

## USARE LO SMARTPHONE PER STIMARE I PRINCIPALI PARAMETRI ACUSTICI

Lorenzo Rizzi (1), Stefano Redaelli (2), Gabriele Ghelfi (1), Simone Campanini (3)

- 1) Suono e Vita Ingegneria Acustica, Lecco
- 2) Politecnico di Milano, Milano
- 3) Università degli studi di Parma, Parma

### 1. Introduzione

Si è realizzata un'applicazione per dispositivi mobili in grado di ottenere stime veloci e ragionevoli dei parametri acustici principali di un ambiente ( $T_{20}$ ,  $T_{30}$ ,  $EDT$ ,  $C_{50}$ ,  $D_{50}$ ).

L'obiettivo primario è quello di poter disporre di uno strumento da usare sul campo in modo rapido, semplice ed intuitivo che fornisca prime indicazioni sulle caratteristiche acustiche dell'ambiente in cui viene utilizzato. Non si è voluto sostituire gli strumenti e le metodologie di misura professionali oggi a nostra disposizione: si è voluto valutare quanto la notevole capacità computazionale messa a disposizione dagli smartphone odierni consentisse di ottenere stime consistenti dei parametri acustici.

Un secondo obiettivo è quello di realizzare uno strumento facile da usare anche per chi non si occupa quotidianamente di acustica architettonica. Attraverso l'utilizzo di un'applicazione per smartphone si spera di diffondere una sensibilità e una consapevolezza acustica nel mondo dell'architettura d'interni.

Si è scelto quindi di privilegiare, come metodo di misura, una procedura ripetibile ed immediata: la generazione di impulsi mediante battito di mani o scoppio di palloncino. Entrambi questi metodi di misura prevedono limitazioni che non li rendono paragonabili, in termini di affidabilità, ai metodi indiretti, ma consentono di tener fede al concetto di immediatezza d'uso alla base del progetto.

Nonostante l'intento di mantenere semplice il processo di acquisizione dati, non si è voluto rinunciare alla correttezza formale della loro elaborazione: nella valutazione dei parametri acustici si sono seguite le note indicazioni della norma ISO 3382 "Misurazione dei parametri acustici degli ambienti" [1] parti 1 e 2.

La prima fase del processo di sviluppo è stata legata ad una tesi di laurea specialistica in Ingegneria Informatica [2], proposta e coadiuvata dallo studio Suono e Vita. In questa fase del lavoro si è definita l'architettura software dell'applicazione stessa e si è proceduto in un'implementazione di base per sistema operativo Android.

In una seconda fase, l'applicazione è stata perfezionata nella gestione dei dati e poi ampliata con l'aggiunta di uno strumento di progettazione acustica: una volta acquisite le misure, inserendo le caratteristiche geometriche e materiche dell'ambiente, il software è in grado di suggerire i migliori materiali a controsoffitto per raggiungere un tempo di riverberazione consono alla destinazione d'uso della stanza sopra i 500 Hz. Questo modulo è disponibile nella versione a pagamento dell'applicazione (APM Tool Full); esiste una versione gratuita dell'applicazione (APM Tool Lite) che presenta limitazioni per l'utente. L'ultima fase del progetto è stata la traduzione del software verso il sistema operativo iOS per iPhone.

## 2. L'hardware audio nei dispositivi mobili

Approciandosi allo sviluppo di un'applicazione per dispositivi mobili, si è posti di fronte a due situazioni radicalmente opposte per quello che riguarda i sistemi operativi di maggiore diffusione (Android di Google Inc. e iOS di Apple). Se da un lato Android è (parzialmente) aperto e modificabile dai diversi produttori di dispositivi e viene installato su migliaia di device differenti, iOS viene installato su un numero decisamente limitato di modelli, tutti completamente controllati dalla casa madre.

È chiaro come non risulti realistico pensare di ottimizzare da un punto di vista audio un'applicazione per Android che verrà usata su un numero estremamente vasto di dispositivi (le cui caratteristiche hardware sono custodite gelosamente dai produttori). Apple fornisce invece un set limitato di dispositivi con maggiore propensione verso l'audio di qualità ma che presenta comunque limitazioni rispetto ad un sistema di misura professionale (prima fra tutte, la non omnidirezionalità del microfono di misura). Si rammenta che negli smartphone tutto è pensato ed ottimizzato per la voce.

Al fine di descrivere caratteristiche, potenzialità e limiti della sezione audio dei dispositivi mobili, è necessario analizzare lo schema a blocchi della catena di acquisizione audio su di essi generalmente installata (si veda in proposito Figura 1).

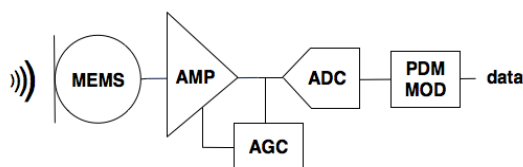


Figura 1 – Catena di acquisizione audio su dispositivi mobili

Il microfono degli smartphone è di tipo MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems), una tipologia di microfoni che consente di integrare nello stesso chip il sensore di trasduzione e tutta l'elettronica dedicata, riducendo dimensioni e consumi.

Questi microfoni non possono chiaramente fornire le medesime prestazioni in termini di estensione della risposta in frequenza, linearità di trasduzione e direzionalità usualmente garantite dai microfoni di misura omni impiegati in ambito acustico.

Il segnale captato dal trasduttore MEMS viene poi inviato alla sezione di amplificazione, la cui funzione è quella di abbassare l'impedenza di uscita in modo da fornire alla restante catena audio un segnale utilizzabile. Il comportamento della sezione è controllato dall'Automatic Gain Control (AGC) la cui funzione è quella di definire il giusto guadagno dell'amplificatore al fine di evitare clipping e distorsioni indesiderate.

La gestione di questo elemento si è dimostrata una parte essenziale dello sviluppo dell'applicazione. Un transiente iniziale dell'impulso con un livello di pressione sonora molto elevato (come può essere quello generato dallo scoppio di un palloncino) può

portare all'attivazione dell'AGC, modificando in modo radicale il profilo della forma d'onda impulsiva registrata. La Figura 2 mostra una risposta all'impulso nella quale l'intervento dell'AGC risulta particolarmente evidente.

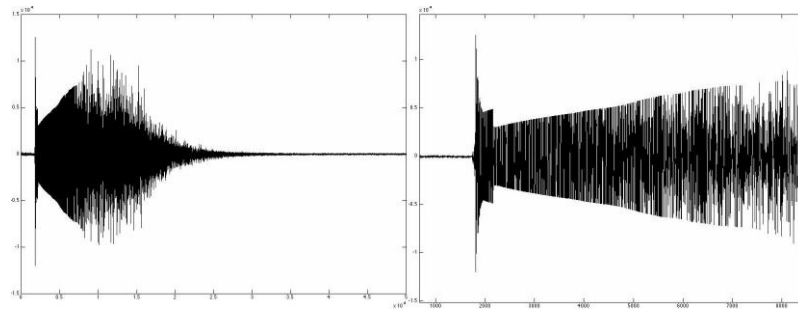


Figura 2 – Intervento dell'Automatic Gain Control

La restante parte della catena hardware è rappresentata da un convertitore analogico/digitale (ADC) seguito da un stadio PDM (Pulse Density Modulation) che consente di evitare le possibili interferenze da campi elettromagnetici.

Il segnale registrato dall'applicazione ha una buona qualità: mono, frequenza di campionamento di 44100 Hz e 16 bit di quantizzazione.

## 2.1 Android

Come prima operazione di controllo, si è sviluppato un semplice sistema di riconoscimento dell'intervento dell'AGC, il cui comportamento varia drasticamente a seconda del produttore. Qualora l'applicazione individui una forma d'onda registrata con caratteristiche diverse da quelle attese, scarta la misura in questione, chiedendo all'utente di eseguire nuovamente l'impulso. Dato che questo, in talune situazioni, costringe l'utente a numerosi tentativi prima di riuscire nel tentativo di registrare impulsi conformi, si è deciso di porre un flag (impostabile nelle Opzioni) per attivare o meno il controllo sull'intervento dell'AGC.

Dopo aver avvertito l'utente sui possibili rischi, l'applicazione accetta qualsiasi misura effettuata, ma sposta il punto di partenza della curva di decadimento all'istante in cui l'AGC smette di avere influsso sul profilo della risposta all'impulso. I test effettuati sul campo mostrano come lo spostamento del punto di inizio della risposta all'impulso nella creazione della curva di decadimento, se il rapporto segnale rumore è buono, non porti a scostamenti significativi sui risultati dei tempi di riverbero rispetto a quanto fornito da strumenti di misura professionali, consentendo quindi l'utilizzo di sorgenti ad alti livelli di energia sonora come i palloncini.

## 2.2 iOS

In virtù del maggior controllo esercitato dalla casa sull'hardware, lo sviluppo dell'applicazione per dispositivi mobili Apple ha presentato criticità differenti ed ha consentito l'adozione di algoritmi di calcolo più sofisticati. A differenza dei dispositivi Android, l'intervento del dispositivo di controllo automatico del guadagno è una proprietà solo di alcune delle possibili modalità di sessione del framework CoreAudio; ad esempio nella modalità 'Measurement' l'AGC viene escluso, a differenza di quella 'VoiceChat', in cui, invece, è attivo. È stato quindi sufficiente scegliere la prima per risolvere completamente il problema. Il Software Development Kit (SDK) di Apple, inoltre, mette a disposizione del programmatore una fornita libreria di funzioni - denomina-

ta vDSP - rivolte all'elaborazione numerica dei segnali, grazie alla quale è stato possibile rendere ancora più aderenti agli standard normativi i processi di calcolo, senza appesantire significativamente l'utilizzo del processore.

Permangono i limiti della parte microfonica, che, seppur di elevata qualità, non è certamente concepita per l'esecuzione di misure acustiche ad elevata dinamica: in particolare quella del dispositivo impiegato per i test (iPhone4) è caratterizzata da una sensibilità non particolarmente elevata - avente lo scopo di rigettare il rumore di fondo durante le conversazioni - che, in fase di misura, porta con facilità alla saturazione del segnale di ingresso (clipping).

### 3. Metodologia di misura

Al fine di garantire la semplicità di utilizzo dell'applicazione, si è deciso di studiare per la misura della risposta impulsiva di un ambiente, due diverse metodologie dirette: il battito di mani e lo scoppio del palloncino.

#### 3.1 Sorgenti sonore e loro limitazioni

Il battito di mani è lo strumento più immediato e naturale che abbiamo a disposizione per avere un'idea generale della risposta acustica di un ambiente. Esso non consente però di avere in bassa frequenza livelli adeguati. Si è notato che al di sotto dei 300 Hz, il livello di pressione sonora fornito da un battito di mani non consente di ottenere un rapporto segnale rumore tale da garantire misure affidabili.

Lo scoppio del palloncino invece consente di ottenere una risposta in frequenza più ampia in bassa frequenza, ma può presentare problemi per quel che riguarda il clipping della parte microfonica in ambienti medio-piccoli (volume inferiore a 100 m<sup>3</sup>). Il transitorio iniziale può generare livelli tali da innescare l'AGC del dispositivo, andando ad alterare il decadimento della risposta all'impulso. Disabilitando invece il controllo automatico del gain si rischia di distorcere la prima parte della risposta impulsiva.

#### 3.2 Processo di misura

La ISO 3382 specifica chiaramente che, al fine di ottenere una quantificazione affidabile dei parametri acustici di un ambiente, è necessario eseguire la media dei risultati ottenuti su più punti di misura. Anche l'applicazione, di conseguenza fa proprio questo principio, spingendo l'utente alla realizzazione di diverse misure in diverse posizioni all'interno della stanza. Una volta registrato un numero congruo di impulsi, si può passare alla visualizzazione dei risultati (disponibili in terze di ottava nella versione Full e solo in ottave nella versione Lite) come visibile in Figura 3.

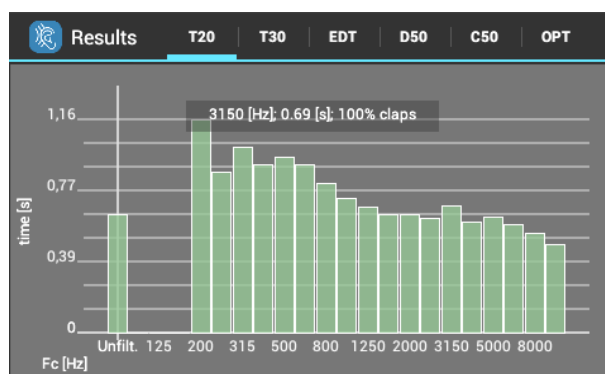


Figura 3 – Risultati misura APM Tool Full

#### 4. Modulo per la stima della correzione acustica

La versione completa dell'applicazione (APM Tool Full) mette a disposizione dell'utente un modulo progettuale per stimare un'economica correzione acustica della sala in base alla sua destinazione d'uso. Ciò risulta utile per decisioni rapide e in ambienti nei quali il risparmio economico comanda rispetto alla qualità di un vero progetto acustico.

La prima richiesta del modulo di stima della correzione acustica è quella infatti di chiedere all'utente l'utilizzo comune della sala fra una lista di opzioni disponibili (studio di registrazione/broadcast, aula didattica, sala conferenze, piccolo auditorium...). Le curve target (volume/tempo di riverberazione) sono state prese dalla UNI 11367 e dalla bibliografia [3], [4]. Viene poi richiesto all'utente di inserire le informazioni di base relative alla sala: perimetro, altezza, superficie del pavimento e superficie di vetro esposta (opzionale). Qualora la volumetria dell'ambiente risultasse inferiore ai 300 m<sup>3</sup>, un alert comunica all'utente la non sabinianità dell'ambiente. Dopo aver inserito il materiale a pavimento e a soffitto dello stato attuale, l'ultimo passaggio è rappresentato dalla scelta del materiale da mettere come controsoffitto. Scegliendo fra una lista di materiali presenti nel database, si può verificare il cambiamento fra 250 e 4000 Hz del tempo di riverbero misurato, dopo l'inserimento di un nuovo controsoffitto fonoassorbente, scelto fra quelli migliorativi.

Il calcolo previsionale del comportamento del riverbero viene effettuato stimando il cambiamento dell' $\alpha$  medio della stanza usando due note formule per la previsione di  $T_{60}$  in ambienti con trattamento acustico non uniforme: quella di Norris-Eyring, indicata nella formula (1) e quella di Arau [5] indicata nella formula (2). I risultati vengono riportati da 500 Hz.

$$(1) \quad T = \frac{0.161V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad [s]$$

dove:

$V$  è il volume della stanza [m<sup>3</sup>];

$S$  è la superficie della stanza [m<sup>2</sup>];

$\bar{\alpha}$  è il coefficiente di assorbimento medio.

$$(2) \quad T = \left[ \frac{0.161V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_x) + 4mV} \right]^{\frac{s_x}{s}} \cdot \left[ \frac{0.161V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_y) + 4mV} \right]^{\frac{s_y}{s}} \cdot \left[ \frac{0.161V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_z) + 4mV} \right]^{\frac{s_z}{s}} \quad [s]$$

Si noti come nella formula di Arau, il contributo della riverberazione venga diviso sui tre assi della stanza e l'algoritmo sia stato quindi semplificato.

#### 5. Test sul campo

Sono stati effettuati numerosi test sul campo al fine di poter valutare in modo completo il comportamento dell'applicazione. Si riportano di seguito solo quattro casi di studio in ambienti di vita quotidiana, in cui si è andati a valutare il comportamento dell'applicazione nella misura dei parametri acustici. Per brevità e praticità, vengono riportati solo i dati relativi al tempo di riverberazione  $T_{20}$  e lo scarto medio in secondi rispetto alla misura di riferimento.

### 5.1 Ristorante open space

Il primo caso di studio analizzato è quello di un open space di una grande catena di ristorazione. La sala presenta una volumetria di circa  $700 \text{ m}^3$  ed un controsoffitto in fibra di legno mineralizzata. Per questo caso di studio sono stati confrontati i tempi di riverbero  $T_{20}$  misurati da un microfono di misura (elaborazione dei dati effettuata con Suite "Aurora") con in valori misurati da APM Tool installato su 3 differenti dispositivi Android. La sorgente per la generazione dell'impulso è stata lo scoppio di palloncini. Si riportano nella figura 4 i valori misurati nelle ottave da 125 a 8000 Hz. Al momento delle misure il rumore di fondo all'interno del locale era non trascurabile, fornendo un SNR non ottimale.

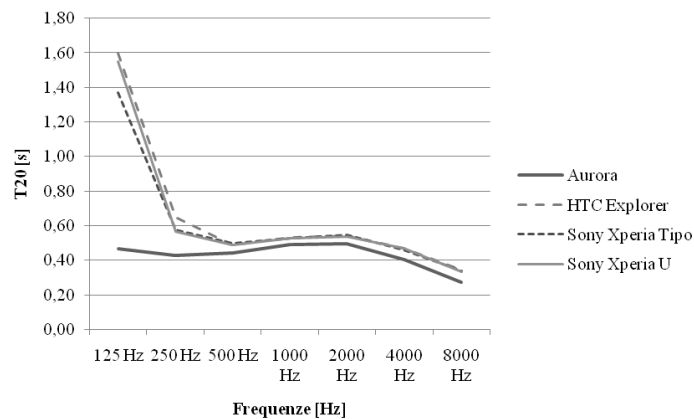


Figura 4 – Risultati  $T_{20}$  nel ristorante open space.

Si può notare come da 250 Hz in poi i risultati ottenuti per dall'applicazione APM Tool per il parametro  $T_{20}$  siano allineati a quelli ottenuti con un dispositivo di misura professionale. Si ha infatti una variazione media per banda di frequenza comprese fra 0.19 s e 0.23 s rispetto al riferimento. Se si esclude l'ottava a 125Hz, molto problematica per i dispositivi mobili, queste variazioni scendono a 0.07 s in media rispetto al riferimento.

### 5.2 Ufficio

Il secondo caso di studio è rappresentato da un ufficio direttivo a pianta rettangolare di dimensioni  $L_x$ : 7.4 m,  $L_y$ : 4.27 m ed  $L_z$ : 2.68 m per un volume approssimativo di circa  $85 \text{ m}^3$ . Il soffitto della sala è in cartongesso così come due delle 4 pareti della stanza; le altre due pareti sono in cemento e presentano tre ampie finestre scorrevoli.

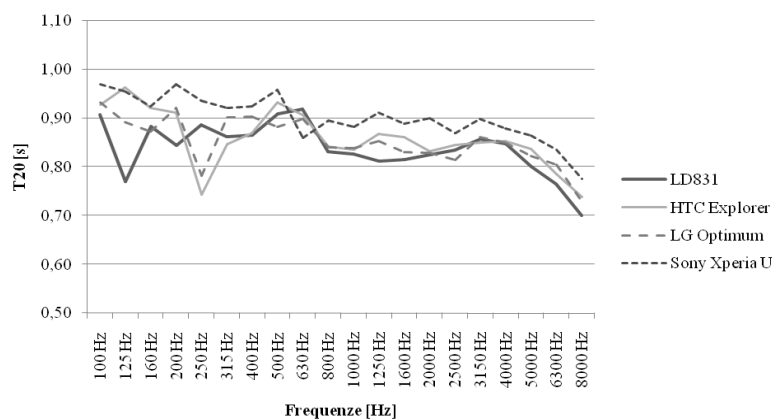


Figura 5 – Risultati  $T_{20}$  ufficio.

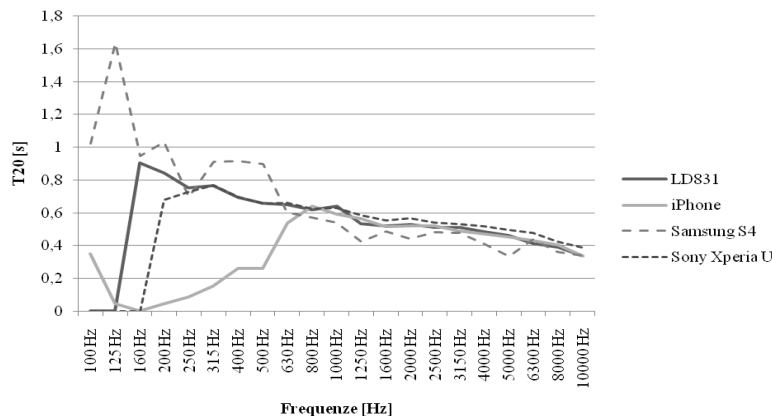
Anche in questo caso di studio la sorgente per la generazione dell'impulso è stata lo scoppio di palloncini, misurato però in terze di ottava. Come riferimento si è usato il fonometro Larson & Davis LD831 (elaborazione dati software Noise & Works). Come nel caso precedente, le misure si sono svolte in condizioni di rumorosità di fondo non ottimali.

In questo caso i dati misurati da APM Tool (installato su 3 dispositivi Android) risultano allineati a quelli del sistema di misura professionale in tutto il range di frequenze. Si hanno infatti variazioni media per banda di frequenza comprese fra 0.03 s e 0.07 s rispetto al riferimento.

### 5.3 Ambiente d'uso comune

Il terzo caso di studio è rappresentato da una stanza dalla pianta quadrangolare con pareti in laterizio intonacato e controsoffitto in cartongesso. Le sue dimensioni sono  $L_x$ : 3.7 m,  $L_y$ : 3.5 m ed  $L_z$ : 2.85 m per un volume approssimativo di circa 40 m<sup>3</sup>. Gli elementi fonoassorbenti all'interno della stanza sono rappresentati da un divano e da un tappeto.

In questo caso di studio la sorgente per la generazione dell'impulso è stata il battito di mani, misurato in terze di ottava. Come riferimento si è usato il fonometro Larson & Davis LD831 (elaborazione dati software Noise & Works). L'applicazione APM Tool è stata installata su iPhone e su due dispositivi Android.

Figura 6 – Risultati  $T_{20}$  ambiente ordinario.

Data la particolarità della sorgente sonora (battito di mani) che fornisce poca energia in bassa frequenza, si mostrano in questo caso maggiori scostamenti rispetto al riferimento (soprattutto nel caso del dispositivo iOS in cui vengono scartate le bande di frequenza sprovviste del necessario livello energetico di eccitazione). Gli scarti medi rispetto al riferimento (considerati fra 200 e 10000Hz) risultano essere di 0.03 s per il Sony Xperia U, di 0.09 s per il Samsung Galaxy S4 e di 0.18 s per l'iPhone. Lo scarto relativo all'iPhone scende a 0.03 se si considera il range fra 630 e 10000 Hz.

### 5.4 Bar ristorante

Il quarto caso analizzato è stato quello di un bar ristorante. La sala distribuzione principale del ristorante presenta pianta approssimativamente rettangolare con dimensioni  $L_x$ : 6.9 m,  $L_y$ : 8.3 m ed  $L_z$ : 2.9 m per un volume di circa 185 m<sup>3</sup>.

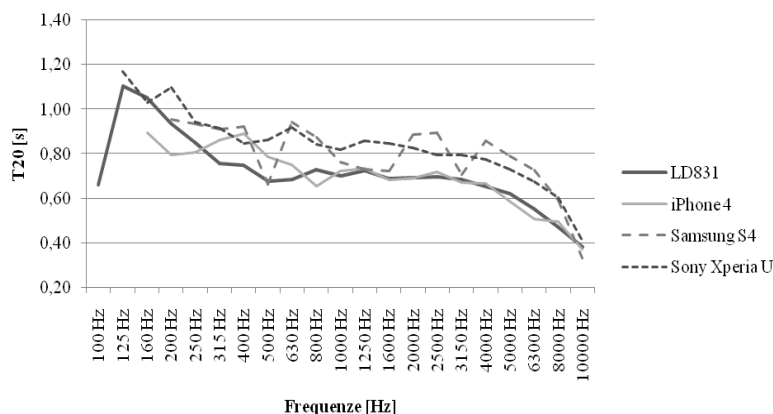


Figura 7 – Risultati  $T_{20}$  bar ristorante.

In questo caso di studio la sorgente per la generazione dell'impulso è stata lo scoppio di palloncino, misurato in terze di ottava. Come riferimento si è usato il fonometro Larson & Davis. L'applicazione APM Tool è stata installata su iPhone e su due dispositivi Android.

Data la maggiore estensione in bassa frequenza della sorgente utilizzata, si ottengono risultati in linea con quelli del riferimento in tutto il range considerato. Gli scarti medi rispetto al riferimento (considerati fra 200 e 10000Hz) risultano essere di 0.13 s per il Sony Xperia U, di 0.12 s per il Samsung Galaxy S4 e di soli 0.05 s per l'iPhone.

## 6. Conclusioni

I risultati ottenuti dalle prove sul campo mostrano un buon comportamento dell'applicazione APM Tool per la stima dei parametri acustici. Nelle basse frequenze, le problematiche intrinseche legate al dispositivo di misura, alla sorgente di eccitazione e alla non Sabinianità degli ambienti d'uso comune, impediscono di avere risultati affidabili sotto i 250 Hz. Lo strumento consente però di avere a disposizione un sistema di misura semplice e ripetibile per ottenere stime rapide e ragionevoli in ambienti di diverse dimensioni e anche in condizioni di rumore di fondo non ottimali, come quelle che spesso si trovano sul campo nell'attività lavorativa quotidiana.

## 7. Bibliografia

- [1] UNI EN ISO 3382 *Acustica – Misurazione dei parametri acustici degli ambienti* Parti 1 (Sale da spettacolo) e 2 (Ambienti ordinari)
- [2] Redaelli S., *Acoustical parameters measurements tool for Android: development, implementation and on-field validation* Tesi di L.S. in Ingegneria Informatica, Politecnico di Milano.
- [3] UNI 11367 *Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera*
- [4] Marshall Long., *Architectural acoustics*, Elsevier, 23 dicembre 2005.
- [5] Arau H., *Esperienze nella progettazione acustica di teatri e sale d'ascolto per la musica* 38 convegno AIA, Rimini, 08-10 giugno 2011