

# 3D - Virtual Microphone System

## Sonda Microfonica ad Elevata Direttività

Leonardo **Scopece**,  
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Angelo **Farina**,  
Andrea **Capra**  
Università di Parma - Dipartimento di Ingegneria Industriale

### 1. INTRODUZIONE

Un precedente articolo [1] illustra l'attività di ricerca avviata dal Centro Ricerche della Rai e dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Parma che ha portato alla progettazione e realizzazione di un sistema di ripresa e registrazione basato sulla tecnica Ambisonic. Il sistema utilizza una sonda HOA ed è stato denominato 3D-VMS. I risultati conseguiti hanno consentito la definizione di un brevetto, depositato dalla Rai e da AIDA, spin-off dell'Università di Parma,

Il sistema ideato sfrutta una sonda microfonica a più capsule per consentire una flessibilità di impiego nelle produzioni audio/video in campo broadcast non ottenibile con i modelli microfonici "discreti" disponibili sul mercato.

I modelli microfonici discreti possono essere montati direttamente su telecamera e il loro movimento può essere sincronizzato automaticamente al mo-

#### **Sommario**

*Sono descritte la teoria del nuovo sistema di ripresa e registrazione multicanale basato su 32 capsule posizionate su una sonda sferica e alcune applicazioni pratiche. Con questo sistema si possono sintetizzare in tempo reale fino a 7 microfoni virtuali potendo scegliere dinamicamente la loro direttività (partendo da un omnidirezionale, passando ad un cardioide standard e arrivando ad un cardioide di ordine 6 ultradirettivo) e la loro posizione spaziale. Un'interfaccia grafica ne permette il posizionamento ed il movimento su un'immagine video a 360°. Il sistema è basato su una nuovo approccio matematico al calcolo della matrice di filtri FIR da convolvere in tempo reale con il segnale proveniente dalle capsule microfoniche; il tempo di latenza è ridotto grazie ad un processore di convoluzione partizionato.*

vimento camera, ma non sono in grado di zoomare nel campo sonoro.

Il singolo microfono in posizione fissa restituisce come risultato una ripresa sonora "statica", che non corrisponde alla dinamica video correntemente impiegata nel broadcast, dove l'immagine non rimane fissa per più di pochi secondi.

Il sistema 3D-VMS consente una ripresa multimi-crofonica o, in alternativa, surround, consente di realizzare lo zoom microfonico in modo dinamico e d in tempo reale, consente di posizionare più punti di ripresa sul piano azimutale e mediano (fino a 7 microfoni virtuali).

Questo articolo aggiorna quello precedentemente pubblicato [1] fornendo ulteriori dettagli sulle basi di funzionamento del sistema e considerazioni sulle sperimentazioni in diversi ambienti e campi di applicazione.

## 2. MICROFONI VIRTUALI

Negli ultimi anni sono state avviate diverse attività di ricerca per sviluppare tecnologie atte a registrare e riprodurre le proprietà spaziali del suono. Molti degli approcci proposti fanno uso di grandi schiere di microfoni e altoparlanti per elaborare i segnali sulla base di teorie matematiche complesse, evoluzioni del classico principio di Huygens.

Questi metodi si basano su rappresentazioni matematiche del campo sonoro, che viene decomposto in onde piane [2], in armoniche sferiche [3] o funzioni complesse di Hankel [4].

Qualunque metodo venga utilizzato, alla fine ci si può ricondurre al calcolo come sintesi di un numero di **microfoni virtuali**, ciascuno dei quali alimenta un altoparlante nel sistema di ascolto.

L'approccio scelto **non** utilizza nessuna rappresentazione matematica del campo sonoro, vuole invece identificare una soluzione numerica in grado di ottenere direttamente i coefficienti dei filtri utili a sintetizzare ciascun microfono virtuale con diretti-vità e direzione di puntamento arbitrari.

Acronimi e sigle	
<b>3D-VMS</b>	3D - Virtual Microphone System
<b>ADAT</b>	in origine Alesis Digital Audio Tape, ora indica l'interfaccia ottica per il trasferimento dell'audio digitale (ADAT Optical Interface)
<b>AIDA</b>	Advanced Industrial Design in Acoustic
<b>CAT 5</b>	cavo di CATegoria 5 per Ethernet
<b>CAT 6</b>	cavo di CATegoria 6, adatto fino a 10-Gi-gabit Ethernet
<b>ESS</b>	Exponential Sine Sweep
<b>EMIB</b>	Eigenmike® Microphone Interface Box
<b>FFADO</b>	Free FireWire Audio Drivers
<b>FIR</b>	Finite Impulse Response
<b>GUI</b>	Graphical User Interface
<b>HOA</b>	High Order Ambisonic
<b>MATLAB</b>	MATrix LABoratory, ambiente per il calcolo numerico e relativo linguaggio
<b>MIDI</b>	Musical Instrument Digital Interface

Sebbene questo approccio possa funzionare, in linea di principio, con qualsiasi tipo di geometria della schiera di microfoni, si è deciso di sviluppare il sistema utilizzando una sonda microfonica sferica costituita da 32 capsule di elevata qualità, recentemente disponibile sul mercato.

I 32 segnali sono filtrati impiegando un potente processore di convoluzione, capace di sintetizzare in tempo reale fino a 7 microfoni virtuali e di definire la loro posizione e diretti-vità utilizzando come dispositivo di controllo un joystick o un mouse; la gestione del sistema da parte dell'operatore è facilitata dall'uso di una videocamera panoramica a grand'angolo e di una interfaccia grafica di uso intuitivo.

La gestione può avvenire in tempo reale e con bassi tempi di latenza durante un evento dal vivo. In alternativa, i segnali "grezzi" delle 32 capsule possono essere registrati, insieme al video panoramico, consentendo la loro elaborazione e la sintesi dei microfoni virtuali in fase di post-produzione.

I microfoni virtuali sintetizzati possono essere altamente direttivi (con diagrammi polari costanti con la frequenza, e con apertura del fascio di ripresa molto definita come quella di un microfono "a fucile"); sono intrinsecamente coincidenti, in modo da miscelare i segnali senza problemi di comb-filtering; è possibile muovere continuamente i microfoni sulla scena per seguire attori e/o cantanti, o per dare voce al pubblico presente.

La registrazione di un concerto è solo uno dei possibili scenari in cui utilizzare questo schema; un altro fra gli scenari testati è quello teatrale.

Un'attenta analisi delle prestazioni del nuovo sistema microfonico ha mostrato che la risposta in frequenza, il rapporto segnale-rumore e la reiezione del suono al di fuori del fascio di ripresa sono migliori di quelli ottenuti impiegando algoritmi di elaborazione tradizionali applicati agli stessi segnali d'ingresso, o di microfoni altamente direttivi dedicati.

### 3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA

#### 3.1 FILTRI DIGITALI PER MICROFONI VIRTUALI

Dato un array di trasduttori, si può utilizzare un set di filtri digitali per creare i segnali in uscita (figura 1). Nel nostro caso occorre convertire gli  $M$  segnali che arrivano dalle capsule in  $V$  segnali corrispondenti ai microfoni virtuali desiderati: è necessario utilizzare una matrice  $M \times V$  di filtri FIR.

Assumendo  $x_m$  come segnali di ingresso di  $M$  microfoni,  $y_v$  come segnali di uscita di  $V$  microfoni virtuali e  $h_{m,v}$  la matrice di filtri, i segnali elaborati possono essere espressi come:

$$y_v(t) = \sum_{m=1}^M x_m(t) * h_{m,v}(t)$$

Dove  $*$  rappresenta la convoluzione, e quindi ciascun segnale del microfono virtuale è ottenuto sommando i risultati delle convoluzioni degli  $M$  ingressi con un opportuno set di  $M$  filtri FIR.

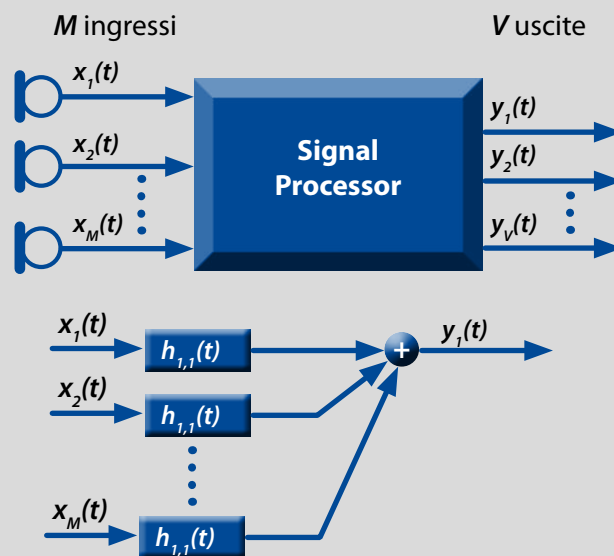


Fig. 1 – Schema di elaborazione dei segnali.

In via di principio questo approccio permette di sintetizzare microfoni virtuali aventi un pattern di direttività arbitrario. In pratica si è deciso, per ora, di sintetizzare microfoni virtuali a cardiode di ordine superiore indipendenti dalla frequenza, come mo-

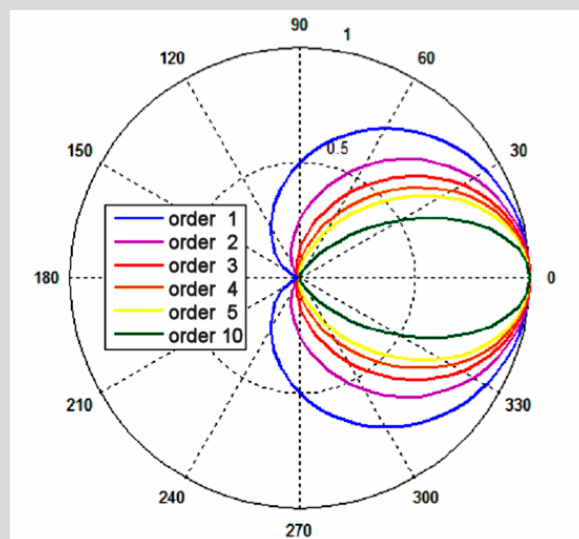


Fig. 2 – Diagramma polare di microfoni virtuali a cardiode di vari ordini.

strato in figura 2, e specificare la direzione di puntamento in coordinate polari (azimuth ed elevazione).

I coefficienti dei filtri  $h$  sono normalmente calcolati seguendo una delle complesse teorie matematiche, basate sulla soluzione dell'equazione d'onda [2,3,4], spesso sotto alcune semplificazioni, si assume che i microfoni siano ideali e identici.

I criteri di progetto seguiti, invece, non sono basati sulla scelta di una teoria specifica: il set di filtri  $h$  sono derivati direttamente da set di misure, fatte all'interno di una camera anecoica.

E' costruita una matrice di coefficienti di risposta all'impulso in base alle misure; la matrice inversa è calcolata numericamente (impiegando tecniche di approssimazione, come il metodo dei Minimi Quadrati più la regolarizzazione); in questo modo le uscite dell'array microfonico sono in linea di massima molto prossime alle risposte ideali. Questo metodo corregge anche deviazioni del trasduttore e artefatti acustici (schermatura, diffrazione, riflessione, ecc.).

I dettagli matematici per il calcolo dei coefficienti dei filtri sono illustrati in [5].

### 3.2 IL MODELLO MICROFONICO

La sperimentazione descritta in questo articolo è stata realizzata usando l'array microfonico Eigenmike™ prodotto dalla MH Acoustics [6].

Questa sonda microfonica (figura 3) è costituita da una sfera di alluminio, di raggio pari a 42 mm con 32 capsule di alta qualità posizionate sulla sua superficie; i microfoni, preamplificati e convertiti da analogico in digitale sono all'interno della sfera e tutti i segnali sono trasferiti all'interfaccia audio utilizzando un cavo CAT-6 e protocollo Ethernet basato su A-net.

L'interfaccia audio è denominata EMIB: basata sul chip TCAT DICE II, opera con i sistemi operativi Windows, OSX e Linux utilizzando FFADO. La scheda dispone di due uscite analogiche in cuffia, un'uscita digitale ADAT e una porta word clock per sincronizzarsi con apparati esterni.

Il sistema è in grado di registrare 32 canali con una risoluzione di 24 bit, e con frequenza di campionamento di 44,1 o 48 kHz.



Fig. 3 – sonda microfonica.

Fig. 4 – Il sistema microfonico nella camera anecoica.



Il controllo dei guadagni dei preamplificatori avviene attraverso il controllo MIDI; è stata sviluppata una GUI in linguaggio Python per permettere un semplice controllo del guadagno in tempo reale, con nessuna latenza e nessuna interruzione.

### 3.3 CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DEL MODELLO

Le misure dell'array microfonico sono state effettuate impiegando il metodo ESS, allo scopo di ottenere 32 risposte all'impulso per ciascuna direzione di arrivo del segnale test.

Tali misure sono state effettuate all'interno di una camera anecoica, per evitare riflessioni indesiderate e per massimizzare il rapporto segnale/rumore.

L'altoparlante e la camera anecoica sono state gentilmente forniti dalla Eighteen Sound di Reggio Emilia, che ha anche provveduto all'uso di un altoparlante di alta qualità per le misure, come mostrato in figura 4.

Il sistema è stato ruotato lungo l'azimuth (di 36 passi) e in elevazione (di 18 passi) usando un'attrezzatura mobile per la rotazione azimutale e una piattaforma girevole per l'elevazione. In questo modo si sono ottenute 36x18x32 risposte all'impulso, ciascuna di 2048 campioni (a 48 kHz).

### 3.4 SINTESI E TEST DEI MICROFONI VIRTUALI

Per ottenere la matrice di filtri è stato realizzato uno script MATLAB.

La convoluzione della matrice dei FIR con i 32 segnali provenienti dalle capsule dell'array, deve fornire come uscite i segnali dei microfoni virtuali con le caratteristiche desiderate. Nelle figure 5 e 6 sono riportati risultati sperimentali che mostrano alcuni dei differenti profili di direttività ottenuti.

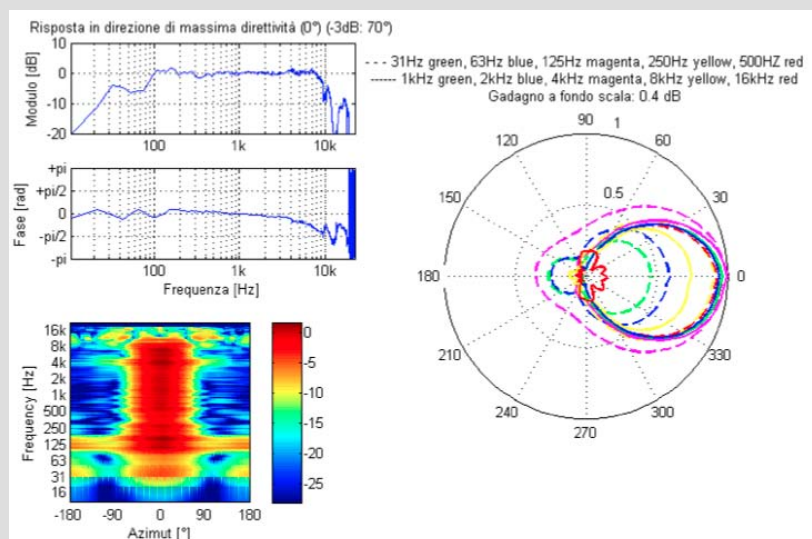


Fig. 5 – Cardioide del 3° ordine.

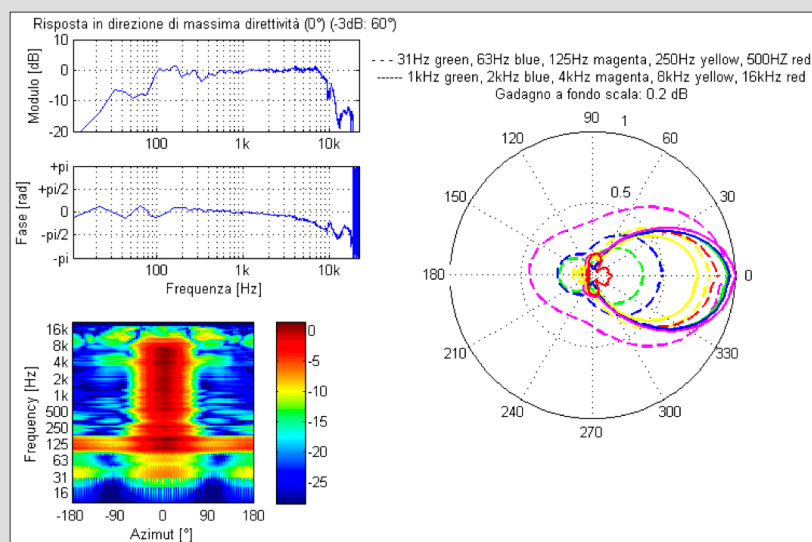


Fig. 6 – Cardioide del 6° ordine.

### 3.5 ARCHITETTURA E INTERFACCIA GRAFICA PER L'UTENTE

Affinché un sistema venga usato in produzioni broadcast deve essere molto "robusto", senza complessità non necessarie. Occorre disporre di un'elevata potenza di calcolo per generare ed utilizzare in tempo reale i filtri FIR con basso tempo di latenza. A tale scopo il sistema è dotato di un'unità di elaborazione dei segnali dedicata, contenente una scheda madre mini-ITX molto potente con un processore



Fig. 7 – Componenti hardware del sistema. **a** Sonda microfonica, **b** interfaccia EMIB, **c** Unità di elaborazione dei segnali, **d** console di controllo (notebook), **e** dispositivo di puntamento (joystick); **f** cavo CAT 6, in questa applicazione può operare fino ad una lunghezza di 140 m, **g** interfaccia ottica ADAT, **h** interfaccia firewire, **i** collegamento via cavo Ethernet CAT 5 o WiFi, **l** collegamento via cavo o wireless.

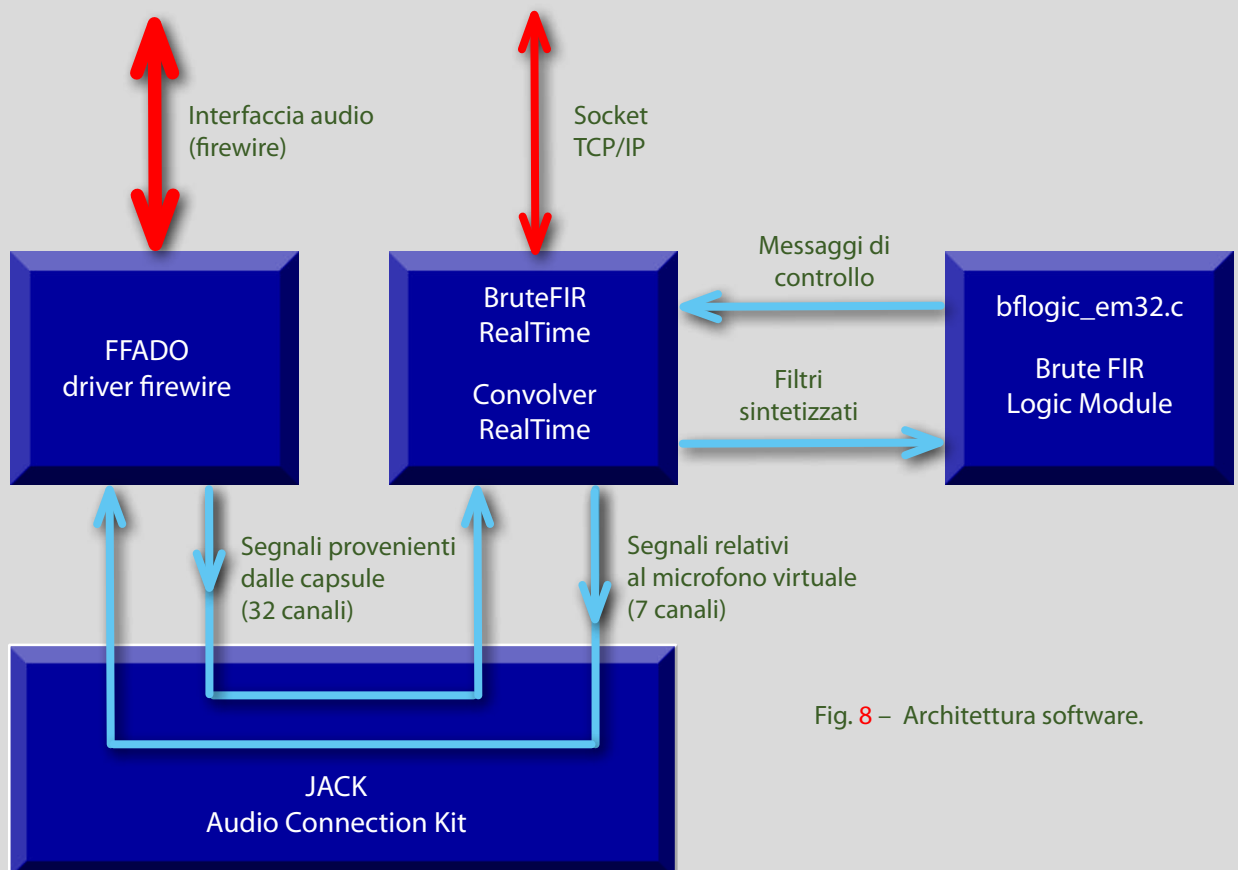


Fig. 8 – Architettura software.

Quad Core. L'elaborazione dei dei segnali audio viene effettuata da questa unità.

Per il controllo visuale delle caratteristiche di ogni microfono virtuale viene utilizzato un notebook comunicante con l'unità di elaborazione tramite rete IP; per modificare in tempo reale le direttività e gli orientamenti dei microfoni virtuali l'utente ha a disposizione un joystick o un mouse (figura 7).

Lo schema in figura 8 rappresenta l'architettura software adottata nell'unità di elaborazione dei segnali.

L'interfaccia utente è progettata allo scopo di seguire gli attori o le sorgenti in movimento, dando modo di verificare la posizione dei segnali audio dal vivo. A questo scopo, la GUI (figura 9) permette di focalizzare i microfoni su uno flusso video partendo da una camera di sorveglianza panoramica, posta in prossimità della sonda microfonica.

#### 4. ESEMPI DI APPLICAZIONE E SPERIMENTAZIONI

Nell'articolo pubblicato l'anno scorso [1] sono elencate le tipologie di eventi in cui il sistema può essere applicato vantaggiosamente: ripresa di orchestra, ripresa di eventi sportivi, teatrali, televisivi, radio-

fonici, di talk show e diffusione di una scena in un ambiente diverso da quello di ripresa.

Nel corso degli ultimi mesi sono state effettuate numerose sperimentazioni, verificando le caratteristiche del sistema nelle varie condizioni di ripresa, produzione e post-produzione. In alcuni casi sono stati messi a confronto il sistema olofonico (microfono Holophone H2Pro), citato in [1] e oggetto di precedenti articoli, con il sistema 3D-VMS.

##### 4.1 CONCERTO PRESSO AUDITORIUM

Una prova relativa alla ripresa di un concerto è stata effettuata presso l'Auditorium Rai a Torino (figura 10). La prova comparativa fra la ripresa con microfono olofonico e sistema 3D-VMS è avvenuta nel corso delle prove generali di un concerto di Sostakovich.

I due tipi di microfono sono stati posti su due aste, molto vicine tra loro.

Il risultato, con la posizione delle aste alle spalle del Direttore d'Orchestra, è risultato molto buono, presente e gradevole per entrambe le tipologie.

Il prodotto registrato con il microfono olofonico è più "squillante", ma ciò non implica necessariamente maggior gradevolezza rispetto a quello ottenuto

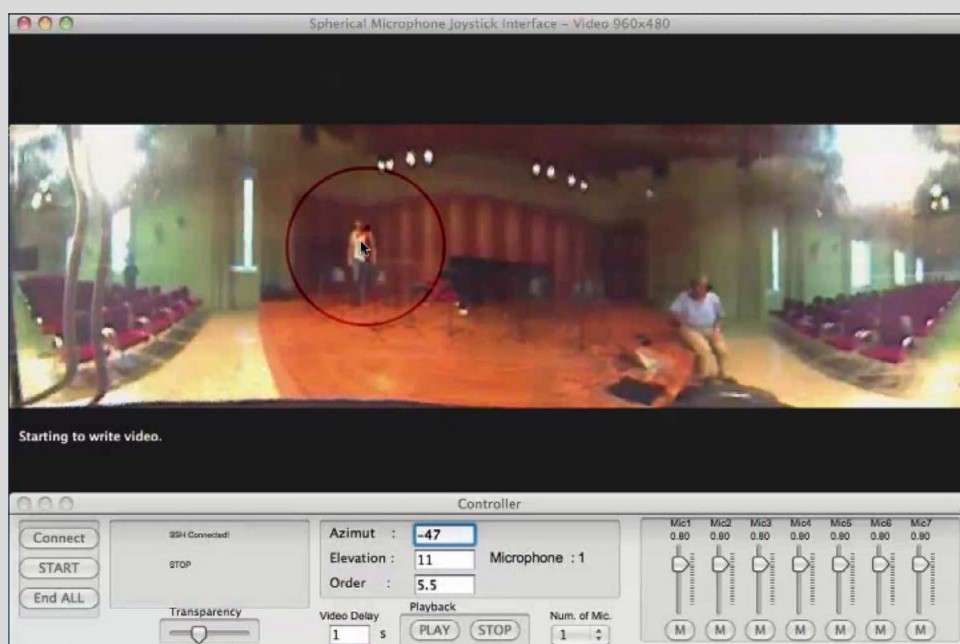


Fig. 9 – GUI. Si noti lo slider utile per regolare la trasparenza dei puntatori colorati sovrapposti all'immagine video.



Fig. 10 – Torino, 13 maggio 2010. Concerto di musica classica presso Auditorium Rai.

con il sistema 3D-VMS. E' stato notato in alcuni momenti una leggera controfase sul prodotto olofonico, assente nel caso del sistema 3D VMS.

#### 4.2 CONCERTO PRESSO STUDIO RADIOFONICO

La ripresa è avvenuta in occasione del concerto in ricordo del terremoto de L'Aquila "Per non dimenticare", in uno Studio Radiofonico Rai.

Anche in questo caso (figura 11) la sonda microfonica era posta al centro, alle spalle del Direttore

d'Orchestra. Sulla stessa staffa erano disposti una telecamera per l'interfaccia di servizio del sistema 3D-VMS ed il microfono olofonico.

Il risultato sonoro è stato soddisfacente, anche grazie all'acustica dello studio ed alla presenza del pubblico, che ha costituito un buon assorbitore.

Il giudizio sul confronto con il microfono olofonico è da considerarsi puramente soggettivo: il segnale olofonico è sembrato meno cupo dell'ambisonico, ma in generale meno soddisfacente.



Fig. 11– Roma, 14 aprile 2010. Concerto di musica classica presso Studio Radiofonico Rai in Via Asiago.





### 4.3 PROGRAMMA IN STUDIO TELEVISIVO

La sperimentazione di ripresa effettuata durante la realizzazione una puntata del programma Melevisione (figura 12) ha ottenuto risultati poco significativi a causa della distanza a cui ci si è posti con la sonda per non intralciare il lavoro degli addetti, infatti la scenografia, tipica del format, occupa la maggior parte dello spazio di scena.

Malgrado le condizioni non favorevoli, il suono delle voci è risultato buono, anche se in alcuni momenti "fuori fuoco".



Fig. 12– Torino, 9 settembre 2010. Programma televisivo Melevisione presso Studio TV al Centro di Produzione Rai.

### 4.4 OPERA LIRICA: "LA BOHÈME" AL TEATRO REGIO

Il sistema 3D-VMS è stato utilizzato nel corso delle prove generali, presente il pubblico, de "La Bohème" al Teatro Regio di Torino (figura 13).

La sonda microfonica, per motivi di regia, è stata posta su un'asta davanti alla prima fila in platea, ma non in posizione centrale, leggermente spostata verso destra di circa 20° rispetto al centro, guardando il palcoscenico, con la fossa dei musicisti tra la sonda stessa ed il proscenio.

La sperimentazione ha consentito di verificare la possibilità, in post-produzione, di "traslare" al centro i 7 microfoni virtuali, mantenendo il rapporto spaziale tra loro.

Dal punto di vista acustico non si è ottenuto un buon risultato perché le voci dei cantanti erano molto lontane e inoltre "disturbate" fortemente dalla musica proveniente dalla fossa. Solo nel caso degli assoli le voci era riprodotte in modo più pulito, pur risultando comunque troppo distanti.



Fig. 13– Torino, 21 maggio 2010. Un'immagine delle prove generali dell'opera "Bohème" presso il Teatro Regio.



Fig. 14 – Milano, 20 ottobre 2010. Il Piccolo Teatro e la scena di “Arlecchino, servitore di due padroni”, registrato in 3D HDTV per il video e 3D-VMS per l’audio. Nella foto panoramica è visibile la sonda microfonica e valutabile la posizione inidonea ad essa assegnata.



#### 4.5 TEATRO: “ARLECCHINO” AL PICCOLO

Purtroppo nel caso della ripresa di “Arlecchino servitore di due padroni” al Piccolo Teatro di Milano è stato possibile posizionare la sonda solo in un luogo particolarmente infelice (figura 14): in galleria in posizione laterale, con una visione del palco veramente minima, con un’apertura di circa 10°.

Il recupero dell’informazione sonora ha richiesto un impegnativo lavoro di post-produzione, durato più di due settimane. Il risultato ha superato le più rosee aspettative, è stato possibile “estrarre” il parlato dei vari attori anche nelle condizioni più critiche (di schiena, lontani dal microfono, bisbiglio).

#### 4.6 CONCERTO IN SALA DEL CONSERVATORIO

Durante il Concerto in re maggiore op.35 per violino e orchestra di Tchaikovsky (figura 15), l’asta con la sonda microfonica è stata posizionata al centro e alle spalle del direttore d’orchestra.

Il risultato ottenuto è stato molto soddisfacente, ha richiesto pochissimo lavoro di post-produzione.

Quando è possibile posizionare il microfono nel punto ottimale, frontale, si ottiene la miglior registrazione e l’effetto “pubblico” non risulta troppo disturbante.



Fig. 15 – Torino, 22 novembre 2010. Concerto presso il Salone del Conservatorio Giuseppe Verdi.

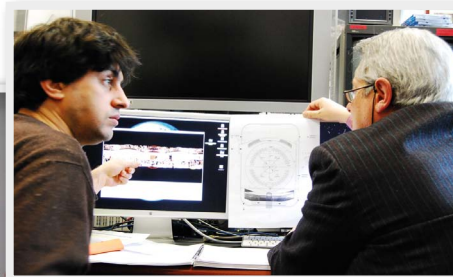


Fig. 16 – Milano, 27-28 febbraio e 1 marzo 2011. Composizione “Mise en abîme” presso lo Studio 3 del Centro di Produzione Rai. Nel riquadro il compositore, sulla sinistra, analizza le caratteristiche volute per la ripresa mediante il sistema 3D-VMS.

#### 4.7 CONCERTO IN STUDIO TELEVISIVO

“Mise en abîme” (in italiano “messa in abisso”) è una composizione del M° Yuval Avital, creata per un organico strumentale e corale di massa, utilizza lo spazio come un elemento essenziale della partitura.

La Rai, in accordo e in collaborazione con il Teatro Franco Parenti, con Magà Global Arts e l’Università di Milano, ha sperimentato l’uso del sistema 3D-VMS per riprendere questa particolare composizione.

La ripresa sperimentale è stata effettuata allo Studio 3 del Centro di Produzione Rai di Milano (figura 16).

L’ensemble musicale, disposto su una circonferenza, è particolarmente articolato e complesso composto da 32 fisarmoniche, 2 fisarmoniche basse, 2 bassi tuba, 1 clarinetto basso, 1 soprano, 1 percussione e 1 didgeridoo. Il coro è costituito da oltre 100 voci di non professionisti disposti su una circonferenza esterna ed esegue una partitura alfabetica e grafica. I direttori sono quattro, due per il coro e due per gli strumenti.

La sonda microfonica è stata posta al centro delle due circonferenze. Inoltre, per avere un eventuale rinforzo sonoro, si sono utilizzati ulteriori 8

microfoni cardioidi a copertura di una suddivisione ideale della scena in 8 settori.

Dalle riprese è stato realizzato un prodotto quadrifonico di buona qualità, obiettivo della sperimentazione.

#### 4.8 OPERA LIRICA: “NABUCCO” A MONTECITORIO

Le condizioni di ripresa dell’opera il “Nabucco” presso la Camera dei Deputati di Montecitorio (figura 17) e interpretata dall’Orchestra dell’Opera di Roma diretta dal Maestro Riccardo Muti non sono state, purtroppo, ottimali.



Infatti non è stato possibile collocare la sonda microfonica al centro dell’Orchestra, come inizialmente si era ipotizzato, poiché l’asta avrebbe “impallato” la ripresa video. La sonda è stata pertanto posizionata in galleria, ad una quindicina di metri dall’Orchestra, alle spalle del Maestro.

Questa limitazione, aggiunta all’acustica non ottimale della Camera, è la causa del risultato non entusiasmante, con l’eccezione dei pieni di orchestra e del coro.

Fig. 17– Roma, 22 marzo 2011. Opera lirica “Nabucco” alla Camera dei Deputati.



Fig. 18– Torino, 9 aprile 2011. Opera lirica “Rigoletto” al Teatro Regio.

#### 4.9 OPERA LIRICA: “RIGOLETTO” AL TEATRO REGIO

La sperimentazione basata sulla ripresa del “Rigoletto” al Teatro Regio (figura 18) aveva l’obiettivo di valutare un’applicazione più articolata del sistema 3D-VMS.

E’ stata utilizzata una sola sonda microfonica, posta all’inizio del proscenio e quasi al centro vicino alla buca del suggeritore, per ottenere la registrazione dei 32 canali. Nella fase di post-produzione sono stati sintetizzati 7 microfoni frontali, puntati verso i cantanti, e, a partire dalla stessa registrazione multicanale, sono stati sintetizzati ulteriori 7 microfoni

puntati in direzione opposta, verso l’orchestra. Al momento della pubblicazione di questo articolo, non è ancora stato analizzato il risultato, ma si hanno buone aspettative, sulla base della percezione in cuffia nel corso della ripresa.

#### 4.10 OPERA LIRICA: “TRAVIATA” AL TEATRO REGIO

Nel caso de “La Traviata” (figura 19) si sono utilizzate due sonde microfoniche: una nella stessa posizione utilizzata per il “Rigoletto”, la seconda posizionata su un’asta dentro la fossa, alle spalle del Direttore d’Orchestra. Il risultato della ripresa non è ancora stato analizzato, ma si suppone, con



questa configurazione, di poter ottenere una riproduzione meglio definita delle componenti sonore, cantanti e orchestra. Sarà possibile valutare i possibili problemi di fase dovute alla miscelazione delle registrazioni provenienti dalle due sonde e le eventuali implicazioni sul prodotto finale.

Fig. 19– Torino, 20 aprile 2011. Opera lirica “La Traviata” al Teatro Regio.

## 5. CONCLUSIONI

L'obiettivo del progetto era la realizzazione di un sistema microfonico capace di sintetizzare un significativo numero di microfoni virtuali, per i quali fosse possibile modificare dinamicamente e in tempo reale posizione e direttività. Il sistema sviluppato consente la definizione di microfoni virtuali i cui diagrammi polari possono variare con continuità dalle tipologie standard (come ominidirezionale o cardiode) fino a cardioidi molto direttivi del 6° ordine, tipologia di direttività risultata più stretta di quella dei microfoni "a fucile".

La metodologia di progetto adottata offre significativi vantaggi:

- ✓ la possibilità di operare in un ampio intervallo di frequenze, per una data dimensione della sonda;
- ✓ correzione delle differenze costruttive delle capsule;
- ✓ correzione parziale di artefatti acustici quali effetti di mascheramento, diffrazioni e risonanze.

Particolare attenzione è posta alle caratteristiche operative, specifiche per le applicazioni previste:

- ✓ la sonda microfonica è stata adattata appositamente alle specifiche indicate per uso broadcast: il colore non è riflettente alle luci di scena, è dotata di manico per renderne assimilabile l'uso a quello di un microfono, opera alla frequenza standard professionale pari a 48 kHz.
- ✓ l'interfaccia utente (GUI) è di uso semplice.
- ✓ è in corso l'unificazione delle due unità, quella di elaborazione dei segnali e quella di controllo (utilizzata per la registrazione e l'interfaccia utente); anche l'elaborazione sarà affidata al notebook (l'attuale unità di controllo) grazie all'incremento delle capacità di elaborazione delle CPU.
- ✓ di conseguenza è facilitata la sincronizzazione della ripresa video di servizio (necessaria per il puntamento dei microfoni virtuali) e del time-code, indispensabile per le operazioni di produzione e post-produzione.

Il sistema fornisce un approccio rivoluzionario alla ripresa del suono nel campo dei broadcaster e nelle

produzioni di film e musica e le innovazioni previste comportano a breve il superamento delle attuali limitazioni, tipiche di un prodotto destinato alla sperimentazione, con miglioramenti significativi dal punto di vista operativo, tecnico e di ingombro.

L'estesa gamma di sperimentazioni ha dimostrato che, grazie alla flessibilità operativa, può trovare applicazione in produzione ed in post-produzione.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per la collaborazione nelle riprese, edizioni e consulenze tecniche e musicali, i colleghi Rai: Enrico Cavallini e Salvatore Cangialosi del Centro Ricerche, i colleghi di Strategie Tecnologiche-Qualità Tecnica e dei Centri di Produzione TV di Milano e di Torino. Un particolare ringraziamento ai colleghi della Radiofonia della Rai di Torino, a Radio Vaticana e al Settore Tecnico Audio/Video della Camera dei Deputati di Montecitorio.

## BIBLIOGRAFIA

1. L. Scopece: "Sonda microfonica sferica per surround sound", *Elettronica e Telecomunicazioni*, Aprile 2010
2. A.J. Berkhout, D. de Vries, and P. Vogel, "Acoustic control by wave field synthesis", *Journal of AES*, 93(5):2764-2778, May 1993.
3. S. Moreau, J. Daniel, S. Bertet, "3D sound field recording with High Order Ambisonics - objective measurements and validation of a 4<sup>th</sup> order spherical microphone", 120th AES Convention, Paris, France - May 20-23, 2006.
4. F.M. Fazi, P.A. Nelson, "The ill-conditioning problem in Sound Field Reconstruction", 123<sup>rd</sup> AES Convention, New York, NY, USA - Oct.5/8, 2007.
5. A. Capra, L. Chiesi, A. Farina, L. Scopece, "A Spherical Microphone Array for Synthesizing Virtual Directive Microphones in Live Broadcasting and in Post Production", 40<sup>th</sup> AES Int. Conf.: Spatial Audio, Tokyo, Japan, 8-10 Oct. 2010.
6. <http://www.mhacoustics.com>