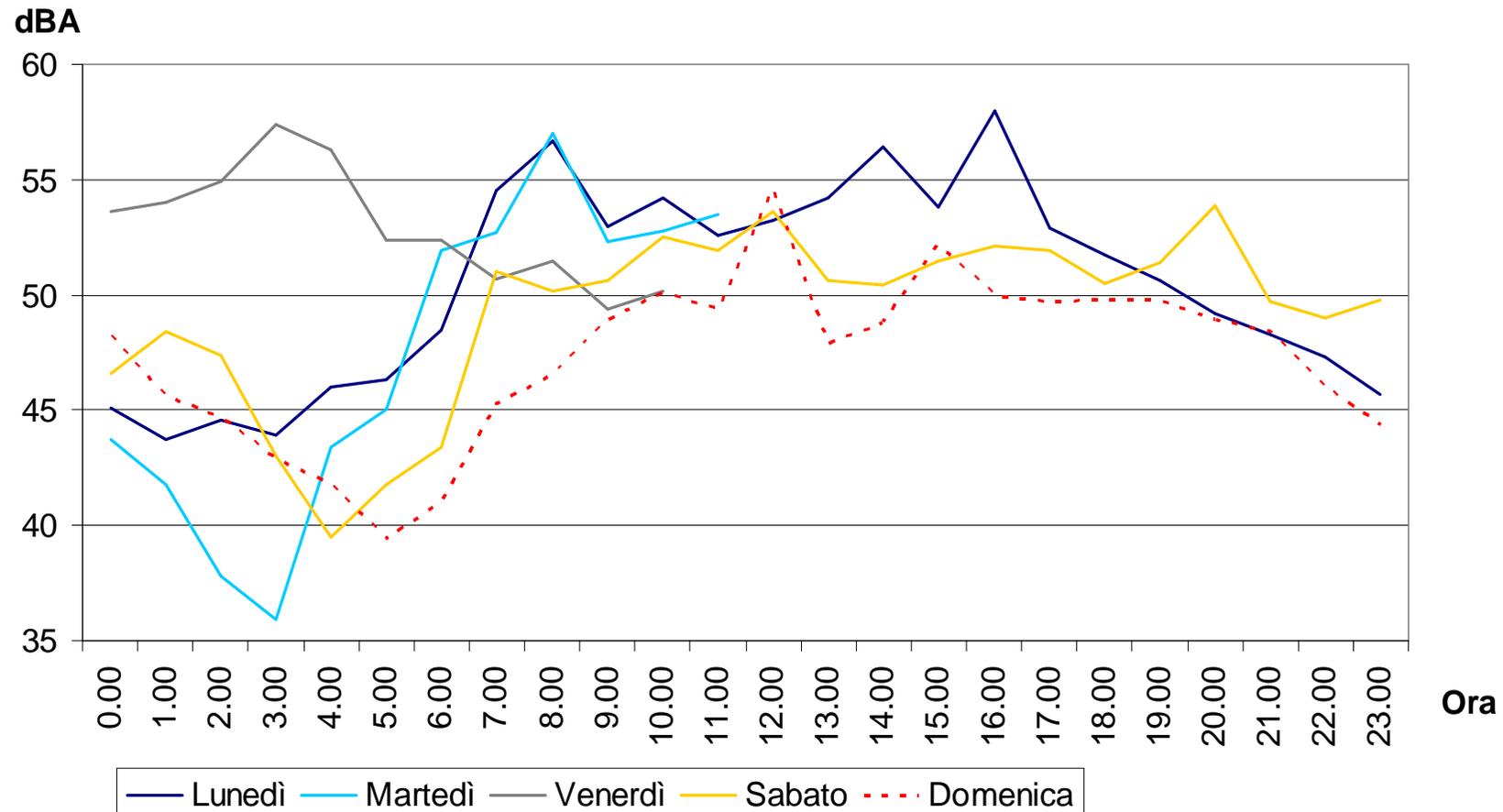


Figura 2: andamento temporale del livello equivalente orario misurato nei sette giorni di misura.

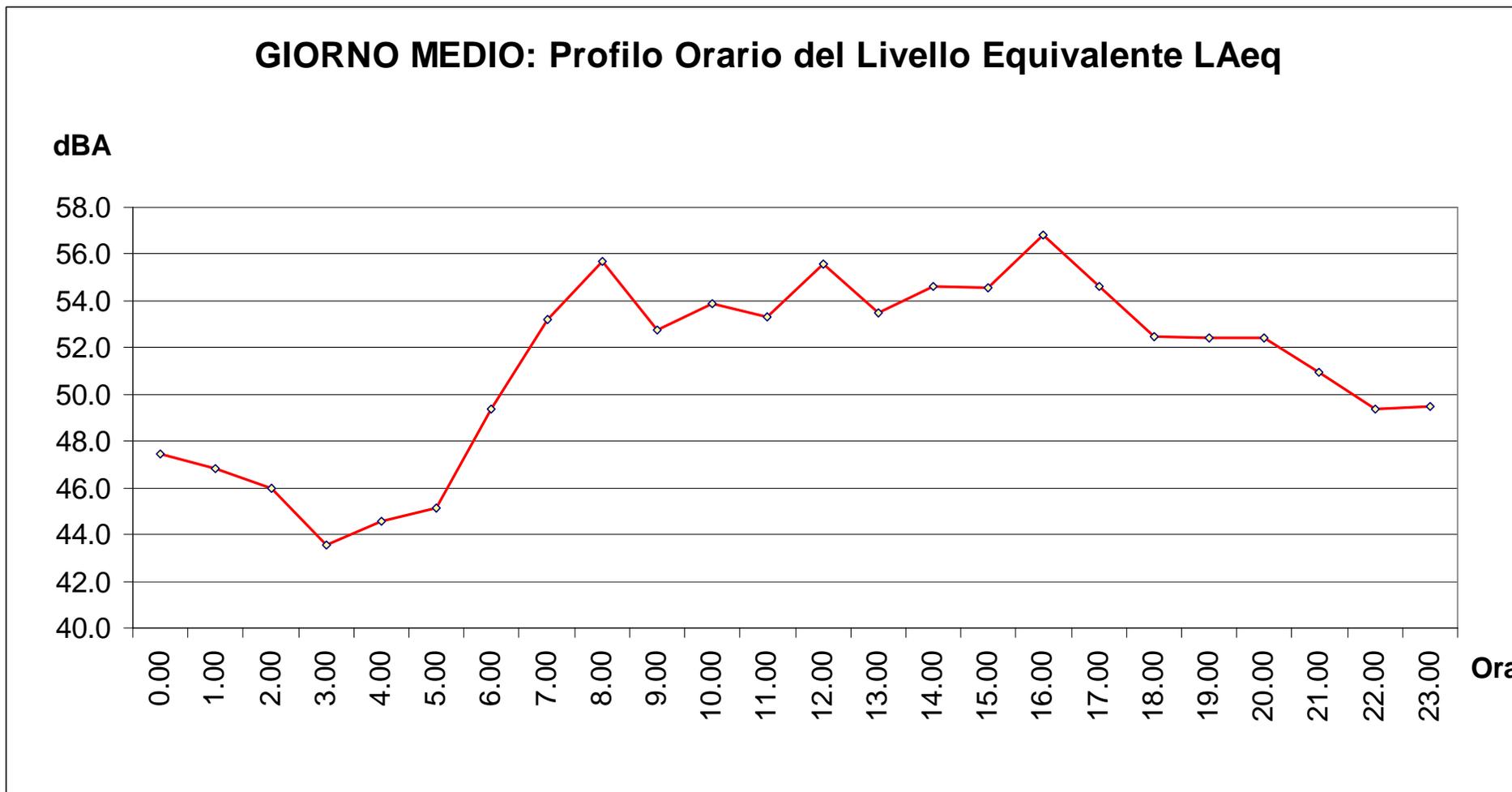


Figura 3: andamento temporale del livello equivalente orario medio (cosiddetto giorno medio.)

La tabella 7 riporta per ogni giorno di misura il valore del livello equivalente e dei livelli percentili L90 e L10 diurni e notturni, insieme con la media riferita all'intero periodo di monitoraggio.

Tabella 7: Riepilogo dei livelli equivalenti e percentili diurni e notturni per ciascun giorno di misura.

Giorno	Diurno			Notturno		
	LAeq ^(*)	L90	L10	LAeq ^(*)	L90	L10
17/12/2010	54,0	48,9	56,8	47,0	34,9	50,7
18/12/2010	51,5	44,3	53,3	46,5	34,2	49,6
19/12/2010	49,5	40,2	51,7	45,0	36,9	48,0
20/12/2010	54,0	46,1	56,3	44,0	31,2	47,4
21/12/2010	54,0	45,5	56,2	-	-	-
Media	54,0	43,6	55,0	47,0	34,0	49,3

^(*): arrotondato a 0,5 dBA, secondo il DM 16/3/1998, Allegato B, comma 3.

Nella tabella 8 sono confrontati i valori limite e i livelli misurati durante la settimana di monitoraggio. Si evince che nel periodo notturno il limite assoluto di immissione è superato.

Tabella 8: Confronto tra il livello equivalente LAeq misurato e il valore limite del livello assoluto di immissione

	Periodo Diurno	Periodo Notturno
LAeq misurato	54,0 dBA	47,0 dBA
LAeq limite	55 dBA	45 dBA
Superamento del limite	NO 😊	SI 😞
Entità del superamento	- - -	+ 2,0 dBA

Il livello di rumore notturno, pur superando numericamente il limite di zona, risulta distribuito in modo tale da rientrare per la maggior parte del tempo in tale

limite: dall'analisi dei livelli percentili si deduce infatti un L90 (livello superato per il 90% del tempo) di appena 34 dBA, mentre il livello L10 si attesta a 49,3 dBA, quindi poco più di 2 dBA superiore al limite di zona. Considerando la natura della zona in cui sono stati rilevati tali livelli, di destinazione d'uso residenziale, questi sono da considerarsi in linea con quelli che sono i valori generalmente misurati in ambito urbanizzato. In ogni caso il superamento del limite notturno non condiziona in alcun modo l'attività scolastica, la quale si tiene sempre durante il periodo diurno.

Per valutare l'eventuale disturbo provocato all'attività scolastica all'interno dell'edificio dal rumore esterno, può essere utile estrapolare i livelli di rumore rilevati durante l'orario delle lezioni. L'attività didattica si svolge a tempo pieno dal lunedì al venerdì nell'orario 8.30-16.30, con una pausa per il pranzo che si tiene in sala mensa in due turni successivi. In tabella 9 sono riassunti i valori del LAeq valutati nell'orario 9.00-16.00, in modo tale da escludere la prima e l'ultima mezz'ora, in cui il livello di rumore è significativamente influenzato dal traffico veicolare di punta che si verifica negli orari di entrata e di uscita dei bambini. I livelli sono stati calcolati per i soli giorni in cui è stata presente attività scolastica, concatenando i livelli misurati nei giorni in cui erano disponibili dati parziali complementari alla formazione dell'orario completo considerato.

Tabella 9: Riepilogo dei livelli equivalenti e percentili diurni e notturni per ciascun giorno di misura.

Giorno	LAeq^(*) 9.00-16.00
Lunedì 20/12/2010	54.1
Venerdì 17/12/2010 + Martedì 21/12/2010	53.3

Dall'analisi dei dati sopra riportati si deduce come i livelli esterni misurati durante le lezioni siano non solo conformi al limite diurno di Classe II proprio delle pertinenze del complesso scolastico, ma anche tali da non costituire alcun disturbo per l'attività didattica all'interno delle aule.

8. Misurazione del livello di rumore all'interno della mensa.

Il giorno 17 dicembre 2010 sono state eseguite due misurazioni fonometriche in due distinte posizioni all'interno della sala mensa della scuola.

Le due misure hanno avuto una durata di un'ora (dalle ore 12 alle ore 13) registrando i livelli di rumore presenti durante la preparazione della sala al pranzo e durante il pranzo stesso.

In figura 2 è riportata la pianta della mensa con l'indicazione dei due punti di misura individuati.

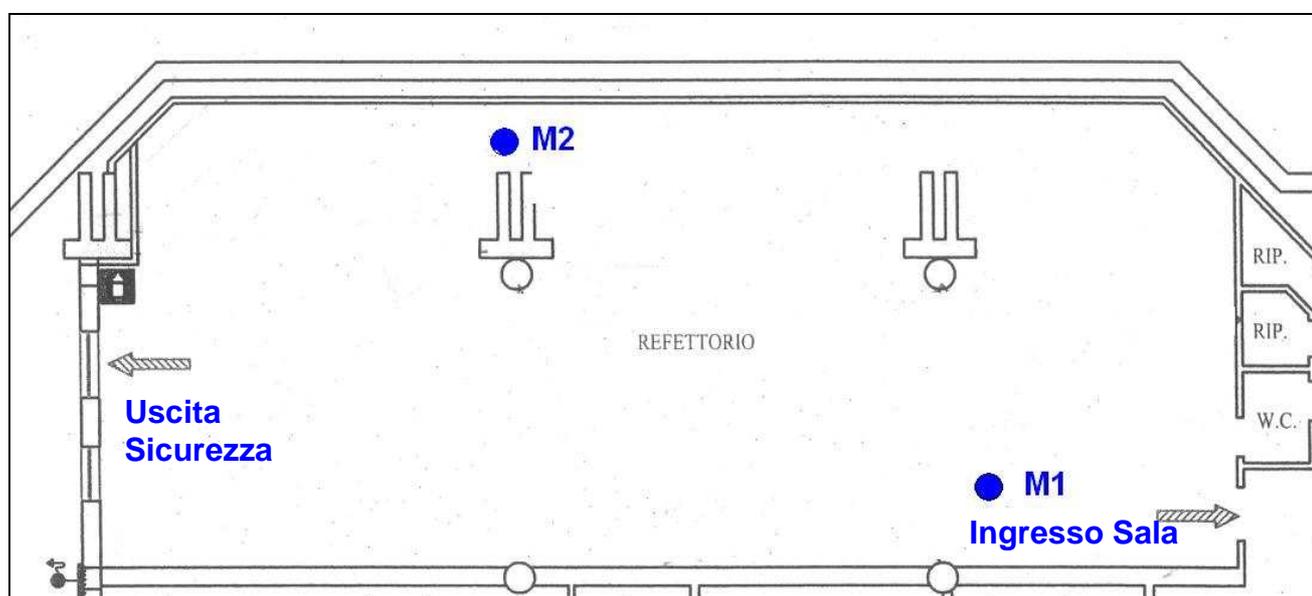


Figura 4: Pianta della Sala Mensa della Scuola Bruno Ciari con indicazione della posizione dei due punti di misura M1 e M2.

Nelle fotografie 10 e 11 si possono distinguere le postazioni fonometriche nella sala mensa.

Durante l'ora del pranzo erano presenti nella sala circa 90 persone tra alunni ed insegnanti.

L'ambiente della sala mensa è caratterizzato dalla presenza di superfici (pareti perimetrali, pavimento e soffitto) che, dal punto di vista acustico, sono molto riflettenti. La sala mensa è perciò un ambiente molto riverberante che amplifica i livelli di rumore prodotti durante lo svolgimento delle attività antropiche all'interno della sala (preparazione dei tavoli, allestimento della postazione per la

somministrazione delle vivande, conversazione al tavolo degli alunni durante il pranzo).



Fotografia 10: Collocazione dei due punti di misura M1 e M2 – vista dall'ingresso



Fotografia 11: Collocazione dei due punti di misura M1 e M2 – vista dall'uscita di sicurezza

Durante lo svolgimento delle misure è stato osservato che la conversazione tra vicini di posto durante il pranzo era disturbata o, in certi casi, anche ostacolata dalla presenza di un eccessivo rumore derivante dal riverbero del campo acustico nella sala mensa. Di conseguenza diventava necessario alzare ulteriormente il proprio tono di voce per essere compresi da persone poste anche a brevi distanze (< 2 metri). Nelle figure 5 e 6 sono riportati i grafici del profilo temporale del livello equivalente di rumore (tempo di integrazione: 1 secondo) misurati rispettivamente nei punti di misura M1 e M2.

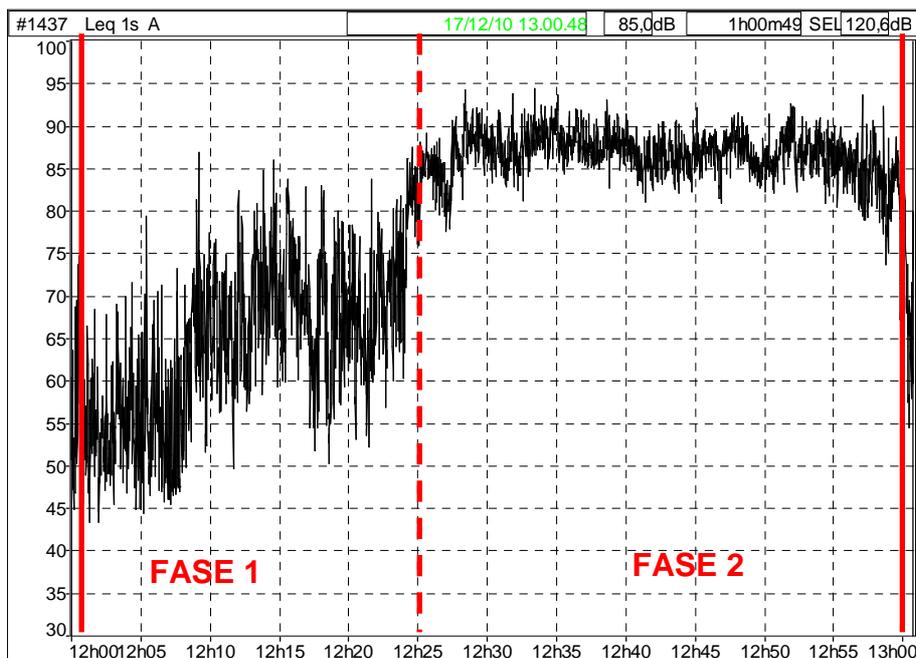


Figura 5: profilo temporale del LAeq misurato nel punto di misura M1.

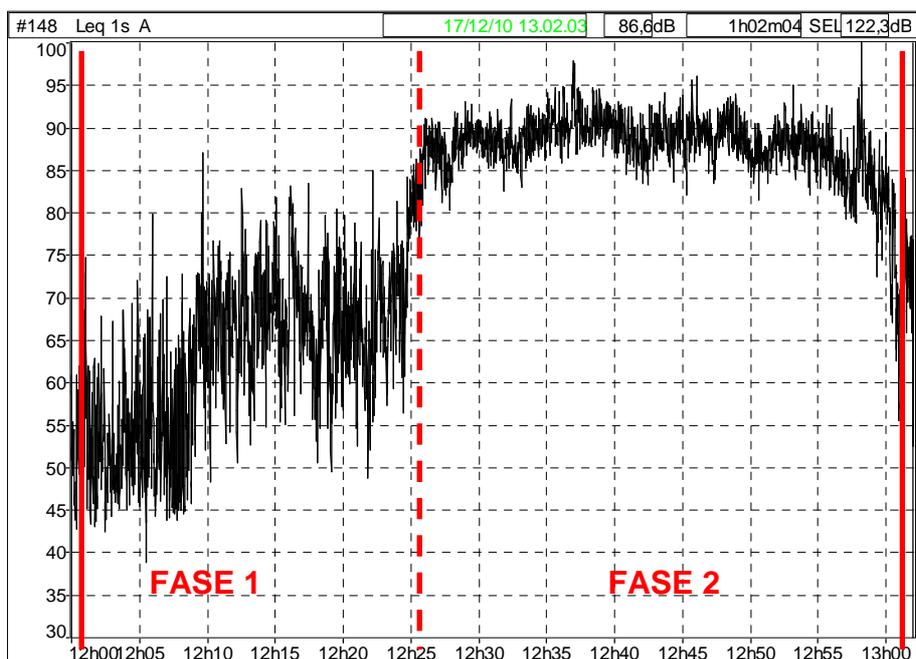


Figura 6: profilo temporale del LAeq misurato nel punto di misura M2.

Dall'andamento del profilo temporale dei livelli di rumore (grafici di figura 5 e figura 6) si possono distinguere molto chiaramente due fasi:

- Fase 1) dalle ore 12.00 alle ore 12.25: preparazione della sala mensa da parte del personale addetto;

- Fase 2) dalle ore 12.25 alle ore 13.00: ingresso degli alunni nella sala mensa e somministrazione del pranzo per circa 90 persone presenti.

Nella fase 2 si constata un marcato e brusco aumento dei livelli di rumore che si mantengono abbondantemente al di sopra di 80 dBA con variazioni comprese tra 85 e 95 dBA.

I risultati delle misure fonometriche eseguite nei punti di misura M1 ed M2 sono riportati nella tabella 10.

Tabella 10: Riepilogo dei valori di livello di rumore equivalente misurato nella sala mensa nelle due postazioni di misura M1 ed M2.

Fase	Livello Equivalente di Rumore (LAeq) [dBA]	
	Postazione di Misura M1	Postazione di Misura M2
n.1) Preparazione Sala Mensa (dalle 12.00 alle 12.25)	71,0 dBA	70,0 dBA
n.2) Durante il pranzo con circa 90 persone presenti in sala (dalle 12.25 alle 13.00)	87,0 dBA	89,0 dBA
Intero Periodo di misura (dalle 12.00 alle 13.00)	85 dBA	86,5 dBA

Fermo restando che non esiste nessuna normativa che fissa i limiti di rumore all'interno di un ambiente scolastico prodotto da attività antropiche che vi si svolgono, si può ragionevolmente sostenere che i valori misurati sono notevolmente elevati. Infatti, prendendo a riferimento alcune norme come termine di confronto (**DPCM 14/11/1997** sui valori limite delle sorgenti sonore e **D. Lgs. 81/2008** sulla tutela della salute e della sicurezza negli ambienti di lavoro), si osserva che i valori di rumore misurati superano sia il limite più alto (70 dBA) previsto in ambiente esterno per le *zone esclusivamente industriali* dal DPCM 14/11/1997 sia il valore limite di esposizione (87 dBA) previsto negli ambienti di

lavoro dal D. Lgs. 81/2008. Si sottolinea che in tale circostanza (superamento del valore limite di esposizione) negli ambienti di lavoro è obbligatorio l'utilizzo dei cosiddetti dispositivi di protezione individuale dell'udito.

È evidente perciò che nella sala, durante il periodo del pranzo, si raggiungono livelli di rumore molto elevati che ostacolano la conversazione tra le persone e la necessaria esigenza di riposo e svago.

Per ridurre la rumorosità nella sala mensa è necessario diminuire il riverbero acustico, a sua volta favorito dall'eccessiva presenza di superfici acusticamente riflettenti. In linea di principio è solitamente necessario ricoprire le pareti della sala con materiale fonoassorbente (quali tendaggi o pannelli) e montare un controsoffitto anche questo fonoassorbente.

La scelta della tipologia di materiale fonoassorbente e della relativa superficie che deve ricoprire è il risultato della misura del cosiddetto tempo di riverberazione T_{60} descritta dettagliatamente nel paragrafo successivo. In linea generale ad ambienti fortemente riverberanti, come in questo caso, corrispondono valori del tempo di riverberazione elevati superiori a 2 secondi.

Misurando il tempo di riverberazione nelle condizioni attuali T_{60_a} e confrontandolo con il tempo di riverberazione ottimale $T_{60_{ott}}$, si determina di quanto quello attuale debba essere diminuito per portarlo ai valori di quello ottimale. La diminuzione del tempo di riverberazione si ottiene aggiungendo alla sala la corretta quantità di materiale fonoassorbente.

8. Misura del tempo di riverberazione

Il fenomeno della riverberazione si manifesta tutte le volte che una sorgente qualsiasi emette onde sonore all'interno di un ambiente chiuso, dando luogo ad una serie di riflessioni sulle pareti di confine del locale. Ad ogni riflessione, parte dell'energia sonora incidente viene assorbita, in funzione della natura del materiale che riveste le pareti, il quale può essere caratterizzato, dal punto di vista acustico, dal coefficiente di assorbimento α , definito come il rapporto tra la potenza acustica assorbita e la potenza acustica incidente. Il coefficiente α è quindi teoricamente sempre compreso tra 0 (materiale per nulla assorbente) e 1 (materiale perfettamente assorbente). Esso varia inoltre al variare della frequenza del suono,

quindi a rigore è definito non da un unico numero ma da una serie di valori in corrispondenza di ciascuna frequenza considerata. Mediando su tutte le frequenze è possibile ottenere un valore medio del coefficiente di assorbimento che può essere utile per un primo confronto di massima di due differenti materiali. Come regola empirica si può dire che materiali duri e compatti presentano un α medio più basso, mentre materiali morbidi e porosi presentano un coefficiente più elevato. La parte di energia non assorbita dal materiale viene per lo più riflessa, andando a generare il fenomeno della riverberazione e quindi ad incrementare la quantità di energia sonora circolante rispetto alla sola onda diretta sorgente-ricevitore: il livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente di conseguenza aumenta, tanto più quanto sono meno assorbenti le pareti di confine.

Si definisce tempo di riverberazione di un ambiente T_{60} il tempo che intercorre tra lo spegnimento della sorgente e l'istante in cui il livello sonoro si riduce di 60 dB rispetto al valore iniziale con la sorgente accesa.

La relazione sperimentale che esprime il tempo di riverberazione, in funzione della frequenza f , è la seguente:

$$T_{60}(f) = 0,16 V/A(f)$$

dove:

V è il volume del locale [m^3];

$A(f)$ è l'area equivalente di assorbimento [m^2] in funzione della frequenza.

L'area equivalente di assorbimento è definita come:

$$A(f) = \alpha_i(f) S_i$$

dove:

$\alpha_i(f)$ è il coefficiente di assorbimento acustico del materiale i -esimo in funzione della frequenza;

S_i è la superficie del materiale i -esimo presente all'interno del locale.

Dalle due espressioni precedenti discende che tanto più assorbenti risultano le superfici di confine del locale, tanto minore è il tempo di riverberazione.

Un tempo di riverberazione eccessivo, all'interno di un locale in cui sono presenti numerose persone, provoca inevitabilmente un aumento considerevole del livello di rumore generato dalla conversazione. Infatti, la presenza di un'eccessiva riverberazione provoca una sovrapposizione delle parole, rendendo difficile la comprensione da parte dell'ascoltatore e costringendo chi parla ad alzare la voce, generando un effetto a catena che conduce a conversare a voce molto alta generando livelli di rumore elevati.

Per procedere alla misura del tempo di riverberazione, all'interno della sala mensa della scuola "Bruno Ciari" sono state scelte 3 posizioni di sorgente nelle zone occupate dai tavoli per simulare al meglio i suoni provenienti dalle diverse parti. Di pari passo sono state selezionate 4 posizioni microfoniche, sempre in corrispondenza delle zone occupate dai tavoli, per simulare la ricezione da parte dei bambini occupanti (figura 7).

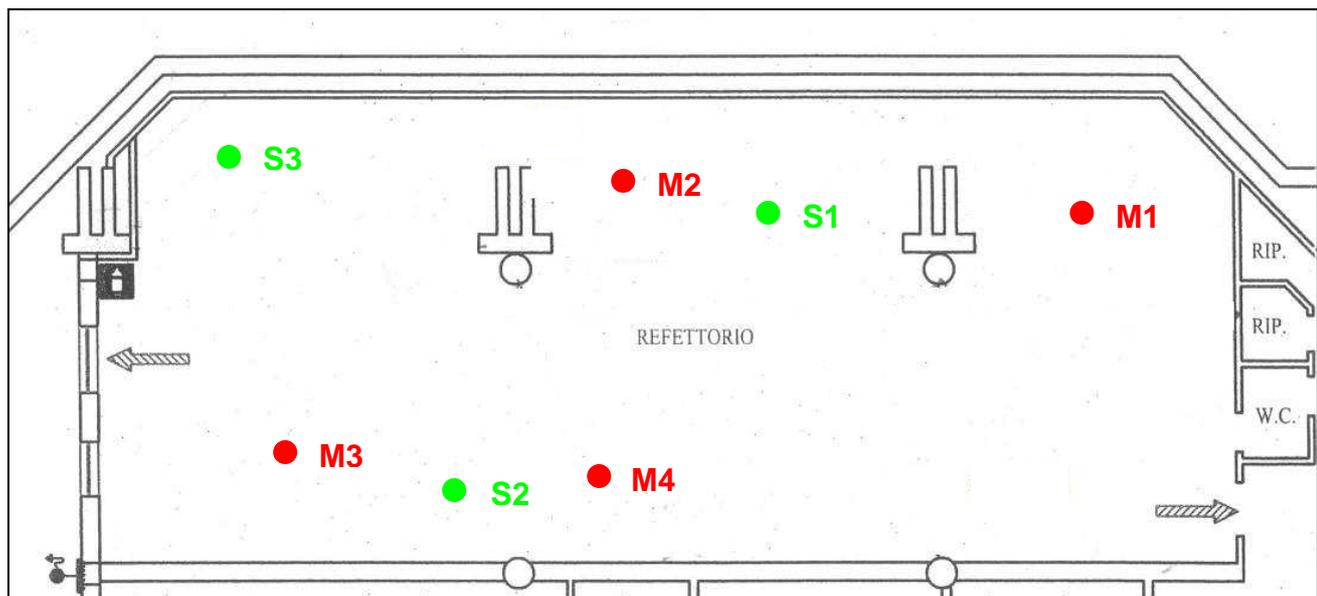


Figura 7: Pianta della Sala Mensa della Scuola "Bruno Ciari" con indicazione della posizione dei quattro punti di misura (M) e delle tre posizioni di sorgente (S).

Per ogni posizione di sorgente è stato misurato il tempo di riverberazione nei 4 punti di misura, posizionando il microfono ad un'altezza di circa 1,2 metri, all'incirca pari a quella di un bambino seduto. Per garantire una maggiore accuratezza del risultato, le misure del tempo di riverbero sono state ripetute 2 volte per ogni punto microfonico.

I tempi di riverberazione riscontrati alle varie frequenze all'interno della mensa sono stati mediati rispetto alle posizioni microfoniche e successivamente messi a confronto con i valori ottimali per le aule, così come definiti dal DM 18 dicembre 1975 (figura 8).

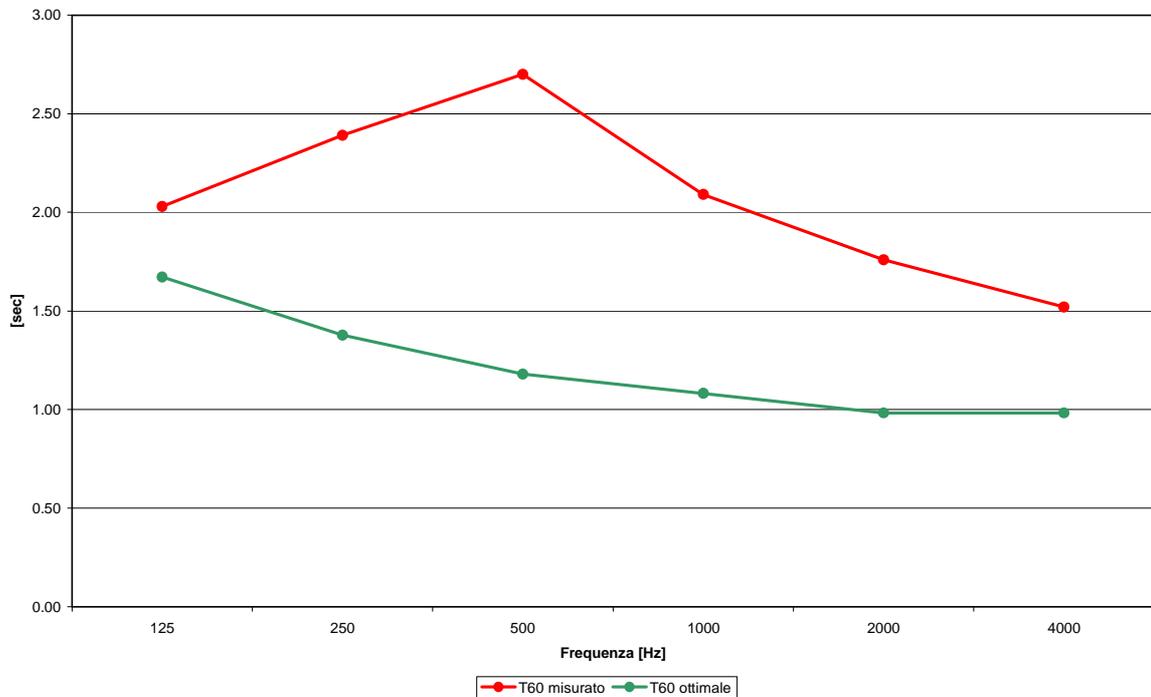


Figura 8: Andamento in frequenza del tempo di riverberazione misurato e dei valori ottimali indicati dal DM 18 dicembre 1975.

Dall'analisi del grafico si deduce come la sala mensa presenti un tempo di riverberazione maggiore rispetto ai valori ottimali per qualsiasi frequenza, in particolare per la banda d'ottava con frequenza centrale di 500 Hz. Inoltre, dal confronto dei valori misurati con i valori ottimali è possibile calcolare l'area equivalente di assorbimento mancante che deve essere installata per garantire un tempo di riverberazione ottimale (tabella 11). Ovviamente, la grandezza della superficie assorbente da installare rispecchia la differenza tra il tempo di riverberazione misurato e il suo valore ottimale.

Tabella 11: Confronto tra T_{60} misurato e ottimale e indicazione dell'area equivalente di assorbimento da installare.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T_{60} misurato [s]	2.03	2.39	2.70	2.09	1.76	1.52
T_{60} ottimale [s]	1.67	1.38	1.18	1.08	0.98	0.98
Area equival. di assorbimento da installare [m²]	7.8	22.6	35.0	32.7	32.9	26.4

8. Indicazioni di massima per la correzione acustica della sala

A partire dalle aree equivalenti di assorbimento acustico da installare all'interno del locale mensa sopra riportate, calcolate per ottenere nell'ambiente un tempo di riverberazione ottimale, è possibile quantificare le corrispondenti superfici di materiali fonoassorbenti che devono essere aggiunte. Ovviamente le quantità di materiale da installare dipendono dall'andamento del coefficiente α proprio dei singoli materiali, in genere fornito dal produttore. Oltre alle quantità dei materiali è determinante anche la loro disposizione all'interno della sala, tenendo conto della disposizione degli alunni occupanti in relazione alle superfici riflettenti presenti.

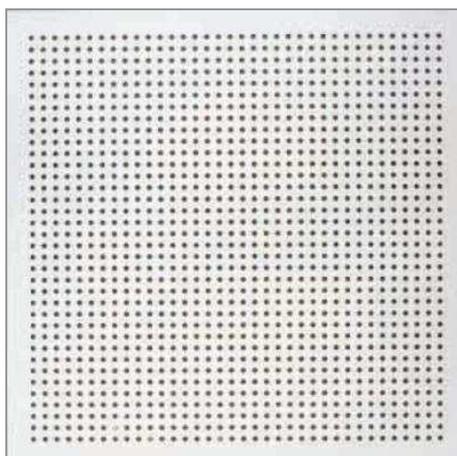
Nel caso specifico, considerando come criterio di intervento la massima economia di spesa e prendendo come riferimento i coefficienti di assorbimento caratteristici dei materiali impiegati, nelle loro tipologie più diffuse e meglio reperibili sul mercato, ai fini della correzione acustica del locale mensa è possibile individuare l'intervento seguente.

- 1) Sostituzione di metà della superficie del controsoffitto liscio presente nella sala mensa con moduli forati fonoassorbenti per le frequenze specifiche del parlato (fotografia 12). L'andamento in frequenza del coefficiente di assorbimento α dovrebbe essere all'incirca quello riportato in tabella 12. Per garantire una distribuzione uniforme dei pannelli forati di nuova installazione si dovrà procedere ad una disposizione a scacchiera, alternando i moduli forati a quelli attualmente presenti, come indicato in fotografia 13. L'intervento interesserà l'intera superficie

controsoffittata pari a circa 80 m², con installazione di circa 40 m² di moduli forati.

Tabella 12: Andamento in frequenza del coefficiente di assorbimento α per il controsoffitto fonoassorbente.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α pannelli fonoassorbenti controsoffitto	0.45	0.65	0.80	0.65	0.55	0.45



Fotografia 12: Pannello modulare forato.



Fotografia 13: Disposizione a scacchiera nel controsoffitto dei moduli forati fonoassorbenti (in blu).

- 2) Installazione di nuovi tendaggi in tessuto fonoassorbente. Il tendaggio deve avere specifiche proprietà fonoassorbenti, in modo particolare per le frequenze del parlato: installando una normale stoffa per tende con basso potere assorbente si rischia di vanificare completamente l'intervento. L'andamento consigliato del coefficiente di assorbimento α per il tessuto fonoassorbente dovrebbe essere all'incirca quello riportato in tabella 13. Considerando l'assorbimento acustico tipico di un tessuto fonoassorbente sospeso a ridosso di una parete riflettente, si consiglia l'installazione di circa 35 m² di tendaggio, distribuiti in modo uniforme, lungo le pareti verticali evidenziate in rosso in figura 9. Data la particolare disposizione dei tavoli nella sala mensa, si consiglia di ricoprire con il tendaggio anche le pareti verticali dei pilastri indicate con le frecce blu nella stessa figura 9.

Tabella 13: Andamento in frequenza del coefficiente di assorbimento α per il tendaggio fonoassorbente.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α tendaggio fonoassorbente	0.05	0.25	0.65	0.65	0.6	0.7

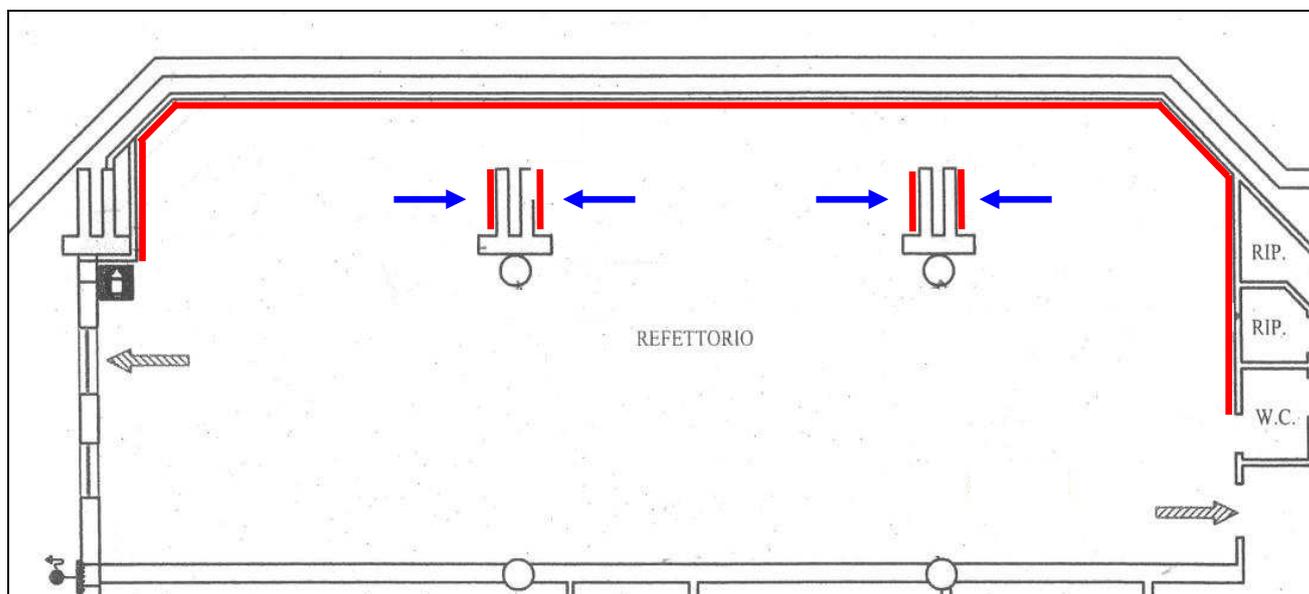


Figura 9: Disposizione consigliata per i tendaggi fonoassorbenti verticali.

Il trattamento delle superfici con tendaggi rimovibili presenta d'altronde il vantaggio, rispetto ad installazioni con pannellature fisse, di poter procedere al lavaggio dei tessuti, rimuovendo la polvere e la sporcizia accumulata nel tempo. Vista la particolare destinazione d'uso del locale, in cui vengono somministrati cibi agli alunni, questa caratteristica risulta di fondamentale importanza per preservare l'igiene e la pulizia del luogo.

La figura 10 riporta la visualizzazione tridimensionale della sala mensa con le indicazioni circa il trattamento di fonoassorbimento da adottare. Con il tratteggio rosso e nero sono indicati rispettivamente i tendaggi da applicare alle pareti verticali e i pannelli fonoassorbenti da installare nel controsoffitto esistente.

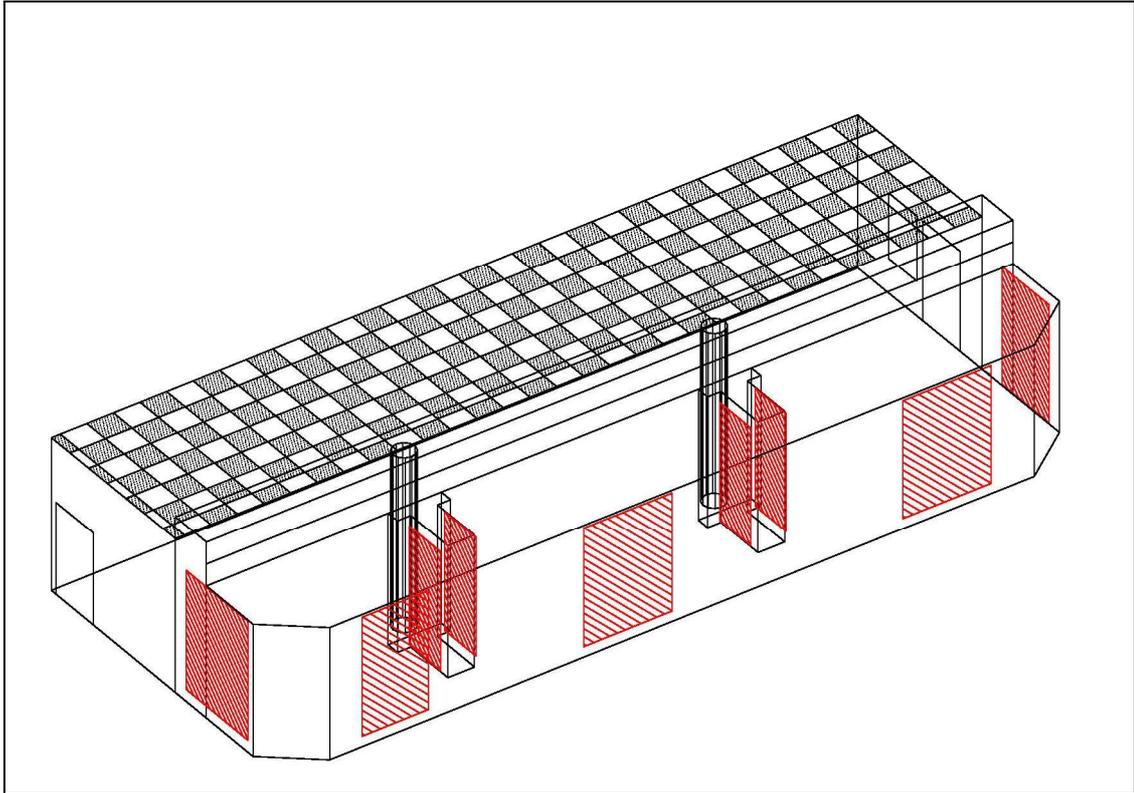


Figura 10: visualizzazione 3D della sala mensa con la indicazione della posizione delle superfici fonoassorbenti da installare (con il tratteggio rosso sono rappresentate le tende fonoassorbenti; con il tratteggio nero i pannelli fonoassorbenti del controsoffitto).

In seguito all'intervento di correzione acustica sopra descritto è stato ricalcolato il tempo di riverberazione dell'ambiente in questione, ottenendo i valori riportati in tabella 14 e mostrati in figura 11: tali valori approssimano molto bene l'andamento ottimale, risultando leggermente più bassi per tutte le frequenze considerate.

Tabella 14: Confronto tra T_{60} misurato, ottimale e corretto.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T_{60} misurato [s]	2.03	2.39	2.70	2.09	1.76	1.52
T_{60} ottimale [s]	1.67	1.38	1.18	1.08	0.98	0.98
T_{60} corretto [s]	1.54	1.31	0.99	0.94	0.92	0.86

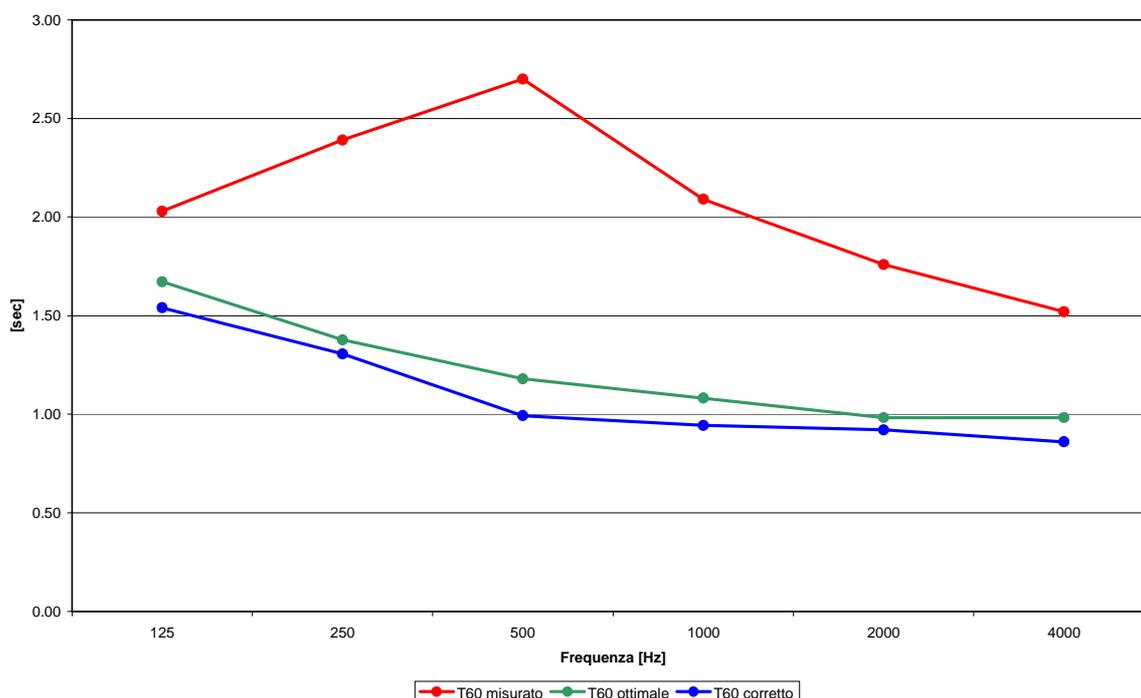


Figura 11: Andamento in frequenza del tempo di riverberazione misurato, dei valori ottimali e di quelli calcolati dopo l'intervento di correzione acustica.

9. Conclusioni

Il presente lavoro ha riguardato una campagna di misure fonometriche presso la Scuola Primaria "Bruno Ciari" di Chiugiana nel Comune di Corciano, con rilievi svolti sia in ambiente esterno che in ambiente interno. Lo scopo delle misure esterne è stato quello di valutare la compatibilità dei livelli di rumore misurati con i rispettivi valori limite fissati dal Piano di Zonizzazione Acustica del Comune di Corciano, verificando anche l'eventuale disturbo arrecato all'interno delle aule durante l'orario scolastico. Dai risultati ottenuti si deduce il rispetto del limite diurno di Classe II, pari a 55 dB(A), con livelli tali da non comportare alcun disturbo per l'attività didattica interna, mentre è superato il limite notturno di 45 dB(A), che

comunque non riguarda la scuola in quanto i locali non sono ovviamente occupati durante l'orario notturno.

Le misure in ambiente interno si sono invece svolte seguendo due linee distinte di indagine fonometrica: da un lato si è valutato il livello di rumore che si genera all'interno della sala mensa durante l'orario del pranzo, mentre dall'altro si è proceduto con la misura del tempo di riverberazione dello stesso locale, verificando un eccessivo riverbero dovuto alla presenza di grandi superfici riflettenti. Il livello di rumore riscontrato durante la pausa pranzo presenta un valore molto elevato, attestandosi oltre gli 85 dB(A). La misura del tempo di riverberazione ha inoltre confermato la natura eccessivamente riflettente dei materiali che rivestono le superfici interne del locale, con valori del T_{60} superiori rispetto a quelli ottimali prescritti dal DM 18 dicembre 1975 per le aule scolastiche. Sono state di conseguenza fornite indicazioni di massima per l'effettuazione del necessario intervento di correzione acustica della sala: esso consiste nell'installazione di materiali fonoassorbenti, in particolare con la sostituzione di metà della superficie del controsoffitto esistente con moduli forati e la posa in opera di tendaggi realizzati con idoneo tessuto, uniformemente distribuiti sulle principali pareti verticali riflettenti. Il nuovo tempo di riverberazione, calcolato dopo l'intervento di correzione acustica, risulta in linea con i valori ottimali di riferimento, risultando leggermente inferiore, e quindi a favore di sicurezza, per tutte le frequenze considerate.