

# TECNICHE DI CONVOLUZIONE APPLICATE AL TRATTAMENTO DI SEGNALI SONORI PER PROVE DI ASCOLTO

A. Farina

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Parma

## SOMMARIO

Il lavoro illustra un innovativo sistema per l'esecuzione di prove soggettive di ascolto di segnali audio digitalizzati, sia in cuffia che mediante diffusori.

Cuore del sistema è un software di convoluzione, che consente il filtraggio digitale stereo del segnale originario con risposte all'impulso di notevole lunghezza (65536 taps). In tal modo è possibile, ad esempio, aggiungere la riverberazione di sale da concerto a brani di musica inizialmente registrati in camera anecoica, simulare l'effetto spaziale delle stesse sale mediante risposte all'impulso binaurali ottenute da una testa artificiale, aggiungere equalizzazioni nel dominio della frequenza o segnali ritardati nel tempo.

Abbinando il sistema ad un software di previsione numerica delle risposte all'impulso (ad es. Ray Tracing, oppure il più recente Pyramid Tracing), è possibile ascoltare in anticipo l'effetto di modifiche proposte in sale esistenti, o addirittura simulare l'ascolto in teatri ancora da costruire.

## INTRODUZIONE

Il termine "auralizzazione" è stato recentemente introdotto per descrivere il processo combinato di riverberazione artificiale e ricostruzione della sensazione spaziale prodotte da una sala su un segnale sonoro originariamente anecoico [1].

Tale effetto è generalmente ottenibile con la convoluzione del segnale anecoico originario con due risposte all'impulso relative alle due orecchie (binauralizzazione).

Solo negli ultimi due anni sono stati sviluppati sistemi di auralizzazione in grado di convolvere risposte all'impulso con lunghezza (numero di punti

campionati) e frequenza di campionamento adeguati per la ricostruzione di segnali musicali con qualità comparabile a quella di un CD. Tuttavia tali sistemi sono estremamente costosi, non versatili richiedendo hardware dedicato (DSP), e non sono ancora stati oggetto di verifica in termini di valutazione soggettiva della qualità del segnale ottenuto [2,3]. Sono viceversa stati proposti anche sistemi semplificati, in grado di funzionare con mezzi hardware modesti (PC + scheda audio), ma in questo caso con tempi di elaborazione proibitivi e con pesanti limiti computazionali sulle dimensioni delle risposte all'impulso [4].

In questo lavoro viene invece presentato un sistema innovativo, che pur impiegando soltanto un PC MS-DOS ed una super economica scheda audio a 16 bit, consente la binauralizzazione di segnali audio di lunghezza arbitraria, impiegando risposte all'impulso di notevoli dimensioni (65536 taps) alla frequenza di campionamento dei CD (44.1 kHz).

Grazie ad un nuovo algoritmo di elaborazione del segnale nel dominio della frequenza, è stato possibile abbattere i tempi di elaborazione a valori di un ordine di grandezza inferiori a quelli sinora ottenuti con computer ben più potenti [5]. Pur mancando ancora la possibilità di elaborare i segnali in tempo reale, il sistema proposto consente di ottenere in pochi secondi il riascolto del segnale filtrato con una coppia di risposte all'impulso.

Le applicazioni possibili del sistema vanno dallo studio soggettivo della qualità acustica delle sale da concerto alla validazione delle previsioni numeriche operate con codici di calcolo di tipo Ray Tracing. In particolare il sistema è stato impiegato con successo per confrontare le risposte all'impulso previste dal nuovo software Ramsete [6] (Pyramid Tracing) e le risposte all'impulso sperimentali.

## METODOLOGIA

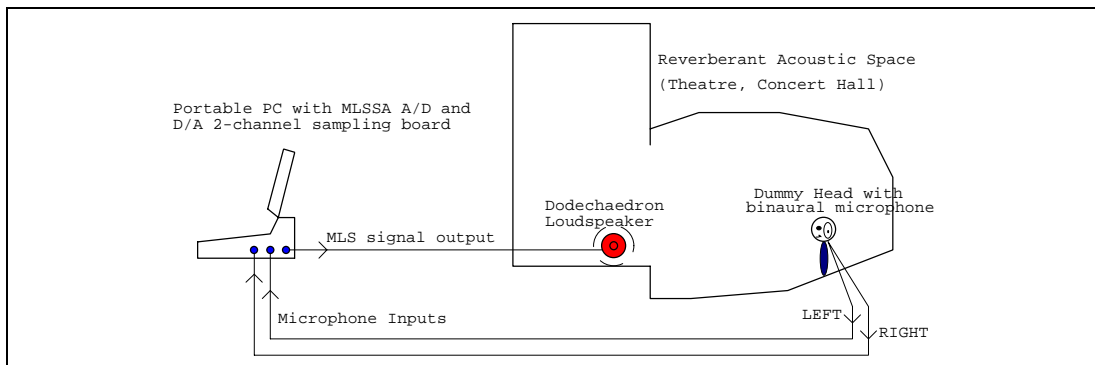
Il primo problema è stato quello di trovare delle buone incisioni digitali (Compact Disc) di musica e segnali anecoici. Una volta reperita la musica da "trattare" [7], il secondo passo è quello di procurarsi le risposte all'impulso con cui convolverla. Si sono usati quattro metodi per ottenere la risposta all'impulso di una stessa sala:

- la registrazione di un colpo di pistola con un DAT;
- la deconvoluzione in tempo reale di un segnale MLS;
- la deconvoluzione di un segnale MLS precedentemente registrato con un DAT;
- il calcolo numerico mediante il software "RAMSETE".

Con il primo metodo si ottiene un rapporto segnale/rumore non del tutto soddisfacente ed un'emissione spaziale e spettrale non uniforme. Il secondo ed il terzo metodo danno risultati pressoché identici, con un buon effetto di reiezione del rumore di fondo [8], mentre il quarto metodo consente una totale assenza di rumore di fondo, ma risente dei limiti e delle approssimazioni intrinseche in un qualsiasi modello di calcolo per quanto sofisticato.

Altra differenza importante sta nel fatto che, mentre i primi tre metodi sono binaurali (stereofonici), il quarto è, per ora, monofonico. Il prossimo passo di questa ricerca sarà implementare in "RAMSETE" la creazione di risposte all'impulso binaurali.

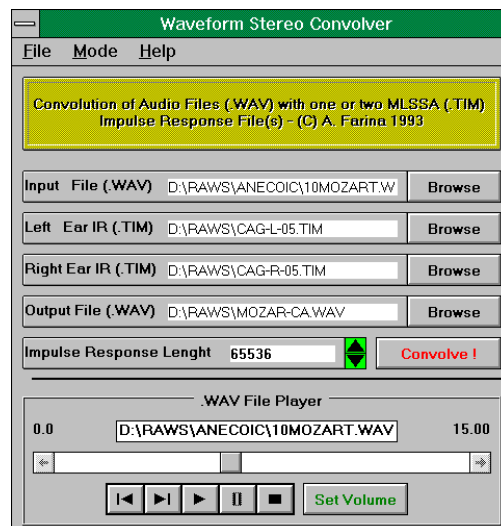
La seguente figura mostra il secondo sistema impiegato, basato sull'utilizzo di una scheda MLSSA per la acquisizione in tempo reale delle risposte all'impulso.



Una volta ottenute le risposte all'impulso in formato digitale (su nastro DAT o su un file) con uno dei quattro metodi descritti, esse vengono convolute con il segnale musicale anecoico desiderato e si ottiene un file contenente quella stessa musica anecoica filtrata con le caratteristiche acustiche della sala.

In altre parole si ottiene, come risultato, una versione del brano musicale che in origine era anecoico, come se fosse stato emesso da un altoparlante situato nel punto in cui si è sparato il colpo di pistola o si è emesso il segnale MLS, ed ascoltato nel punto in cui è stata posizionata la testa artificiale con i microfoni binaurali per la registrazione della risposta all'impulso. Nel caso si usi la risposta all'impulso completamente sintetica, creata con il software "RAMSETE", la posizione dell'orchestra e dell'ascoltatore saranno quelle introdotte mediante il CAD come le altre caratteristiche acustiche ed architettoniche della sala.

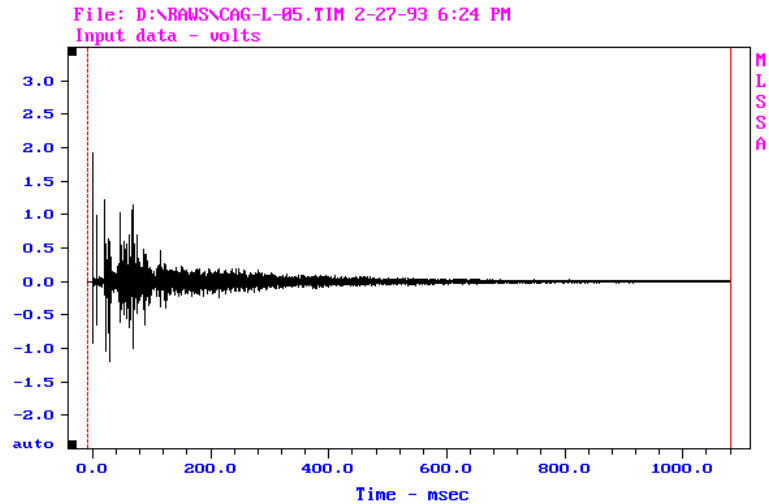
La seguente figura illustra l'interfaccia utente del software di convoluzione, grazie alla quale si possono specificare i nomi dei file da elaborare, e del brano che si vuole ascoltare.



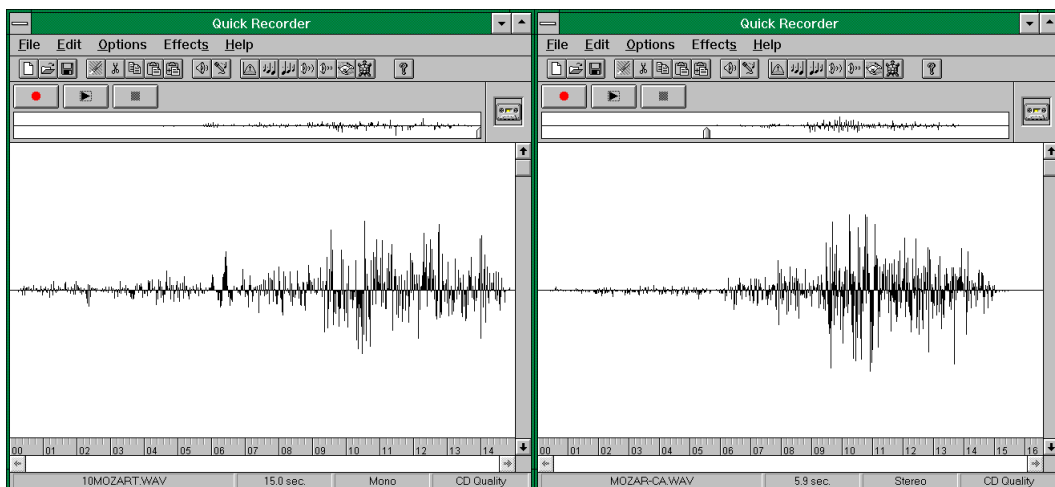
Per ottenere la comunicazione fra computer, DAT e CD, è stata semplicemente usata una scheda audio di bassissimo costo (Microsoft Sound System) munita di convertitori A/D e D/A stereo a 16 bit. Per il futuro, per evitare

la doppia conversione A/D e D/A, verrà impiegata un'interfaccia digitale (SPDIF/AES-EBU) costruita su specifica dalla Audiomatica di Firenze.

La seguente figura illustra invece una delle due risposte all'impulso impiegate per la convoluzione (orecchio sinistro):

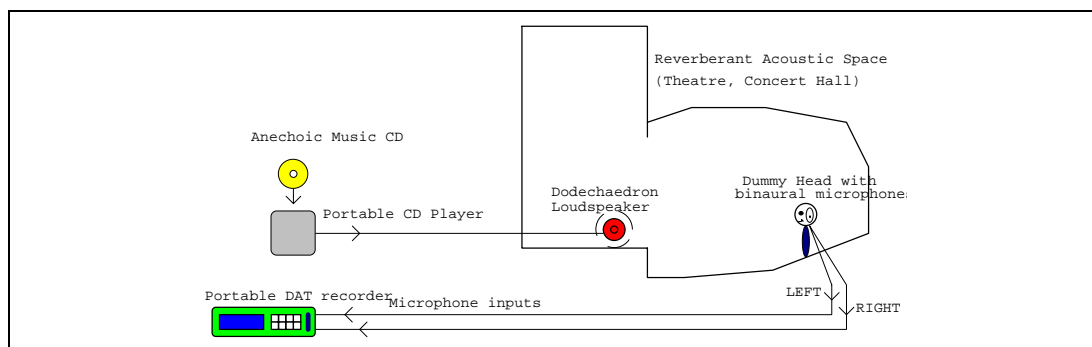


La seguente figura mostra un brano musicale anecoico, esattamente si tratta dei primi 17 s delle "Nozze di Figaro" di Mozart. La figura di destra mostra invece lo stesso segnale musicale dopo la convoluzione:



## RISULTATI

La prima verifica che è stata eseguita è stato il confronto fra la musica riverberata artificialmente con risposte all'impulso sperimentali di diverse sale e la registrazione diretta dello stesso brano anecoico emesso tramite altoparlante nelle stesse condizioni in cui si è acquisita la risposta all'impulso, come mostrato dalla seguente figura:



Si sono così realizzati dei nastri DAT contenenti, in sequenza, uno spezzone del brano di musica anecoica usato come campione, lo stesso brano registrato "dal vero" in una determinata sala e lo stesso brano riverberato artificialmente con la risposta all'impulso sperimentale.

Con lo stesso metodo si sono potuti confrontare anche i diversi comportamenti delle varie sale. Inoltre è anche in corso un confronto incrociato fra i risultati ottenuti completamente "dal vero", quelli ottenuti con riverberazione artificiale ma partendo da risposte all'impulso sperimentali e quelli ottenuti in modo completamente sintetico, cioè partendo dalla musica anecoica registrata su CD convoluta con una risposta all'impulso ottenuta con "RAMSETE".

Anche in campo rumoristico sono state ottenute interessanti applicazioni: la prima è stata la valutazione soggettiva della fastidiosità del rumore di una macchina, provata inizialmente all'aperto, nell'ipotesi di installazione in un ambiente riverberante, le cui risposte all'impulso vengono determinate sperimentalmente.

Il riascolto in cuffia dei segnali convoluti costituisce la soluzione più semplice, poichè in tal modo viene ricostruita abbastanza bene la sensazione di spazialità, e solo approssimativamente la localizzazione della sorgente sonora. Purtroppo, inviando agli altoparlanti tali segnali, si perde completamente l'effetto spaziale e la localizzazione, a causa dell'arrivo su ciascun orecchio del segnale spurio proveniente dall'altoparlante dell'altro orecchio.

E' stato pertanto sviluppato un algoritmo addizionale, in grado di processare i segnali in modo che ciascun altoparlante "cancelli" il segnale spurio proveniente dall'altro, rendendo così possibile (in una ristretta regione dello spazio) la perfetta ricostruzione della sensazione spaziale.

Affinchè l'algoritmo di cancellazione funzioni è però necessario che non giungano sulle orecchie altri segnali spuri, in particolare quelli prodotti dalle riflessioni sulle pareti della stanza e dalla riverberazione. Pertanto, in teoria, è necessario disporre di una camera anecoica per effettuare l'ascolto mediante diffusori. E' stata tuttavia realizzata una camera anecoica miniaturizzata dotata di ben 8 diffusori opportunamente disposti, in grado di garantire una eccezionale ricostruzione del campo sonoro per la persona incapsulata entro di essa.

## CONCLUSIONI

Il sistema di auralizzazione sviluppato costituisce un significativo passo avanti verso l'obiettivo di realizzare una vera "realtà virtuale acustica",

intendendosi con ciò la capacità di simulare realisticamente ed in tempo reale la sensazione acustica prodotta da un ambiente reale o immaginario.

Le prove soggettive eseguite mostrano che il realismo ottenibile è considerevole. Rimane pertanto da ottenere un ulteriore incremento di velocità elaborativa.

Comunque, anche in assenza di elaborazione in tempo reale, il sistema di convoluzione ha mostrato di essere perfettamente operativo per l'esecuzione di test psicoacustici sulla qualità del suono, sia in campo musicale che rumoristico.

Nel prossimo futuro il sistema verrà pertanto impiegato per l'esecuzione di due estese campagne di valutazioni soggettive: la prima sarà indirizzata ad un campione di studenti di Parma, che verranno soggetti a prove in camera anecoica. La seconda si avvarrà viceversa dell'ascolto in cuffia delle registrazioni DAT prima descritte, che verranno sottoposte ad un campione di musicisti di fama internazionale, i quali già in passato hanno compilato questionari sulla qualità acustiche delle sale da concerto italiane di cui sono state impiegate le risposte all'impulso [9].

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Kleiner, B. Dalenback, P. Svensson - "Auralization - an overview" - AES Journal - vol. 41, N. 11, November 1993.
- [2] Connolly B. - "A User Guide for the Lake FDP-1 plus" - Lake DSP Pty. Ltd, Maroubra (Australia) - september 1992.
- [3] H.W. Gierlich - "The application of binaural technology" - Applied Acoustics - vol. 36, n. 3&4, (1992).
- [4] W. Ahnert, R. Feistel - "EARS Auralization Software" - AES Journal - vol. 41, N. 11, November 1993.
- [5] A. Farina - "An example of adding spatial impression to recorded music: signal convolution with binaural impulse responses" - Proceedings of *Acoustics and Recovery of Spaces for Music* - Ferrara, 27-28 October 1993.
- [6] A. Farina, A. Cocchi - "Correzione acustica di ex-chiese riadattate per utilizzo concertistico: un esempio di progettazione di interventi non-sabiniani con l'ausilio del calcolatore" - Proceedings of *Acoustics and Recovery of Spaces for Music* - Ferrara, 27-28 October 1993.
- [7] Anechoic Orchestral Music Recording - DENON PG 6006, Nippon Columbia Limited (1988).
- [8] Cocchi A., Farina A., Fausti P., Garai M., Semprini G. - "New possibilities in room acoustics measurements: real-time analyzer, DAT, computer: a comparative approach" Proc. of 6th FASE Congress - Zurich 29-31 July 1992.
- [9] A. Cocchi, A. Farina, P. Fausti, L. Tronchin - "Acoustic quality of theatres: correlation between experimental measures and subjective evaluations" - in corso di pubblicazione su *Acta Acustica*.