

Universita` di Bologna e SISME SpA
per tools di ricerca nell'immersive audio
parte 1: registrazioni anecoiche

Ing. Dario D'Orazio*

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bologna
Viale Risorgimento 2 - 40128 Bologna

*dario.dorazio@unibo.it

Sommario

Questo articolo sintetizza l'allestimento all'interno dei laboratori di acustica applicata dell'Università di Bologna di un sistema di registrazione per la registrazione anecoica di tre brani d'opera. In linea con le registrazioni anecoiche più recenti è stato realizzato un array sferico di dodici microfoni omnidirezionali, all'interno del quale i singoli esecutori hanno registrato le parti, in modo da ricostruire progressivamente le intere sezioni orchestrali. In modo simile sono state registrate anche le tracce dei cantanti e del coro. Le registrazioni così effettuate hanno un largo campo di utilizzo nell'ambito di ricerca: possono essere utilizzate per effettuare test psicoacustici convolvendo i brani anecoici con le risposte all'impulso di ambienti reali (o virtuali); possono essere usate per l'ascolto diretto ("acusmatico") in teatro e quindi per tarare in teatro un sistema di altoparlanti direttivi (loudspeaker orchestra) con cui effettuare misure di risposta all'impulso multisorgente. Ad oggi la disponibilità di registrazioni anecoiche significative per un'analisi dei teatri d'opera è molto scarsa (un'aria mozartiana): si è quindi deciso di concentrarsi sulla produzione d'opera italiana, identificandone brani significativi per coprire un secolo e mezzo di produzione melodrammatica. Le registrazioni sono state effettuate nell'aprile 2016 utilizzando le prime parti di un'orchestra giovanile della Romagna, l'orchestra Corelli e coinvolgendo direttamente il direttore della stessa orchestra, il maestro Jacopo Rivani, nella logistica e nella preparazione del lavoro, oltre che nella scelta artistica del materiale musicale. I contenuti di questo report sono in parte estratti da due articoli: D. D'Orazio et al., Recordings of Italian Opera orchestra and soloist in a silent room, 22nd International Congress on Acoustics (ICA 2016); D. D'Orazio et al., Recordings of Italian Opera orchestra and soloist: the musicians' point of view, International Symposium on Musical and Room Acoustics (ISMRA 2016).

1 Immersive audio

La definizione di audio immersivo è nata in ambito gaming e negli ultimi dieci anni è diventata una delle parole chiavi per la ricerca in acustica. Non stupisce che ricerca e investimenti nello sviluppo di hardware e software per giocare siano a stretto contatto con la ricerca e gli investimenti dell'acustica accademica. Nodi in cui si incontrano i due mondi (che spesso condividono o scambiano ricercatori) sono l'università di Espoo in Finlandia, i politecnici di Berlino e Aachen in Germania, l'università di Salford e l'ISVR di Southampton in UK, poi ancora qualcosa in Francia e qui da noi in Italia. Cosa produca questa ricerca lo si incontra progressivamente anche al di fuori di contesti specifici: Facebook e Youtube da metà 2016 supportano audio e video 3D, in ambito broadcasting ci sono centri di ricerca in BBC, Radio France e in RAI.

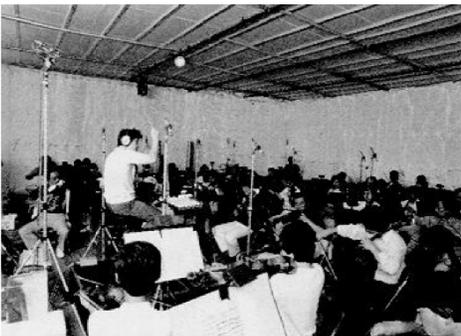
Quando si parla di audio immersivo ci si riferisce a una modalità di fruizione del materiale audio in cui la posizione e la direzione di ascolto dell'ascoltatore siano elementi capaci di modificare l'ascolto stesso: sto ascoltando una cosa, mi giro e devo avere l'impressione che anche l'ambiente sonoro intorno a me segua la mia direzione di ascolto. Una cosa che, ad es., nella riproduzione multicanale cinematografica non accade. Gli strumenti hardware per permettere la fruizione variano dalle cuffie alle più complesse camere d'ascolto con sistemi di tracciamento della posizione della testa e sistemi di amplificazione capaci di produrre audio 3d. Gli strumenti software per la produzione di materiale audio immersivo sono registrazioni anecoiche e informazioni spaziali sugli ambienti in cui far immergere l'ascoltatore: tali informazioni possono essere sia di sintesi che reali, acquisite con opportune tecniche e opportuna strumentazione. Il materiale audio di partenza, che per semplicità definiamo anecoico, deve avere un contenuto trascurabile di informazioni ambientali, proprio perché le informazioni ambientali dovranno essere modificabili durante l'ascolto.

In questa sede mi limito a parlare di alcune applicazioni di ricerca: la registrazione di 'segnali test' per applicazioni immersive e la virtualizzazione di un ambiente di ascolto di eccezione (il Teatro Comunale di Bologna). Le due applicazioni sono state sviluppate dal gruppo di acustica applicata

dell'Università di Bologna e hanno visto SISME SpA come partner tecnico.

2. Piccola storia delle registrazioni anecoiche

In una registrazione anecoica, idealmente, è assente qualsiasi contributo dato dall'ambiente di ripresa. Mentre sono piuttosto diffusi campioni registrati in condizioni più o meno anecoiche di orchestre, singole sezioni o singoli strumenti, la prassi di registrare interi brani in condizioni anecoiche è limitata a pochi casi, distribuiti negli ultimi tre decenni. L'uso delle registrazioni orchestrali di brani registrati in anecoico può coprire diversi ambiti di utilizzo. In ambito audiofilo possono essere usati come brani di riferimento per impianti (vedi le registrazioni BO e Denon), mentre è più strutturato l'uso che se ne può avere in ambiti di ricerca "scientifica" e più in generale per l'audio immersivo. Inoltre nell'ambito degli studi di psicoacustica, se si hanno a disposizione ambienti dall'acustica controllata e ripetibile tali registrazioni sono la base di test d'ascolto.



(a) Hidaka (1986) (b) ARCHIMEDE (1986–92)



(c) Vigeant (2005) (d) Patynen (2007)

Figura 1: Allestimenti di registrazioni anecoiche

Le registrazioni anecoiche sono state utilizzate fin dal anni 70 proprio per test di ascolto di psicoacustica. Gli studi seminali dell'Università di Gottingen, guidati da M. Schroeder, hanno definito i canoni attuali della ricerca in acustica architettonica e si sono serviti delle registrazioni della BBC del 1969 [1]. Tali registrazioni consistevano in una piccola orchestra registrata con un singolo microfono. Gli studi di Y. Ando all'Università di Kobe nei primi anni '80, sotto molti punti di vista prosecuzione di quelli di M. Schroeder, hanno utilizzato gli stessi segnali di test [11]. Questi studi hanno modificato sostanzialmente l'approccio alla progettazione degli studi e degli spazi di ascolto, mettendo in evidenza l'importanza della diffusione del campo sonoro. Le registrazioni della BBC presentavano una scarsa dinamica e inoltre riguardavano un repertorio piuttosto limitato. Nel 1988 Hidaka registra un'orchestra completa all'interno di una concert hall (Mino Civic Hall in Osaka, Giappone), confinando e ricoprendo il palcoscenico di materiale assorbente. Le registrazioni, che fanno poi divulgare attraverso un cd Denon distribuito commercialmente, utilizzano una grande orchestra e spaziano su un repertorio più completo. 8 microfoni vengono usati come main e 14 come spot su ciascuna sezione orchestrale. Il materiale registrato è stato poi mixato con modalità arbitrarie su due tracce stereo, che poi sono proposte nel CD commerciale sia in versione dry che in versione 'effettata' mediante convoluzione di risposte all'impulso di ambienti d'ascolto celebri (ad es. il Musikverein di Vienna). Negli stessi anni il progetto ARCHIMEDE [4], supportato da Bang & Olufsen e DTU, registra piccoli estratti per voce e musicisti in condizioni acustiche differenti (listening room, uno studio, una chiesa oltre che in camera anecoica). La destinazione d'uso del CD commerciale relativo sembra invece destinata agli audiofili per testare gli impianti con strumenti solisti registrati in ambienti differenti. Mentre nel progetto ARCHIMEDE sono registrati brani per strumento solo, Vigeant et al. [7] registrano brani di musica sinfonica usando tecniche di registrazione multicanale. I musicisti vengono registrati individualmente nella camera anecoica della DTU con l'aiuto di un video del direttore come riferimento per attacchi e tempi. La tecnica di registrazione introduce per la prima volta un array microfonico tridimensionale (formato in questo caso da 5 microfoni) che avvolge il musicista. Per ciascuna parte sono registrati due o tre tracce nel caso degli archi, una parte per le rimanenti sezioni. Il materiale non viene rilasciato in forma commerciale ma utilizzato come tool promozionale

dall'orchestra e dai ricercatori per auralizzazioni MIMO con risposte all'impulso sintetizzate numericamente. Patynen et al. [8] registrano brani sinfonici utilizzando lo stesso approccio di Vigeant, ma estendendo la risoluzione spaziale dei microfoni, utilizzando un array di 22 microfoni.

3 RegISTRAZIONI anecoiche d'opera

Le registrazioni effettuate nel 2016 dall'Università di Bologna hanno l'obiettivo di aumentare la disponibilità di materiale anecoico per applicazioni di ricerca. Tre arie d'opera sono state scelte in modo da rappresentare le tipologie di scrittura e di esecuzione operistiche, ambito musicale non affrontato in precedenza con la sola eccezione dell'aria del Don Giovanni registrata nel 2007 dal gruppo di ricerca finlandese. La scelta delle registrazioni è caduta su materiale musicale di autori italiani, non solo per ragioni campanilistiche. Le statistiche delle rappresentazioni nella stagione 2015–16 in 50 dei principali teatri d'opera al mondo infatti fanno emergere una predominanza degli autori italiani, che coprono circa il 40 % del totale delle opere rappresentate. Tali risultati sono in accordo con una precedente analisi di Hidaka et al. [9] in cui lo stesso studio era stato svolto analizzando 32 teatri d'opera nella stagione 1997–98.

La scelta dei brani non è stata banale: vista la destinazione d'uso i brani devono risultare immediatamente riconoscibili come opera italiana e allo stesso tempo abbracciare stili diversi legati allo sviluppo del teatro all'italiana. Allo stesso tempo le arie devono avere una durata limitata, poichè in genere gli esperimenti psicoacustici usano segnali test di poche decine di secondi e allo stesso tempo gli ascolti di audio immersivo devono avere tutto lo sviluppo di un'aria. Scartata dunque la fase iniziale del melodramma e quella più contemporanea, la selezione dei brani è caduta su:

1. “Come Paride vezzoso” da L'elisir d'amore di Gaetano Donizetti (1797-1848)
2. “Di tale amor, che dirsi” da Il trovatore di Giuseppe Verdi (1813-1901)
3. “Oh Mio Babbino Caro” da Gianni Schicchi di Giacomo Puccini (1858-1924)

La scelta dei brani è stata affidata al maestro Jacopo Rivani (che poi ha seguito tutte le sessioni di registrazione) sulla base di criteri di orchestrazione (estensione crescente dell'orchestra, struttura della sezione dei legni), di tempo e dinamica dei brani.

Excerpt	1 st vli	2 nd vli	vla	c	db	fl	ob	cla	bas	ho	tp	tbn	ha
Donizetti	8	6	5	4	3	2	2	2	2	2	2	3	–
Verdi	10	8	6	6	4	2 ^a	2	2	2	4	2	4 ^b	–
Puccini	12	10	8	7	5	2 ^a	3 ^c	3 ^d	2	4	3	–	1

(a) flauto e ottavino; (b) tre tromboni e un trombone basso; (c) oboe e corno inglese; (d) due clarinetti e un clarinetto basso

Tabella 2: Parti orchestrali per ciascuna registrazione (vli: violini, vla: viole, c: violoncelli, db: contrabbassi, fl: flauti, ob: oboi, cla: clarinetti bas: fagotti, ho: corni francesi, tba: trombe, tbn: tromboni, ha: arpa).

Tabella 1: RegISTRAZIONI anecoiche disponibili e di letteratura, repertorio e sintesi delle procedure di realizzazione.

Author(s)	Type	Mics	Location	Music materials	Year
Burd [1]	ensemble	1	BBC	Gibbon: <i>Royal pavane</i> Mozart: <i>Symphony KV 551</i> , 4th mov Arnold: <i>Sinfonietta, opus 48</i> , 4th mov Haydn: <i>Symphony no.102</i> , 2nd mov Wagner: <i>Siegfried Idyll</i>	1969
H,K&M [2]	ensemble	29	Theatre ¹	Haendel: <i>Water music</i> Mozart, <i>Le Nozze De Figaro</i> (Ouv.) Beethoven: <i>Symphony no.3</i> , 4th mov Glinka: <i>Ruslan And Lyudmila</i> (Ouv.) Verdi: <i>La Traviata</i> (Preludio) Brahms: <i>Symphony no.4</i> , 1st mov J. Strauss: <i>Pizzicate-Polka</i> Bizet: <i>L'Arlesienne</i> , Minuet Bruckner: <i>Symphony no.4</i> , 1st mov Debussy: <i>Après-midi d'un faune</i> Mahler: <i>Symphony no.5</i> , 4th mov Mussorgsky: <i>Pictures at an exhibition</i> Šostakovič: <i>Symphony no.5</i> , 1st mov	1988
H&M [4]	solo	1	DTU	excerpts for solo ²	1991
V,W&R [7]	solo ³	5	DTU	Brahms: <i>Symphony no.4</i> , 3rd mov Mozart: <i>Symphony no.40</i> , 1st mov Stravinsky: <i>Circus Polka</i>	2005
P,P&L [8]	solo	22	Espoo	Mozart: <i>Don Giovanni</i> , aria Beethoven: <i>Symphony no.7</i> , 1st mov Bruckner: <i>Symphony no.8</i> , 2nd mov Mahler: <i>Symphony no.1</i> , 4th mov	2009
Present work	solo	15	Bologna	Donizetti: <i>L'elisir d'amore</i> , 1st act Verdi: <i>Trovatore</i> , 2nd act Puccini: <i>Gianni Schicchi</i> , 1st act	2016

(1) Minoò Civic Hall with "anechoic room installed around stage"; (2) Excerpts for guitar, cello, percussions, trumpet and cornet solo; (3) music materials wasn't available

Tabella 1: RegISTRAZIONI anecoiche disponibili e di letteratura, repertorio e sintesi delle procedure di realizzazione.

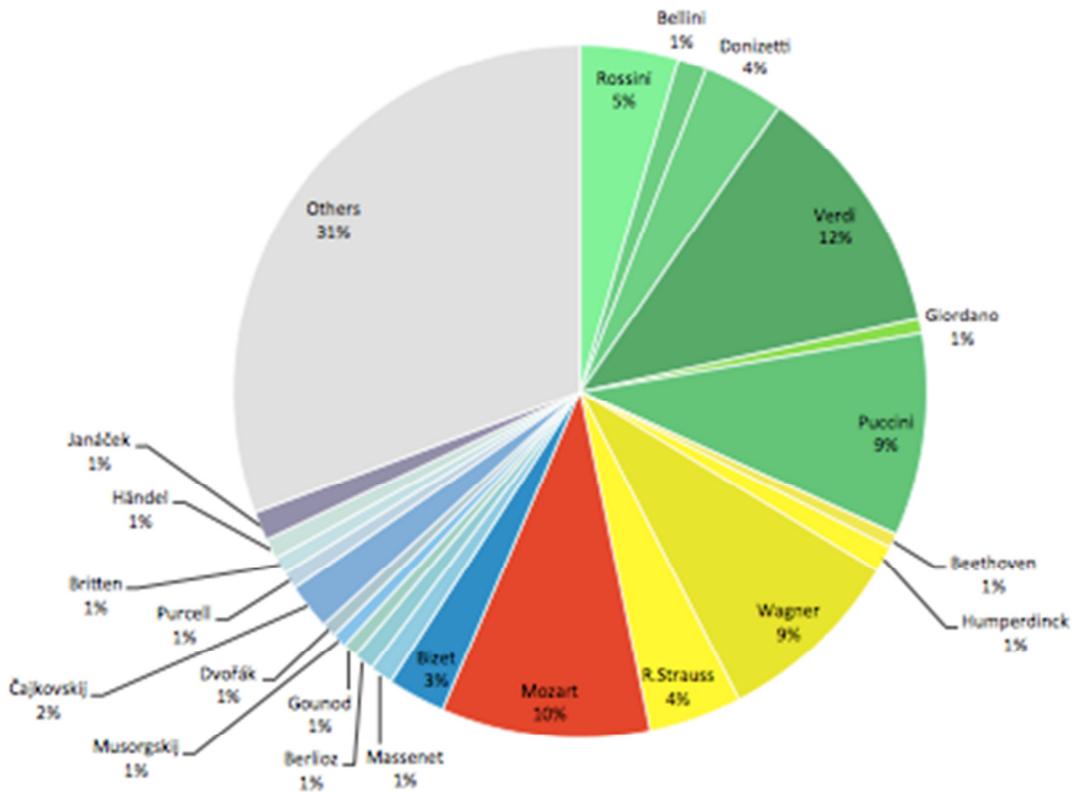


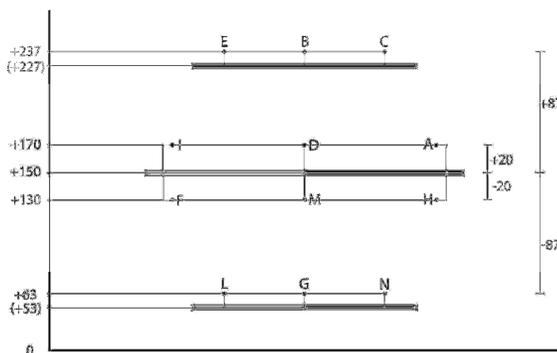
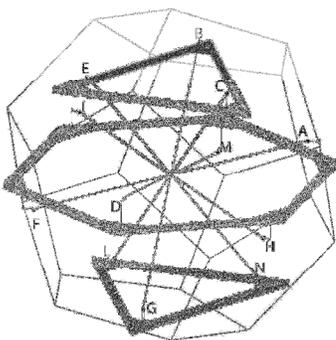
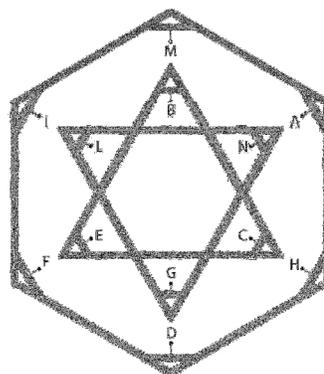
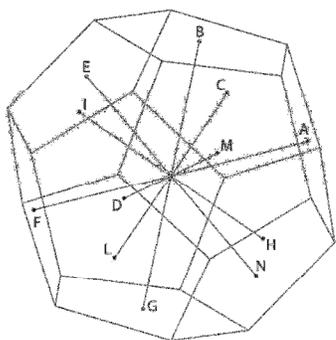
Figura 2: Analisi degli autori più rappresentati nella stagione 2015–2016 in 51 tra le più importanti sale d'opera [18]

Per le registrazioni sono stati utilizzati musicisti e solisti professionisti dell'orchestra Corelli di Ravenna. Molti dei musicisti affiancano all'attività classica esperienze nella registrazione di musica pop, per cui la procedura di registrare un take alla volta con monitoring in cuffia non ha dato particolari problemi. Per il sync non si è usato un click ma un video con la bacchetta del direttore e una traccia base di voce e pianoforte (progressivamente abbandonata con l'aumentare delle tracce registrate). Le procedure di registrazione che hanno mediato tra esigenze tecniche e disponibilità di un gran numero di musicisti (13) e solisti (3), hanno previsto prima gli archi gravi, poi le viole e una sola traccia guida dei violini. Quindi ottoni e legni e poi una sessione giornaliera con i soli violini, in modo da arrivare al giusto 'colore' del suono orchestrale. Infine una giornata di misura per la parte di arpa, la più impegnativa dal punto di vista logistico.

3.1 L'array sferico di microfoni

L'esigenza di registrare tramite array microfonico e non utilizzando configurazioni microfoniche tradizionali nasce da considerazioni di tipo diverso, legate alle peculiarità dell'ambiente di ripresa e ai potenziali utilizzi del materiale registrato.

La registrazione di uno strumento in anecoico è concettualmente simile alla caratterizzazione di una sorgente sonora, per la quale esistono norme di riferimento che prescrivono la disposizione dei microfoni intorno alla sorgente, in modo da dividere l'angolo solido in parti più o meno uguali. Nel caso di una sorgente sonora che emette un segnale musicale è particolarmente importante che i segnali registrati siano allineati temporalmente, e che quindi la disposizione spaziale dei microfoni sia 'regolare'.



Mic No.	Type	Elevation (degree)	Azimuth (degree)	r (m)
A	AT 4050	52.6	120	1.1
B	AT 4050	52.6	0	1.1
C	AT 4050	52.6	240	1.1
D	AT 4050	-10.8	240	1.1
E	AT 4050	10.8	300	1.1
F	AT 4050	-10.8	0	1.1
G	AT 4050	10.8	60	1.1
H	AT 4050	-10.8	120	1.1
I	AT 4050	10.8	180	1.1
L	AT 4050	-52.6	60	1.1
M	AT 4050	-52.6	180	1.1
N	AT 4050	-52.6	300	1.1
13	B&K 4190	-6,5	107	2.7
14	B&K 4190	-15.3	0	1.1
15	B&K 4190	-15.3	120	1.1
16	AT 4050	-6.5	103	2.7
17	AT 4050	-8	105	2.2

Figura 3: Schema dell'array microfonico (microfoni A–N) e dei (canali 13–17)

Il metodo più semplice per dividere l'angolo solido in spazi regolari è l'uso di un solido platonico, in cui al centro di ciascuna faccia sia posizionato un microfono. Nelle registrazioni di Vigeant et al. è stato scelto il cubo, disponendo 5 microfoni al centro delle facce ad eccezione della faccia inferiore, non microfonata. Nelle registrazioni di Patynen et al. è stata scelta una geometria dodecaedrica, che permette di acquisire informazioni spaziali con una risoluzione angolare di circa 116 gradi.

Compatibilmente all'ambiente di registrazione disponibile per il presente studio si è scelto di utilizzare una disposizione dodecaedrica con una distanza tra strumento e microfono di circa 1 m. La struttura di supporto è stata realizzata attraverso lamiere tagliate e irrigidite, appesantite e smorzate con inserti in legno in modo da non avere risonanze della struttura in banda audio.



Figura 4: Posizione dei musicisti durante le registrazioni con l'array di microfoni intorno all'esecutore e il monitor con il direttore

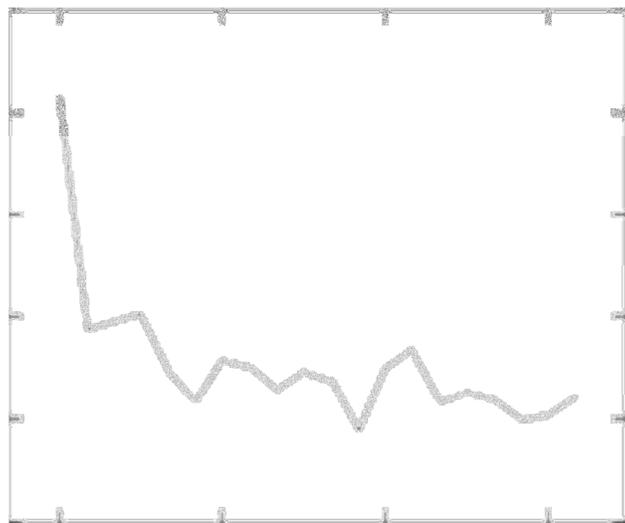


Figura 5: Tempo di riverberazione dell'ambiente misurato con a partire dagli involuipi dei decadimenti [12]

3.2 L'ambiente di registrazione

Come anticipato nell'introduzione sotto il nome di generico di "registrazioni anecoiche" rientra un insieme eterogeneo di ambienti di registrazione, solo alcuni dei quali anecoici. Anche per questi ultimi, l'assorbimento acustico in bassa frequenza non è ideale, ma questo limite non è stato ritenuto vincolante nelle registrazioni anecoiche sia per la naturale omnidirezionalità delle sorgenti musicali in bassa frequenza, sia per la scrittura musicale delle parti più gravi.

Le registrazioni oggetto del presente studio sono state effettuate all'interno della listening room dell'Università di Bologna, trattata con ulteriori 30 metri cubi di materiale isolante, in modo da ottenere una riverberazione praticamente trascurabile su gran parte delle frequenze eccitate dagli strumenti musicali (vedi immagine 3.2).

3.3 Microfoni

Nella limitata produzione di registrazioni anecoiche sono state seguite diversi approcci. In generale i lavori di Hidaka e di Hansen e Munch hanno utilizzato un miking in campo lontano, con capsule a diaframma piccolo. In alcuni casi sono state utilizzate capsule derivate da applicazioni di misura (Hidaka, B&K 4003, Vigeant, B&K 4006) in altre capsule da ripresa musicale (Hansen and Munch Schoeps, MK4). Il lavoro più recente di Patynen, senza motivare esplicitamente la scelta, ha utilizzato capsule a largo diaframma da ripresa in campo vicino (Rode NT1). Per il presente lavoro sono stati scelti microfoni a largo diaframma Audio Technica AT 4050, utilizzati in configurazione omnidirezionale.

L'utilizzo della configurazione omnidirezionale per un array microfonico è una scelta obbligata data la distanza tra sorgente e ricevitori e tra ricevitori stessi. Dal punto di vista tecnico è riconosciuto fin dai primi array (e.g. il decca tree) che la capacità di ricostruire l'evento sonoro è legata a un rapporto tra distanza dai ricevitori e direttività dei microfoni, entro limiti massimi di applicazione. configurazioni coincidenti o quasi coincidenti permettono l'uso di microfoni direttivi, array di microfoni distanti impongono diagrammi polari idealmente omnidirezionali. Tutti i microfoni

sono stati disposti con il riferimento del logo orientato verso il centro dell'array.

I segnali sono stati preamplificati e convertiti attraverso una scheda RME Micstasy, con un guadagno di circa 35dB. Il pad di attenuazione di -15dB è stato utilizzato per il solo trombone. Analogamente allo studio di P,P&L, alcuni microfoni di riferimento (B&K 4090, vedi tabella 3) sono stati disposti nell'array e in alcuni punti di controllo per confrontare e eventualmente equalizzare i segnali acquisiti.

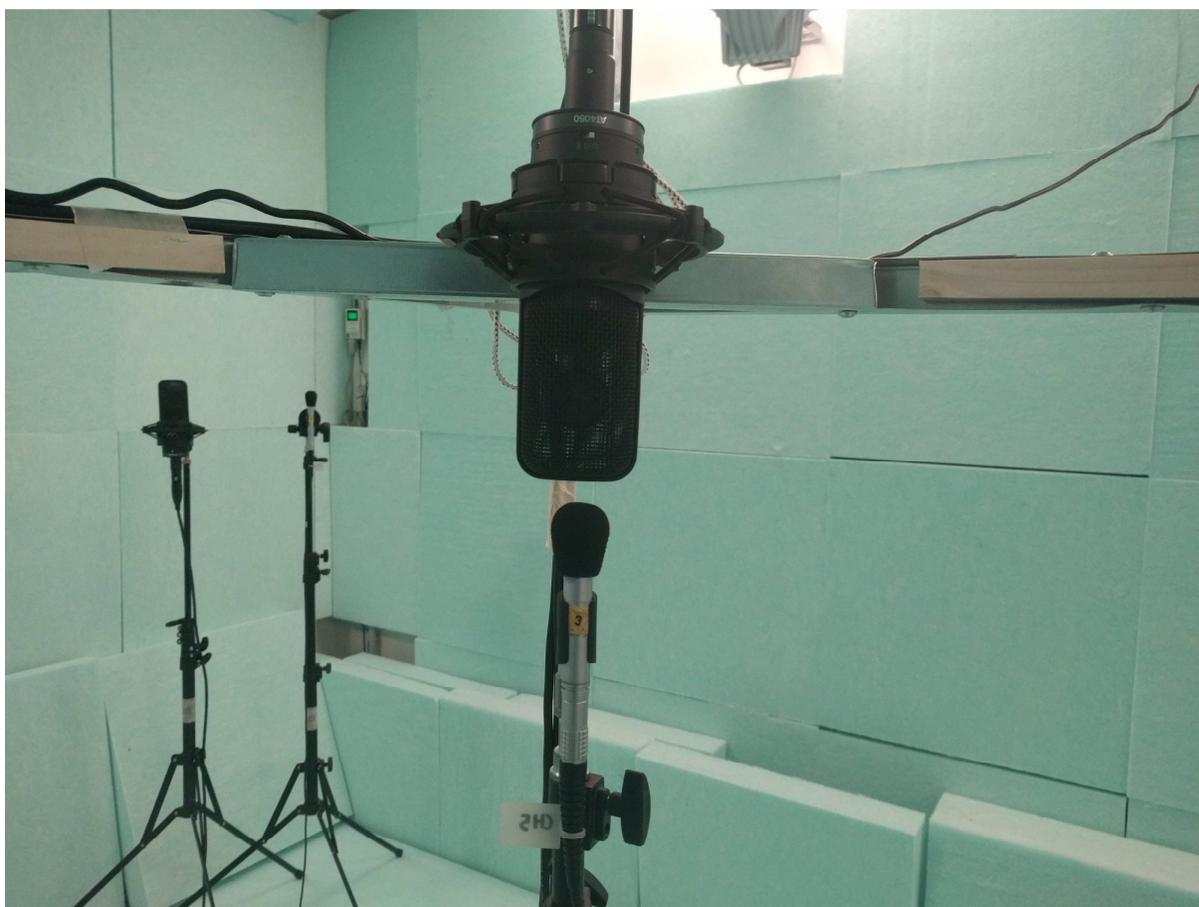


Figura 6: Dettaglio con il microfono B&K 4190 usato come riferimento strumentale e uno dei microfoni di registrazione AT 4050.

4 Conclusioni

Si è brevemente parlato dell'esperienza congiunta di Università di Bologna e SISME per l'allestimento di un array sferico di microfoni per la registrazione

di arie d'opera in ambiente anecoico. E' stato introdotto il contesto di ricerca per il quale le registrazioni risultano potenzialmente utili, fino a diventare necessarie in alcuni ambiti (le misure distribuite in teatri d'opera, ad es.). Sono brevemente riportate le scelte tecnico/artistiche che riguardano la scelta del materiale musicale e gli aspetti tecnologici dell'allestimento della camera quasi anecoica per la registrazione.

Tutto il materiale registrato sarà liberamente utilizzabile per fini di ricerca e vorrebbe essere, nell'intenzione degli autori, il tentativo di verificare una tecnica proposta in letteratura al fine di creare un database standard di materiale per analisi acustiche innovative.

Tutte le tracce di queste lavoro sono liberamente disponibili per uso accademico (12-track .wav registrati a 48 kHz/24 bit). Sono inoltre disponibili downmix delle tracce orchestrali e dei solisti. I file compressi e le informazioni riguardanti utilizzo e realizzazione sono disponibili all'indirizzo <http://acustica.ing.unibo.it/opera>.

Riferimenti bibliografici

- [1] Burd, A. N., Nachhallfreie Musik für Akustische Modelluntersuchungen. *Mitteilungen* 13 [1969], 200–201.
- [2] T. Hidaka, K. Kageyama, S. Masuda: Recording of anechoic orchestral music and measurement of its physical characteristics based on the auto-correlation function. *Acustica*, 67 (1988) 68–70.
- [3] Denon: Anechoic orchestral music recording. Audio CD, Denon Records, 1995. ASIN: B0000034M9.
- [4] V. Hansen, G. Munch, Making recordings for simulation tests in the Archimedes project, *J. Audio Eng. Soc.*, 39(10), 1991 October.
- [5] Bang & Olufsen: Music from Archimedes. Audio CD 101, 1992.
- [6] M. C. Vigeant, L. M. Wang, and J. H. Rindel, Investigations of orchestra auralizations using the multi-channel multisource auralization technique, *Acust. Acta Acust.*, 94, 866–882 (2008)
- [7] M. C. Vigeant, L. M. Wang, J. H. Rindel, C. L. Christensen, and A. C. Gade, Multi-Channel Orchestral Anechoic Recordings for Auralizations, *Proc. of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010*.
- [8] J. Paˆtynen, V. Pulkki, and T. Lokki, Anechoic recording system for symphony orchestra, *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 94(6), 856–865, November/December 2008.
- [9] T. Hidaka and L. L. Beranek, Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas, *J. Acoust. Soc. Am.*, 107 (1), 368–383, 2000.
- [10] T. Lokki: How many point sources is needed to represent strings in auralization? *International Symposium on Room Acoustics (ISRA 2007)*, Seville, Spain, September 10–12 2007. Paper P11.
- [11] D. D’Orazio, S. De Cesaris and M. Garai. A comparison of methods to compute the “effective duration” of the autocorrelation function and an alternative proposal. *J. Acoust. Soc. Am.* 130(4), 1954–1961, 2011.
- [12] De Cesaris, S., D’Orazio, D., Morandi, F., Garai, M., Extraction of the envelope from impulse responses using preprocessed energy detection, *J. Acoust. Soc. Am.*, 138, 2513 (2015).
- [13] D. D’Orazio, S. De Cesaris, M. Garai, J. Rivani, Recordings of Italian opera orchestra and soloists: the musicians’ point of view, *International Symposium on Music and Room Acoustics (ISMRA 2016)*, La Plata.
- [14] AT4050 datasheet. <http://www.audio-technica.com> (last viewed 24 febbraio 2017)
- [15] B&K 4190 datasheet. <http://www.bksv.com/> (last viewed 24 febbraio 2017)
- [16] Reaper v. 5.20 <http://www.reaper.fm> (last viewed 24 febbraio 2017)
- [17] M. Garai, F. Morandi, D. D’Orazio, S. De Cesaris, L. Loreti, Acoustic measurements in eleven Italian opera houses: Correlations between room criteria and considerations on the local evolution of a typology, *Building and Environment*, 94(2), 2015, 900–912.
- [18] D. D’Orazio, S. De Cesaris, M. Garai, Recordings of Italian Opera orchestra and soloist in a silent room, *22nd International Congress on Acoustics (ICA 2016)*, Buenos Aires, 2016.
- [19] D. D’Orazio, S. De Cesaris, M. Garai, J. Rivani, Recordings of Italian Opera orchestra and soloist: the musicians’ point of view, *ISMRA 2016*, La Plata, 2016.