

Rumore ed Ambienti Scolastici: L'intelligibilità nelle aule.

*Per V. BRÜEL
G. Mario MATTIA*

Brüel Acoustics

Sommario:

In questo lavoro gli autori descrivono l'ambiente scolastico ergonomico con valutazione della qualità acustica tramite la misura dell'intelligibilità del parlato (STI).

Abstract:

The writers describe the ergonomic schoolrooms environment and demonstrate how useful is the Speech Transmission Index (STI) to evaluate the acoustical lecture room quality.

L'intelligibilità nelle aule.

Da alcuni decenni le scuole sono sotto crescente osservazione da parte dei mass media e dell'opinione pubblica a causa dei problemi che da sempre le riguardano; contemporaneamente è cresciuto l'impegno didattico dei docenti con aumento della fatica e dello stress e conseguente aumento delle difficoltà nell'ambiente scolastico.

Buona parte del problema deriva da una cattiva progettazione e realizzazione degli ambienti scolastici: le aule moderne devono essere igieniche, facilmente lavabili ed ariose; questo ha portato alla costruzione di aule piuttosto grandi con un soffitto relativamente alto; inoltre i materiali utilizzati nell'edilizia scolastica devono essere particolarmente "robusti" per resistere alle moderne tendenze di vandalismo. La combinazione di questi fattori porta alla costruzione di aule con scarse qualità acustiche e cattiva intelligibilità.

In altre parole l'edilizia scolastica cerca di rispondere ad esigenze ergonomiche "parziali" trascurando un aspetto fisico fondamentale per la comunicazione: l'acustica architettonica e degli ambienti confinati.

Gli studenti hanno difficoltà nel capire le parole pronunciate dall'insegnante il quale, per necessità, deve parlare più forte con un aumento dell'affaticamento suo e di tutta la scolaresca. Di conseguenza il livello medio di rumore cresce e peggiora la situazione acustica. È quindi particolarmente importante un adeguato progetto delle aule scolastiche che tenga conto dell'intelligibilità del parlato o che, in caso di bonifica, migliori la difficile situazione che si riscontra normalmente nella moderna edilizia scolastica.

L'intelligibilità è difficile da definire e da misurare ed è probabilmente per questa ragione che le proprietà acustiche interne delle aule non sono state inserite nelle

normative quale fattore importante dell'insegnamento. Nel campo delle Telecomunicazioni si è definito un metodo soggettivo dove, da una parte, soggetti allenati pronunciano sillabe e parole opportunamente distribuite nei locali sotto indagine e, dall'altra parte, un gruppo di soggetti allenati ascolta e registra quanto riescono a comprendere: la percentuale di sillabe correttamente interpretate è una misura della qualità acustica della sala o del canale di trasmissione. Per definizione si trova un numero compreso tra zero ed uno che viene chiamato Indice della Trasmissione del Parlato (STI - Speech Transmission Index).

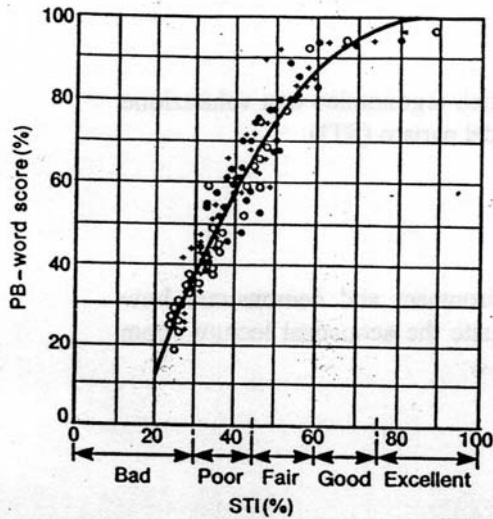


Fig. 1.

Octave band (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 kHz
F ₁ = 0,68					■		
F ₂ = 0,8					■		
F ₃ = 1,0			■				
F ₄ = 1,25					■		
F ₅ = 1,6					■		
F ₆ = 2,0			■				
F ₇ = 2,5					■		
F ₈ = 3,15					■		
F ₉ = 4,0			■				
F ₁₀ = 5,0					■		
F ₁₁ = 6,3					■		
F ₁₂ = 8,0			■				
F ₁₃ = 10					■		
F ₁₄ = 12,5					■		

Fig. 2. A complete STI analysis requires investigation of 7 octaves, each with 14 modulation frequencies. The simplified RASTI method uses only the octave bands at 500 and 2000 Hz, with 4 and 5 modulation frequencies, respectively.

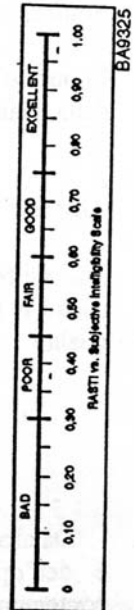


Fig. 3. Qualitative Intelligibility compared to RASTI values.

Anche se alcune sillabe non sono comprese è possibile capire le parole: la Fig. 1 mostra quante sillabe debbono essere correttamente intese per poter capire una data percentuale di parole. Per esempio, se il 70% delle sillabe viene ben compreso, allora il 94% delle parole viene correttamente interpretato.

Possiamo dire che il parlato consiste nel suono di vocali, toni che cambiano d'intensità; le consonanti sono legate a queste modulazioni. Dalla fonetica si rileva che il suono delle vocali va da 125 Hz a 8 KHz, mentre le frequenze di modulazione vanno da 0,6 Hz a 12 Hz, come da Fig. 2. Con una metodica semplificata, oggettiva e normalizzata, si può valutare il grado di intelligibilità con solo due frequenze portanti e nove frequenze di modulazione.

Il grado di intelligibilità che si ottiene con questo metodo, chiamato RASTI (RAPid Speech Transmission Index), è dato da un numero da zero ad uno, od in percentuale da 0% a 100%, Fig. 3.

Ottimizzando le potenzialità metrologiche è stato possibile costruire un sistema di trasmissione e ricezione radiocomandati (Tipo 44BA) che, automaticamente in circa 8 secondi, determina il grado di modulazione di tutte le combinazioni dei suoni, calcola la

media e mostra il risultato sullo schermo di un PC Notebook. Il trasmettitore ha forma sferica che si avvicina molto ad una testa umana ed ha una direttività del suono simile a quella dell'uomo, Fig. 4.

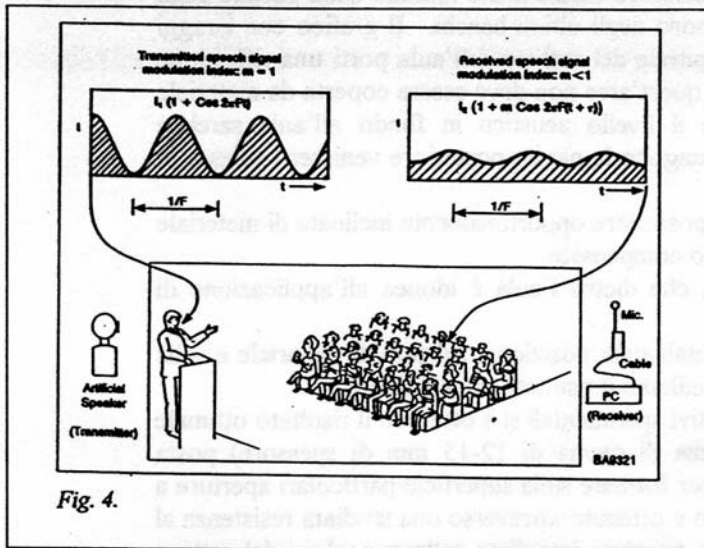
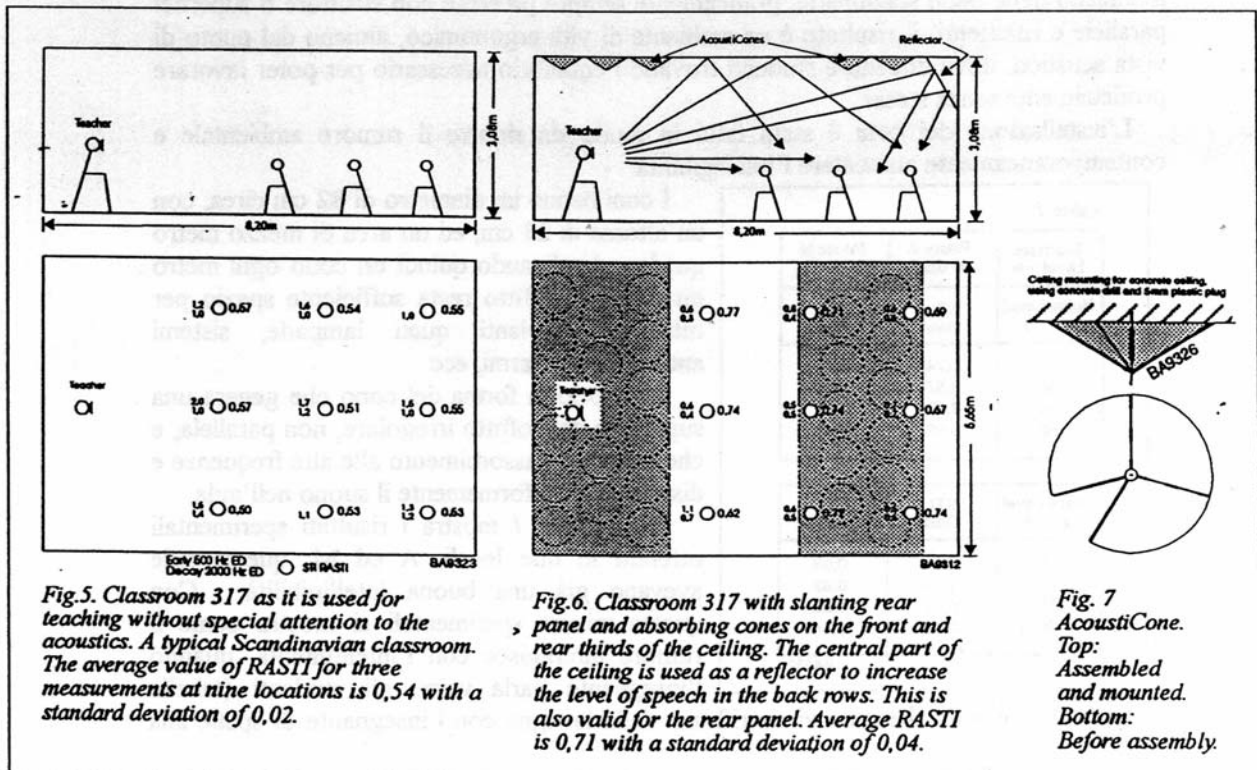


Fig. 4.

Una serie di misure dell'intelligibilità è stata fatta in una tipica aula scandinava, progettata per 20- 25 studenti e costruita, come la maggior parte delle scuole, senza alcuna attenzione agli aspetti acustici delle sale. La classe era piuttosto vecchia e quindi non così grande come le aule moderne; il locale aveva le pareti intonacate. Possiamo affermare che molte aule moderne possono essere acusticamente più scadenti perché sono più grandi e con pareti più rigide.

La Fig. 5 mostra la classe con la posizione della sorgente sonora (il professore); la modulazione è stata misurata in nove punti posti al banco degli studenti. Il trasmettitore stava a 120 cm dal pavimento. Il sistema ha fornito tre dati rilevati per ogni punto di misura: i due valori a sinistra sono gli EDT (Early Decay Times) a 500 e 2000 Hz, a destra il RASTI.

La Fig. 5 mostra la classe con la posizione della sorgente sonora (il professore); la modulazione è stata misurata in nove punti posti al banco degli studenti. Il trasmettitore stava a 120 cm dal pavimento. Il sistema ha fornito tre dati rilevati per ogni punto di misura: i due valori a sinistra sono gli EDT (Early Decay Times) a 500 e 2000 Hz, a destra il RASTI.



In questa prima serie di misure, la classe è nelle condizioni normali e con una cattiva intelligibilità: si rileva un indice RASTI di solo 0,54.

Il tempo di riverbero deve essere considerevolmente ridotto aggiungendo adeguato materiale fonoassorbente. Questo materiale deve essere posto lontano dalla portate degli studenti e non deve ridurre il livello sonoro negli ultimi banchi. Il grafico con i raggi sonori di Fig. 6 mostra come la zona centrale del soffitto dell'aula porti una riflessione utile verso le ultime file. Di conseguenza quest'area non deve essere coperta da materiale fonoassorbente. Inoltre, per aumentare il livello acustico in fondo all'aula sarebbe auspicabile che le onde sonore che raggiungono la parete posteriore venissero riflesse in avanti verso gli ultimi banchi.

Per far questo occorre una superficie posteriore opportunamente inclinata di materiale leggero come una lastra acrilica o di legno compensato.

La superficie del soffitto sia davanti che dietro l'aula è idonea all'applicazione di materiale fonoassorbente.

Sono state fatte molte prove sperimentali sulla posizione, sul tipo di materiale e sulla forma e struttura dello stesso: in Fig. 6 vediamo il risultato più efficiente.

Dopo valutazioni teoriche e vari tentativi sperimentali si è ottenuto il risultato ottimale utilizzando materiale fonoassorbente (lana di roccia di 12-15 mm di spessore) posta all'interno di coni in alluminio intagliati per formare sulla superficie particolari aperture a semiluna: (Fig. 7) L'assorbimento sonoro è ottenuto attraverso una studiata resistenza al flusso acustico, controllato dalle piccole aperture intagliate sulla superficie del settore conico. Questa ricerca ha portato alla nascita dell'AcoustiCone® quale nuovo ed esclusivo sistema per la correzione acustica ambientale; si basa sulla ricerca di equilibrio tra l'assorbimento acustico che riduce il tempo di riverbero ed una diffusione delle onde sonore nell'ambiente per avere una distribuzione uniforme dell'energia ed eliminare il fenomeno delle onde stazionarie, praticamente sempre presente con strutture o superfici parallele e riflettenti; il risultato è un ambiente di vita ergonomico, almeno dal punto di vista acustico, dove docenti e studenti trovano l'equilibrio necessario per poter lavorare proficuamente senza stress.

L'installazione dei coni è stata fatta in modo da ridurre il rumore ambientale e contemporaneamente aumentare l'intelligibilità.

Table 1

Teachers Level →	Room A 60 dB _A	Room M 58,5 dB _A
Noise Level dB _A ↓	STI Rasti	STI Rasti
0	0,74	0,72
50	0,67	0,65
54	0,62	0,61
60	0,56	0,48

Noise Level dB _A ↓	STI Rasti	STI Rasti
0	0,67	0,66
50	0,63	0,62
54	0,59	0,56
60	0,50	0,44

BA9324

I coni hanno un diametro di 82 cm circa, con un'altezza di 23 cm, ed un area di mezzo metro quadro. Applicando quindi un cono ogni metro quadro del soffitto resta sufficiente spazio per tutti gli impianti quali lampade, sistemi antincendio, allarmi, ecc.

È proprio la forma del cono che genera una superficie del soffitto irregolare, non parallela, e che aumenta l'assorbimento alle alte frequenze e distribuisce uniformemente il suono nell'aula.

La Tabella 1 mostra i risultati sperimentali ottenuti in due locali, A ed M; queste aule avevano già una buona intelligibilità. Con queste misure sperimentali si mostra come il rumore interagisce con l'intelligibilità, quando l'insegnante parla verso gli studenti (tabella

superiore) e quando il suono viene riflesso dalla lavagna con l'insegnante di spalle alla

scolaresca (tabella inferiore). L'intelligibilità è misurata in STI col metodo RASTI senza rumore, e con un livello di rumore di 50, 54 e 60 dB(A) che corrisponde ad un livello di 10, 6 e zero dB sotto il livello della voce del docente.

Si evidenziano i seguenti importanti risultati: un rumore di 10 dB sotto al livello della voce riduce l'intelligibilità di 5 a 10 %, ma se il rumore sale di 10 dB, tale da raggiungere quello dell'insegnante, l'intelligibilità si riduce drasticamente. Come ci si poteva aspettare, vediamo che l'intelligibilità è ridotta del 3 al 7 % quando l'insegnante parla verso la lavagna. Questo significa che in queste condizioni è come se venisse introdotto un rumore di circa 10 dB sotto il livello del parlatore.

Conclusione:

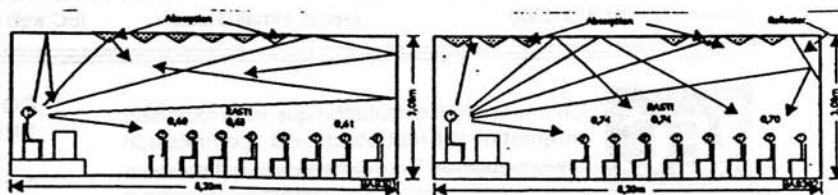
1. Le qualità acustiche di molte aule sono insufficienti. Questo riduce il rendimento delle lezioni e porta ad un inutile affaticamento dei professori e degli studenti.
2. Le aule scolastiche possono essere migliorate e rese più ergonomiche con un costo minimo senza incidere sull'igiene ambientale e sulla "solidità" della classe.
3. L'intelligibilità dovrebbe essere misurata sia sul davanti che in fondo alla classe ed anche sui lati. In un'aula con gli studenti e senza rumore esterno si dovrebbe avere un RASTI non inferiore a 0,70, e preferibilmente superiore a 0,80.
4. È assurdo rendere l'insegnamento più difficile ed affaticare docenti e studenti solo per una cattiva qualità acustica che rende scarsa l'intelligibilità, quando può essere facile porvi rimedio.

Riferimenti:

- Draft-IEC 268 - Sound System Equipment - Part 16: *Report on RASTI method for the objective rating of speech intelligibility in auditoria*;
- Houtgast, T & Steeneken, H.J.M.: *The Modulation Transfer Function in Room Acoustics as a Predictor of Speech Intelligibility*; *Acustica* 28, 66-73, 1973;
- Mattia, G. Mario: *Il laboratorio a misura d'uomo*; Atti del Convegno su Protezione e sicurezza nei laboratori scientifici; CNR, Università "La Sapienza" e ISPESL, Roma febbraio 1984;
- Mattia, G. Mario: *Intelligibilità del parlato quale valutazione della qualità acustica degli ambienti ergonomici*; Atti del IV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ergonomia, Ischia 12-14 maggio 1988;
- Brüel, Per V.: *Intelligibility in Classrooms*, Publication B&K, Nærum 1991;
- Mattia, G. Mario: *Gli Agenti fisici: il Rumore ergonomico*; Atti del XXIII Convegno nazionale AIA95, Bologna 12-14 settembre 1995.

Brüel Acoustics Srl - Viale Cesare Pavese 304 - 00144 ROMA EUR
Tel. 06/50510797- /5020212- fax /50510797-

AIA - GAA: Giornata di studio RUMORE E AMBIENTI SCOLASTICI
Facoltà di Ingegneria - Ferrara - Giovedì 5 ottobre 1995.



**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60268-16

Deuxième édition
Second edition
1998-03

Equipements pour systèmes électroacoustiques –

**Partie 16:
Evaluation objective de l'intelligibilité
de la parole au moyen de l'indice
de transmission de la parole**

Sound system equipment –

**Part 16:
Objective rating of speech intelligibility
by speech transmission index**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



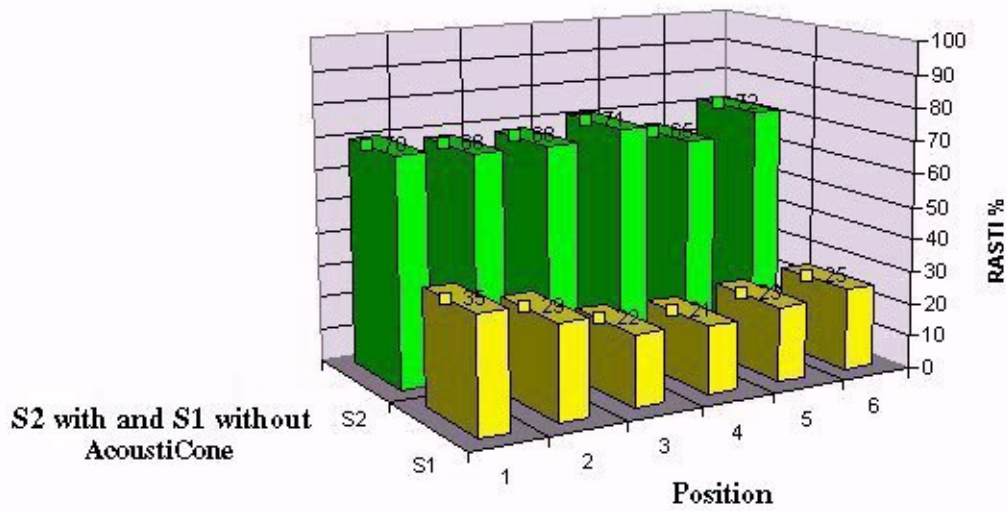
Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

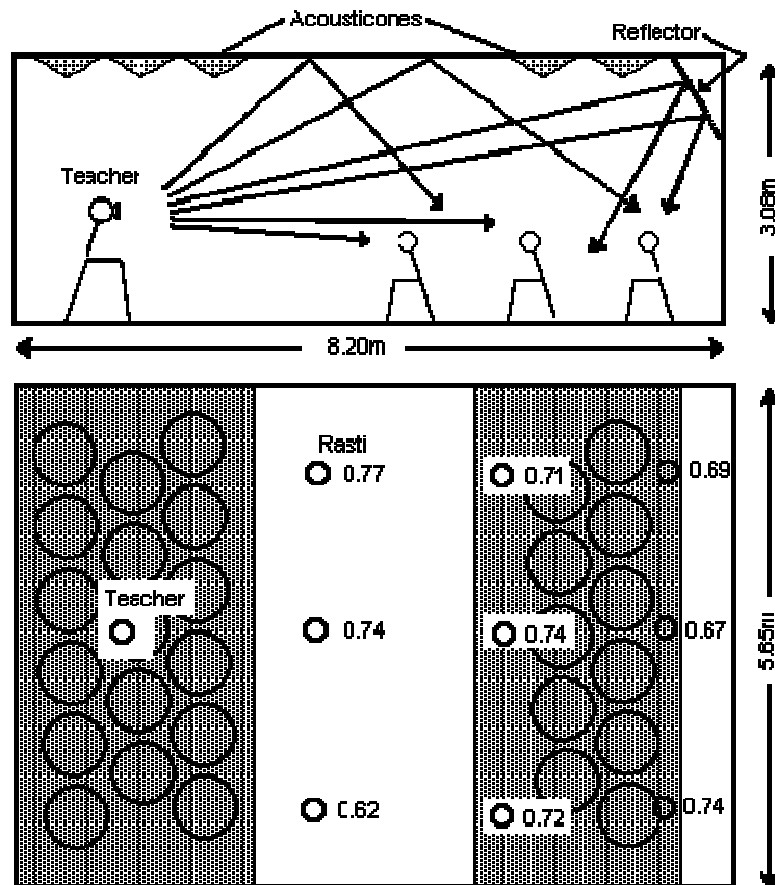
U

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

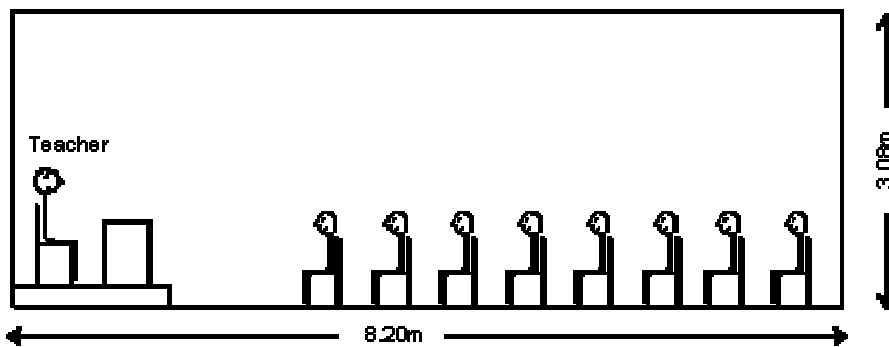
Ergonomia Acustica



Aula corretta con AcoustiCone

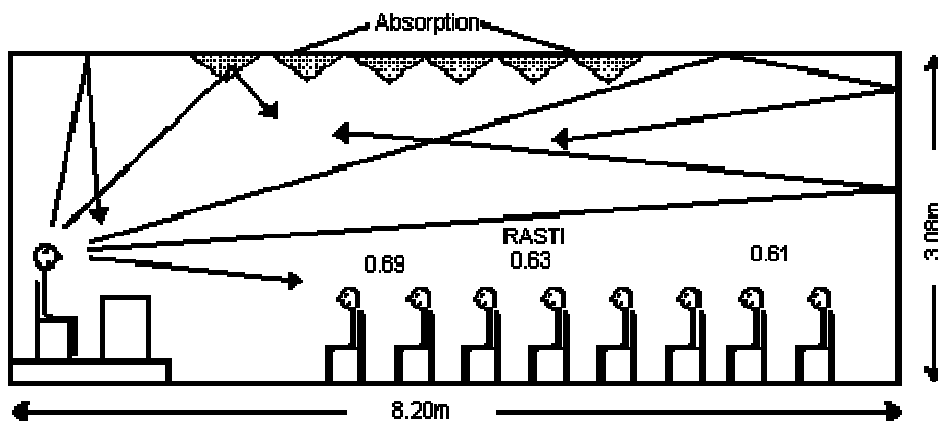


Installazione degli AcoustiCone

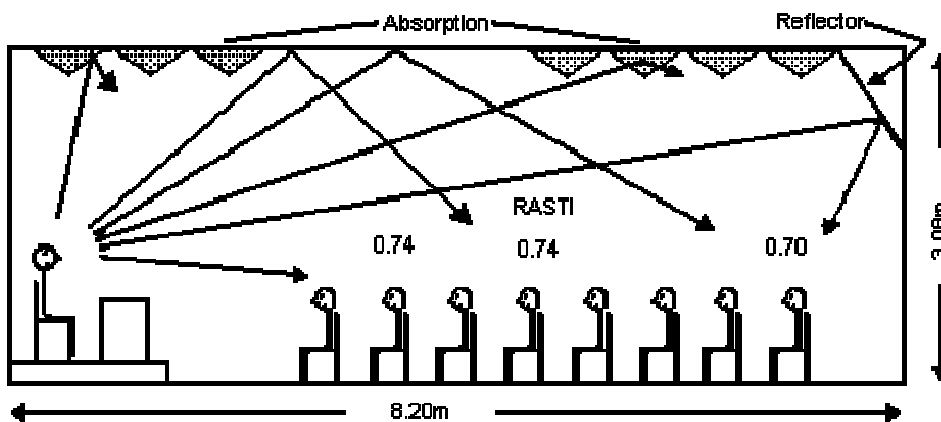


	○ 0.57	○ 0.54	○ 0.55
Teacher	○ 0.57	○ 0.51	○ 0.56
	○ 0.50	○ 0.53	○ 0.53

Situazione prima della correzione acustica dell'aula



Installazione non corretta



Aula con una CORRETTA Installazione degli AcustiCone

AZIENDA USL RM/A
SERVIZIO IGIENE SANITA' PUBBLICA
Via Boncompagni n°101

004387 23LUG97

PROTOCOLLO SLP

Bruel Acousticss.r.l.
via C.Pavese n°304
00144-Roma

ogg.: richiesta parere "AcoustiCone"

Facendo seguito alla richiesta indicata in oggetto, vista la relazione tecnica contenente i dati delle analisi fonometriche, considerato che i rilevamenti sono stati eseguiti con strumentazione di precisione prevista dalla vigente normativa (IEC 651/79 e 804/85) e sottoposta a taratura periodica, visti i risultati delle misurazioni effettuate dopo l'installazione dei correttori che evidenziano un netto miglioramento della intellegibilità (> 50%) e dell'effetto assorbente (abbassamento del tempo di riverberazione), ravvisata la necessità che in determinati ambienti venga assicurato un *ristoro acustico* ottenuto anche attraverso un idoneo trattamento fonoisolante

si ritiene che

i correttori AcoutiCone, secondo i criteri di valutazione stabiliti dalla vigente normativa, rispondano ai requisiti acustici in quanto, determinando un netto miglioramento del clima acustico, favoriscono una ottimizzazione delle condizioni di vita e di lavoro.

Naturalmente dovranno essere installati secondo le indicazioni contenute nella scheda tecnica.

Dir. SISP RMA
Dr. S. Spiridigliozzi

