

## **CONFRONTO TRA METODI DI MISURAZIONE DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE**

Mauro Bigi (1), Maurizio Jacchia (1), Daniele Ponteggia (1)

1) Audiomatica, Firenze

### **1. Introduzione**

La misurazione del tempo di riverberazione di un ambiente confinato è descritto dalle norme UNI EN ISO 3382-1:2009 "Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 1: Sale da spettacolo" che si affianca alla precedente UNI EN ISO 3382-2:2008 "Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinari".

La misurazione può avvenire con due modalità differenti: metodo del rumore interrotto o metodo della risposta integrata all'impulso.

Nel primo caso una sorgente di rumore con determinate caratteristiche di emissione viene attivata fino a che vengono verificate le condizioni di stazionarietà per l'eccitazione, a quel punto la sorgente viene disattivata e il conseguente decadimento di energia viene registrato.

Nel secondo caso invece viene misurata la risposta all'impulso tra sorgente e ricevitore, e come recita la norma esistono differenti tecniche per ottenere la risposta all'impulso: *"La risposta all'impulso da una posizione di sorgente ad una posizione di ricevitore in un ambiente è una quantità ben definita che può essere misurata in molti modi (per esempio utilizzando quali segnali dei colpi di pistola, degli impulsi a spinterometro, sequenze di rumore, cinguettii o sequenze medie). La presente norma non ha per scopo l'esclusione di qualsiasi altro metodo che possa fornire la corretta risposta all'impulso."*

In questo lavoro vengono messe a confronto, tramite anche misurazioni reali, alcune tecniche per la misurazione della risposta all'impulso di ambienti.

### **2. Tecniche per la misurazione della risposta all'impulso**

In accordo con quanto riportato nelle norme la risposta all'impulso può essere misurata sia utilizzando come stimolo un segnale di tipo impulsivo che con le note tecniche MLS e di Sweep Sinusoidali che ricavano la risposta all'impulso tramite stimolo con speciali segnali e successiva elaborazione del segnale misurato [1] [2].

Ovviamente dato che si è interessati alla risposta all'impulso di un ambiente, lo stimolo oltre ad avere certe caratteristiche nel dominio del tempo, nella norma si parla genericamente di “*qualsiasi ... sorgente che non è riverberante di per sé*”, deve avere anche essere il più omnidirezionale possibile.

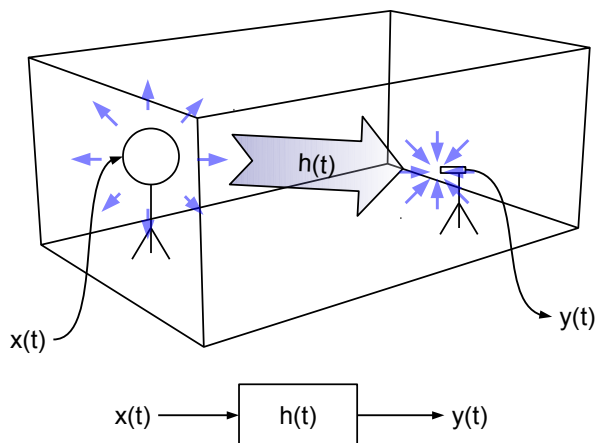


Figura 1 – Ambiente confinato visto come sistema LTI e risposta all'impulso  $h(t)$

Tra le tecniche con stimolo impulsivo è possibile sicuramente citare: colpo di pistola, urto tra materiali (cosiddetto “clappatore”) [3], impulsi a spinterometro, esplosione di palloni.

La tecnica del colpo di pistola, a fronte di una elevata portabilità ed una discreta ripetibilità dell'impulso generato, presenta delle limitazioni. Innanzitutto l'utilizzo di un'arma da fuoco può presentare diversi problemi quali ad esempio trasporto, accesso e di utilizzo in dati luoghi. Inoltre l'elevato livello di pressione sonora generato mal si presta ad ambienti di dimensioni medio-piccole.

La tecnica degli impulsi a spinterometro (Spark Testing) è particolarmente adatta per modelli in scala, ma la presenza di alte tensioni ne sconsiglia l'uso in ambienti reali.

La tecnica dell'urto di materiali, se si desidera una certa ripetibilità ed una banda del segnale di stimolo sufficientemente estesa, necessita comunque di una attrezzatura adeguata.

La tecnica dell'esplosione di palloni è ad avviso degli autori, molto promettente, perché permette di raggiungere ottimi livelli di pressione sonora, banda sufficientemente ampia e diagramma di direttività omnidirezionale. Il tutto unito ad una estrema portabilità e semplicità d'uso. Unico difetto della tecnica è la ripetibilità dello stimolo, in quanto il livello di pressione sonora generato, a parità di dimensioni e caratteristiche del materiale, è funzione della pressione a cui viene gonfiato il pallone.

Tra le tecniche invece di tipo elettro-acustico, ovvero che utilizzano come sorgente un diffusore elettro-acustico omnidirezionale, le più comuni sono sicuramente quella basata su sequenze di massima lunghezza MLS e su Sweep Sinusoidale Logaritmico.

Tra i vantaggi comuni delle tecniche basate su sorgenti elettro-acustiche è la ripetibilità della misurazione e la possibilità di conoscere esattamente la potenza acustica generata. Tra gli svantaggi comuni, la necessità di trasportare una sorgente di tipo omnidirezionale con la relativa amplificazione (quindi la necessità di disporre di una alimentazione elettrica o di trasportare pesanti batterie) e la limitata ampiezza di banda dei comuni sistemi omnidirezionali alle frequenze medio-alte (dodecaedri), il che necessita di ricorre molto spesso all'utilizzo di ulteriori diffusori per le frequenze basse.

Tra le due tecniche è sicuramente preferibile la tecnica con Sweep Sinusoidale Logaritmico, in quanto permette di eliminare le distorsioni dovute al diffusore elettro-acustico e recuperare la risposta all'impulso della sola parte lineare del sistema [4]. Nella tecnica MLS invece la distorsione viene “spalmata” sull'intera durata dell'impulso riducendo quindi il rapporto segnale/rumore. Altra differenza tra le due tecniche è lo spettro del segnale generato, bianco nel caso MLS e rosa nel caso di Sweep Sinusoidale Logaritmico (Figura 2). Questo aspetto è molto importante da considerare, dato che il segnale Sweep tende a sollecitare molto i sistemi elettro-acustici a bassa frequenza, rischiando di stimolare spostamenti agli altoparlanti oltre i limiti meccanici degli stessi.

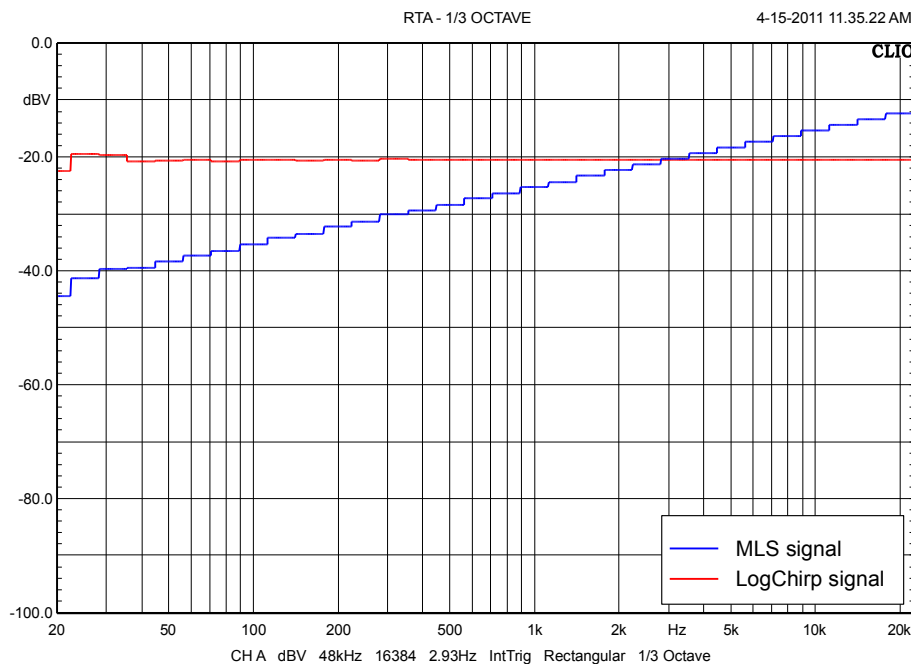


Figura 2 – Spettro a terzi di ottava MLS e LogChirp

### 3. Confronto misurazione elettro-acustica LogChirp con esplosione palloni

Con un approccio pratico si sono condotti una serie di esperimenti di misurazione della risposta all'impulso di un ambiente dei nostri laboratori utilizzando sia la tecnica con sorgente elettro-acustica con stimolo MLS e Sweep Sinusoidale Logaritmico (chiamata nel software utilizzato LogChirp), sia la tecnica dell'esplosione di palloni di varie dimensioni.

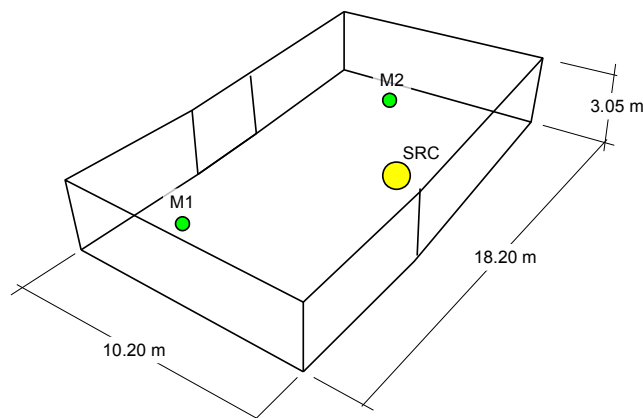


Figura 3 – Ambiente di prova con posizione sorgente e punti di misurazione

Per la misurazione con MLS e LogChirp sono state utilizzate due diverse sorgenti elettro-acustiche, un dodecaedro Outline modello Globe Source Radiator ed un cubo auto-costruito con 6 altoparlanti a larga banda.

Sono state effettuate misurazioni con le seguenti configurazioni di sorgente e segnali di stimolo:

- (a) Dodecaedro filtrato con passa alto a 160 Hz insieme a “cubo” filtrato con passa basso a 160 Hz, segnale LogChirp. Questa misurazione è stata presa come “riferimento” per tutte le altre in quanto la larghezza di banda, direttività e tecnica di misurazione sono considerate le migliori a disposizione.
- (b) Dodecaedro filtrato con passa alto a 160 Hz insieme a “cubo” filtrato con passa basso a 160 Hz, segnale MLS.
- (c) Solo dodecaedro filtrato con passa alto a 160 Hz e segnale LogChirp, per evitare sovra-escursioni degli altoparlanti con relativa distorsione.
- (d) Solo dodecaedro non filtrato e segnale MLS.

Le misurazioni sono state effettuate con il sistema di misura Audiomatica CLIO fw con software CLIO 10 utilizzando il modulo MLS & LogChirp.

Si noti come un dodecaedro considerato uno “standard” di mercato come quello Outline abbia sufficiente energia solo fino a circa 200 Hz (Figura 5), quindi necessita sicuramente di un rinforzo se si desidera effettuare misurazioni nella gamma più bassa. D'altro canto sicuramente il dodecaedro ha un diagramma polare che si avvicina più all'omnidirezionale rispetto al cubo auto-costruito.

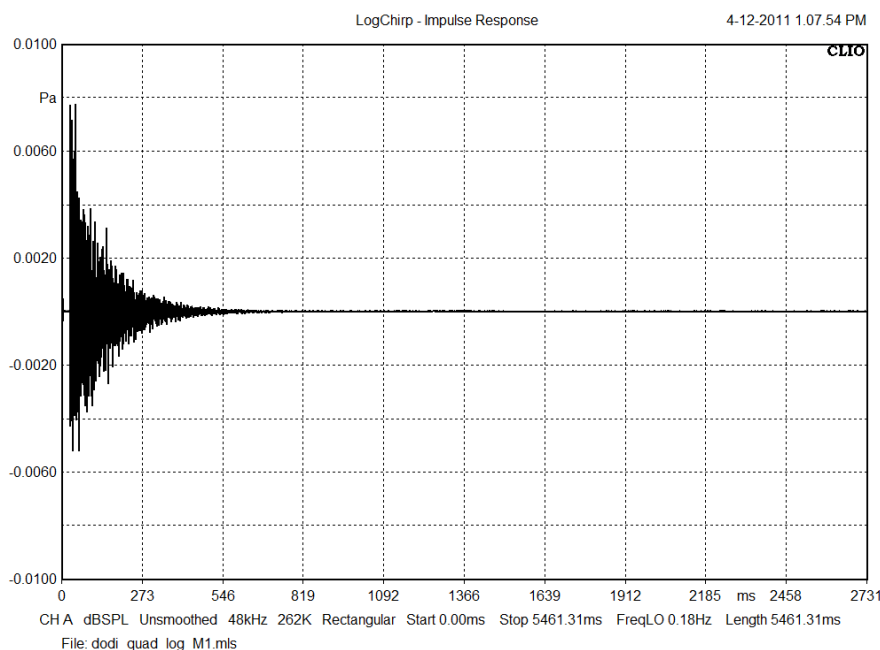


Figura 4 – Risposta all'impulso misurata con configurazione (a)

Per le misurazioni con palloni sono stati attrezzati due esperimenti:

- (e) “classico” palloncino da circa 45 cm di diametro,
- (f) grosso pallone di spessore decisamente più consistente, gonfiato fino a circa 140 cm di diametro.

I palloni sono stati fatti esplodere nella stessa posizione della sorgente elettro-acustica in modo da avere la possibilità di comparare direttamente i risultati. Le misurazioni

sono state effettuate con lo stesso sistema indicato in precedenza, ma utilizzando il modulo “Leq Analysis” con l'opzione di registrazione delle forme d'onda “Capture Time Data to Disk” attivata.

Riguardo l'impulso creato dall'esplosione di un pallone, occorre notare che si tratta di un doppio impulso (N-wave) in cui la distanza tra i due impulsi è funzione della dimensione del pallone, come elegantemente illustrato da Abel [5]. Ai fini del calcolo del tempo di riverberazione questo può anche essere non rilevante, mentre per quanto riguarda la possibilità di auralizzazione della risposta all'impulso misurata ha delle implicazioni piuttosto pesanti. In effetti lo spettro anecoico dell'esplosione di un pallone, data la presenza di due impulsi, presenta delle cancellazioni a pettine. Nel caso del calcolo del decadimento a frazioni di ottava o di 1/3 di ottava queste cancellazioni influiscono in modo minimale.

Nei grafici seguenti vengono riportati a confronto i risultati ottenuti con le differenti tecniche per i più importanti parametri acustici. Si noti come laddove i vari metodi non forniscono sufficiente energia, specialmente a bassa frequenza, i risultati sono palesemente errati. Dalla figura 5 si può notare la notevole pressione generata dall'esplosione dei palloni, ed anche la maggiore estensione verso il basso del pallone di diametro 1.4 metri.

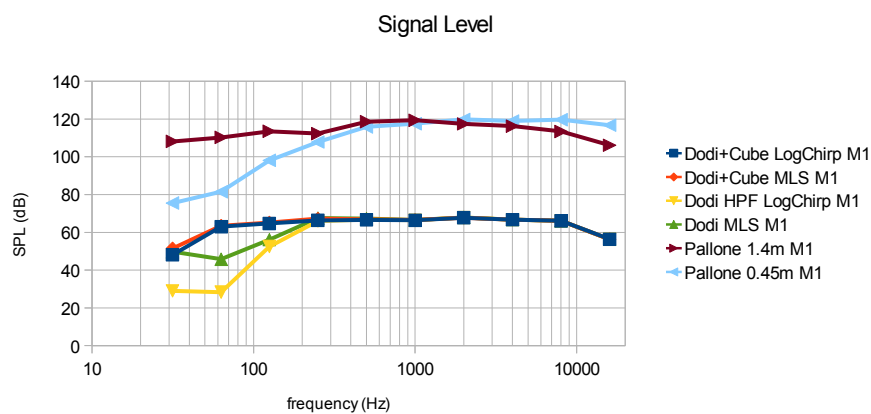


Figura 5 – Livello di segnale per bande di ottava

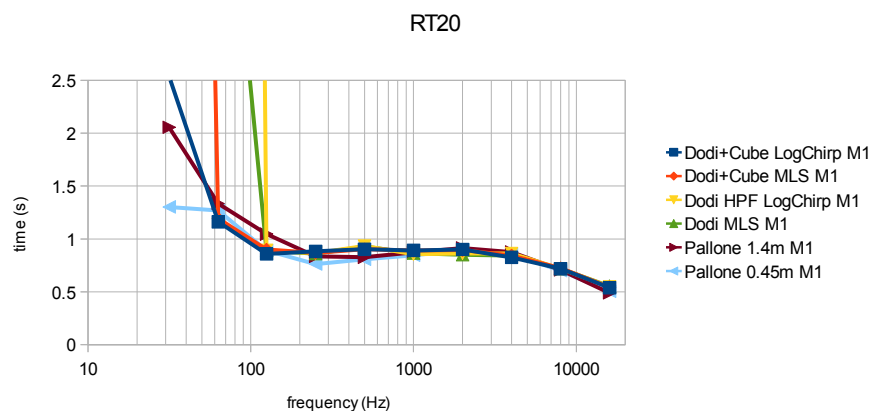


Figura 6 – Tempo di riverberazione RT20

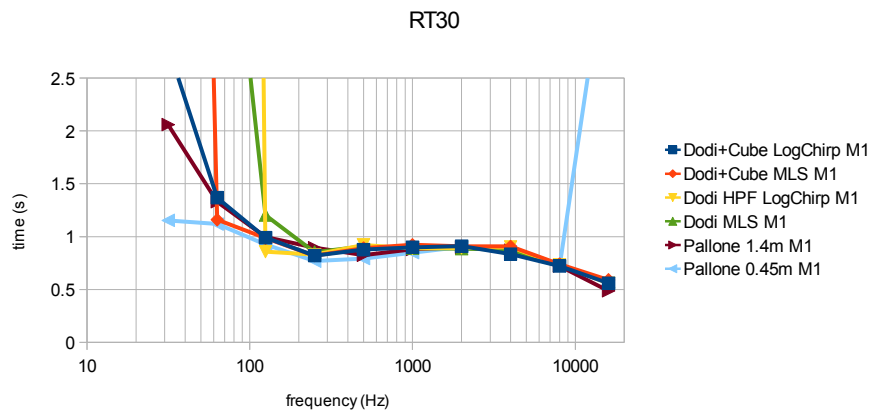


Figura 7 – Tempo di riverberazione RT30

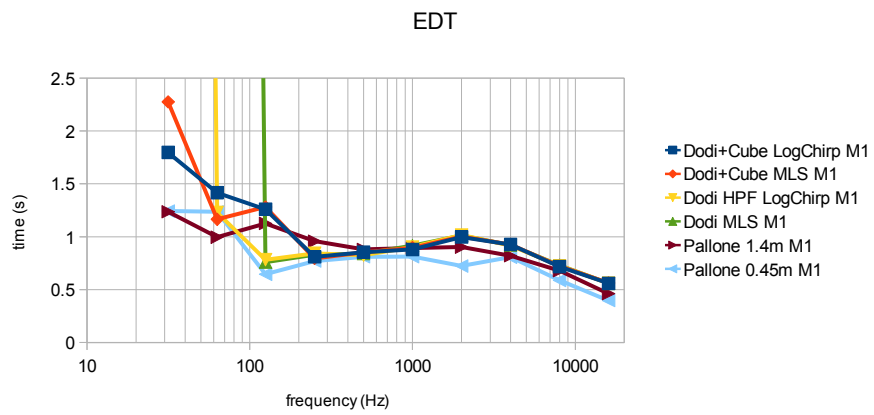


Figura 8 – Tempo di primo decadimento EDT

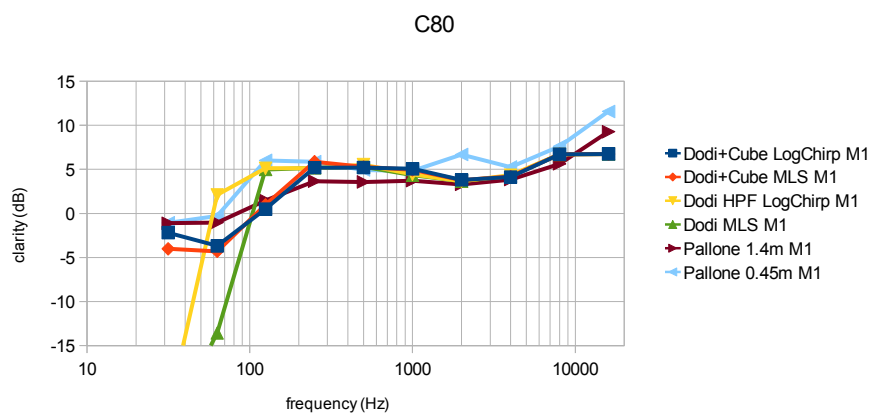


Figura 9 – Indice di chiarezza C80

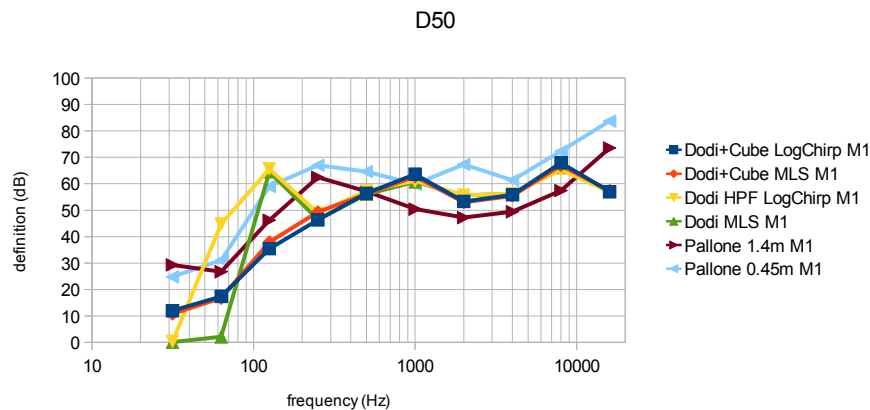


Figura 6 – Indice di definizione D50

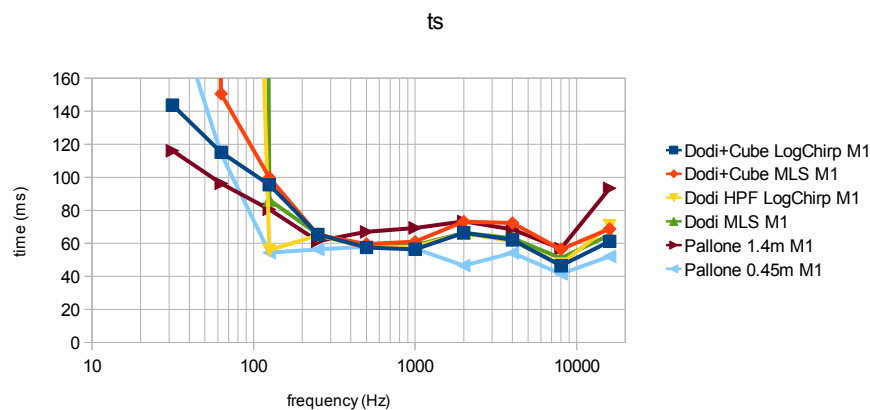


Figura 6 – Tempo baricentrico

Per quanto riguarda il tempo di riverberazione RT20 ed RT30, oggetto principale dell'indagine di questo studio, il risultato fornito dai vari metodi è essenzialmente identico, mentre lievi discrepanze si hanno per gli altri indici.

Dall'esame dell'andamento degli indici si può notare come il pallone di dimensioni maggiori riesca a fornire dei risultati attendibili fino alla banda di frequenza più bassa 31,5 Hz. Si nota anche che il dodecaedro senza rinforzo a bassa frequenza del sub-woofer non riesce a scendere sotto la banda a 125 Hz. Si potrebbe pensare di equalizzare elettronicamente il dodecaedro per estenderne la risposta verso il basso, ma le considerazioni su distorsione e spostamento degli altoparlanti restano valide.

#### 4. Conclusioni

Dalle esperienze maturate con i test di laboratorio si può asserire che per le misurazioni del tempo di riverberazione RT20 ed RT30 e per una stima approssimata dei parametri acustici fondamentali è possibile utilizzare lo scoppio di palloncini invece che la tecnica della sorgente elettro-acustica.

La maggiore incertezza nella stima dell'EDT, e le differenze più marcate nell'indice di definizione D50, sono probabilmente da imputare al doppio impulso (N-wave) gene-

rato dallo scoppio del pallone, ma per chiarire questi aspetti occorre rimandare ad un nuovo studio più approfondito che adotti misurazioni in camera anecoica.

Gli indubbi vantaggi relativi a portabilità rispetto ad un metodo con sorgente elettro-acustica e di discrezione rispetto all'uso della pistola, vanno di volta in volta valutati in funzione della accuratezza e ripetibilità di misurazione richiesta.

## 5. Bibliografia

- [1] Rife D., Vanderkooy J., *Transfer-Function Measurement with Maximum-Length Sequences*, JAES, Vol. 37, No. 6 (1989), pp. 419-444
- [2] Farina A., *Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Swept-Sine Technique*, 108<sup>th</sup> AES Convention (2000), preprint no. 5093
- [3] Abrami A., *RT60 Metodi per la misura del tempo di riverberazione*, [www.spectra.it](http://www.spectra.it)
- [4] Audiomatica, *CLIO 10 Manuale d'uso*, <http://www.audiomatica.com/useman.htm>
- [5] Abel J., Bryan N., Huang P., Kolar M., Pentcheva B., *Estimating Room Impulse Responses from Recorded Balloon Pops*, 129<sup>th</sup> AES Convention (2010), preprint no. 8171