

# MISURA DEL TEMPO DI MISCELAZIONE IN AMBIENTI SABINIANI E NON SABINIANI

**38° Convegno Nazionale Associazione Italiana Acustica - Rimini 2011**

G. GHELFI (1), L. RIZZI (2), F. NASTASI (2), A. SARTI (1)

(1) Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica e Informazione

(2) Studio Ingegneria Acustica Suonoevita, Lecco



## Introduzione

- In questo studio si propone una misura del Tempo di Miscelazione di un ambiente utilizzando tecniche presenti in letteratura ([1],[2]), opportunamente ottimizzate, applicandole a quattro risposte all'impulso di ambienti dalle caratteristiche acustiche ben diversificate.
- Si tratta di uno studio preliminare sull'argomento, volto soprattutto a valutare l'applicabilità delle tecniche e studiare l'affidabilità e utilità della misura anche per ambienti non Sabiniani (p.e. sale per la musica).



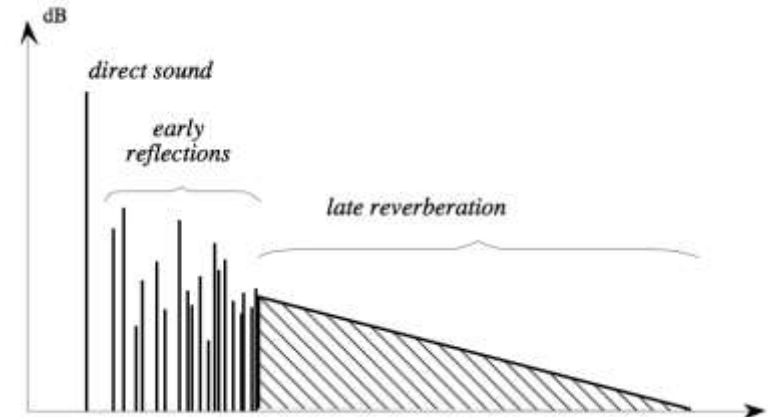
## Ambienti non sabiniani

- Per ambiente non sabiniano, si intende un ambiente di piccole dimensioni e/o con molto assorbimento, nel quale non possano essere considerate valide le assunzioni di Sabine sulla distribuzione del suono riflesso negli ambienti e per il quale i parametri acustici specificati nella ISO 3382 risultano di utilità non sempre rilevante.
- L'interesse verso tali tipologie di ambiente è dovuto al fatto che le dimensioni delle sale dedicate alla musica (sale di registrazione, sale prova, etc.) si stanno riducendo e coincidono con le dimensioni degli spazi quotidiani in cui viviamo tutti i giorni.



## Riflessioni sonore

- La risposta all'impulso di ogni locale **chiuso o semi-chiuso** è composta da tre elementi: suono diretto, prime riflessioni e riverberazione diffusa.
- La densità delle riflessioni cresce al passare del tempo finché non è più possibile distinguere singoli contributi e il loro insieme può essere considerato un processo gaussiano. Ciò equivale all'assunto dell'equi-probabilità di direzione d'arrivo in un campo diffuso dietro la teoria di Sabine.





## Tempo di Miscelazione

- L'istante in cui avviene la transizione fra le prime riflessioni e la riverberazione diffusa è detto Tempo di Miscelazione (Mixing Time,  $t_{\text{mix}}$ ).
- La determinazione di tale parametro consente di capire da quale istante in poi sarà possibile considerare l'energia acustica uniformemente distribuita all'interno dell'ambiente.



## $t_{mix}$ - definizione teorica (1)

- In letteratura si possono trovare diverse definizioni del Tempo di Miscelazione.
- Il valore teorico maggiormente usato per la definizione del  $t_{mix}$  viene definito in [3] stabilendo una relazione col volume dell'ambiente:

$$t_{mix} \approx \sqrt{V} \quad [\text{ms}]$$



## $t_{mix}$ - definizione teorica (2)

- Un'altra definizione viene fornita da Blesser in [4]: egli lo definisce come il tempo necessario affinché non ci sia più memoria dello stato iniziale del sistema. Per darne un valore approssimato, Blesser suggerisce che il  $t_{mix}$  sia tre volte il cammino libero medio:

$$t_{mix} (Blesser) = 3 \langle Lm \rangle = 3 \left( \frac{4V}{S} \right) \quad [\text{ms}]$$

- Per cammino libero medio ( $Lm$ ) si intende la distanza coperta mediamente da un raggio sonoro fra riflessioni successive.



## Algoritmi di misura

- Al fine di ottenere una misura consistente del  $t_{\text{mix}}$ , a partire dalle  $h(t)$  di diversi ambienti, sono stati sviluppati due diversi algoritmi di misura.
- Entrambi gli algoritmi si basano sulle caratteristiche di gaussianità del campo diffuso applicandole all'elaborazione numerica del segnale temporale mentre passa da un regime deterministico a uno stocastico.





## Algoritmo 1 - Deviazione Standard

- Il primo metodo, proposto da Abel e Huang [1], fornisce una curva di stima della gaussianità volta a misurare la densità degli echi di una  $h(t)$ .
- Tale curva viene costruita in base alla dispersione della deviazione standard della finestra temporale di analisi (la finestra è mobile e shifta lungo la risposta all'impulso).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{\delta+1} \sum_{\tau=t}^{\delta} h^2(\tau)}$$

$$\eta(t) = \frac{1 / \operatorname{erfc}(1 / \sqrt{2})}{\delta+1} \sum_{\tau=t}^{\delta} \mathbf{1}\{|h(\tau)| > \sigma\}$$



## Algoritmo 1 - Procedura

- Per ogni finestra viene calcolata la deviazione standard e il numero di campioni che giacciono “al di fuori” di tale valore.
- Il numero di campioni considerati come *outliers* viene poi messo in rapporto con il numero di *outliers* che si avrebbero con la distribuzione gaussiana.
- Prime riflessioni → valori alti di dev. std. e minor numero di *outlier*.
- Al crescere del tempo, con pattern di riflessione sempre più densi, il numero di *outlier* diverrà sempre di più paragonabile con quello atteso per la gaussiana.
- Quando la curva che viene a formarsi, raggiungerà il valore 1, tale istante potrà essere considerato come  $t_{mix}$ .

## Algoritmo 2 - Curtosi

- Il secondo metodo, proposto da Stewart e Sandler [2], si basa sul calcolo della curtosi nella finestra di analisi.

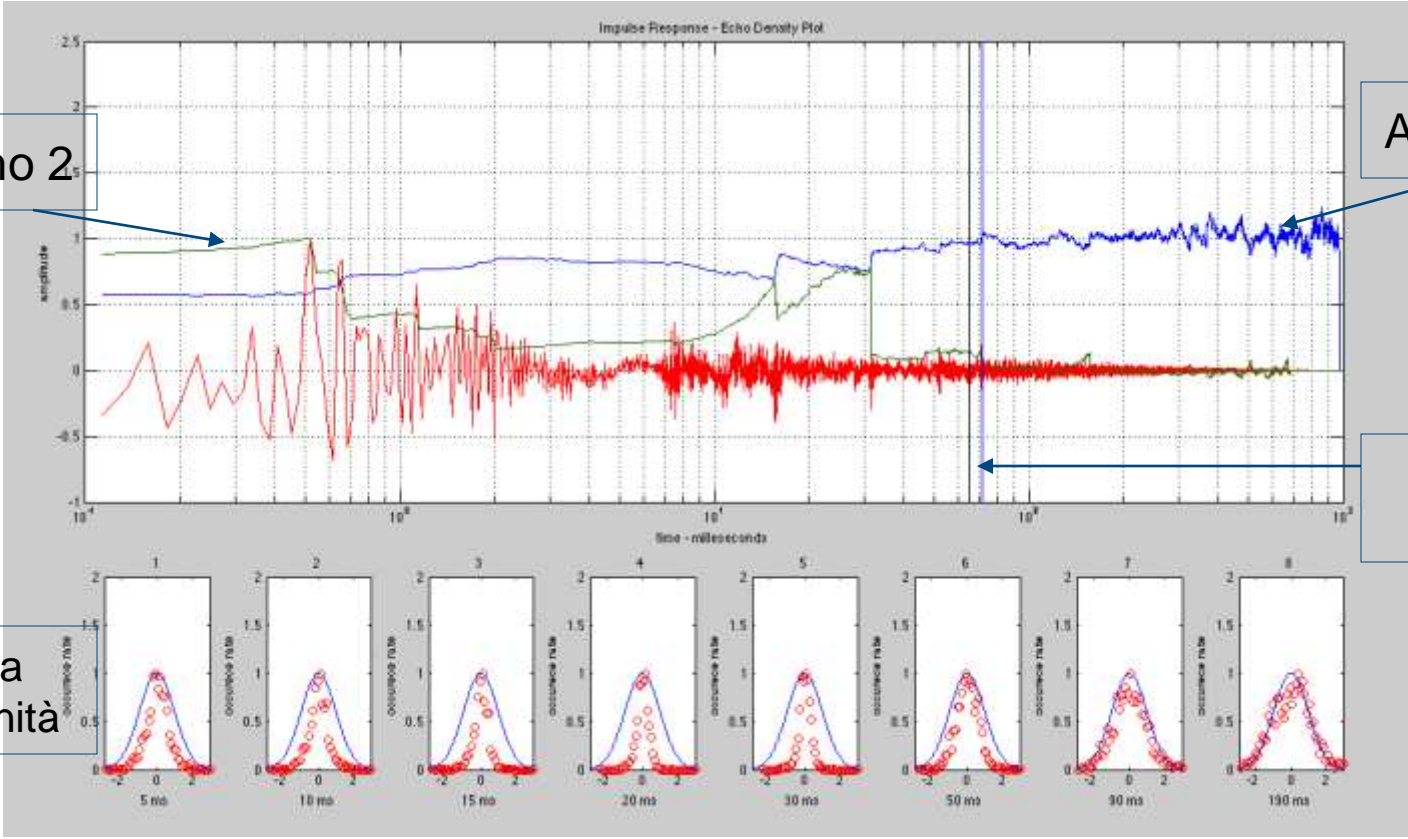
$$k = \frac{\mathbf{E}(x - \mu)^4}{\sigma^4} - 3$$

- La curtosi è un indice relativo alla forma della distribuzione che fornisce una misura del grado di “appiattimento” della distribuzione stessa. Per una distribuzione gaussiana, il valore della curtosi normalizzata è pari a 0.
- Quando la curva, che si delinea ancora grazie a una finestatura mobile, raggiungerà il valore 0, tale istante potrà essere considerato come  $t_{\text{mix}}$ .

Esempio - Sala Auditorium

Algoritmo 2

Algoritmo 1



Valori  $t_{mix}$

Verifica gaussianità

## Modifiche sugli algoritmi

Corretto **dimensionamento finestra** di analisi:

- Finestre brevi (10-20ms) → maggiore reattività ai cambiamenti della  $h(t)$  ma varianza elevata.
- Finestre lunghe (25-30ms) → non adatte per ambienti di piccole dimensioni.
- Si è quindi deciso di implementare una finestra di dimensione variabile (minori all'inizio della  $h(t)$ , maggiori alla fine).

**Selezione dell'istante** da considerare come  $t_{\text{mix}}$ :

- Aggiunta di controlli per aumentare consistenza della misura verificando l'effettiva transizione del limite scelto evitando l'influenza di transienti.

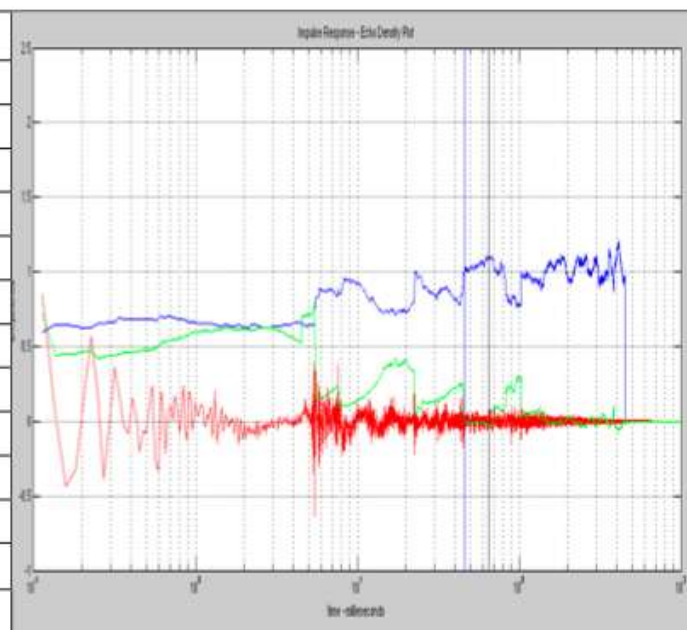
## Applicazione algoritmi

- Gli algoritmi descritti sono stati applicati su quattro ambienti dalle caratteristiche geometriche e acustiche ben differenti:
  - o Auditorium RSI - Lugano
  - o Studio Mobile RSI - Lugano
  - o Studio di registrazione non trattato - Roma
  - o Sala di regia acusticamente trattata - Sesto San Giovanni
- Per ogni ambiente sono state usate da 6 a 9  $h(t)$  ottenute tramite sweep sinusoidale su posizioni spaziali sx/rx distinte (mediatura spaziale).

## Auditorium RSI - Lugano

Lx [m]	25 (max)	S [m <sup>2</sup> ]	1990	<b>t<sub>mix</sub> (teorico) [ms]</b>	<b>64.8074</b>
Ly [m]	20 (max)	T <sub>30</sub> [s]	1.51	<Lm> [m]	8.4422
Lz [m]	11 (max)	D <sub>50</sub> [%]	75.71	t <sub>mix</sub> (Blesser) [ms]	25.3266
Vol [m <sup>3</sup> ]	4200	$\bar{\alpha}$ (assorb. medio)	0.22		

<b>h(t) – IR</b>	<b>t<sub>mix</sub> (η) [ms]</b>	<b>t<sub>mix</sub> (k) [ms]</b>
h1	70.2721	70.4762
h2	107.9592	110.3401
h3	86.1905	86.2585
h4	32.381	33.5147
h5	48.4354	44.0816
h6	42.4717	42.4943
h7	119.4104	141.0884
h8	45.7596	46.1678
h9	50.1587	51.5193
<b>Media t<sub>mix</sub> [ms]</b>	<b>67.0043</b>	<b>69.5490</b>
<b>DevStd</b>	<b>30.9900</b>	<b>36.4222</b>
<b>RSD [%]</b>	<b>46.25</b>	<b>52.36</b>

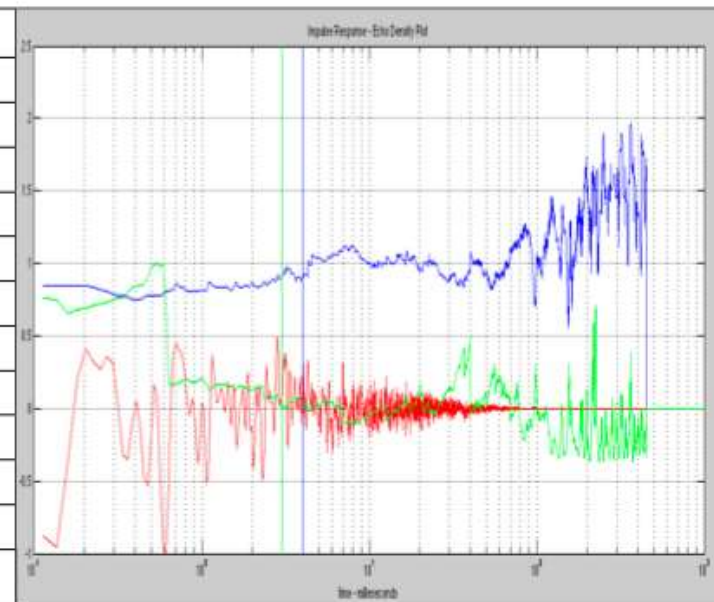




# Studio mobile RSI - Lugano

Lx [m]	4.07	S [m <sup>2</sup> ]	42.5150	<b>t<sub>mix</sub> (teorico) [ms]</b>	<b>4.1952</b>
Ly [m]	2.07	T <sub>30</sub> [s]	0.16	<Lm> [m]	1.6559
Lz [m]	2.09	D <sub>50</sub> [%]	99.7	t <sub>mix</sub> (Blesser) [ms]	4.9677
Vol [m <sup>3</sup> ]	17.6	$\bar{\alpha}$ (assorb. medio)	0.41		

h(t) – IR	t <sub>mix</sub> (η) [ms]	t <sub>mix</sub> (κ) [ms]
h1	1.9728	2.0408
h2	16.5306	7.3923
h3	11.9728	9.0249
h4	10.3855	7.8912
h5	6.9615	2.8345
h6	10	11.2472
h7	4.3537	3.1293
h8	6.5306	0.20408
<b>Media t<sub>mix</sub> [ms]</b>	<b>8.5884</b>	<b>5.4705</b>
<b>DevStd</b>	<b>4.6033</b>	<b>3.9185</b>
<b>RSD [%]</b>	<b>53.59</b>	<b>71.62</b>











## Analisi risultati

- Nel caso dell'**auditorium** (ambiente sabiniano) i valori misurati dagli algoritmi sono molto vicini fra loro e non si discostano (dopo la mediatura) dal valore teorico. La varianza dei dati è elevata ma in linea con i risultati ottenuti in letteratura.
- Nel caso dei **3 ambienti non sabiniani** i valori misurati dalle due tecniche si discostano fra loro in un range limitato e sono molto diversi da quelli ottenuti in base a considerazioni teoriche.
- Le condizioni al contorno sono tuttavia molto diverse (il caso dello studio mobile è ben distinto dagli altri due che sono più simili fra loro).



## Conclusioni

- Si è dimostrato tramite analisi sperimentale quanto già noto nella teoria classica: il  $t_{mix}$  misurato risulta pressoché uguale a quello ottenuto teoricamente quando l'ipotesi di diffusività del campo sonoro è confermata.
- Il parametro rimane comunque misurabile anche in ambienti chiaramente non sabiniani: delimita la porzione deterministica della risposta all'impulso (utile nello studio del riflettogramma).
- E' in corso una campagna di studi su più stanze campione per ridefinire il parametro in funzione delle caratteristiche fisiche degli ambienti.
- Il parametro può essere usato per definire la qualità del riverbero (sono necessari approfondimenti psicoacustici)



## Bibliografia essenziale

- [1] Abel J., Huang P., *A simple, robust measure of reverberation echo density*, in 121st AES Convention, San Francisco, Ottobre 2006.
- [2] Stewart R., Sandler M., *Statistical measures of early reflections of room impulse responses* in Proc. of the 10th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx- 07), Bordeaux, Francia, Settembre 2007, pp.59-62.
- [3] Polack J-D., *La transmission de l'énergie sonore dans les salles*, Ph.D. Thesis, Université du Maine, Le Mans, Francia, 1993.
- [4] Blesser B., *An interdisciplinary synthesis of reverberation viewpoints* JAES, vol.49, no.10, pp. 867-903, Ottobre 2001.

Gli autori ringraziano la RadioTelevisione Svizzera RSI e i clienti di Roma e di Sesto per aver permesso l'utilizzo delle misure eseguite da suono evita nei loro ambienti.

Grazie dell'attenzione

[rizzi@suonoevita.it](mailto:rizzi@suonoevita.it)

[gabriele.ghelfi@gmail.com](mailto:gabriele.ghelfi@gmail.com)