

## L'ACUSTICA DEL CENTRO LINGUISTICO D'ATENEIO - STUDIO DI SOLUZIONI CORRETTIVE MEDIANTE MODELLI PREVISIONALI ED AURALIZZAZIONE DI BASE

C.Buratti<sup>1</sup>, F.Cotana<sup>1</sup>, A.Nicolini<sup>1</sup>, M.Vergoni<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CIRIAF, Sez. Fisica Tecnica e Inquinamento Ambientale, Università di Perugia, Via Duranti 67, 06125 Perugia

### SOMMARIO

Il Centro Linguistico d'Ateneo dell'Università degli Studi di Perugia ha sede presso il Padiglione Bonucci, un edificio di particolare pregio storico e architettonico nelle cui sale sono state ricavate aule per la didattica. Nonostante i recenti lavori di ristrutturazione, scarsa attenzione è stata posta agli aspetti acustici, con il risultato di una cattiva intelligibilità del parlato, particolarmente importante ai fini dell'insegnamento delle lingue.

Nel presente lavoro sono raccolti i risultati di una campagna di misure per la valutazione dello stato acustico attuale tramite i più comuni descrittori acustici:  $T_{60}$ ,  $C_{50}$ ,  $D_{50}$ , STI e RaSTI. La valutazione dello stato attuale è stata completata inoltre, attraverso appositi tests soggettivi approntati in lingua italiana e inglese secondo la ISO TR 4870.

Sono state formulate delle ipotesi correttive e, attraverso modelli previsionali, si è valutata la variazione dei descrittori acustici confrontandoli con i dati ottimali presenti in Letteratura. Attraverso il processo di auralizzazione, infine, è stato possibile controllare in modo virtuale il miglioramento del clima acustico nelle diverse aule oggetto d'indagine.

### 1. INTRODUZIONE

La qualità acustica di un ambiente confinato è strettamente connessa alla destinazione d'uso e al volume dell'ambiente. Valutando opportunamente in fase progettuale gli aspetti acustici di una sala, si riesce ad ottenere un ambiente di qualità acustica adeguata. Quando ciò non è possibile, si ricorre alla correzione acustica, procedura usualmente più complessa sia per le difficoltà di intervenire a livello strutturale sia per la necessità di coniugare prestazioni tecnicamente soddisfacenti con soluzioni esteticamente poco invasive.

Nelle sale del Centro Linguistico d'Ateneo (CLA) dell'Università di Perugia, dove l'intelligibilità del messaggio sonoro è fondamentale per poter svolgere una didattica ottimale, i recenti lavori di ristrutturazione hanno trascurato gli aspetti acustici così da rendere necessario uno studio per valutare i principali parametri acustici e fornire ipotesi correttive mirate. Il presente lavoro è stato condotto dal personale del Laboratorio di Controlli Ambientali del CIRIAF dell'Università di Perugia che ha effettuato una campagna sperimentale nelle dieci aule destinate all'insegnamento e nell'Aula Magna del CLA.

Il lavoro è articolato nelle seguenti fasi:

1) valutazione del clima acustico attuale delle sale tramite misura del tempo di riverberazione  $T_{60}$  e degli indici di qualità acustica  $C_{50}$ ,  $D_{50}$ , STI, RaSTI; valutazione dell'intelligibilità del parlato tramite test soggettivi di tipo ALCons (Articulation Loss of Consonants);

2) confronto dei risultati della campagna sperimentale con i valori ottimali previsti dalla Letteratura specializzata;

3) modellazione dello stato attuale attraverso un software di simulazione acustica, al fine di calibrare il modello da impiegarsi nella successiva fase di progettazione;

4) proposta di soluzioni migliorative nel rispetto del pregio

storico architettonico dei locali e calcolo dei benefici ottenibili dopo la realizzazione degli interventi correttivi;

5) auralizzazione di base dei risultati ante e post correzione.

I rilievi sono stati effettuati tra la fine del mese di luglio e la prima metà del mese di novembre 2005.

### 2. CAMPAGNA SPERIMENTALE

#### 2.1 Il Centro Linguistico d'Ateneo

Il Centro Linguistico d'Ateneo ha sede nello storico complesso edilizio del Padiglione Bonucci (Fig. 1), situato nella zona sud – ovest della città lungo l'antica via per Assisi. Il padiglione, che prende il nome dalla famiglia che lo acquistò alla fine dell'800, possiede una lunga storia con origini nel XIII secolo quando, nella Perugia comunale, venne fondato il Monastero di Santa Cecilia, primo nucleo dell'attuale edificio.



Figura 1. Il Padiglione Bonucci, sede del CLA

Il suo aspetto odierno è il risultato delle molteplici trasformazioni subite nei secoli, conseguenti alle alterne fortune che lo hanno caratterizzato, fino a divenire sul finire del XIX secolo parte delle strutture del vicino manicomio di Santa Margherita.

Le dieci aule e l'Aula Magna del Centro sono dislocate su tre livelli, hanno superfici diverse e sono tutte dotate di aperture verso l'esterno per mezzo di porte o finestre (Fig. 2a). Difformi sono le finiture delle pareti e i complementi d'arredo delle sale: l'aula 1, di pianta quadrata, ha mantenuto il soffitto originale con volte a crociera; il soffitto dell'aula 4, con volta a botte, è realizzato con mattoni faccia a vista; anche in questo caso la pianta ha la forma di un quadrato. Le restanti aule presentano caratteristiche simili: hanno pianta rettangolare ed è stato montato un controsoffitto in cartongesso semplice che ha ridotto il volume originario di ciascun ambiente. Particolarmente interessante è l'architettura dell'Aula Magna, con una serie di volte a crociera con mattoni faccia a vista e archi a tutto sesto su cui sono ricavate le aperture finestrate (Fig. 2b).



Figura 2. CLA: a) Aula 3; b) Aula Magna

## 2.2 Strumentazione e metodologia di misura

La diversa configurazione architettonica e volumetrica delle sale ha determinato diverse modalità di rilievo e un differente numero di punti di misura per descrivere in maniera adeguata il comportamento acustico degli ambienti secondo le prescrizioni della UNI EN ISO 3382 [2]. Le caratteristiche delle aule, il numero dei punti di misura e dei diffusori presenti sono riassunti in tabella 1.

Tabella 1. Caratteristiche delle aule, numero dei diffusori e dei punti di misura

AULA	VOLUME (m <sup>3</sup> )	CAPIENZA (n. posti)	DIFFUSORI	N° PUNTI DI MISURA
1	180	40	2	3
2	315	35	4	3
3	440	48	4	3
4	180	36	2	3
5	180	32	2	3
6	420	45	4	4
7	320	30	4	3
8	320	30	4	3
9	160	25	2	3
10	360	36	4	3
Magna	700	114	6	5

Il sistema di misura è costituito dalla stazione SYMPHONIE della 01dB-Stell, dal Personal Computer dedicato, da una sorgente omnidirezionale, da un microfono a condensatore da ½ pollice Type 40AR della G.R.A.S. Sound & Vibration, con preamplificatore PRE12 della 01dB-Stell, posto su asta rigida regolata all'altezza di 1,2 m.

La prima parte di misure è stata effettuata con la sorgente

dodecaedrica e con l'impianto di elettrodifusione spento.

È questa la condizione più svantaggiosa, dal momento che la funzione principale dell'impianto di diffusione sonora è migliorare la qualità del segnale acustico in ambiente. Tramite il metodo della risposta interrotta è stato determinato il tempo di riverberazione di ogni sala, dato necessario per impostare la durata delle misure seguenti.

L'acquisizione dei descrittori acustici è stata ottenuta con il metodo della risposta all'impulso, con la generazione di un segnale pseudocasuale MLS (Maximum Length Sequence) che copre l'intervallo di frequenze normalmente occupate dalla voce umana.

La misura dei parametri è stata ripetuta per ogni posizione all'interno di ciascuna aula, prima per bande di ottava e poi per bande di 1/3 di ottava. Infine, posizionando il microfono negli stessi punti, tutte le misure sono state ripetute collegando il Symphonie al finale di potenza del sistema di diffusione, così da valutare le differenze nei valori dei descrittori nelle situazioni di impianto acceso e spento.

## 2.3 Test ALCons

Il livello di intelligibilità delle aule è stato valutato anche attraverso test soggettivi come descritto nella normativa ISO/TR 4870 [3].

Tutte le persone coinvolte devono avere condizioni psicofisiche normali tali da poter considerare il campione statisticamente significativo. I lettori (almeno due secondo le norme, un maschio e una femmina) e gli ascoltatori (in numero pari o superiore ai lettori) vanno scelti fra soggetti medi rappresentativi per lingua madre, età e sesso di chi sarà l'utilizzatore dell'impianto analizzato e non devono evidenziare alcun grave difetto di pronuncia o inflessione dialettale non locale. Nel caso in esame i lettori sono stati posizionati in prossimità della cattedra mentre gli ascoltatori sono stati distribuiti in maniera casuale nell'area loro destinata.

La tipologia di test utilizzata è stata quella a risposta chiusa; l'oratore è stato dotato di una lista di vocaboli da leggere con continuità, come un dettato, interponendo tra una parola e l'altra la frase portante: "Segnate ora la parola .....".

La frase portante è costituita in maniera tale che la corretta comprensione dello stesso fonema non dipenda dal suo contesto e dal suo significato. Gli otto ascoltatori (quattro di sesso maschile e quattro di sesso femminile) sono stati dotati di una lista con tre possibili alternative tra cui scegliere la parola udita, inclusa quella effettivamente pronunciata.

Considerata la particolare destinazione d'uso del CLA, sono state create quattro liste, ciascuna costituita da 50 vocaboli: due con fonemi in lingua italiana e due con fonemi in lingua inglese. I fonemi scelti sono stati principalmente vocaboli bisillabi che differiscono tra loro, nella prima o nella seconda sillaba, per una consonante (inglese) o per l'intera sillaba (italiano). Alcuni fonemi tratti dalle liste create sono riportati in tabella 2.

Tabella 2. Esempio dei test ALCons

Fonema letto	Opzioni		
DANA	BANA	DANA	TANA
TIPI	TIBI	TIPI	TICHI
CAT	CAT	GAT	RAT
BEN	BELL	BEN	BET

La lettura è stata ripetuta due volte in ogni aula; il set di vocaboli di ogni scelta tripla è stato creato ad hoc, affinché i

fonemi varianti risultassero prossimi e quindi facilmente confondibili nella dizione.

Per la valutazione dell'intelligibilità la norma riporta la seguente relazione (Eq.1):

$$I(\%) = \frac{100}{T} \left( R - \frac{W}{N-1} \right) \quad (1)$$

dove T rappresenta il numero totale di items del test, N il numero di alternative per ogni item, R (right) il numero di risposte esatte e W (wrong) il numero di risposte errate. Il valore numerico è poi tradotto in un giudizio qualitativo, in base ai valori riportati in tabella 3.

Tabella 3. Grado di intelligibilità in funzione della percentuale di parole comprese

Parole comprese	Grado di intelligibilità
< 35 %	CATTIVO
35÷65 %	SCARSO
65÷80 %	SUFFICIENTE
80÷95 %	BUONO
> 95 %	OTTIMO

Un'ulteriore relazione matematica lega il valore dello STI al giudizio di intelligibilità del test ALCons (Eq. 2) [8]:

$$ALCons = 170,5405e^{-5,419(STI)} \quad (2)$$

In tabella 4 sono riportati gli intervalli di variabilità per la scala di giudizio.

Tabella 4. Classi di giudizio fornite dalla relazione tra ALCons e STI

Valori di ALCons	Giudizio di intelligibilità
0 - 5	Ottimo
5 - 10	Buono
10 - 15	Sufficiente
15 - 20	Scarso
> 20	Cattivo

### 3.STATO ACUSTICO ATTUALE

I risultati della campagna sperimentale evidenziano come lo stato acustico attuale risulti scadente in ogni sala. I tempi di riverberazione ottenuti a impianto spento vanno da un massimo di 4,5 secondi per le basse frequenze fino a valori nell'intorno di 1 secondo per le alte frequenze, discostandosi in ogni caso dagli intervalli di valori ottimali. I valori misurati ad impianto acceso hanno andamento simile e si mantengono leggermente al di sopra di quelli ad impianto spento, peggiorando ulteriormente il risultato.

A titolo d'esempio, in figura 3 è mostrato l'andamento di  $T_{60}$  per l'aula 7, misurato ad impianto acceso e ad impianto spento in funzione della frequenza e confrontato con l'intervallo di variabilità dei valori ottimali desunto dalla Letteratura.

Anche i valori degli Indici di Chiarezza e Definizione evidenziano una situazione critica per la corretta intelligibilità del parlato. E' stato possibile osservare come l'impianto di diffusione arrechi benefici significativi solo nel caso dell'aula 2 dove, a tutte le frequenze, i valori dei due indici sono migliori rispetto al caso della misura con impianto spento. Nel caso delle aule 1, 7 e 8 (riportata a titolo d'esempio in Fig. 4),

l'andamento di D con impianto acceso risulta peggiore rispetto alle misure con impianto spento.

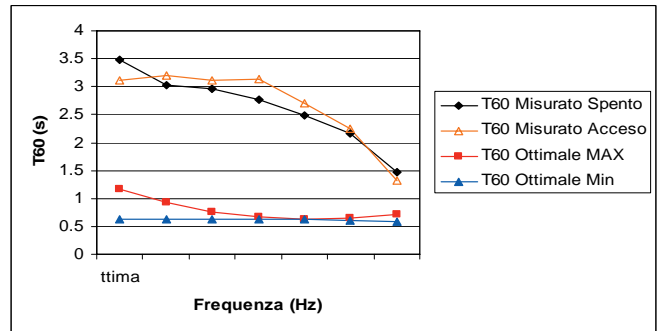


Figura 3. Tempo di riverberazione dell'aula 7 e confronto con i valori ottimali

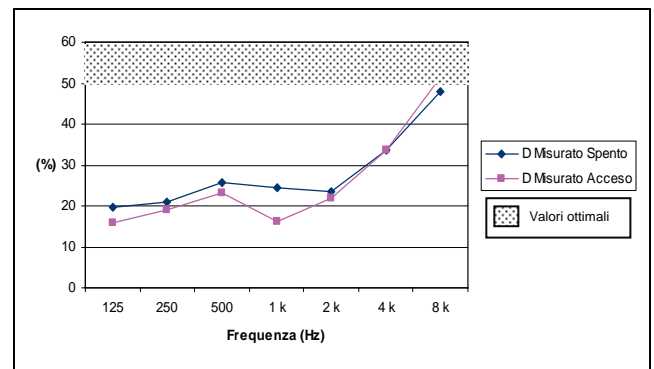


Figura 4. Andamento dell'indice di Definizione nell'aula 8 e confronto con i valori ottimali

Nei rimanenti casi le linee di tendenza si intersecano, mostrando miglioramenti ad alcune frequenze e peggioramenti in altre. Si tratta comunque di dati ampiamente inferiori ai valori ottimali consigliati.

Tabella 5. Indici STI e RaSTI – valori misurati ad impianto spento ed acceso e relative classi di intelligibilità

AULA	IMPIANTO	STI	CLASSE STI	RaSTI	CLASSE RaSTI
1	Spento	0.47	Discreta	0.49	Discreta
	Acceso	0.46	Discreta	0.47	Discreta
2	Spento	0.44	Scadente	0.46	Discreta
	Acceso	0.45	Scad/Disc	0.46	Discreta
3	Spento	0.43	Scadente	0.44	Mediocre
	Acceso	0.43	Scadente	0.42	Mediocre
4	Spento	0.49	Discreta	0.48	Discreta
	Acceso	0.49	Discreta	0.49	Discreta
5	Spento	0.48	Discreta	0.50	Discreta
	Acceso	0.48	Discreta	0.48	Discreta
6	Spento	0.45	Scad/Disc	0.46	Discreta
	Acceso	0.44	Scadente	0.41	Mediocre
7	Spento	0.43	Scadente	0.44	Mediocre
	Acceso	0.42	Scadente	0.42	Mediocre
8	Spento	0.44	Scadente	0.45	Discreta
	Acceso	0.43	Scadente	0.42	Mediocre
9	Spento	0.47	Discreta	0.48	Discreta
	Acceso	0.46	Discreta	0.49	Discreta
10	Spento	0.43	Scadente	0.45	Discreta
	Acceso	0.44	Scadente	0.44	Mediocre

Confrontando i valori riportati in tabella 5 con le classi di qualità dell'intelligibilità reperibili in Letteratura [5], si

osserva come per l'indice STI nelle aule 2, 3, 6, 7, 8 e 10, sia per le misure con sorgente omnidirezionale che con i diffusori, la classe di qualità del parlato risulti scadente. Nelle aule 1, 4, 5 e 9 l'indice STI definisce una classe di qualità appena discreta, determinata essenzialmente dalle ridotte dimensioni delle sale.

Per quel che riguarda l'indice RaSTI, la situazione è meno critica: solo le aule 3, 7, 8 e 10 presentano un risultato mediocre; risulta mediocre anche l'indice per l'aula 6 misurato con l'impianto acceso. In tutte le altre sale si ottiene una qualità di trasmissione del parlato discreta, anche se sempre con valori spostati verso il limite inferiore della classe.

I risultati delle prove ALCons per le dieci aule sono riportati in tabella 6: si evidenzia uno stato complessivo buono, ad eccezione dell'Aula 3 dove il risultato è sufficiente.

Tabella 6. Risultati dei test ALCons per le dieci aule

AULA	MEDIA	Grado di intelligibilità
1	85,28	Buono
2	88,98	Buono
3	79,66	Sufficiente
4	91,75	Buono
5	91,89	Buono
6	84,72	Buono
7	84,67	Buono
8	88,09	Buono
9	92,36	Buono
10	84,77	Buono

Più aderenti ai risultati sperimentali sono i valori ottenuti applicando la relazione empirica tra ALCons e STI (Eq.2), dove il giudizio di intelligibilità per le aule è appena sufficiente come mostrato in tabella 7.

Tabella 7. Risultati della relazione tra ALCons e STI

Aula	STI acceso	Valori ALCons	Giudizio di intelligibilità
1	0.46	12.98	Sufficiente
2	0.45	13.73	Sufficiente
3	0.43	15.36	Scarso
4	0.49	10.97	Sufficiente
5	0.48	11.61	Sufficiente
6	0.44	14.52	Sufficiente
7	0.42	16.24	Scarso
8	0.43	15.36	Scarso
9	0.46	12.98	Sufficiente
10	0.44	14.52	Sufficiente

#### 4. MODELLO TEORICO

La progettazione di soluzioni migliorative per l'acustica delle sale del CLA è stata effettuata attraverso un modello previsionale di simulazione dei principali descrittori acustici. Il modello viene tarato ricreando lo stato attuale e confrontando i risultati della simulazione con quelli delle misure; una volta calibrato, il modello stesso è impiegato per valutare lo stato di progetto, ossia ricalcolare i descrittori acustici ipotizzando diverse soluzioni migliorative.

Il programma utilizzato, denominato RAMSETE, si avvale dell'approssimazione dell'acustica geometrica e di un algoritmo di tracciamento di fasci divergenti piramidali.

Dopo aver ricostruito le sale con il modulo CAD del programma (Fig. 5), si è passati alla fase di simulazione dello stato attuale stimando i coefficienti di assorbimento acustico

dei materiali delle aule, inserendo nel modello microfoni e sorgente virtuali nelle stesse posizioni occupate durante le misure in ciascuna delle aule esaminate.

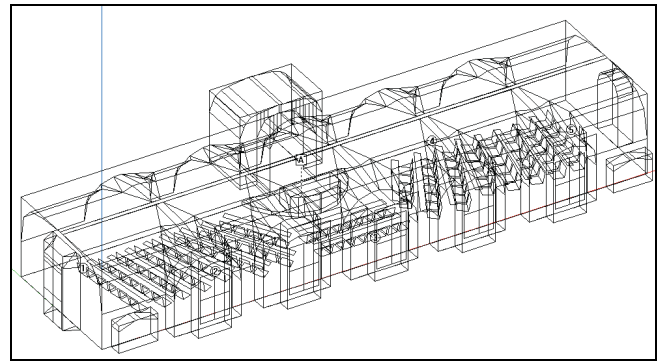


Figura 5. Modello dell'Aula Magna ricostruito con Ramsete CAD

A partire dai risultati del livello equivalente di pressione in bande di ottava, tramite l'apposito modulo Source Manager, è stata creata la sorgente virtuale, inserendo per ogni banda di frequenza il valore reale, ricreando così una sorgente con caratteristiche di emissione identiche.

Successivamente, il modello è stato tarato con un processo iterativo per ottenere la convergenza dei parametri acustici previsti dal software verso quelli misurati a impianto spento. Un esempio dei risultati della procedura è riportato in figura 6: è evidente la convergenza tra valori misurati e simulati del tempo di riverberazione e dell'indice di Chiarezza per l'Aula 7 a riprova della coincidenza tra valori misurati e valori calcolati.

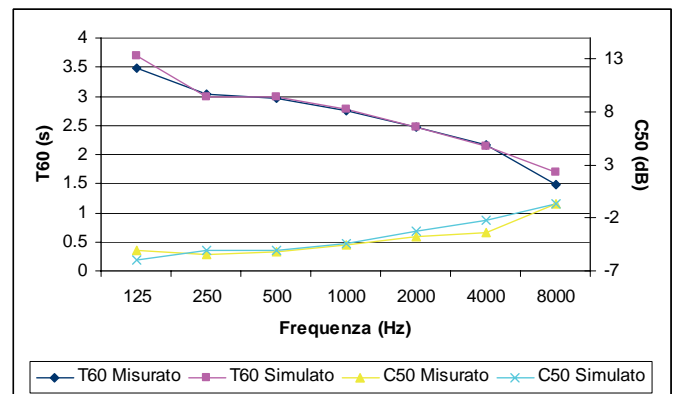


Figura 6. Confronto tra valori misurati e simulati di  $T_{60}$  e  $C_{50}$  nell'Aula /

#### 4.1 Processo di auralizzazione

La procedura di auralizzazione è definibile come una realtà acustica virtuale e viene impiegata per descrivere il "processo combinato di riverberazione artificiale e ricostruzione della sensazione spaziale prodotte da una sala su un segnale sonoro originariamente anecoico" [6].

Matematicamente si esprime tramite l'integrale di convoluzione secondo Laplace, riportato in Eq.3:

$$y(t) = \int_0^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau = x(t) \otimes h(t) \quad (3)$$

dove  $x(t)$  è il segnale anecoico,  $h(\tau)$  è la risposta all'impulso e  $y(t)$  è il segnale auralizzato.

## 5. SOLUZIONI PROGETTUALI

La scelta dei materiali per la correzione acustica si è basata essenzialmente sulle caratteristiche tecniche degli stessi privilegiando, dopo l'analisi dello stato attuale, quelli aventi qualità specifiche per l'intervento all'interno delle aule del CLA. Dopo un'accurata indagine di mercato, sono stati individuati i pannelli forati risonanti assorbenti Topakustik (Fig. 7), un sistema a lamelle il cui materiale di supporto è MDF (Medium Density Fibreboard, costituito da fibre di legno incollate con un processo di pressatura ad alta temperatura). Il prodotto è disponibile in diverse tipologie, determinate dalle dimensioni delle fresature e dalla loro distanza reciproca sulla superficie visibile, nonché dalle diverse geometrie di perforazione del retro, cui corrispondono differenti caratteristiche di fonoassorbimento.

Inoltre, come complemento all'intervento con i pannelli risonanti, è stata individuata una tipologia di pannelli porosi fonoassorbenti: l'Isotek Slik (Fig. 8), realizzato in Espanso Basotect® della BASF, un materiale a base di resina melamminica, di colore grigio chiaro con prestazioni di assorbimento buone soprattutto alla frequenza di 1000 Hz.

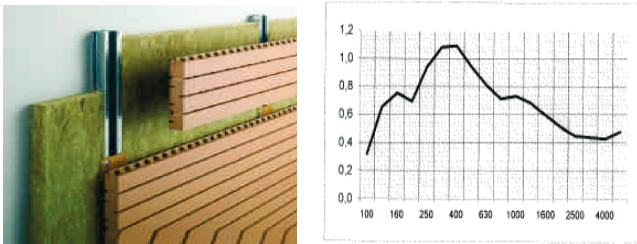


Figura 7 Pannelli Topakustik e relativo coefficiente di assorbimento in funzione della frequenza

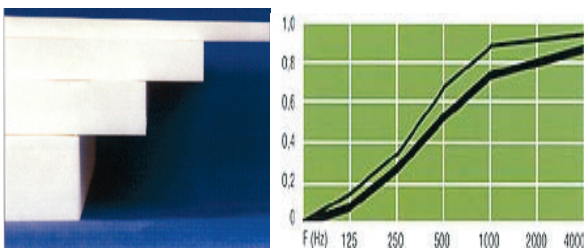


Figura 8. Rivestimento Isotek Slik e relativo coefficiente di assorbimento in funzione della frequenza

Per ciascuna delle dieci aule oggetto di indagine si sono proposte tre differenti soluzioni correttive (Fig. 9):

1. applicazione del pannello Topakustik sul soffitto;
2. applicazione del pannello Topakustik sulle pareti;
3. applicazione del pannello Topakustik sulle pareti e applicazione del pannello Isotek Slik sul soffitto.

Si è potuto osservare come la correzione n. 3 porti miglioramenti sostanziali al clima acustico delle aule rispetto alle ipotesi 1 e 2, determinando un maggior avvicinamento dell'andamento del tempo di riverberazione ai valori ottimali e contemporaneamente ad un aumento notevole degli indici di chiarezza e definizione, soprattutto alle frequenze centrali, (si

veda l'esempio dell'aula 6 in Fig. 10).

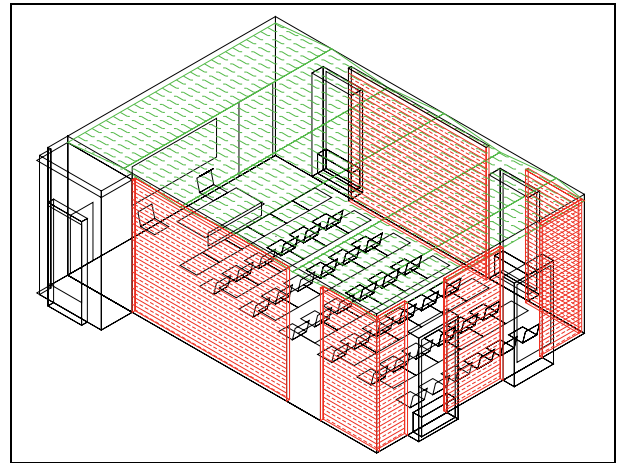


Figura 9. Applicazione dei pannelli Topakustik e del rivestimento Isotek Slik in Aula 10

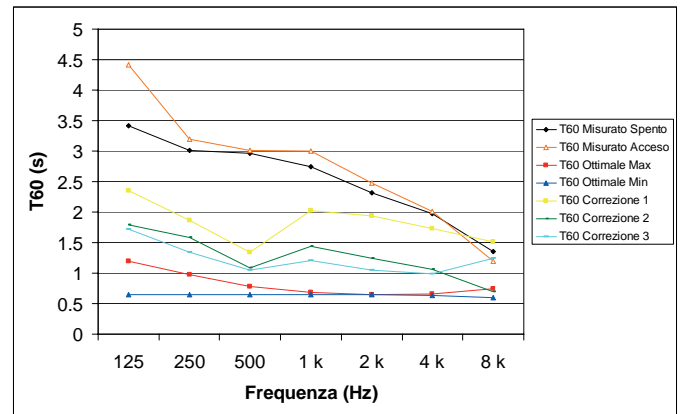


Figura 10.  $T_{60}$  in Aula 6 – Confronto tra valori attuali misurati, valori ottimali e valori simulati dopo le soluzioni progettuali

La correzione dell'Aula Magna è avvenuta mediante interventi diversi rispetto alle altre sale; in particolare:

1. impiego di un intonaco fonoassorbente;
2. sostituzione delle poltroncine attualmente installate e applicazione di tendaggi alle finestre;
3. correzioni delle soluzioni 1 e 2 e applicazione di una superficie riflettente in vetro alle spalle dell'oratore.

Si nota (Fig. 11) come le tre correzioni nell'Aula Magna portino ad un sensibile avvicinamento dei valori di  $T_{60}$  ai valori ottimali. La correzione n. 1 apporta abbassamenti del  $T_{60}$  a tutte le frequenze, in particolare a quelle di maggior interesse, comprese tra 500 Hz e 2 kHz. Diverso è il risultato ottenuto con la correzione n. 2, con cui si raggiungono decrementi del tempo di riverberazione molto consistenti alle basse frequenze; l'andamento risulta pressoché costante con la frequenza, attestandosi su valori prossimi ad 1,3 secondi. Si evidenzia come la correzione n. 3 sia quella per cui si ottiene il miglioramento più significativo: la diminuzione di  $T_{60}$  ottenuta con questa soluzione consente di rientrare a tutte le frequenze entro l'intervallo di variabilità ottimale. L'indice di definizione mostra un incremento costante a tutte le frequenze e per le frequenze tra 500 Hz e 4 kHz si mantiene sempre superiore al 70% raggiungendo un massimo in corrispondenza

di 2 kHz, pari all'80%. A conferma del miglioramento della trasmissione del suono nella sala, dovuto all'introduzione della superficie riflettente, sono anche i valori degli indici STI e RaSTI, per i quali si osserva un incremento: ad esempio lo STI, aumenta del 6.5% rispetto al valore misurato, rientrando nella classe discreta.

Una sintesi dei descrittori acustici misurati e simulati dopo la correzione e ottimali è riportata in tabella 8: per ogni aula studiata, sono riassunti i valori di  $T_{60}$  e  $D_{50}$  a 500Hz e il valor medio dello STI.

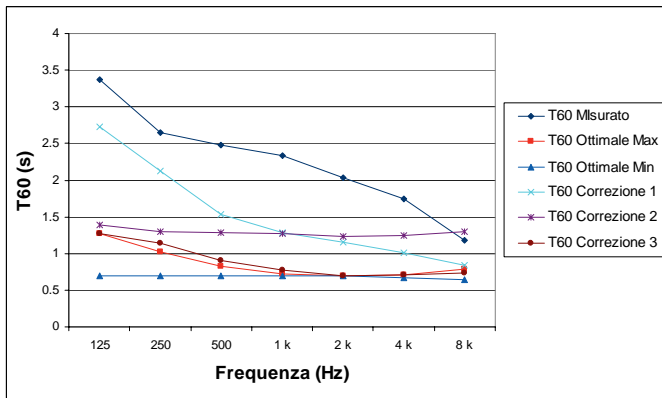


Figura 11.  $T_{60}$  in Aula Magna – Confronto tra valori attuali misurati, valori ottimali e valori simulati dopo le soluzioni progettuali

Tabella 8. Descrittori acustici misurati, corretti e ottimali

Aula	$T_{60}$ a 500 Hz [s]			$D_{50}$ a 500 Hz [%]*		STI **	
	Mis.	Corr.	Ottimale	Mis.	Corr.	Mis.	Corr.
1	2.39	0.94	0.61-0.73	27	72	0.47	0.59
2	2.98	0.89	0.63-0.76	28	88	0.44	0.57
3	3.24	0.66	0.66-0.79	19	82	0.43	0.49
4	2.25	0.99	0.61-0.73	28	57	0.49	0.60
5	2.07	0.97	0.61-0.73	26	87	0.48	0.58
6	2.96	1.05	0.65-0.78	25	83	0.45	0.51
7	2.96	0.94	0.63-0.76	23	88	0.43	0.58
8	2.98	0.68	0.63-0.76	26	86	0.44	0.52
9	2.10	0.82	0.60-0.72	28	91	0.47	0.64
10	3.03	1.08	0.64-0.77	26	85	0.43	0.48
Magna	2.48	0.90	0.69-0.83	29	74	0.46	0.49

\*Valore ottimale  $D_{50} > 50\%$  - \*\*Per STI  $> 0.45$  intelligibilità discreta

## 6. CONCLUSIONI

Una corretta trasmissione del messaggio sonoro in ambienti confinati riveste un ruolo centrale soprattutto in ambiti dove la destinazione d'uso è l'insegnamento delle lingue. E' questo il caso del Centro Linguistico d'Ateneo, oggetto del presente lavoro, dove, attraverso una campagna di misure, è stato caratterizzato lo stato acustico attuale delle dieci aule didattiche e dell'Aula Magna. In ciascuna sala sono stati misurati i principali descrittori acustici  $T_{60}$ ,  $C_{50}$ ,  $D_{50}$ , STI e RaSTI e, per la valutazione soggettiva dell'intelligibilità, sono stati condotti dei test ALCons. I risultati sono stati confrontati con gli intervalli ottimali presenti in Letteratura. La situazione è apparsa fortemente compromessa: con l'ausilio di un software previsionale si è simulato lo stato attuale con la creazione di un modello, lo stesso è stato calibrato così da

risultare aderente alle condizioni reali. Successivamente si sono ipotizzate diverse soluzioni correttive nelle aule per migliorarne l'intelligibilità del parlato e valutando i benefici ottenibili con lo stesso software. I risultati delle simulazioni hanno mostrato un sensibile miglioramento dei valori dei descrittori acustici per ciascuna delle soluzioni ipotizzate, portando la qualità acustica delle sale ad un livello complessivo discreto-buono. Il tempo di riverberazione diminuisce, avvicinandosi ai valori ottimali o coincidendo con gli stessi per alcune frequenze. Anche gli altri descrittori, indice di chiarezza, indice di definizione, STI e RaSTI, soprattutto alle frequenze centrali, tendono a coincidere con i valori ottimali indicati in Letteratura. Si è passati infine all'auralizzazione dei risultati ottenuti: come segnale anecoico è stato impiegata la declamazione di un brano della poesia di Giacomo Leopardi "Il sabato del villaggio", e come risposte all'impulso quelle generate dal software Ramsete.

Si è potuto valutare come la situazione attuale risulti davvero scadente: i versi della poesia sono scarsamente comprensibili. Soprattutto nelle aule di volume più grande, si percepisce chiaramente la distanza dall'oratore e la cattiva risposta sonora dell'ambiente, con una fastidiosa sovrapposizione delle sillabe. Gli interventi proposti migliorano nettamente la qualità del segnale: i versi della poesia sono chiari e la trasmissione del messaggio sono molto nitida.

L'attività si concluderà con la ripetizione delle misure dopo la realizzazione degli interventi, al fine di confrontare i risultati con i valori ipotizzati in fase di progetto e simulazione.

## 7. ELENCO DEI SIMBOLI

$C_{50}$ : indice di chiarezza [dB]

$D_{50}$ : indice di definizione [%]

$h(\tau)$ : risposta all'impulso

$T_{60}$ : tempo di riverberazione [s]

$x(t)$ : segnale anecoico

$y(t)$ : segnale auralizzato

## 8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] M.Felli: Lezioni di Fisica Tecnica 2 – Nuova edizione a cura di C.Buratti – Morlacchi Editore, 2004.

[2] UNI EN ISO 3382 – Acustica – Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri acustici.

[3] ISO TR 4870 – Acoustics – The construction and calibration of speech intelligibility tests, 1991.

[4] International Standard IEC 60268-16: Objective rating of speech intelligibility by Speech Transmission Index, 1998.

[5] G.Moncada Lo Giudice, S. Santoboni: Acustica, Masson, 1997.

[6] R. Spagnolo – Manuale di Acustica applicata – UTET, Torino 2001.

[7] A.Farina: L'acustica dei piccoli ambienti di ascolto – Atti del seminario AES 2001.

[8] U.Nicolao, Manuale di Acustica Applicata per la Diffusione Sonora, Ed. Il Rostro, Milano, 2003.

[9] AA. VV. La Diffusione Sonora in Ambienti Acusticamente Difficili, Quaderni di aggiornamento in tecniche e tecnologie audio, Ed. Il Rostro, 2002.