



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

**FACOLTÀ DI FILOSOFIA, LETTERE,
SCIENZE UMANISTICHE E STUDI ORIENTALI**

Dipartimento di Storia dell'Arte e Spettacolo

Dottorato di Ricerca in Tecnologie Digitali e Metodologie
per la Ricerca sullo Spettacolo

***ELEMENTI DI RESTAURO DIGITALE DELL'AUDIO:
INNOVAZIONE PER IL RECUPERO DEI DOCUMENTI DEGLI
ARCHIVI AUDIOVISUALI DEI TEATRI DI TRADIZIONE***

RELATORE:

Prof. Ferruccio MAROTTI

CANDIDATO:

Luca LONGOBARDI

ANNO ACCADEMICO 2010/2011

INDICE

INTRODUZIONE	5
CAPITOLO I: CENNI STORICI SULL’AUDIO: DAI PRIMI STUDI DI ACUSTICA AD UNA LINEA DEL TEMPO DEI MEZZI PER LA RIPRESA, REGISTRAZIONE E RIPRODUZIONE DEL SUONO	9
— <i>Paragrafo 1.1: la nascita della scienza che studia il suono</i>	9
— <i>Paragrafo 1.2: ripresa dell’audio: storia del microfono</i>	14
— <i>Paragrafo 1.3: registrazione e supporti</i>	23
— <i>Paragrafo 1.4: riproduzione</i>	32
— <i>Paragrafo 1.5: linea del tempo</i>	37
CAPITOLO II: TECNICHE DI RESTAURO	51
— <i>Paragrafo 2.1: processi tipici di uno studio di registrazione</i>	52
— <i>Paragrafo 2.2: processi digitali di restauro</i>	62
— <i>Paragrafo 2.3: digitalizzazione dai diversi supporti</i>	65
— <i>Paragrafo 2.4: operazioni specifiche di restauro digitale dell’audio</i>	73

**CAPITOLO III: ACUSTICA ARCHITETTONICA E
AURALIZZAZIONE: APPLICAZIONE SPERIMENTALE NEL
PROCESSO DI RESTAURO DIGITALE 83**

- *Paragrafo 3.1: acustica degli anfiteatri romani e greci* 83**
- *Paragrafo 3.2: la Scienza del suono: da Sabine ai giorni nostri* 86**
- *Paragrafo 3.3: auralizzazione* 92**
- *Paragrafo 3.4: ricostruzione virtuale dell'acustica del Teatro degli Intrepidi* 106**

**CAPITOLO IV: PIERINO E IL LUPO DI PROKOVIEV E LA
MANON LESCAUT DI PUCCINI: RECUPERO E RESTAURO
INNOVATIVO 119**

- *Paragrafo 4.1: riflessioni sul documento e sul digitale* 119**
- *Paragrafo 4.2: gli archivi dei teatri di tradizione italiani* 124**
- *Paragrafo 4.3: recupero e restauro del Pierino e il Lupo Op.67 di Prokoviev* 129**
- *Paragrafo 4.4: recupero e restauro della Manon Lescaut di Puccini* 152**

CONCLUSIONI 171

RINGRAZIAMENTI 175

BIBLIOGRAFIA E WEBGRAFIA 177

INTRODUZIONE

Nella ricerca del significato semantico del termine restaurare si riscontrano due definizioni principali: la prima accezione fa riferimento alla procedura per recuperare parti mancanti o rimettere a nuovo parti deteriorate di oggetti antichi, opere d'architettura, scultura, pittura e simili; la seconda pone l'attenzione sul processo di riportare qualcosa nello stato di prima, in altre parole ripristinare.

E proprio nella sottile linea che divide semanticamente i due significati che si colloca la ricerca sui modi ed i mezzi finalizzati al restauro digitale dell'audio.

Alcune tecniche sono basate su semplici procedure euristiche, altre su sofisticati modelli probabilistici associati ad opportune procedure di stima e altre ancora sfruttano nuovi modelli ad apprendimento basati su reti neurali artificiali o sull'approccio Bayesiano.

Se quindi esistono infinite possibilità di percorsi che sfruttano diversi mezzi e strumenti, è nel definire la qualità del prodotto finito che s'incorre in problemi difficili da risolvere.

Nel registrare un documento audio, le diverse fonti che producono suoni vengono assimilate in un'unica traccia senza possibilità di essere scisse o ricondotte alle singole matrici. Ciò significa che le diverse informazioni (frequenza, intensità, timbrica) si sommano ognuna secondo la propria connotazione fisica per generare un nuovo flusso d'informazioni audio.

Scinderle significherebbe togliere a ognuna di esse parte del loro contenuto originale, privarle cioè di caratteristiche proprie.

Così come non possiamo isolare la voce di un violino nell'esecuzione di un Quartetto di *Brahms* senza recare con esso parte delle frequenze degli altri strumenti, così non potremmo mai togliere rumori, interferenze, *crackles* senza eliminare parte del suono pulito originale.

Il restauro audio digitale è progettato e applicato in quest'ottica al fine di ripulire una registrazione audio, rendendola una registrazione attuale: l'obiettivo è quello di eliminare il "non suono" corrispondente alla vecchia registrazione e ristabilire l'esecuzione originale. Il disturbo che si desidera eliminare è a volte così simile, nelle sue caratteristiche, al suono da restaurare, che deve essere mantenuto per non sacrificare, distorcendole e snaturandole, le parti di esso che desideriamo mantenere.

La ricerca personale di questi tre anni sulla digitalizzazione, recupero e restauro dell'audio mi ha condotto, prossimo alla conclusione di questo percorso, alla finalizzazione dei dati raccolti su ipotesi di azione per il restauro dell'audio nei documenti audio-video che testimoniano o documentano *performance* teatrali.

I due fronti della ricerca sono stati sviluppati in parallelo: da una parte, l'utilizzo di software dedicati e integrati con alcuni *plug-in* specifici, con relativa storicizzazione dei diversi percorsi di recupero per creare e rendere solido un *modus operandi* soggettivo; dall'altra, uno studio critico del senso della documentazione e dell'uso delle apparecchiature utilizzate ai fini di congelare nell'*unicum* temporale le *performance*, ponendo come assioma una dubbia dicotomia tra la fruizione commerciale dell'opera recuperata ed una mera operazione di miglioramento della comprensibilità. Questo nel tentativo di chiarire il senso del restauro, spesso travisato e identificato in più popolari termini come *re-mastering* o *re-mixing*.

Nei soventi colloqui avuti con il direttore dell'archivio storico audio – visuale del *Teatro dell'Opera di Roma*, Dott. Francesco Reggiani, e con la direttrice dell'archivio audio – visuale del *Teatro di San Carlo di Napoli*, Dott.ssa Laura Valente, sono emerse le particolari esigenze e direttive richieste per questa peculiare forma di restauro.

Le problematiche sono, infatti, varie: dai veti imposti dalla Siae per tutela dei *copyright* delle edizioni, che obbligano ad un lavoro *in loco* con l'impiego di non molte attrezzature, alla connotazione di restauro promossa indipendentemente dai due archivi, che diventa, per conseguenza, la direttiva filologica da seguire nella reale operatività.

Da entrambi i responsabili degli archivi dei due teatri di tradizione emerge anche la volontà di conservare non solo l'unicità delle esecuzioni, rese opera d'arte dai grossi nomi della musica colta e della danza, ma anche la specifica acustica dei palcoscenici dei due stabili, che così come in più recenti casi (*Auditorium Parco della Musica* di Roma) o di qualche decennio più indietro (*Carnegie Hall* di New York) rendono unica la qualità fisica-acustica delle esecuzioni.

A tal proposito, l'approfondimento della mia ricerca sulla questione dell'acustica degli ambienti è risultata proficua in questa direzione.

L'integrazione, infatti, dei processi di base tipici dei software chiusi per il restauro audio (*Declipper, Declicker, Hum removal, Denoiser e Spectral Repair*), con tecniche sperimentali, ha prodotto notevoli risultati da un punto di vista qualitativo e operativo. Grazie all'utilizzo incrociato di alcuni *plug-in* studiati per l'applicazione ad un campo totalmente diverso, come quello della tutela dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza dell'udito derivanti dall'esposizione al rumore, e di piattaforme aperte *Cad*, usate per la progettazioni degli spazi abitabili, sono riuscito a ricreare in forma di dati applicabili ai parametri della post-produzione audio, le qualità fisiche nelle quali il suono si propaga in un determinato ambiente ed indicizzare così al minimo la creazione di artefatti che renderebbero il materiale restaurato anonimo e privo di una identità spaziale. Uno studio approfondito dell'attrezzatura per le riprese d'archivio e una comparazione con più recenti registrazioni creano in fine un ottimo metro di paragone affinché

un orecchio attento possa riconoscere, capire e conferire nuovamente l'aura propria dell'esecuzione al repertorio archiviato.

Nel corso di questo testo, analizzeremo le diverse problematiche, i fatti storici nonché le possibili innovazioni del processo del recupero dell'audio.

CAPITOLO I: CENNI STORICI SULL'AUDIO: DAI PRIMI STUDI DI ACUSTICA AD UNA LINEA DEL TEMPO DEI MEZZI PER LA RIPRESA, REGISTRAZIONE E RIPRODUZIONE DEL SUONO

1.1: la nascita della scienza che studia il suono

Gli albori dei primi studi di acustica si possono far risalire al VI secolo avanti Cristo quando Pitagora, stabilendo le relazioni esistenti fra la lunghezza delle corde vibranti e l'altezza dei suoni, introdusse una delle prime scale musicali.

Pitagora, scoprendo che un'ottava rappresenta un rapporto di frequenze di due a uno, enunciò la legge che mette in relazione le armonie di note con i rapporti numerici, considerando le note musicali come "numeri applicati" e contrapponendoli ai "numeri puri" propri dell'aritmetica.

È grazie a queste intuizioni che, prima con i Greci e poi con i Romani, lo sviluppo dell'acustica architettonica raggiunse traguardi notevoli con la definizione di una forma ottimale di teatro all'aperto per un vasto *auditorium*.

Soltanto a partire dal XVII secolo, tuttavia, lo studio dei meccanismi e delle proprietà fisiche del suono, ha assunto un carattere scientifico e sistematico, con le ricerche di Galileo Galilei. Nella sua opera *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica*, egli enunciò la relazione tra altezza e frequenza, le leggi che regolano la polifonia, distinguendo tra armonia e dissonanza, e propose una spiegazione teorica di come la frequenza naturale di vibrazione di una corda tesa dipenda dalle caratteristiche, cioè lunghezza, peso e tensione del corpo vibrante¹.

¹ G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica*, Einaudi, 1997.

Nel 1660, lo scienziato Robert Boyle sospese una campana in un contenitore chiuso in cui era stato praticato il vuoto e mostrò che, nonostante la campana venisse sollecitata, non si avvertiva alcun suono. La sua dimostrazione provò empiricamente la necessità di un mezzo, solido, liquido o gassoso, per la propagazione dei suoni².

La trattazione matematica vera e propria della teoria del suono fu iniziata da Isaac Newton che, nella sua opera *I principi matematici della filosofia naturale* del 1687, dimostrò come la propagazione del suono attraverso qualunque fluido dipendesse solo da proprietà misurabili, come elasticità e densità, e calcolò la velocità del suono nell'aria. Contemporaneamente alla ripresa degli studi di acustica, i teorici cominciarono a sviluppare la teoria matematica delle onde, necessaria per la trattazione non solo dell'acustica, ma anche di gran parte della fisica.

I matematici Jean-Baptiste le Rond d'Alembert, Giuseppe Luigi Lagrange, Johann Bernoulli ed Eulero si dedicarono allo studio delle proprietà del suono, quali l'altezza e il timbro prodotti da particolari strumenti, nonché allo studio del meccanismo di trasmissione del suono in diversi mezzi. L'analisi di un'onda periodica complessa nelle sue componenti spettrali, ad opera dal matematico francese Jean-Baptiste Fourier (1768-1830), costituisce oggi uno strumento indispensabile non solo in acustica, ma in moltissime altre branche della fisica³.

Sempre nel XVIII secolo s'ipotizzarono le prime leggi sul fenomeno dei battimenti, già noto ai costruttori d'organo, particolare rifrazione acustica che avviene in presenza di due suoni di frequenza poco diversa.

² Voce *Boyle, Robert*, in *Scienziati e tecnologi*, Milano, Mondadori, 1975, p. 207.

³ A. Farina, P. Galaverna, M. Giabbani, *Il processo di auralizzazione: metodologia ed esemplificazione*, dispensa Università di Parma.

Joseph Sauver (1653-1716) ne attribuì la causa alle frequenze analoghe delle vibrazioni del primo suono e quelle del secondo per cui, il suono udito, a causa dei battimenti, ha come valore la differenza fra le frequenze dei due suoni⁴.

Un periodo di conquiste e progressi nel campo dell'acustica fu il XIX secolo. Jacques Sturm, matematico francese, effettuò la prima misura accurata della velocità di propagazione del suono in acqua nel 1826 e, numerosi esperimenti, eseguiti mediante stetoscopio e sirena, portarono alla determinazione della legge fondamentale della velocità di propagazione del suono: essa non è vincolata alla frequenza d'onda bensì alla densità e all'elasticità del mezzo.

Grazie a Hermann von Helmholtz, fisico e fisiologo tedesco, si hanno i maggiori contributi nello studio di un altro carattere del suono, il timbro. Egli realizzò particolari strumenti, i risuonatori, per analizzare le componenti semplici di un qualsiasi suono. E, riprendendo i principi scoperti da Pitagora nella sua *Teoria dei Magli*⁵, costruì uno strumento per visualizzare le diverse armoniche che caratterizzano il diverso timbro di due suoni della stessa frequenza.

Nello studio ottico dei suoni furono importanti anche le esperienze di Jean Antoine Lissajous (1822-1880). Le sue famose figure, ottenute in una camera oscura, dimostrarono la sovrapposizione di due moti armonici fra loro perpendicolari. L'esperimento prevedeva l'introduzione di un fascio di luce solare concentrato da una lente che veniva riflesso due volte da specchietti montati su due diapason posti perpendicolarmente. La risultante andava infine ad impressionare una lastra

⁴ O. J. Abdounur, *Matemática e Música: O pensamento analógico na construção de significados*. São Paulo, 2002, 2ª Edizione, Editora Escrituras.

⁵ P. Righini, *Gli intervalli musicali e la musica: dai sistemi antichi ai nostri giorni*. G. Zanibon, Padova, 1975.

fotografica che visualizzava figure illustranti che rappresentavano graficamente i due moti⁶.

La raccolta di tutte le informazioni matematico – fisiche ottenute nel tempo dallo studio dei fenomeni acustici, permise la realizzazione di importanti strumenti di riproduzione e comunicazione come il telefono, inventato da Antonio Meucci (1808-1889) nel 1849 ma reso noto solo anni più tardi (1872)⁷, il fonografo, per opera di Edison, che fu utilizzato per registrare e riprodurre suoni e poi sostituito dal grammofono, ed il microfono, che fu utilizzato nel telefono di Alexander Graham Bell, un apparecchio simile al telefono di Meucci ma che ebbe, a differenza dell'altro, un grandissimo successo all'esposizione di Filadelfia del 1876 e giunse poi in Europa introdotto da William Thomson.

Nel secolo scorso i fisici poterono disporre di strumenti che resero lo studio quantitativo del suono semplice e accurato.

Per mezzo di oscillatori elettronici oggi si possono infatti produrre onde di qualunque tipo, che possono poi essere convertite in suoni per via elettromagnetica o piezoelettrica. Al contrario, è possibile, per mezzo di un microfono, convertire i suoni in correnti elettriche che poi possono essere amplificate elettronicamente e analizzate da un oscilloscopio a raggi catodici.

E grazie alla più recente tecnologia sono possibili la registrazione e la riproduzione del suono ad alta fedeltà con concreti vantaggi nell'esperienza di ascolto che spazia da un qualità superiore anche negli ambienti di fascia *consumer* ad una vera e propria *full immersion* sensoriale nel caso di riproduzione tridimensionale.

⁶ E. Perruca, *Fisica generale e sperimentale*, Unione Tipografica-Editrice Torinese, Torino, 1937.

⁷ Meucci non aveva fondi per il deposito del brevetto, ma solo del *caveat*, una sorta di pre-brevetto, da rinnovare ogni anno. Nel 1876, un anno dopo la scadenza dell'ultimo *caveat* di Meucci, Bell depositò il proprio brevetto.

Vediamo ora quali sono stati, nella storia, le attrezzature, prima primordiali poi sempre più complesse, utilizzate per la trattazione del segnale audio, dalla ripresa alla riproduzione, passando per la registrazione.

Per schematizzare l'esposizione dei dati raccolti, mi accingo a dividere il discorso in tre macro – aree: la prima riguarda gli strumenti con cui si commuta la fonte sonora in onda elettromagnetica e si amplifica il segnale, la ripresa; la seconda riguarda le attrezzature con cui questo segnale viene fissato sui diversi supporti e la tipologia di questi; la terza, i macchinari con i quali il segnale registrato o la fonte diretta vengono riprodotti.

1.2: ripresa dell'audio: storia del microfono

Come tutti i componenti elettrici, il microfono ha subito una notevole e logica evoluzione: il primo tipo progettato e realizzato ha dato origine a studi ed esperienze che hanno consentito successivi perfezionamenti attraverso il tempo. Scopo iniziale della realizzazione del microfono, all'epoca cioè della sua origine, è stata la trasformazione della voce umana in corrente elettrica. Questo era, allora, l'unico requisito che veniva richiesto al dispositivo.

In seguito, con lo sviluppo della tecnica di amplificazione e di riproduzione dei suoni, la necessità di pervenire a più fedeli riproduzioni comprendenti esecuzioni musicali oltre che trasmissioni di parole, ha portato alla realizzazione di microfoni estremamente fedeli.

Nella sua funzione di trasmettitore, il telefono di Alexander Bell (1876) può essere considerato il primo microfono funzionante⁸. In esso, un diaframma di gomma teneva una sottile lastrina metallica di ferro dolce vicino ad un elettromagnete. La voce di chi parlava faceva vibrare il diaframma e quindi la lastrina, imprimendo conseguenti variazioni alla corrente nella bobina elettromagnetica. All'altro capo del filo la corrente veniva riconvertita in onde sonore.

Nel 1877, il famoso inventore americano Thomas Edison progettò un microfono più sensibile. Sfruttò infatti le variazioni nella resistenza elettrica di un pezzetto di carbone che si verificano quando pressioni diverse vengono ad esso applicate per mezzo delle vibrazioni di un diaframma.

La maggior parte degli attuali apparecchi telefonici impiega microfoni a granuli di carbone, un miglioramento brevettato nel 1878 dall'inglese Henry Hunnings.

⁸ A. Everest, *Manuale di Acustica*, HOEPLI, 1996.

Nel microfono a nastro, inventato sempre in Germania, nel 1923, le onde sonore fanno vibrare una sottilissima striscia di metallo, che passa attraverso i poli di un magnete.

In una definizione più generale, un microfono è provvisto di un diaframma che vibra a seconda delle variazioni di pressione, e questo movimento meccanico, una volta convertito, genera segnali elettrici.

Esistono molti tipi di microfono, che possono essere classificati prendendo in considerazione il sistema di conversione, la direzionalità o l'impiego. Tra essi, le dirette evoluzioni dei microfoni citati precedentemente.

Secondo il sistema di conversione si hanno i seguenti tipi di microfono:

- **Dinamico**

Detto anche a bobina mobile, viene fornito con quasi tutti i registratori destinati ad un uso generico. Con questo tipo di microfono è relativamente facile ottenere prestazioni accettabili a basso costo. Dal punto di vista acustico, il microfono dinamico ha la struttura più complicata, ed è difficile progettare modelli dalle alte prestazioni. Robusto e facile da usare, ha un basso rumore ed una gamma di dinamica vasta ma risente tuttavia dei rumori dovuti ad induzione di campi magnetici esterni.

- **A condensatore**

In questo caso vengono sfruttate le variazioni di capacità di un condensatore dovute alla pressione esercitata dai suoni. Di questo microfono, considerato dagli esperti di tutto il mondo come quello che offre le migliori prestazioni, esistono due versioni: quella convenzionale e quella ad elettret.

Nel primo, il diaframma vibra secondo la pressione sonora incidente, la quale varia la distanza fra il diaframma e l'elettrodo fisso. Questo provoca variazioni di capacità fra i due elettrodi, e introduce corrispondenti correnti elettriche dall'alimentatore di polarizzazione attraverso un registro.

Poiché il diaframma può essere molto sottile (circa 10 *micron*) e molto leggero, se paragonato agli altri tipi di microfono, si adatta con grande prontezza alle variazioni di pressione sonora. Inoltre l'ambiente acustico intorno al diaframma condensatore è relativamente semplice.

Sono queste le ragioni per cui i microfoni a condensatore hanno una risposta in frequenza piuttosto ampia e livellata con caratteristiche transitorie eccellenti e poco suscettibili alle vibrazioni subsoniche.

Poiché la capacità del condensatore è molto bassa, è necessario accoppiarlo con un dispositivo ad altissima impedenza, come un tubo elettronico a vuoto o un amplificatore *FET* (transistor ad effetto di campo).

Per aumentare la risposta alle basse frequenze, il componente (*FET*) deve essere alloggiato nell'involucro del microfono e, per essere azionato, richiede un alimentatore esterno.

Inoltre si deve applicare un'alta tensione continua agli elettrodi del trasduttore.

In conclusione sebbene i microfoni a condensatore diano eccellenti risultati per quanto riguarda la qualità del suono, richiedono un alimentatore costituito solitamente da un ingombrante apparecchio esterno.

Diversa è invece l'architettura di un altro tipo di microfono a condensatore, l'*Electret Condenser Microphone*⁹.

Questo usa, al posto dell'alimentatore di polarizzazione ad alta tensione citato per il microfono a condensatore convenzionale, un diaframma costituito da un elettrete, un disco di Teflon che mantiene un potenziale elettrostatico stabile.

Fondamentalmente simile a quello tradizionale, di cui conserva caratteristiche, prestazioni e fedeltà, può essere molto compatto, solido e di semplice costruzione poiché non

⁹ Ibidem.

richiede un alimentatore di polarizzazione ad alta tensione e può funzionare con una bassa tensione quando viene accoppiato ad un amplificatore *FET*.

- **A nastro**

Funziona secondo gli stessi principi del tipo dinamico dal quale si differenzia per il diaframma. In questo microfono infatti, detto anche microfono a velocità, esso è lo stesso conduttore appiattito in forma di nastro. Prima che il microfono a condensatore divenisse di uso comune, il microfono a nastro è stato ampiamente sfruttato per uso professionale per la sua qualità di suono particolarmente adatta alla riproduzione della voce umana e di certi strumenti musicali. La sua delicatezza e la tendenza ad assorbire troppo pulviscolo e polvere lo rendono poco comodo alle esigenze moderne di portabilità e solidità: per queste ragioni è spesso sostituito dal microfono a condensatore.

- **Piezoelettrico (a cristallo o ceramico)**

Questo tipo di microfono impiega un cristallo di sale di *Rochelle* o un elemento di titanato di bario (ceramico) che generano un potenziale elettrico quando sottoposti a pressioni meccaniche. La sua costruzione è molto semplice, il che porta ad un rapporto costo/livello di uscita molto buono. A causa della rigidità meccanica del diaframma però, le sue prestazioni sono molto limitate, il che ne fa i microfoni standard forniti in dotazione con i registratori *consumer*.

- **Elettromagnetico**

Detto anche a riluttanza variabile, questo tipo di microfono è costituito da un giogo a magnete permanente, una bobina fissa, un diaframma ed un'armatura. Viene usato generalmente come microfono per apparati di protesi uditiva o come microfono nascosto e non è generalmente impiegato in tutti quei casi in cui si ha bisogno di un'alta qualità di suoni.

- **A carbone**

Chiamato anche a resistenza variabile in quanto il suo principio di funzionamento si basa sulle variazioni della resistenza di una certa quantità di granellini di carbone (o di solfuro di piombo o altro) che si trova fra un elettrodo fisso e una membrana flessibile comunicante con l'esterno del microfono, fatta di metallo o anche di carbone. Le variazioni della pressione esterna dovute a un suono fanno vibrare la membrana che comprime più o meno i granelli facendo variare la resistenza elettrica fra l'elettrodo e la membrana stessa. Data la stretta banda passante, la scarsa fedeltà, il rumore e l'instabilità propri di questo tipo di microfono, esso è impiegato esclusivamente in telefonia.

Un altro sistema di classificazione si basa sulla direzionalità che può essere definita come la variazione di sensibilità risultante dall'angolazione con cui il suono raggiunge il microfono.

Seguendo questo parametro possiamo definire i microfoni secondo queste tipologie:

- **Omnidirezionale**

Questo tipo di microfono fornisce lo stesso segnale indipendentemente dalla direzione di provenienza del suono. Questo lo rende molto adatto ad un uso comune grazie alla facilità di approccio che presenta, vista la capacità di raccogliere tutti i suoni di un ambiente durante registrazioni dal vivo. Tuttavia, poiché non è possibile

puntare il microfono omnidirezionale verso una sorgente sonora, non è adatto a raccogliere suoni particolari in un ambiente con molto rumore o reazioni acustiche.

- **Unidirezionale (o a cardioide)**

A differenza del tipo omnidirezionale, un microfono direzionale ha una sensibilità che varia secondo la direzione di provenienza del suono. Riportando i valori di uscita su di un grafico circolare il diagramma risultante acquista la forma di un cuore, cioè il microfono è sensibile solo ai suoni provenienti da certe direzioni.

Quando vi è molto rumore, è possibile puntare il microfono in modo da raccogliere i suoni desiderati ignorando i rumori non desiderati. I microfoni maggiormente in uso oggi sono di questo tipo. Nel collocare un microfono unidirezionale vicino alla sorgente sonora si deve tener presente la sua tendenza ad accentuare le basse frequenze e la sua sensibilità ai rumori di schiocco. La particolare caratteristica del microfono a cardioide, che presenta un'elevata sensibilità ai suoni provenienti dal davanti e dai fianchi e una conseguente attenuazione di quelli provenienti dal retro, è molto vantaggiosa in alcune applicazioni. Se la registrazione è effettuata in una stanza ad alta riverberazione, infatti, una minore sensibilità posteriore e laterale riduce di molto gli echi. Nelle registrazioni effettuate direttamente dall'orchestra, un microfono unidirezionale può servire a mettere in risalto certe sezioni di strumenti permettendo di ottenere un notevole effetto stereofonico.

- **Bidirezionale**

Questo tipo di microfono è largamente usato negli studi radiofonici: il diagramma della direzionalità assume la forma tipica di un otto.

- **Superdirezionale**

Possiede un angolo direzionale molto stretto ed è particolarmente adatto a raccogliere suoni provenienti da

una ben precisa direzione. I microfoni definiti fucili e mezzi – fucili, usati comunemente per le riprese sui set televisivi e cinematografici, appartengono a questa tipologia.

Per un corretto e professionale impiego dei microfoni è richiesta una completa conoscenza delle loro caratteristiche elettroacustiche: i parametri di ripresa, infatti, definiscono non solo la qualità dell'attrezzatura ma la conseguente qualità dell'audio.

Riporto qui di seguito, i principali.

- **Livello di pressione sonora**

Il suono è generato da piccole variazioni di pressione nell'aria: la sua intensità è misurata in microbar ($1 \mu\text{bar} = 0,1 \text{ Pa}$), poi convertiti in dB_{SPL} (*Sound Pressure Level*) l'unità di misura della pressione sonora. La più piccola variazione di pressione che una persona con udito normale può percepire come suono è di $0,0002 \mu\text{bar}$ alla frequenza di circa 1000 Hz: a questa pressione si dà un valore di $0 \text{ dB}_{\text{SPL}}$. Per portare un esempio che chiarifichi l'entità del suono percepita, l'intensità di una normale conversazione è di circa $70 \text{ dB}_{\text{SPL}}$ mentre il rombo di un jet che passa a breve distanza può essere di $130 \text{ dB}_{\text{SPL}}$. Al di là di questo valore le variazioni di pressione vengono percepite come dolore.

- **Risposta in frequenza**

Caratteristica che esprime le variazioni nel livello d'uscita di un microfono quando sono applicate al diaframma differenti frequenze audio a costante livello di pressione. Generalmente il microfono è tanto migliore quanto più vasta è la gamma fra la frequenza più bassa e quella più alta cui il microfono può rispondere e quanto più lineare è la curva di risposta entro questa gamma. La risposta in frequenza influenza direttamente la qualità del suono: ad esempio, la mancanza di risposta alle gamme più acute ne riduce l'articolazione e la delicatezza. Se invece è ridotta la gamma

dei bassi, il suono diventerà metallico e aspro. In alcuni casi, tuttavia, una risposta in frequenza limitata entro certi valori può dare migliori risultati, come quando, ad esempio, si esegue una registrazione in un ambiente rumoroso. In tal caso la caduta sia delle basse sia delle alte frequenze darà una maggiore chiarezza di suono.

- **Livello di uscita (sensibilità)**

Il livello di uscita dei microfoni è dato dalla tensione sviluppata ai terminali di uscita quando, al diaframma, è applicato un certo quantitativo di pressione sonora. Il metro di riferimento è di 10 μ bar (94 dB_{SPL}) e 1000 Hz. Quando la tensione d'uscita di un microfono sottoposto a questi valori di prova è di 1 V, la sua sensibilità è pari a 0 dB. I microfoni a bassa impedenza hanno un'uscita di circa 2 mV (— 54 dB) a seconda dei tipi di registratori o di miscelatori per cui sono stati studiati. Poiché differenti costruttori possono usare differenti livelli di riferimento di pressione sonora, è necessario sapere le condizioni di misura quando si ha l'esigenza di confrontare la sensibilità di più microfoni.

- **Impedenza di uscita**

Questo parametro rappresenta l'impedenza interna del circuito d'uscita di un microfono. È espressa in *Ohm* a 1000 Hz. Un microfono a bassa impedenza (meno di 600 ohm) fornisce un livello d'uscita relativamente basso, permette una maggior lunghezza di cavo, che può superare i 30 metri, fra il microfono e l'apparecchiatura cui è collegato. La situazione è inversa quando si tratta di un microfono ad alta impedenza (10 *kOhm* o più), il cui cavo di collegamento, per evitare la caduta delle alte frequenze, deve avere una lunghezza massima di circa 5 metri. Se in passato i microfoni a bassa impedenza erano usati quasi esclusivamente per un uso professionale, con l'avvento del transistor, questi hanno acquistato una popolarità via via sempre più grande. Nel collegare il microfono ad un

registratore o un mixer bisogna tener conto dell'impedenza d'entrata delle suddette apparecchiature: fintanto che questa è la stessa o più grande dell'impedenza del microfono, non vi è deterioramento del suono.

Per quanto le caratteristiche dei microfoni hanno avuto un affinamento nel tempo, non sono radicalmente cambiate: se escludiamo la praticità raggiunta da più piccoli generatori di corrente per i microfoni a condensatore, le forme avveniristiche ed i materiali che rendono pratico il trasporto e l'utilizzo dei microfoni dinamici, l'appiattimento dei costi che avvicina l'ambiente *home/consumer* a quello professionale *broadcast*, restano immutate le caratteristiche dell'audio ripreso. Il limite di frequenza e di livello di ripresa, infatti, appartengono non tanto alla tecnologia che ne riprende i parametri per poi riprodurli, ma all'orecchio umano che, nonostante la perfezione meccanica, è limitato da questione fisiche e ancor più da un'educazione all'ascolto.

1.3: registrazione e supporti

È del 28 marzo 2008 un articolo pubblicato dal *New York Times* nel quale la paternità dell'innovazione di Edison non viene messa in dubbio ma spostata al secondo gradino del podio nella linea temporale¹⁰.

I ricercatori hanno scoperto infatti dieci secondi di canto risalenti al 9 aprile 1860 e registrati dal tipografo francese Eduard-Leon Scott de Martinville.

Lo spezzone di *Au clair de la lune* era stato registrato con un fonografo, una macchina progettata per registrare i suoni in modo visivo, trascrivendone su carta lo spettro di frequenza.

L'intenzione quindi non era la creazione di un riproduttore.

L'esecuzione era affidata ad una voce femminile, come risulta dopo che gli scienziati dell'università californiana di Berkeley hanno trasformato il relativo fonogramma in una registrazione audio tradizionale.

Scott aveva prodotto altri fonogrammi già nel 1853 e 1854, ritrovati in cartaceo insieme al brevetto, ma la sua macchina era all'epoca mal calibrata e non è stato possibile recuperare le relative registrazioni. La canzone tradizionale francese fu invece registrata diciassette anni prima del brevetto di Edison e ventotto anni prima della più vecchia registrazione su cilindro di cera ancora riproducibile.

Nelle sue memorie, pubblicate nel 1878, Scott accusò Edison di essersi appropriato delle sue tecniche costruttive ma soprattutto di aver stravolto lo scopo della registrazione di suoni: per il francese il fulcro dell'invenzione doveva essere «la scrittura della voce, che è quel che significa fonografo» e non la riproduzione dei suoni¹¹.

¹⁰ <http://www.nytimes.com/2008/03/27/arts/27soun.html>

¹¹ P. Feaster, a cura di, *Working paper 3, Édouard-Léon Scott de Martinville's "Fixation graphique de la voix" (1857). A critical edition with english translation and facsimile*, in <<http://www.firstsounds.org/>>

Di fatto, non esistono evidenze che Edison abbia mai utilizzato il lavoro di Scott, né che abbia avuto altro scopo se non quello di riprodurre il suono, obiettivo che senza dubbio raggiunse per primo.

La prova che più di un uomo ingegnoso stesse lavorando allo stesso progetto è data da Charles Cros che, nello stesso periodo in Francia, aveva depositato presso l'Accademia delle Scienze un plico dove descriveva «*un procédé de re-production de sons, aussi bien sur disque que sur cylindre*»¹² cui dette il nome di paleofono.

Questo strumento, come quello di Scott, non era ovviamente in grado di riprodurre il suono da cui ricavava il grafico, inoltre non esisteva ancora uno strumento, come il microfono, che consentisse la ripresa diretta di un evento sonoro.

Ad inventarlo, come abbiamo già detto, fu il fisico scozzese Alexander Graham Bell nel 1876 e, un anno dopo, nel laboratorio dell'americano Thomas Edison, vedeva la luce il primo ripetitore telegrafico. Questo era composto di un disco coperto di carta che ruotava su un piatto mentre uno stilo sospeso ad un braccetto vi incideva una serie di punti disposti a spirale. Aumentando la velocità del moto del disco, Edison notò che lo stilo emetteva dei suoni che ricordavano la voce umana.

Il 17 novembre dello stesso anno, Edison ed il suo gruppo di ricerca presentano allo *Scientific American* il primo prototipo di fonografo, che renderà «la parola suscettibile di essere ripetuta all'infinito mediante registrazioni automatiche»¹³.

Lo strumento si presentava come un imbuto, il "microfono", in fondo al quale era posta una lamina metallica che raccoglieva i suoni e li trasmetteva in forma di vibrazioni ad uno stilo che incideva dei solchi su un cilindro coperto da un foglio di rame

¹² M. F. Calas, *Les débuts des archives sonores set visuelles*, in "Ethnologie française", VIII, 1978, p. 331.

¹³ P. Flichy, *Une histoire de la communication moderne*, Baskerville, 1994, p. 106.

messo in rotazione manualmente. In fase di lettura avveniva il processo opposto, il cilindro ruotava e lo stilo vibrava in funzione dei solchi applicando le vibrazioni alla lamina e quindi all'imbuto che li restituiva all'esterno.

Il 1876 vede anche la nascita del telefono e della comunicazione via cavo: il 10 marzo a Boston, nel suo laboratorio, sempre Alexander Bell appuntava i primi risultati concreti delle sue sperimentazioni.

Nelle intenzioni di Edison, il fonografo doveva servire come registratore vocale per la dettatura di lettere e telegrammi, una sorta di *dettafono* che non riscosse successo commerciale.

Appare nello stesso periodo il grammofono basato sul disco, che differentemente dal cilindro, non poteva essere registrato.

Ad introdurlo è Emile Berliner che, adottando le soluzioni tecniche di Martinville e Cros da lui rivedute, dà vita ad uno strumento pensato esclusivamente per la riproduzione musicale.

La duplicazione in serie delle registrazioni arriva nel 1900 grazie a Thomas Lambert che mette a punto un sistema basato su un cilindro di rame inciso per elettrolisi (matrice) da cui ricavare per stampaggio a caldo un secondo cilindro in cera (master) da usare per le copie in cascata su cilindri di celluloidi.

Nel 1902 la *Zonophone*, un laboratorio ed etichetta discografica fondata a Camden nel 1899, propone il disco doppia faccia, che porta la durata complessiva della registrazione a poco meno di 10 minuti: la sua commercializzazione avviene nel 1904 per mano dell'*Odeon*, un'etichetta tedesca. Sarà la stessa *Odeon* a suggerire il termine di album per i dischi in vinile, quando nel 1909 pubblicherà la suite completa dello *Schiaccianoci* di Tchaikovsky su quattro dischi doppia faccia in una confezione speciale simile ai cofanetti moderni.

Nel 1925 entrano in commercio i primi dischi registrati con strumentazione elettrica *Western Electric* sviluppata dalla *AT&T*

nel corso dei dieci anni precedenti; nello stesso anno la *Warner Bros*, insieme a Walter J. Rich, fondano la *Vitaphone Co.* ed iniziano le sperimentazioni sonore all'interno del *Warner Vitagraph Studio* di Brooklyn.

Nel 1929 la *RCA* inizia la stampa dei dischi in vinile *Vitrolac* delle colonne sonore destinate alle trasmissioni radiofoniche.

La stessa casa discografica, nel 1931, mette in vendita ma senza successo, dischi *Vitrolac* registrati alla velocità professionale di 33 - $\frac{1}{3}$ giri, in sostituzione di quelli a 78 giri allora comunemente diffusi. Nonostante il *flop* commerciale, lo standard di registrazione su disco a 33 giri verrà adottato da tutte le emittenti radiofoniche e resterà invariato fino alla sua definitiva sostituzione, nel 1948, col nastro magnetico.

Questo rappresenta una svolta storica nell'industria musicale per i benefici di robustezza, praticità e affidabilità, caratteristiche proprie del supporto.

Nel numero dell'8 settembre 1888 della rivista *Electrical World*, Oberline Smith descrisse per la prima volta gli esperimenti da lui effettuati sulla registrazione magnetica¹⁴, adoperando un elettromagnete e una striscia di materiale isolante coperta di polvere di ferro. Egli illustrò anche un modello grafico di una macchina in grado di eseguire tali registrazioni: attraverso un telefono, il suono era inviato come segnale elettrico ad una testa di registrazione che lo trasferiva su un supporto magneticamente sensibile che scorreva davanti ad essa.

Le prime forme di registrazione magnetica avvennero su filo d'acciaio, che fu abbandonato per lasciar posto al più maneggevole nastro.

Nel 1894 Valdemar Poulsen, operaio meccanico presso la *Telegraph Company* di Copenhagen, riprende l'idea di Oberline e la mette in pratica brevettando, nel 1898, il telegrafono, il primo registratore magnetico a nastro funzionante.

¹⁴ P. Zavagna, *Guida alla copia e al restauro dei documenti sonori*, dispense interne (2006), Conservatorio "L. Cherubini" di Firenze.

Il brevetto originale del nastro magnetico così come lo conosciamo oggi risale al 1925 ad opera di Luca D'Ammora.

Il progetto definitivo prevedeva due strati di nitrocellulosa (celluloide) tra i quali era depositato uno strato misto di ossido ferrico (Fe_2O_3) e biossido di Cromo (CrO_2), materiali con un'elevata permeabilità magnetica e quindi un'elevata capacità di memorizzare le variazioni di flusso magnetico.

La prima realizzazione può essere datata 1934, quando la società tedesca *BASF* produce una bobina da 50 metri dopo una gestazione durata circa cinque anni. Il prototipo viene ufficialmente presentato l'anno seguente al *Radio Fair* di Berlino, assieme al magnetofono sviluppato cinque anni prima dalla *Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft* (AEG): il nuovo supporto presenta l'enorme vantaggio di essere cancellabile e ri-registrabile molte volte, peculiarità alla base del suo notevole successo in seguito.

Successivamente negli anni cinquanta, alla celluloide si sostituisce il *mylar* che, raggiungendo spessori inferiori e mantenendo le stesse proprietà meccaniche, permetteva una magnetizzazione più profonda ed una maggiore durata del nastro: il ridotto spessore di nastro infatti, permetteva di caricarne sulla bobina, più di una volta e mezza del nastro normale.

Qualche anno più tardi, nel 1962, alla classica bobina si affiancano le cartucce *Fidelipac* 4 tracce, con *tape* da 1 o da 3 - $\frac{3}{4}$ di pollice e durata fino a 2 ore: lo stesso *Fidelipac* sarà sostituito, nel 1965, dal più performante formato 8 tracce con nastro da $\frac{1}{4}$ di pollice.

In pratica, tutti i nastri registrabili sono prodotti utilizzando lo stesso tipo di tecnologia, siano essi impiegati per il settore video, ad esempio con un videoregistratore, o per l'audio, con nastro in bobine, musicassette, *Digital Audio Tape (DAT)* e *Digital Linear Tape (DLT)*.

L'altro immenso campo applicativo della tecnologia di registrazione su nastro magnetico, prevalentemente utilizzato con dati in formato digitale, riguarda il computer e l'informatica in genere, dove si è passati dall'impiego della già citata musicassetta degli anni Ottanta, sui primi home computer, al *DAT* con *Digital Data Storage*, usato per il backup su server e *workstation* dagli anni Novanta.

Da quanto finora esposto risulta come la storia dei nastri utilizzati per la registrazione e la riproduzione audio sia stata segnata da molte innovazioni tecnologiche rivoluzionarie, che hanno portato un enorme sviluppo: dalle bobine, estremamente delicate, difficili da caricare e facilmente soggette a danneggiamento, soprattutto alle estremità, si è passati alle prime cartucce e poi alle musicassette, introdotte sul mercato *consumer* da *Philips* nel 1963, che fa uso del succitato nastro *BASF* di elevata qualità da 1/8 di pollice.

Il successo della musicassetta arrivò infatti grazie alla commercializzazione di supporti preregistrati e riproduttori in grado di ottenere un'elevata qualità e durata del supporto, al contrario del disco in vinile che tendeva a deteriorarsi ad ogni uso.

Questo rese il nastro magnetico il supporto più comune anche per la ripresa audio-video, in particolare per la registrazione nelle videocamere.

Il nastro *Digital Video (DV)* è diventato lo standard per le videocamere nel segmento *consumer*, mentre per le registrazioni professionali presso gli studi televisivi formati come *DVCPRO*, *DVCAM* e *Betacam* nelle varie versioni sono in uso da molti anni.

Senza la commercializzazione di opportuni macchinari dediti alla registrazione dei diversi supporti, non sarebbe stato immaginabile un successo tale e proprio uno sguardo all'evoluzione di questi, ci permette di capirne le ragioni.

Escludendo quindi i primi esperimenti avvenuti nell'arco di cinquant'anni a cavallo dei due secoli, l'introduzione di apparecchiature per la registrazione, intese per la vendita ad un pubblico di professionisti e quindi al medio consumo, avviene intorno agli anni quaranta.

Nel 1941 la qualità di registrazione dei magnetofoni *AEG* viene significativamente migliorata grazie all'introduzione dei circuiti di *Bias* ad alta frequenza negli stadi di registrazione.

Il *Magnecord PT-6* e il *Model 100 Ampex*, entrambi del 1948, sono la prima serie di tape-recorder americani che, derivando dal tedesco *AEG K-4*, montano tale tecnologia.

Il primo LP microsolco da 12 pollici 33 giri, viene presentato il 21 giugno 1948 dalla *Columbia*, con una capacità di 23 minuti per lato e incidibili con apparecchiature di produzione *Philco*.

L'anno seguente è la volta del 45 giri da 7 pollici *Extended play* introdotto dalla *RCA-Victor*: da questo momento in poi la maggior parte delle etichette discografiche inciderà unicamente sui tre standard di rotazione 33, 45 e 78 *rpm*.

Nel 1949 viene anche venduto il primo amplificatore finale *Mc-Intosh*: il *50W1 Unity Coupled Amplifier* fa uso di una coppia di valvole *6L6* in *PP* per una potenza di uscita di 50 watt.

Nel 1951 compaiono i primi registratori portatili come il prototipo *Nagra* o il *Grundig Reporter* mentre, sette anni dopo, nel 1958, la registrazione stereofonica viene universalmente introdotta come standard dando vita alla nuova generazione di apparecchiature *Hi-Fi Stereo*.

Il 1966 è l'anno di nascita del *Dolby A*, sistema per la riduzione del rumore di registrazione su *tape-recorder* professionali. Due anni dopo, al formato si aggiunge il *Dolby B*, destinato ai registratori domestici e adottato anche sulle cassette preincise.

Philips presenta nel 1972 un lettore di *Laserdisc* dimostrativo, che fa uso di una nuova tecnologia di registrazione, la magneto-ottica digitale.

Tre anni dopo, nel 1975, *Sony* presenta il sistema di videoregistrazione consumer Betamax e, ad un anno di distanza, la *JVC* propone il suo *VHS*.

Nel 1976 si assiste al definitivo passaggio alla registrazione magneto-ottica all'interno degli studi di registrazione e nel *broadcasting*.

Il primo esempio di questa nuova tecnologia di scrittura/lettura numerica sarà il *Compact Disc*, che vede la luce in forma ancora embrionale, proprio nel 1976 ad opera della *Philips*. In questo rivoluzionario supporto, grande circa quanto un comune 33 giri, le informazioni musicali non sono più archiviate sotto forma di incisioni o aree magnetizzate continue direttamente derivate dal suono originario ma come la successione di microscopici solchi a forma di punto o linea larghi 0,9 millesimi di millimetro incisi da un laser su un supporto di plastica, il cui lato opposto è ricoperto da un sottilissimo strato metallico ad elevato potere riflettente. In lettura un laser di bassa potenza illumina la sequenza di punti e linee assegnando il valore 1 ai solchi e il valore 0 agli spazi tra questi: se ne ricava dunque una lunghissima sequenza di *bit* che costituiscono i dati da cui estrarre e ricostruire il segnale musicale originario (conversione *D/A*).

Il *Compact Disc* rappresenterà, come per i nastri magnetici trentotto anni prima, un notevole salto avanti in termini di versatilità e praticità d'uso: è possibile adesso la ricerca continua e praticamente immediata di un brano qualsiasi o una parte di esso all'interno di una registrazione, operazione impossibile per i nastri con memorie ad accesso solo sequenziale.

Anche l'usura è ridotta al minimo mancando il contatto diretto con la superficie del disco della testina di lettura: il riascolto di un brano è teoricamente consentito un numero infinito di volte senza perdita in qualità. E nello specifico della qualità del suono, assistiamo ad un netto miglioramento grazie all'elevato

rapporto segnale/rumore delle incisioni numeriche che rende pressoché assente il fruscio di fondo.

Un nuovo supporto di registrazione digitale, derivato direttamente dai *recorder* digitali a bobine usati nel professionale, arriva nel 1987: è il *DAT (Digital Audio Tape)*. Basato sull'adozione di una meccanica video di dimensioni ridotte, presenta una qualità del suono pari a quella del CD. Per quanto l'intenzione commerciale sia stata quella di porre il sistema come standard di registrazione domestica di riferimento questo non si affermò mai in ambito amatoriale, a causa dei costi elevati delle cassette vergini e dei registratori, ma venne adottato soprattutto da musicisti e tecnici del suono per la creazione di master e demo.

In poco meno di due secoli, l'idea di fissare su un supporto una registrazione si è realizzata con un salto qualitativo che si è accentuato negli ultimi cinquanta anni. Osservare ora un suono, rappresentato nella sua *envelope* sul monitor di un computer attraverso l'interfaccia di un software dedicato, riporta alla memoria la determinata volontà di Scott di Martinville a rappresentare e fissare nel tempo la memoria dei sensi.

1.4: riproduzione

Per quanto tutte le macchine concepite per registrare un suono fossero in grado di riprodurlo per controllarne l'avvenuta ripresa e la qualità della stessa, l'idea di fornire un riproduttore musicale per un più largo e comune uso si realizzò un ventennio dopo il primo tentativo di registrazione, quando, alla fine del 1877 infatti, Thomas Edison stupì e sconcertò, come abbiamo detto, i redattori dello *Scientific American* di New York con il prototipo della sua ultima invenzione, il fonografo.

Edison avvolse una lamina di stagno intorno ad un cilindro, rotante e traslante, inserì il diaframma d'incisione e, ruotando lentamente la manovella, scandì i versi di una filastrocca infantile, quindi allontanò il diaframma d'incisione, inserì il diaframma di riproduzione e girò nuovamente la manovella.

Il crepitio che ne uscì era quasi incomprensibile e, solo con l'ausilio della memoria, si potevano riconoscere le singole parole, ma era comunque un traguardo fondamentale per la scienza e la cultura: era la prima riproduzione sonora della storia dell'umanità.

Il 24 dicembre dello stesso anno, Edison presentò domanda di brevetto per gli Stati Uniti e nel marzo seguente cominciò a produrre in serie un piccolo fonografo affidandone la costruzione alla *Siegmund Bergmann & Co.* In aprile fu costituita la *Edison Speaking Phonograph Company* per la produzione e la gestione degli apparecchi.

E. Berliner, con una più spiccata propensione all'utilizzo del fonogramma per la riproduzione di musica, attua la definitiva trasformazione sostituendo al cilindro, un disco in ceralacca.

L'invenzione, il grammofono, consiste in un apparecchio con braccio mobile per il diaframma, movimento a manovella e puntina d'iridio che solca il rivestimento di cera di un disco di zinco, nella fase di registrazione.

La grande differenza fra fonografo e grammofono è che le ondulazioni del solco nel disco, pensato per il grammofono, sono laterali anziché verticali, impostazione questa che assicura una riproduzione più fedele del suono.

Il grammofono riscosse, come il suo predecessore, un successo enorme e Berliner pensò immediatamente di commercializzare la sua invenzione.

Il sistema fu acquistato negli Stati Uniti dalla *Victor Talking Machine Company*, che diventerà uno dei colossi discografici mondiali.

Berliner, una volta brevettato il grammofono, si dedicò intensamente alla ricerca di un sistema di duplicazione pratico ed economico. Dall'originale disco di zinco bisognava ottenere la matrice per la riproduzione di copie.

Nel 1890 altre società americane proposero versioni riviste del fonografo originale, che permettevano l'ascolto di musica in luoghi pubblici al costo di pochi centesimi: erano i *Juke-Box*.

Edison si oppose fermamente a questi impieghi della sua invenzione, perché, a parer suo, la sminuivano portandola al livello di puro oggetto di divertimento.

L'esigenza di una duplicazione in larga scala delle registrazioni diventa così un nodo cruciale nella diffusione del nuovo mezzo di riproduzione.

Nel 1893, dopo innumerevoli tentativi, Berliner perfezionò una matrice di gommalacca producendo dischi da 17,8 cm di diametro, con una velocità di 120 giri al minuto.

In pochi anni i cilindri e i dischi invasero il mercato. I due sistemi coesistero per diverso tempo sebbene separati nei campi d'impiego: i dischi erano preferiti per la riproduzione musicale, mentre i cilindri venivano impiegati soprattutto quale supporto per dittofonici da ufficio.

Le innovazioni si susseguirono incessantemente sino a quando, nel 1904, alla fiera di Lipsia, fu presentato il disco a due facciate. Nello stesso periodo iniziò il decadimento dei cilindri: il

disco dominava il mercato grazie a costi inferiori e qualità superiore, tanto che la produzione dei cilindri terminò definitivamente nel 1913.

Il mercato discografico si faceva sempre più promettente. Un vasto bacino di persone comprava grammofoni e dischi e la concorrenza per i nuovi brevetti divenne accesissima.

In parallelo, importanti invenzioni spostavano l'attenzione sul miglioramento della riproduzione del suono.

Nel 1911 viene così costruito il primo altoparlante a bobina mobile, il *Magnavox Loudspeaker*, per mano di Edwin Pridham e Peter Jensen, la cui prima dimostrazione pubblica, il 10 dicembre 1915 al *Golden Gate Park* di San Francisco, suscitò stupore e meraviglia tra gli astanti.

Sempre in America, Eldridge R. Johnson fonda dalla *Victor Talking Machine Company*, la *RCA-Victor*, una compagnia che produce e vende i nuovi e perfezionati grammofoni con meccanismo a manovella, che riproducevano dischi da 25 e da 30 cm di diametro, rispettivamente della durata di 3 e 5 minuti.

In Italia, la prima marca fu fondata a Napoli da Raffaele e Americo Esposito nel 1901. Nicola Maldacea, celebre macchietista, inaugurò con la sua voce l'attività produttiva della neonata casa, la *Phonotype*.

Nel 1929 la *Magnavox* migliora il disegno delle bobine dei propri altoparlanti, riducendone il ronzio mentre nel campo dei diffusori acustici l'evoluzione prosegue con l'adozione della sospensione pneumatica, adottata su due vie *AR-1*, sviluppata da Edgar Villchur e Henry Kloss, fondatori della *Acoustic Research (AR)*.

Da questo momento, tutte le attrezzature correlate al funzionamento della fonte di riproduzione, siano esse amplificatori, casse attive o passive, ne seguono la spasmodica evoluzione.

Solco e puntina sono rimasti i componenti fondamentali anche quando i nuovi dischi a microsolco a 33 e a 45 giri, invasero il

mercato attorno al 1950 per poi cedere il passo ai nuovissimi sistemi di registrazione elettromagnetica su nastro magnetico in bobina o audiocassette.

Il *TPS-L2 Walkman* del 1979 è il primo e storico portatile a cassette introdotto da *Sony*, con una qualità di riproduzione paragonabile a quella di una buona piastra a cassette da tavolo: questo modello, dotato di una raffinata meccanica, è stato il walkman rimasto più a lungo in produzione (circa venti anni).

Nel 1982 fa la sua comparsa ufficiale sul mercato il formato CD con due lettori da tavolo: il *Sony* e il *Toshiba* e due anni dopo, nel 1984, arriva il *Discman SONY*, il *Compact Disc* diventato portatile.

Il processo di digitalizzazione della musica avviato con l'introduzione del CD si sposa a fine anni Novanta con la massificazione e il perfezionamento della comunicazione telematica e della tecnologia del personal computer. A partire dall'ampia diffusione di Internet e dal perfezionamento di formati di compressione musicali quali l'*Mp3* e il *Real Audio*, si è avviato un consistente flusso di scambio di musica attraverso la rete telematica.

Per ovviare alla crescente e dilagante pratica del *download* illegale, alla fine del 2001, tre grandi case discografiche, la *Bmg*, *Warner* e *EMI*, si sono associate per creare la propria piattaforma di distribuzione di musica in rete, *MusicNet*.

Parallelamente assistiamo alla diffusione in commercio di lettori Mp3 e di contenitori multi-mediali che riproducono formati di alta qualità non compressa come l'*AAC* per opera della *Apple* che apporta un'ulteriore rivoluzione nel mondo della fruizione della musica digitale grazie all'introduzione dell'*iPod* ed al software di gestione *iTunes*.

E ancora, lo scenario odierno dipinge situazioni avveniristiche dove, in più ambienti e in contemporanea, è possibile godere di un suono ad alta fedeltà grazie all'uso d'impianti *wi-fi* che,

connessi ad un computer centrale, riproducono brani, *podcast* e trasmissioni radio in *streaming*.

Per ricreare un filo conduttore storico nella descrizione delle tre macro – aree che riguardano l’audio (ripresa, registrazione e supporti e riproduzioni), ho ritenuto necessario fornire date che, nel confronto dell’esposizione in paragrafi, non seguono un iter temporale cumulativo: questo per facilitare la comprensione dell’evoluzione delle apparecchiature che appartengono ai tre raggruppamenti, spiegandone le caratteristiche e la diffusione all’interno di un quadro storico – evolutivo presentato in parallelo.

Per dare un’idea *in toto* dello sviluppo di queste, segue una linea del tempo riassuntiva in cui verranno citati, oltre agli eventi storici rilevanti che hanno segnato il percorso evolutivo dei mezzi di registrazione e riproduzione dell’audio, i dati ufficiali del graduale perfezionamento della meccanica di digitalizzazione secondo la *Quantel*, società pioniera dello studio e realizzazione di macchinari e software per il passaggio dall’analogico al digitale. Saranno inoltre menzionati esempi di apparecchiature di cui sono pervenuti pochi esemplari, con una breve descrizione volta a spiegarne le caratteristiche¹⁵.

¹⁵ fonti: <http://www.aes.org/aeshc/docs/audio.history.timeline.html>;

R. Gelatt, *The Fabulous Phonograph*, New York, Appleton Century, 1977;

W. L. Welch, L. B. Burt, O. Read, *From tinfoil to stereo: the acoustic years of the recording industry*, University Press of Florida, 1994;

R. Doati e A. Vidolin, *Nuova Atlantide. Il continente della musica elettronica*, Venezia, La Biennale, 1986;

C. Cox e D. Warner, *Audio Culture*, Continuum, 2004;

G. Miglioli, *Romanzo della mitologia dalla A alla Z*, Firenze, Edizioni D’Anna, 2007;

J. J. L. Haspels, *Automatic Musical Instruments: Their Mechanics and their Music, 1580–1820*, The Hague, 1987;

<http://www.quantel.com>

1.5: linea del tempo

1500 aC

L'idea di costruire una macchina in grado di riprodurre la musica è sempre esistita. La colossale statua di Memnone a Tebe era stata costruita intorno al 1500 AC. Memnone è un personaggio omerico: re etiope, figlio dell'Aurora, accorse in aiuto di Troia e perì sotto le sue mura per mano di Achille. Nell'immaginazione dei visitatori di età classica, l'eroe raffigurato nella statua salutava la madre (l'alba) con quel suono come di corde di cetra che si spezzassero. La cosa è stata spiegata con la presenza, nella quarzite in cui è intagliata la statua, di cristalli, i quali in un certo qual modo si assestano in seguito alla differenza di temperatura, veramente notevole in quella zona, tra la notte ed il giorno¹⁶.

1502

Viene costruito il più antico carillon automatico pervenutoci. Il rullo fu il primo meccanismo utilizzato per "incidere" brani musicali per mezzo di rilievi che, durante la rotazione, vanno a toccare corde, campane o lamelle (il classico carillon). Il termine incidere, usato anche per le attuali registrazioni, proviene da questa pratica. Carillon di diversi tipi furono costruiti dal XIV secolo fino al primo '900, raggiungendo anche livelli di alta complessità.

1700

Nascono gli automi musicali. Questi erano dei congegni meccanici, spesso di forma umana, in grado di eseguire dei brani. La volontà di animare figure antropomorfe, rendendole più simili

¹⁶ Ipotesi del Prof. Barocas, in quanto la statua è andata distrutta nel 27 d.C. a causa di un terremoto, contenuta in M. Graziani, *Cronologia della Tecnologia Audio e della musica elettroacustica*, Dispensa, 2007.

all'uomo, quasi a riprodurre il mito della genesi, ha radici che si perdono nella notte dei tempi: i primi automi di cui abbiamo notizia furono costruiti dai greci e utilizzavano l'acqua in caduta come sorgente di energia. I più celebri e straordinari oggetti di questo genere giunti fino a noi sono quelli di Pierre Jaquet-Droz, costruiti tra il 1768 e il 1774 da quest'orologiaio svizzero e dal figlio, oggi visibili al *Musée d'Histoire di Neuchatel*. Si tratta di tre personaggi, due bambini e una giovane donna. Quest'ultimo è forse il più affascinante: si tratta di una vezzosa giovane intenta a suonare un organetto a canne. L'automa è in grado di eseguire cinque melodie differenti seguendo con gli occhi la tastiera. Inoltre "respira" tramite un sistema di mantici che le fa alzare e abbassare il petto, e compie tutta una serie di movimenti del capo che ne accrescono l'effetto di notevole realismo. Il suo nome è *Marianne*, a ricordo della giovane e defunta moglie di Droz.

1851

Nel 1804 il francese Jacquard aveva inventato un telaio con movimento automatico a vapore i cui spostamenti erano controllati da un nastro perforato. Quest'idea fu adattata al controllo di un organo da *Charles Dawson* che lo esibì alla *Esposizione Mondiale di Londra* del 1851, il primo esempio di strumento musicale automatico a nastro perforato.

1857

Edouard-Leon Scott de Martinville, a Parigi, crea il fonografo.

1877

Edison registra *Mary had a little lamb* mediante solchi incisi su un cilindro di stagno: nasce il fonografo.

- 1878** Viene registrato il primo brano di musica: il cornettista Jules Levy suona *Yankee Doodle*.
- 1881** Clement Ader, usando microfoni a carbone e cuffie, produce accidentalmente un effetto stereo mentre gli ascoltatori fuori dalla sala ascoltano in monitor linee telefoniche contigue collegate ai microfoni sul palcoscenico dell'*Opera* di Parigi.
- 1887** A Emile Berliner è concesso il brevetto per un grammofono a disco piatto, che rende pratica la produzione di copie multiple.
- 1888** Edison introduce un fonografo controllato da un motore elettrico.
- 1890** Primo *jukebox* a cilindri esposto al *San Francisco's Palais Royal Saloon* e funzionante a monete. Incassò più di mille dollari in sei mesi nonostante disponesse di soli quattro cilindri (quattro brani).
- 1893** Produzione di massa del disco: *Berliner* vende 1000 grammofoni e 25000 dischi.
- 1894** Il danese Poulsen effettua la prima registrazione magnetica utilizzando un filo metallico al posto dell'odierno nastro
- 1895** Marconi inventa la radio: prima trasmissione senza fili dall'Italia all'America.
- 1901** In pochi anni vengono fondate varie etichette discografiche, fra cui *Victor* e *Odeon*.
- 1903** In Europa si vendono dischi da 10 pollici (circa 25 cm, durata 4 minuti) di artisti famosi come Caruso. Viene registrato l'*Ernani*, di Giuseppe Verdi, su 40 dischi. Si realizza un prototipo di disco inciso su ambo i lati.
- 1906** Thaddeus Cahill costruisce il Dinamofono, conosciuto anche come *Telharmonium*. Lo

strumento produceva onde sinusoidali grazie a dinamo a corrente alternata. Il tutto pesava fino a 200 tonnellate, in base al numero delle dinamo e quindi delle note simultanee. Primo esempio di strumento elettrico.

1908 I primi famosi cantanti americani dell'epoca, John Lomax e John McCormack, firmano contratti discografici ed effettuano le prime incisioni di musica leggera.

1910 Enrico Caruso viene ascoltato nella prima trasmissione radiofonica dal vivo dal *Metropolitan Opera di New York City*.

1912 Russolo e Marinetti fondano il movimento futurista che si propone di «orchestrare idealmente insieme il fragore delle saracinesche dei negozi, le porte sbatacchianti, il brusio e lo scalpiccio delle folle, i diversi frastuoni delle stazioni, delle ferriere, delle filande, delle tipografie, delle centrali elettriche e delle ferrovie sotterranee».

1913 Edison mostra il primo "film parlante" usando il *Kinetophone* di sua invenzione, una macchina che suona cilindri sincronizzata a un proiettore di film.

1914 Viene fondata l'*ASCAP* (la *SIAE* americana).

1914 Il primo concerto futurista vede uno dei suoi fondatori, Russolo, impiegare il 21 aprile a Milano l'*intonarumori*, uno strumento acustico in cui, vari rumori come ululati, gorgoglii e ronzii, venivano prodotti meccanicamente e amplificati mediante megafoni.

- 1916** Edgar Varèse critica i futuristi e auspica nuovi strumenti così come l'arricchimento del nostro alfabeto musicale.
- 1917** E. C. Wente dei *Bell Telephone Laboratories* pubblica un *paper* sulla *Physical Review* che descrive uno «strumento uniformemente sensibile per la misurazione assoluta dell'intensità sonora»: nasce il microfono a condensatore.
- 1919** Lev Theremin inventa l'*Eterofono*, più noto come *Theremin* dal nome dell'inventore, uno strumento musicale elettronico che produce suoni grazie a due oscillatori in battimento. Lo strumento veniva suonato in modo non tradizionale: era controllato tramite due antenne, avvicinando e allontanando la mano da un'antenna, disposta verticalmente, si variava l'intonazione mentre tramite l'altra, disposta orizzontalmente, si controllava la dinamica. Il Theremin è tuttora molto popolare.
- 1924** Ottorino Respighi richiede una registrazione fonografica di usignoli ne *I pini di Roma*, creando il primo esempio di registrazioni usate in una composizione.
- 1925** L'elettricità rimpiazza i sistemi meccanici nella tecnologia d'incisione. Appare il sistema ortofonico della *Western Electric* presso i *Laboratori Bell* dell'*AT&T*.
- 1927** Viene realizzato *The Jazz Singer*, primo film commerciale sonoro, usando il sistema *Vitaphone* su disco sincronizzato con il film.
- 1928** Georg Neumann fonda una compagnia in Germania per produrre i suoi microfoni a

condensatore. Il primo prodotto è il modello *CMV 3*.

1928 Derivate direttamente dal *Theremin*, nascono le *Onde Martenot*, dal nome dell'inventore. Utilizzano una tastiera, un controllo di frequenza continuo ed un controllo di volume a cursore. Molti compositori, soprattutto francesi, le usarono per le loro composizioni. Il repertorio consta infatti di circa 1200 brani) ad opera di Boulez, Bussotti, Dutilleux, Honegger, Jolivet, Martinu, Messiaen, Milhaud, Murail, Ravel, Varèse.

1929 L'*RCA* inizia a sperimentare dischi in vinile a $33 \frac{1}{3}$ rpm, come conseguenza del salto di qualità dovuto ai sistemi elettrici: sarà la velocità standard del vinile fino alla sua scomparsa.

1929 Hammond fonda la sua azienda che costruirà l'omonimo, famosissimo organo elettrico, nel 1935. L'organo *Hammond* si basava sugli stessi principi del dinamofono di Cahill, ma i vari progressi tecnologici ne avevano ridotto le dimensioni da 200 tonnellate a meno di 100 Kg.

1929 Harry Nyquist pubblica i fondamenti matematici per il teorema del campionamento (*Teorema di Nyquist*), alla base di tutto l'audio digitale.

1930 A Berlino, Friedrich Trautwein mostra il *Trautonium*, uno strumento musicale elettronico a sintesi sottrattiva che permette di ottenere anche sonorità più "sporche" e complesse rispetto agli strumenti precedenti. Trovò un esecutore in Oskar Sala che lo migliorò e lo utilizzò in tutta la sua carriera.

- 1931** In Germania, Pfleumer, che aveva brevettato nel 1928 un sistema per applicare particelle magnetiche a una striscia di materiale plastico, e AEG costruiscono il prototipo di un registratore a nastro magnetico
- 1932** Viene brevettato da Harry F. Olson della RCA il primo microfono cardiode a nastro, usando un campo a bobina (*field coil*) invece di un magnete permanente.
- 1933** La musica diventa di massa. Nel 1934 *Wurlitzer* distribuisce i *jukebox* multiselezione: arriverà a installarne 300.000 nel 1939.
- 1935** La *BASF* prepara il primo nastro magnetico su base plastica.
- 1936** La *BASF* realizza la prima registrazione su nastro di un concerto sinfonico durante una tappa del tour della *London Philharmonic Orchestra*. Sir Thomas Beecham dirige Mozart.
- 1936** Von Braunmühl e Weber chiedono il brevetto per un microfono cardioide a condensatore.
- 1937** Orson Welles trasmette la *Guerra dei Mondi*: il radiodramma sull'attacco marziano alla Terra, testo di H.G. Wells, solleva ondate di panico e testimonia il potere dei media.
- 1938** La *RCA* sviluppa il primo *array* di altoparlanti a colonna.
- 1939** John Cage compone *Imaginary Landscape 1* utilizzando un giradischi a velocità variabile con dischi su cui erano incise frequenze di prova. Primo utilizzo di materiale elettronico in una composizione.
- 1940** Walt Disney realizza *Fantasia*, con un suono stereofonico a otto tracce.

- 1941** Cominciano negli USA le trasmissioni commerciali in FM.
- 1942** Viene fatta la prima registrazione stereo su nastro da Helmut Kruger alla *Radio Tedesca* di Berlino.
- 1947** Viene pubblicata la prima uscita dell'*Audio Engineering*; il suo nome sarà successivamente abbreviato in Audio.
- 1949** Pierre Schaeffer e l'ingegnere Jacques Poullin iniziano esperimenti sonori usando magnetofoni e fondano una corrente chiamata *Musique Concrete*.
- 1950** Il chitarrista Les Paul modifica il suo *Ampex 300* aggiungendo un'ulteriore testina di pre-ascolto per la registrazione multipla *sound-on-sound*.
- 1951** Ai *Bell Laboratories* viene sviluppato il transistor al germanio.
- 1952** Emory Cook stampa dischi sperimentali binaurali doppia banda (*dual-band*) sinistra-destra (*left-right*).
- 1953** La *Ampex* prepara un sistema di registrazione su pellicola magnetica a quattro tracce, per il film di Natale della *20th-Century Fox's The Robe (La tunica)* in *Cinema Scope* con suono *surround*.
- 1954** Stockhausen compone gli *Studie I e II*. Si tratta di musica totalmente elettronica in cui cerca di realizzare pienamente le istanze del serialismo integrale estendendolo anche al timbro.
- 1955** Olson e Belar costruiscono per la *RCA* il primo sintetizzatore composto da oscillatori e filtri (sintesi additiva e sottrattiva) con controlli elettro-

meccanici basati su nastro perforato: *the RCA Electronic Music Synthesizer MKI e MKII*.

- 1955** Stockhausen compone il *Gesange der Jünglinge* che fonde suoni elettronici con voci reali.
- 1956** Viene realizzato il film *Forbidden Planet (Il pianeta proibito)*, la prima colonna sonora completamente elettronica, composta da Louis e Bebe Barron.
- 1957** Si aprono studi a Tokyo, Varsavia, Monaco (*Siemens*) e a Eindhoven (*Philips*).
- 1958** Stefan Kudelski introduce il registratore a nastro a batteria portatile transistorizzato *Nagra III* che, con il suo sistema di sincronizzazione *Neo-Pilot*, diventa *de facto* lo standard per l'industria cinematografica.
- 1960** Stockhausen compone *Kontakte* per suoni elettronici su quattro canali.
- 1961** Robert Moog inizia la produzione dei suoi famosi sintetizzatori controllati in tensione. Inizia la produzione di circuiti integrati su larga scala (*VLSI*).
- 1962** La *Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE)* definisce lo standard per il formato del *time code*.
- 1963** La *Philips* introduce il formato del nastro *Compact Cassette* e fornisce le licenze in tutto il mondo.
- 1965** Gli impianti audio ad alta fedeltà (*hi-fi*) prodotti commercialmente entrano nelle case. Robert Moog illustra gli elementi per i suoi primi *synthesizers*.
- 1967** Richard C. Heyser concepisce lo schema di misurazione acustica *TDS (Time Delay*

Spectrometry), che spiana la strada alla rivoluzionaria tecnologia *TEF (Time Energy Frequency)*.

1968 Cage e Hiller compongono *HPSCHD* per 7 clavicembali dal vivo, 52 nastri magnetici con suoni di simil-clavicembalo sintetizzato, realizzati via computer, che eseguono materiali basati su temperamenti che vanno da 5 a 56 divisioni per ottava. Il tutto era inviato a 52 canali di audio amplificato sincronizzato con filmati *NASA* di voli spaziali distribuiti su 7 proiettori, 6400 diapositive visualizzate da 80 proiettori su uno schermo circolare lungo più di 100 metri con un pubblico di 6000 persone per una performance di 4 ore e 30 minuti.

1969 Zinovieff e Cochran fondano la *EMS Ltd* che costruirà alcuni dei più innovativi sintetizzatori analogici, anche in versione portatile, fra cui il *VCS3* e il *Synthi 100* largamente utilizzato da *Stockhausen*

1970 Viene introdotta la prima linea di ritardo digitale, il *Lexicon Delta-T 101*, ampiamente utilizzata nelle installazioni per il rinforzo sonoro (*sound reinforcement*).

1973 La compagnia *Quantel* sviluppa il primo convertitore analogico – digitale per le applicazioni televisive. L'innovazione iniziò così quel processo che cambierà il modo di produrre e distribuire la trasmissione dei dati televisivi.

1974 Primo personal computer, l'*Altair 8800*

1975 *Quantel* presenta al pubblico il *DFS 3000*, il primo sincronizzatore digitale di *frame*. La trasmissione del 1976 dei *Giocchi Olimpici* di Montreal viene manipolata in diretta aggiungendo

al materiale trasmesso in *real-time*, alcune riprese aeree proposte in contemporanea in un inserto d'immagine un quarto più piccolo dello schermo. La genesi degli effetti digitali.

- 1976** Il Dr. Stockham della *Soundstream* effettua la prima registrazione digitale a 16-bit negli USA all'*Opera di Santa Fe*.
- 1977** A Parigi, Boulez fonda l'*IRCAM, Istituto per la Ricerca e Coordinazione Acustica - Musica*.
- 1977** Il primo convertitore standard analogico – digitale portatile il *DSC 4002*, viene presentato dalla *Quantel*.
- 1978** La serie *DPE 5000*, evoluzione della macchina presentata l'anno precedente, viene commercializzata con una conseguente popolarizzazione degli effetti digitali in video.
- 1979** Gli australiani Vogel e Ryrie producono il *Fairlight CMI (Computer Music Instrument)*, il primo sistema musicale commerciale basato su personal computer.
- 1979** La *Sony* introduce un riproduttore di cassette tascabile chiamato *Walkman*.
- 1981** *Philips* e *Sony* presentano lo standard *Compact Disc (CD)* per l'audio.
- 1981** *IBM* introduce il 12 agosto il *Personal Computer a 16-bit*.
- 1981** La *Sequential Circuits* propone uno standard di comunicazione per strumenti musicali elettronici e computer che sarà la base del *MIDI*, le cui specifiche saranno ufficialmente pubblicate l'anno seguente.
- 1982** *La Mirage* introduce la prima macchina in grado di manipolare immagini 3D in spazi tridimensionali.

- 1983** Yamaha produce il *DX7*, primo sintetizzatore interamente digitale di massa basato sulla sintesi in modulazione di frequenza sviluppata da Chowning a Stanford e rifiutata dall'industria americana. Con esso il protocollo MIDI inizia ad espandersi.
- 1986** Appare il primo *Mixer* digitale.
- 1987** La *Digidesign* commercializza *Sound Tools*, una *workstation* digitale basata su sistemi *Macintosh* che utilizza il DAT come mezzo per l'archiviazione dei dati.
- 1988** Per la prima volta il CD vende più del disco in vinile.
- 1990** La *Dolby* propone uno schema di suono surround a cinque canali per i sistemi di home theater.
- 1991** Wolfgang Ahnert presenta, in una simulazione binaurale, il primo modello di uno spazio acustico migliorato (*enhanced*) digitalmente.
- 1993** Durante il primo uso su vasta scala della registrazione a distanza via ISDN, il produttore Phil Ramone registra l'album "*Duets*" con Frank Sinatra.
- 1994** *Clipbox*®, un video server per *storage* su larga scala, offre ad illimitati utenti la possibilità di editare e guardare trasmissioni, news e sport con accesso personalizzato.
- 1995** Viene introdotto il *Nagra ARES-C*, primo registratore audio con tecnologia allo stato solido. Si tratta di un registratore portatile a batteria che registra su una scheda *PCMCIA* nel formato audio compresso *MPEG-2*.

- 1996** Le etichette discografiche iniziano ad aggiungere file multimediali nelle nuove uscite, chiamando il prodotto *enhanced CDs*.
- 1997** Vengono introdotti i videodischi DVD e i relativi riproduttori. In essi è contenuta una versione audio con suono surround a sei canali per sostituire il CD quale *medium* per l'audio casalingo.
- 1998** Le Olimpiadi invernali aprono con un'esecuzione dell'*Inno alla Gioia* di Beethoven, suonato e cantato dai cinque continenti, con un'orchestra e un direttore allo *Stadio Olimpico di Nagano* in Giappone, attraverso un sistema satellitare *ISDN* di sincronizzazione audio dal vivo.
- 1998** Appare il riproduttore MP3 per l'audio scaricato da Internet.
- 2000** *iQ*, il nuovo sistema multiplatforma, permette di lavorare e trasmettere in contemporanea diversi formati (*SD* e *HD*).
- 2001** *Apple* presenta e commercializza il primo *iPod*.
- 2003** *QColor* introduce un efficace mezzo per la *color correction* nei processi di postproduzione.
- 2006** Con *Pablo HD* le immagini digitali in 3D vengono lavorate in multi-livello da più operatori con risultati sorprendenti.

CAPITOLO II: TECNICHE DI RESTAURO

Il documento, in un'accezione non solamente audio-video, è soggetto di numerose definizioni. La sua chiara identificazione ci aiuta a delineare quella vasta quantità di materiali che potrebbero essere stati o dovrebbero essere conservati.

L'archivistica definisce un documento come

[...] informazione scritta, o affissa ad un supporto fisico, prodotta o ricevuta da un'entità fisica o organizzativa durante la trattazione di affari, e conservata per l'adempimento di obblighi amministrativi o legali o per essere usata come materiale di prova o riferimento¹⁷.

I teorici dell'archivistica si allontanano da questa definizione per due ragioni fondamentali: in primo luogo, essa definisce più entità singole che aggregazioni e, in secondo luogo, esclude dalla sua sfera, tutti quei documenti collegati o derivati da fatti giuridicamente irrilevanti, documenti in altre parole, informali.

Proprio la prima mozione sostenuta dai pensatori, invece, soddisfa le eventuali caratteristiche della singolarità di documenti rari e la possibilità di reperire materiale documentario sonoro in singole entità. Tralasciando il significato letterale di scrittura e ampliando il senso di questa parola al più largo concetto del fissare, potremmo quindi definire il documento sonoro come

[...] l'informazione sonora registrata su un supporto fisico secondo una forma determinata – che è variabile a seconda del luogo, periodo, persona, transazione – di un qualsiasi fatto di natura acustica¹⁸.

¹⁷ L. Duranti, *La definizione di memoria elettronica: il passo fondamentale nella sua preservazione*, in Morelli e Ricciardi, pp. 151-152.

¹⁸ P. Zavagna, *Guida alla copia e al restauro...* cit.

2.1: processi tipici di uno studio di registrazione

La registrazione del materiale audio è una delle fasi che formano l'intero processo di produzione musicale.

In questa sezione verrà illustrato il *modus operandi* all'interno di uno studio. In particolare, saranno descritte nel dettaglio le fasi della registrazione, del mixaggio con un accenno alla fase di masterizzazione. A tale scopo saranno illustrate situazioni standard che vengono riprodotte in maniera più o meno complicata nella realtà che possono essere prese come riferimento.

L'obiettivo durante la fase di registrazione è quello di registrare i segnali prelevati dalle sorgenti sonore il più fedelmente possibile, ossia introducendo il minimo di alterazioni.

Con l'*editing* si può successivamente scegliere, tagliare, cucire gli spezzoni audio ripresi durante la fase di registrazione. Di solito questa operazione è possibile quando esistono più riprese dello stesso documento audio, quando cioè è possibile scegliere il miglior prototipo tra una rosa di *take*.

Mixare materiale audio precedentemente registrato è senz'altro la fase più determinante dell'intero processo di produzione musicale. Il mixaggio è inoltre un processo molto più creativo di quanto abitualmente non si pensi, dove a determinare il risultato finale, concorre senza dubbio un buon uso della tecnologia a disposizione, ma soprattutto le scelte estetiche pensate dal produttore e tradotte in pratica dall'ingegnere del suono.

Il mixaggio consiste nel prelevare tutti i segnali che sono stati registrati sulle varie tracce del nostro supporto e fonderli in un unico segnale stereo. In questa fase possiamo aggiungere effetti vari a ogni segnale per cercare di ripulirlo, limarlo, colorarlo. Agendo sugli equalizzatori cerchiamo di far uscire del suono le frequenze che lo contraddistinguono mentre attenuiamo le frequenze che lo rovinano, con il compressore

conferiamo al suono la sua giusta dinamica, aggiungendo riverbero gli diamo spazialità.

Con il termine masterizzazione s'intende l'operazione di rifinitura di un mix finale. In altre parole, una volta messo a punto il mixaggio, s'interviene sul segnale finale *Left* e *Right* presente sul mix bus.

Le operazioni possibili sono diverse; riporto qui le più importanti:

- *noise reduction*: applica algoritmi di riduzione del rumore;
- *limiting*: limitazione dell'ampiezza del segnale in modo che non superi mai una certa soglia;
- *gating*: utilizzo di un *gate* sul segnale per eliminare eventuali rumori di fondo presenti durante i silenzi;
- *compressione differenziata per bande di frequenza*: ogni banda di frequenza dell'intero mix viene compressa con parametri diversi in modo da rispettare i transienti di ogni banda;
- *normalizzazione del livello*: adattamento del livello originario in modo che il segnale occupi tutta la dinamica disponibile sul supporto scelto per la registrazione del master;
- *equalizzazione parametrica*: regolazione fine della curva di equalizzazione;
- *conversione di formato*: eventuale ricampionamento ad una frequenza diversa da quella originaria o anche conversione del numero di bit che individuano gli intervalli di quantizzazione;
- *intervento sull'immagine stereo*: utilizzo dei sofisticati algoritmi per allargare o semplicemente arricchire l'immagine stereo del mix.

Successivamente a questa fase inizia l'*authoring*, il confezionamento cioè di un master audio pronto per la fase di lavorazione industriale. Le operazioni comprese in questa fase

del lavoro vanno dalla scrittura del supporto digitale audio secondo i canoni espressi dalle normative del destinatario del documento all'inserimento dell'*International Standard Recording Code*, come prevede l'organizzazione internazionale per la standardizzazione (ISO) nel *Technical Committee 46, Subcommittee 9*, numero che identifica ogni singola registrazione digitale al fine di un tracciamento per l'utilizzo secondo le leggi del *copyright* internazionale.

Nel caso del restauro digitale dell'audio, la fase di registrazione non è strettamente correlata alle tempistiche delle altre fasi del processo di finalizzazione perché, presumibilmente, lontana nel calendario. Nella digitalizzazione, però, la fase di registrazione può essere intesa e accorpata nella fase di riversamento. Quando cioè riportiamo da nastri magnetici da ¼", ½", 1", 2", nastri DAT, ADAT, vinili o supporti audio-video come pollici, Umatic, D2, 8 mm e 16 mm e altro ancora, non ricreiamo altro se non la condizione di una fonte sonora che viene impressa quindi registrata su un supporto, in questo caso digitale.

Appare necessario, a questo punto della trattazione, un piccolo chiarimento sul termine re-mastering.

Alcuni intendono con questo termine le operazioni per dare nuova vita a vecchie registrazioni, ovvero togliere quella patina opaca che la vecchia tecnologia non poteva eludere e che uso e tempo hanno depositato su di esse rendendole obsolete. Rinnovare il patrimonio che si sta deteriorando e farne delle copie è un problema che riguarda infatti la nostra indagine.

I suoni sono stati impressi su svariati supporti costituiti da materiali chimicamente eterogenei e molto diversi tra loro, che rendono una classificazione dei supporti, e quindi delle relative cause di danneggiamento, complessa. Molte sono le cause di deterioramento delle basi che portano informazioni acustiche. Le principali sono di origine meccanica:

- uso;
- deposito di sostanze esterne;

- deformazioni;
- rotture di origine chimica;
- degrado dei componenti il supporto;
- reazioni fra i vari materiali;
- idrolisi;
- ossidazione.

Oltre alle cause di deterioramento sopra esposte, il rumore che col tempo copre sempre più il segnale utile fino a renderlo illeggibile è una costante di tutti i sistemi d'informazione. Per cercare di fermare questo processo irreversibile si dovranno predisporre sistemi per il controllo della stabilità dei contenuti e l'eventuale copia su supporti più stabili.

Eseguire copie di sicurezza è sempre stato un problema posto dal tipo di materiale oggetto dell'indagine. Fin dai tempi dei cilindri ci si è preoccupati di riversare da un supporto all'altro i preziosi documenti; la *Pathé* brevettò un pantografo, utilizzato fino agli anni Trenta, che riporta il solco del cilindro su disco¹⁹. Possedere più copie dello stesso materiale, quindi, aumenta la probabilità di conservarlo nel tempo.

Attualmente, inoltre, esiste anche un altro problema che non riguarda direttamente il deterioramento del supporto ma l'obsolescenza dei sistemi di lettura. Spesso, infatti, si rende necessario trasferire le informazioni da un supporto a un altro, da uno standard ad un altro, poiché la macchina per leggere un determinato supporto potrebbe non esistere più. Lo stato dell'arte oggi ci pone di fronte al medesimo contenuto sonoro archiviato su formati e standard differenti.

L'archivistica considererebbe diverse le varie unità, trattandole separatamente così come dovrebbe fare il restauratore, cercando tuttavia, nel lavoro di ricerca, di individuarne la fonte. Per questo motivo spesso s'identifica con l'espressione "restauro sonoro" il semplice riversamento dai vecchi supporti

¹⁹ P. Zavagna, *Guida alla copia e al restauro...* cit.

analogici sui nuovi supporti digitali, applicando filtri anti-fruscio e filtri che riducono il rumore meccanico per rendere godibile all'udito le vecchie registrazioni.

In un'accezione più comune e più logica nel percorso tipico di un processo di registrazione in studio, per rimasterizzazione o *remastering* s'intende la tecnica di manipolazione audio avente il compito di migliorare la resa sonora di un brano musicale già precedentemente masterizzato.

Diversamente dall'operazione di mastering, la rimasterizzazione può essere mirata ad interventi di recupero delle qualità sonore di un brano nuovo particolarmente scadente: in questo caso si procede con le operazioni tipiche di una masterizzazione partendo già da tracce masterizzate. Nel caso di un brano rovinato dal tempo o non più riproducibile in maniera fedele a causa del deterioramento del supporto, l'operazione è analoga, ma per la natura delle condizioni del materiale audio e l'utilizzo di più specifici *plug-in* creati *ad hoc* per alcune particolari operazioni di pulitura, si può parlare in questo caso di restauro.

Da un punto di vista storico si torna a quando, con la nascita di supporti quali dischi in vinile e cassette audio, la produzione di grandi quantità di copie di un album ha reso necessaria la nascita di studi di registrazione particolarmente equipaggiati e costosi. Ciononostante le strumentazioni disponibili a partire dagli anni Cinquanta non consentivano il raggiungimento di una assoluta fedeltà del suono, complici le qualità sonore delle riprese, dei microfoni utilizzati e dei nastri di registrazione disponibili all'epoca. Ne consegue che molte sessioni musicali dell'immediato dopoguerra risultano oggi sonoramente scadenti, con medie frequenze accentuate, scarsa dinamica, fruscio, click ed altri rumori di fondo.

Lo stesso processo di mastering, spesso, era del tutto assente, e lasciava questo importante compito al fonico di missaggio.

Sebbene il processo di *remastering* sia stato principalmente utilizzato sulle tracce sonore di vecchie pellicole

cinematografiche, migliorandone i dialoghi o la resa musicale, o trasformandole nello standard multicanale utilizzato in *home-theater*, negli ultimi anni la rimasterizzazione ha esteso il proprio campo di competenza orientandosi su produzioni più recenti, allo scopo di migliorarne la già buona qualità sonora, grazie all'utilizzo di tecniche moderne, spesso digitali, non disponibili al momento di uscita dell'album.

Le tecniche e le metodologie di lavoro si differenziano molto in base alla sorgente che si viene a trattare.

Nel caso di registrazioni moderne o di recente produzione, ma considerate migliorabili dal punto di vista sonoro, si opera con:

- equalizzazione del brano e ricerca di un'uniformità in tutti i brani dell'album;
- espansione o compressione dinamica secondo metodologie nuove e spesso molto costose;
- finalizzazione del prodotto per la stampa seguendo le linee guida del mastering.

Nel caso di vecchie registrazioni, logorate dal tempo e di scarsa qualità alla fonte, si opera con:

- eliminazione di *click* e *glitches*;
- soppressione del fruscio e/o del rumore di fondo, ad esempio un ronzio di rete a 50/60 Hz o il rumore del motore del registratore a bobine;
- eliminazione delle sibilanti dai dialoghi o dal canto;
- equalizzazione del brano e ricerca di un'uniformità in tutti i brani dell'album;
- espansione o compressione dinamica;
- finalizzazione del prodotto per la stampa seguendo le linee guida del mastering.

Nel recupero di vecchi nastri e vinili il lavoro di *remastering* ha creato dei veri capolavori, ringiovanendo registrazioni vecchie anche di mezzo secolo, grazie ad un vero e proprio processo artistico di restauro audio. Alcuni esempi sono le registrazioni,

spesso radiofoniche, del pianista tedesco *Walter Gieseking*, recentemente rimasterizzate proprio dalla *EMI Classics* o le interpretazioni di metà secolo di *Maria Callas*.

Il remastering si occupa anche di trasformare il supporto originale in uno standard digitale a 24 bit, con frequenze di campionamento pari a quelle del compact disc o superiori, come nel caso dell'*SACD* o del *DVD-Audio*. La trasformazione può anche riguardare il passaggio dal monofonico allo stereofonico, o dallo stereo al multicanale. Un esempio molto conosciuto è stata la rimasterizzazione in formato *CD* e *SACD* di *The Dark Side of the Moon* dei *Pink Floyd*.

Questo comporta il fatto che, nonostante non si aggiunga nessuna informazione audio al documento da restaurare, ma si proceda rimuovendo i disturbi dovuti al deterioramento del supporto, nel momento dell'esportazione per l'utilizzo su un supporto digitale, secondo gli standard odierni, si applica un'operazione assimilabile al concetto di rimasterizzazione.

Inoltre, contrariamente a quanto accade nell'ambiente cinematografico, in campo audio non esiste uno standard che precisi un parametro unico di dinamica bensì un range di valori al quale attenersi e che spesso è standardizzato da chi richiede il restauro. Ne consegue che ogni processo di mastering e *remastering* arriva ad un risultato finale del tutto individuale.

Inoltre nell'ultimo decennio l'intensità sonora percepita o volume di un brano è aumentato spesso in modo sconsiderato, oltre al fatto che la prominente egemonia dei formati compressi come l'*Mp3*, ha abituato gli ascoltatori ad una qualità audio diversa da quella che stabiliscono i parametri dell'alta qualità.

L'accusa principale è rivolta alle operazioni che agiscono sul *Dinamic Range*.

Con questo termine s'intende l'intervallo misurato in dB tra il valore minimo che il segnale audio può assumere e quello massimo, in altre parole la dinamica. Per valori minimi s'intendono quei valori di poco superiori a quelli ottenuti in

assenza di suono; i valori massimi invece, sono in ogni caso contenuti nel limite di $120\text{dB}_{\text{SPL}}$, che corrisponde, come si accennava precedentemente, alla soglia approssimativa di dolore per l'orecchio umano. Inoltre in natura è sempre presente un rumore di fondo misurabile e attestabile, il cui valore stabilisce una soglia sotto la quale tutti gli altri possono essere trascurati poiché non percepiti con chiarezza in quanto mascherati dal rumore di fondo.

Nel caso di una registrazione, la differenza tra il valore minimo e quello massimo del segnale stabilisce l'entità del valore espresso in dB_{SPL} nel quale *range* siamo sicuri di una corretta riproduzione.

Un valido esempio è la registrazione di un'orchestra. In questo caso infatti si va da valori molto bassi di dB_{SPL} nelle parti in cui a suonare è un solo strumento a valori molto alti nel caso di un *Tutti*.

Altro concetto importante è quello della compressione.

Con questo termine s'intende l'operazione con la quale si comprime la dinamica di un segnale audio, cioè si restringe quella originaria. Questo comporta che la differenza tra il massimo livello e il livello minimo del segnale compresso sarà minore della differenza tra il massimo livello e il livello minimo del segnale non compresso.

Per far sì che questo avvenga si agisce su diversi parametri utilizzando un compressore ed un *limiter*.

Il compressore agisce quando il segnale raggiunge una certa soglia (*threshold*), ossia un certo valore minimo prestabilito di input, ed applica una certa quantità di compressione che viene stabilita mediante controlli di *ratio* e *gain*, oltre a controlli più fini come *attack*, *release* e *knee*.

Il *limiter* propriamente detto è invece un particolare tipo di compressore che processa la dinamica per impedire ai segnali di oltrepassare un dato livello chiamato anche in questo caso soglia (*threshold*). Quest'azione, poiché elimina i picchi di livello

di segnale in un programma, è conosciuta anche come livellamento (*leveling*): ecco perché i *limiter* sono anche detti amplificatori di livellamento audio (*audio leveling amplifiers*) o limitatori di picco (*peak limiters*).

Generalmente sono usati in tutte quelle situazioni in cui un improvviso incremento del livello del segnale possa essere dannoso.

Nel settore delle trasmissioni radio-televisive (*broadcast*), tali unità impediscono, per esempio, una sovramodulazione del segnale trasmesso.

Nell'incisione dei dischi, pratica ormai in disuso, essi prevenivano un'eccessiva escursione della puntina di incisione, che avrebbe potuto altrimenti causare la fusione di solchi adiacenti e perciò conseguenti salti quando il disco impresso veniva riprodotto.

La compressione ha una molteplicità di utilizzi: l'uso più frequente è quello che permette uno schiacciamento della gamma dinamica al fine di adattarlo alla memorizzazione o al mezzo di riproduzione.

Non è detto infatti che il supporto sia in grado di reggere una gamma dinamica molto ampia.

In ogni situazione in cui il livello del rumore d'ambiente è alto e il livello massimo del suono che può essere riprodotto è limitato, come nel caso di sistemi audio che lavorano in ambienti industriali o commerciali, viene adoperata una compressione per appiattire la gamma dinamica.

Poiché la circuiteria è quasi identica, la reale distinzione tra un compressore e un *limiter* sta nel modo in cui il dispositivo viene usato. Molti di questi dispositivi sono progettati per svolgere entrambe le funzioni e sono quindi conosciuti come *compressori/limiter*.

Uno dei fattori più importanti che distingue un compressore/limiter da un altro è il metodo col quale ognuno individua il livello del segnale d'ingresso. Alcune unità, in

particolare i *limiter* per il *broadcast* o per l'incisione, operano basandosi sul picco istantaneo del segnale d'ingresso; altre operano basandosi sul livello *root mean square (rms)*.

La differenza consiste nel calcolo dei livelli. Se il sistema basato sul calcolo del livello di picco, in particolare con una *ratio* alta, può essere utilizzato per impedire al segnale in uscita di superare un valore prestabilito, anche solo per una frazione di secondo, i sistemi basati sul calcolo dei livelli *rms* possono permettere ad una frazione di ciclo di passare prima che la compressione ne abbassi il livello. Ciò renderà il suono più naturale, in modo particolare quando la soglia è regolata in modo tale da applicare una compressione moderata ad una larga percentuale del materiale o alla sua totalità.

Ecco perché quest'ultimo corrisponde meglio al modo in cui le nostre orecchie percepiscono i volumi relativi.

L'utilizzo di questi processori è fondamentale nel processo di mastering e, di conseguenza, ampiamente usato anche nel processo di *remastering*.

Le analisi dei diagrammi e dei grafici riportati in alcune riviste specializzate, rivelano strumentalmente la compressione adoperata per alcuni *remastering* di colonne sonore a discapito della gamma dinamica e della godibilità. Si ribadisce in questo frangente che nella maggior parte dei casi i parametri non sono stabiliti da chi opera al *remastering* ma dalla produzione che ha ordinato il lavoro.

In un campo più ristretto, prendendo in considerazione cioè i documenti audio d'archivio, questo potrebbe comportare una chiara riduzione della sonorità originale: per quanto la qualità audio verrebbe aumentata sulla base della scelta dei diversi *ratio* di compressione digitale e la dinamica resa morbida e naturale, la matrice acustica della registrazione originale, specialmente se risalente a più di cinquanta anni fa, ne risulterebbe snaturata.

2.2: processi digitali di restauro

Il processo di digitalizzazione può essere riassunto come quel processo che traduce in un linguaggio digitale un documento proposto da una fonte analogica. Questo prevede una matrice meccanica i cui contenuti verranno trasformati in *data* tramite l'utilizzo di terminali. Il supporto quindi è riprodotto dal lettore più atto alla tipologia e, nel contempo, registrato e digitalizzato tramite interfaccia software installata sul computer.

Gli applicativi ideati allo scopo sono numerosi. La scelta ricade su un prodotto piuttosto che un altro in base a criteri soggettivi: l'ambiente software del SO, sia esso *Microsoft Windows* o *Macintosh*, la praticità ed il gusto personale per l'interfaccia grafica, il rapporto qualità – prezzo, la possibilità di ampliare le funzioni native con l'installazione aggiuntiva di *bundle* e *plug-in*, la solidità e la compatibilità dell'*hardware* audio che s'interfaccia tra lo strumento analogico e quello digitale.

Lo scopo di questi programmi, generalizzando, è quello di migliorare le registrazioni audio *ex novo*, laddove agenti esterni concorressero a creare un'azione di disturbo nella stesura di un prodotto udibile pulito: errore umano, inaspettati problemi elettrici, interferenze meccaniche e fastidiose intrusioni di rumori ambientali come squilli di cellulare, aerei, traffico cittadino nel caso della presa diretta, concorrono a disturbare la qualità delle registrazioni. Quando queste rappresentano l'apice per interpretazione e qualità, diventa meno dispendioso agire per eliminare l'eventuale disturbo piuttosto che procedere con un ulteriore *take*.

Il concetto di restauro audio, come esposto precedentemente, parte dall'idea del recupero di vecchie registrazioni, ma allargato, insieme all'uso degli strumenti propri di quest'operazione, a quelle odierne, per fissare quegli inconvenienti legati ad attrezzature professionali ma più

economiche o agli incidenti che capitano nel caso delle registrazioni in presa diretta.

In un'esposizione inversa, gli strumenti digitali con cui si opera la pulitura delle moderne registrazioni possono essere utilizzati per il recupero ed il restauro di materiale registrato in un tempo più lontano.

Lo scopo del restauro audio resta immutato in entrambi i casi: rendere il suono il più puro e piacevole possibile con la minima udibile intrusione delle operazioni atte al recupero.

Nell'essenza del concetto, l'intervento sulla registrazione originale deve essere trasparente e non invasivo: nessun artefatto dovrebbe infatti disturbare l'ascolto ricordando sempre che, una qualsiasi riproduzione di una registrazione dal vivo, è pur sempre un *facsimile*, seppur ottimo, dell'evento reale.

Restringendo il campo d'azione di questo processo largamente usato al recupero di vecchie registrazioni su vecchi supporti, è utile, credo, soffermarsi sulla natura degli stessi e sul trattamento adeguato che se ne deve fare per la digitalizzazione dei contenuti e la preparazione al restauro.

Dove è possibile, è sempre consigliabile utilizzare la fonte originale per procedere alla digitalizzazione. Le eventuali copie fatte dal *master* infatti, siano esse analogiche o digitali, potrebbero essere già state trattate con filtri atti al miglioramento della qualità. Più specificatamente, nel caso di riversamenti analogici ci si potrebbe trovare di fronte a variazioni di volume o di dinamica e nel caso copie digitali, di fronte a perdita di dati nel caso in cui queste fossero state fatte utilizzando formati compressi come Mp3 o ATRAC.

Al contempo, è utile anche raccogliere informazioni sulle attrezzature con le quali è stata effettuata la registrazione: i microfoni infatti si sono evoluti in forma e potenza e per quanto la gamma di ripresa espressa in frequenza sia di poco variata, ancora oggi l'uso di un certo modello di prodotto viene fatto in base alle esigenze coloristiche di esecuzione e registrazione.

Conoscere le caratteristiche del materiale usato per la presa diretta potrebbe aiutare nella conservazione di una qualità simile all'originale. In altre parole, trattandosi di fedeltà al gusto e alle intenzioni originali, assumo, almeno nel mio personale modo di procedere, che nel processo totale di ultimazione del lavoro sia utile conoscere le reali possibilità sfruttate all'inizio della catena, quando cioè si sono operate o si sono imposte scelte razionali sull'uso della più appropriata attrezzatura di registrazione per quella specifica situazione.

Il primo criterio di approccio ai documenti sonori è quindi quello relativo ai materiali di supporto alle varie forme di registrazione: tenendo presente la catena di produzione si può meglio comprendere le scelte e la natura di queste ultime.

2.3: digitalizzazione dai diversi supporti

Analizziamo ora i casi più comuni di digitalizzazione da supporti audio, iniziando con la trattazione dei vinili.

L'incisione dei dischi avveniva in due maniere diverse: verticalmente, con un'incisione in profondità chiamata *hill-and-dale*, imprimendo cioè al tornio movimenti perpendicolari alla superficie del disco e facendo quindi corrispondere le variazioni d'intensità a incisioni in profondità del solco, oppure lateralmente, detta incisione "a piatto", implicante cioè la trasmissione delle variazioni d'intensità agendo sulla larghezza del solco. Questo secondo procedimento è quello descritto nel brevetto depositato da Charles Cros il 18 aprile 1878, messo in pratica per la prima volta da Emile Berliner nel 1888, a seguito di un brevetto depositato il 26 settembre 1887²⁰.

Sebbene la tecnica d'incisione verticale e quella d'incisione laterale convivano fino al 1925 circa, dopo tale data l'incisione laterale prevarrà, fino all'affermarsi della stereofonia nel 1957, dove il disco viene inciso contemporaneamente in profondità e lateralmente.

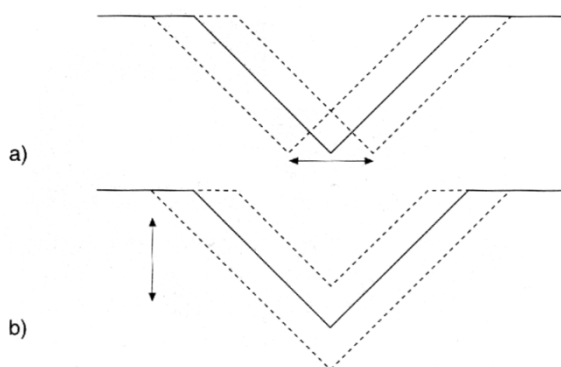


Figura 1 - L'incisione dei dischi stereofonici avviene sia in senso laterale (a), quando i due canali sono in fase sia in senso verticale (b), quando i due canali sono fuori fase. La linea continua rappresenta un solco senza modulazione.

²⁰ R. Gelatt, *The fabulous phonograph*, NewYork, Appleton Century, 1977.

La produzione dei primi dischi da matrice comprende una serie di passaggi, il cui prodotto finale è una parte molto limitata.

I materiali utilizzati per la costruzione dei dischi sono molto vari e hanno caratteristiche chimiche e fisiche molto diverse fra loro. Le percentuali dei vari componenti variano di molto anche secondo la disponibilità della singola materia prima in un determinato periodo storico.

I primi dischi sono in ebanite, hanno un diametro di 17 cm, una durata di 2 minuti e sono azionati a mano alla velocità di 70 giri al minuto.

Nel 1897 Berliner abbandona l'ebanite per passare alla lacca²¹. Un'innovazione molto importante è stata introdotta con il disco laminato dalla *Columbia*. Questi erano formati da un'anima di *craft-paper*, carta rigida non sbiancata particolarmente resistente, sulla quale veniva stesa la vernice di gommalacca, che poteva essere quindi più sottile e di qualità migliore. Nel caso di un disco a lato doppio, quest'operazione veniva ripetuta due volte. Per avere un'idea sommaria della composizione dei materiali dei dischi, riporto di seguito una tabella:

Ebanite o Vulcanite (primi dischi Berliner; 1887-1897)								
Gomma dura sottoposta a processo di vulcanizzazione								
Gommalacca (1897-seconda metà anni '50)								
Fonte	Componenti principali							
Isom 1977b, p. 719.	gommalacca 13.617%	gomma del Congo (legante flessibile) 0.92%	Vinsol (tipo di plastica con un basso punto di fusione) 8.72%	nerofumo (colorante) 1.347%	stearato di zinco (lubrificante per realizzazione della matrice) 0.496%	additivo bianco (calcare dell'Indiana in polvere) 37.45%	additivo rosso (ardesia rossa della Pennsylvania in polvere) 37.45%	
Pickett e Lemcoe 1959.	gommalacca in scaglie 15.63%	gomma del Congo 6.51%	resina Vinsol 5.86%	nerofumo 2.61%	stearato di zinco 0.32%	gesso in polvere (CaCO ₃) 52.13%	silicato di alluminio 13.03%	flocchi (fibre lunghe) 3.91%
<i>Ibidem</i>	gommalacca 22%	gomma Copal 7%		nerofumo 3%		baritina 33%	silice 33%	flocchi di cotone 2%
Columbia Velvet-Tone (CPS: Coated Paper Sheet o disco laminato; 1906-)								
Sottile disco laminato con un'anima di carta rigida e una o entrambe le superfici plastificate.								
Disco Diamond di Edison (incisione verticale, laminato; 1912-1929)								
Burt 1977, p. 717.	farina di legno 58%	alcol etilico modificato (AKA ethynol) 26%	Fenol-formaldeide (AKA bakelite) 15%	Nerofumo (pigmentante) 1%				
Vinile (resina termoplastica; 1930-)								
Calas e Fontaine 1996.	Cloruro di polivinile (PVC) 75% (Acetocloruro di vinile formato da acetato 15% e cloruro di vinile 85% + cloruro di vinile puro)			Additivi vari fra cui: stabilizzanti, pigmentanti, sostanze anti-statiche, fungicidi 25%				

Figura 2 - Materiali che compongono alcuni tipi di dischi

²¹ M. Calas – J.M. Fontaine, *La conservation des documents sonores*, CNRS Editions, Paris, 1996.

Dopo aver spiegato, in maniera abbastanza esaustiva, le caratteristiche dei vinili, è d'uopo illustrare le peculiarità degli strumenti con i quali questi possono essere riprodotti per un riversamento e conseguente digitalizzazione. Il primo importante dato sui giradischi è che la maggior parte di queste apparecchiature non misura in uscita un livello di segnale e vengono, di conseguenza, collegate ad un pre-amplificatore che ne aumenta il segnale e lo equalizza nello standard *RIAA*, una specifica di registrazione e riproduzione per i fonogrammi imposta dalla *Recording Industry Association of America* dal 1954 in poi²².

Nel caso quindi si voglia utilizzare un giradischi di vecchia fattura, che non abbia cioè una moderna porta USB così come prevedono i nuovi giradischi pensati per l'uso specifico da parte dei *Dee Jay*, è di estrema importanza collegare il lettore ad un pre-amplificatore designato a quest'uso.

I lettori di dischi di nuova fattura, con ingresso USB, arginano il problema grazie ad un'interfaccia digitale che funge da pre-amplificatore, ma il mercato cui sono designati, il messaggio cioè di musica in un ambiente in cui ha più valore la potenza che non la qualità, ne fanno attrezzature non proprio atte al lavoro d'importazione per il restauro.

Nel mio caso, quando ho avuto la possibilità di riversamenti da vinili, ho preferito giradischi analogici, anche datati ma meccanicamente perfettamente funzionanti, collegati a più moderni amplificatori che supportano i parametri di pre-amplificazione dei fonogrammi.

Un'accortezza per evitare un fastidioso rumore elettrico di fondo è quella di collegare la messa a terra del giradischi all'amplificatore, che di solito prevede una vite con la quale fissare il cavo.

²² http://en.wikipedia.org/wiki/RIAA_equalization

Importantissima è la pulizia del vinile, che deve essere fatta con prodotti specifici e non invasivi: l'eliminazione della polvere e di altri corpuscoli dalla superficie riduce notevolmente la registrazione di *click* e di *pop*.

Oltre a questo, anche la scelta della puntina di lettura (*pick-up*) deve essere meditata: un vecchio *pick up* potrebbe infatti non solo diminuire notevolmente la qualità dell'importazione, ma deteriorare il supporto originale. Risultati più degni in qualità si ottengono scegliendo una puntina di lettura ellittica, atta ad aderire meglio alle pareti dei solchi e quindi più sensibile alle medie-altre frequenze tipiche del supporto.

Il grande numero di vinili reperibili nelle discoteche e archivi, nonché nella personale collezione del vasto pubblico che li ha acquistati, fa dell'operazione di restauro dell'audio in essi contenuto, forse quella più sovente. La necessità di ascoltare le registrazioni con supporti moderni e portatili, ha creato il primo grande flusso di riversamenti a livello *consumer*, testimonianza del fatto che l'esigenza prima esposta di conservare nel tempo la musica ha come conseguenza il trasportarla su differenti supporti.

Se nel caso del vinile è quindi abbastanza semplice reperire anche la giusta attrezzatura per la riproduzione, questo non vale per una larga gamma di formati precedenti, al giorno d'oggi rari.

Le matrici in gomma lacca, i cilindri e i fonografi²³ sono supporti che non solo hanno bisogno di una doppia dose di attenzione quando maneggiati ma richiedono anche l'uso delle attrezzature originali con le quali venivano riprodotti per evitare ulteriori deterioramenti e rovinose manomissioni.

D'uopo è l'usanza di chi richiede il restauro della documentazione conservata su questi supporti di un intervento in loco, proprio perché, oltre al supporto da riversare, spesso si

²³ Si rimanda al paragrafo del capitolo I ove questi supporti vengono ampiamente trattati.

è in possesso della giusta attrezzatura per la riproduzione. L'accortezza necessaria in questi casi è trovare il giusto modo per collegare il riproduttore alle macchine per il riversamento, non avendo queste nessuna uscita ulteriore oltre alla campana di amplificazione.

L'altra grande tipologia di materiali di supporti, dopo quelli meccanici, riguarda quelli magnetici.

Le fasi principali caratterizzanti la produzione nei nastri magnetici sono cinque:

1. preparazione della vernice che costituirà lo strato magnetizzabile e suo mescolamento;
2. filtraggio dalle impurità;
3. deposito sulla base (pellicola) che scorre a velocità costante;
4. essiccazione;
5. calandratura.

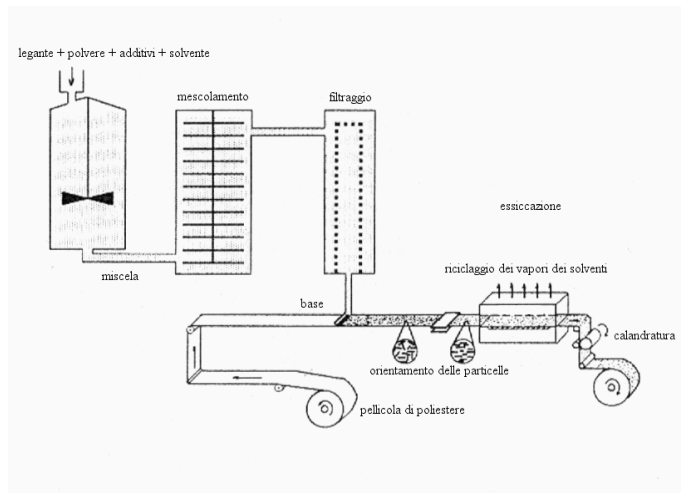


Figura 3 - fasi principali della realizzazione di un nastro magnetico

In ognuna di queste fasi, l'introduzione di elementi estranei o errori meccanici possono provocare danni o problemi al supporto. La prima fase è la più delicata, poiché il legante è il maggior responsabile dei difetti del nastro magnetico. Nella seconda fase, l'introduzione di residui o particelle che alterano lo spessore potrebbe originare perdite del segnale sia in registrazione sia in riproduzione. Irregolarità di scorrimento o

d'iniezione della vernice nella terza fase generano discontinuità nella distribuzione delle particelle magnetizzabili. Nelle ultime due fasi possono aver origine difetti che causano *drop out* o vere e proprie rotture del nastro.

I nastri magnetici sono normalmente formati da due o tre strati di materiali diversi. Un primo (ed eventualmente un secondo) strato serve da base allo strato superiore composto dalle particelle magnetiche, da un legante, da un lubrificante e da altri agenti. La base, che può essere formata da diversi materiali, e lo strato con ossido magnetico sono i responsabili della qualità e della durata nel tempo del supporto.

I primi nastri, prodotti negli anni Quaranta e Cinquanta, sono fabbricati principalmente utilizzando acetati (acetato di cellulosa, triacetato di cellulosa) e cloruro di polivinile (PVC). Oltre questa data si affermerà un poliestere orientato conosciuto come polietilene terephthalate, *PET* o *Mylar™ DuPont*.

I maggiori problemi di conservazione sono dati dalla composizione del legante nello strato contenente l'ossido magnetico. Anche il legante è formato da vari materiali e dopo prove ed errori, ogni fabbricante ha trovato una miscela più o meno soddisfacente. Le qualità maggiormente auspicabili in un legante sono:

1. capacità di aderire solidamente alla base senza mai staccarsi nonostante le ordinarie e le accidentali condizioni di tensione, umidità, temperatura, invecchiamento, ambientali;
2. capacità di non restringersi, curvarsi, arricciarsi, o deformare in altro modo il nastro;
3. capacità di trattenere le particelle magnetiche in una sospensione omogenea, senza grumi o vuoti che provochino rumore e *drop out*;
4. capacità di non reagire distruttivamente nei confronti delle particelle magnetiche;

5. capacità di trattenere la più alta percentuale di particelle magnetiche per fornire un nastro con alte prestazioni in uscita senza perdita di resistenza o eccessiva abrasività;
6. superficie liscia per un buon contatto con le testine;
7. basso coefficiente di frizione;
8. capacità di non sviluppare cariche elettrostatiche, e comunque, attirare polvere e residui;
9. capacità di non rilasciare residui, sia magnetici sia non magnetici, o semiliquidi come un plastificante;
10. composto da materiale non infiammabile o tossico.

A riguardo del riversamento e la digitalizzazione dei nastri magnetici, siano essi analogici, come le musicassette, i VHS o ancora prima il nastro da ¼ di pollice incollato su una bobina da 7 pollici, o digitali come i DV, Betacam o, prettamente audio come il DAT, è utile considerare, come nei precedenti casi, l'attrezzatura di riproduzione, che deve essere di buona fattura e meccanicamente funzionante, per evitare problemi, come l'introduzione di un più cospicuo rumore di fondo.

Questo diventa più difficile da rimuovere se nel riversamento sono presenti fluttuazioni della velocità di riproduzione: il variare infatti dello scorrere del nastro comporterebbe una registrazione del rumore di fondo, sia esso di larga banda o tonale, su diverse frequenze, e quindi un maggior lavoro d'individuazione nel corso del restauro dello stesso documento. Le testine magnetiche devono essere pulite e allineate per ottenere una buona qualità di segnale privo d'interferenze e inoltre devono essere demagnetizzate per evitare un impoverimento dei dati audio. Spesso anche il nastro in poliestere ha bisogno di manutenzione per evitare rovinosi incidenti dovuti al suo indebolimento e alla conseguente rottura. Una delle pratiche più comuni è la "cottura" in forno elettrico a temperatura costante per rimuovere oleosità e sporcizia e rivitalizzare l'adesivo del nastro.

I vari tipi di materiali con cui sono stati realizzati i dischi e i vari tipi di nastro magnetico costituiscono dunque un primo elemento da tener presente per valutare l'urgenza dell'intervento da effettuare.

Qualunque sia la matrice di partenza è importante sottolineare, per non vanificare al momento dell'importazione tutte le operazioni prima riportare, la scelta di un livello moderato del segnale d'ingresso.

Un segnale d'input elevato infatti comporterebbe saturazione dell'ampiezza del segnale, mentre un livello troppo basso potrebbe invece non solo non far percepire nell'ascolto durante l'acquisizione piccoli cambi di livello di dinamica ma risultare più basso della *ratio* del rumore di fondo che, in una conversione analogica-digitale priva di variazioni di velocità, ha un valore fisso.

2.4: operazioni specifiche di restauro digitale dell'audio

Dopo l'esposizione delle problematiche relative ai supporti e alle attrezzature di riproduzione, mi accingo ora a trattare le operazioni più comuni del restauro digitale dell'audio.

Similmente al processo della diagnosi medica, la chiave per ottenere un restauro audio di successo è chiusa nell'abilità di analizzare correttamente le condizioni del materiale preso in esame.

Ogni software dedicato mette a disposizione una serie di strumenti atti alla correzione dei diversi problemi riscontrabili in un tal processo, ma, per prima cosa, è di fondamentale importanza inquadrare la tipologia di errore che si andrà a correggere.

Durante una prima analisi, che possiamo definire generale, è possibile utilizzare due forme di visualizzazione dell'audio, ognuna capace di sottolineare alcune caratteristiche della registrazione: la sinusoide, o meglio la rappresentazione sinusoidale dell'onda, e lo spettrogramma.

La prima è forse il miglior mezzo per visualizzare l'ampiezza del segnale (*loudness*) e avere una visione d'insieme secondo una grafica familiare.

Se invece si vuole ottenere un chiaro quadro di cosa succede ad altezza delle singole frequenze, lo spettrogramma risponde a questa esigenza in modo semplice: le frequenze, espresse in Hz, sono visualizzabili su una linea del tempo simile a quella rappresentata nell'interfaccia grafica della sinusoide. La luminosità del colore, di solito ocra - arancio, è direttamente proporzionale all'ampiezza del segnale. Il nero, quindi, rappresenta la totale assenza di suono, quindi il silenzio.

Il tipo di spettrogramma più utilizzato è lo *STFT (short-time Fourier transform)*, con riferimento al metodo utilizzato nella conversione dei dati audio nella rappresentazione grafica.

Questa prevede un metro uniforme nella risoluzione del rapporto tempo – frequenza.

Per chiarire l'utilizzo delle due rappresentazioni grafiche del segnale audio è utile prendere ad esempio la registrazione della voce umana.

In tal caso, infatti, nel passare dalla sinusoide allo spettrogramma, la complessità del campione risulta evidente: riusciamo ad individuare la fondamentale di ogni suono e le relative armoniche, le frequenze più forti delle sibilanti, e chiaramente, i rumori, qualora ci fossero, registrati durante la presa diretta della voce.

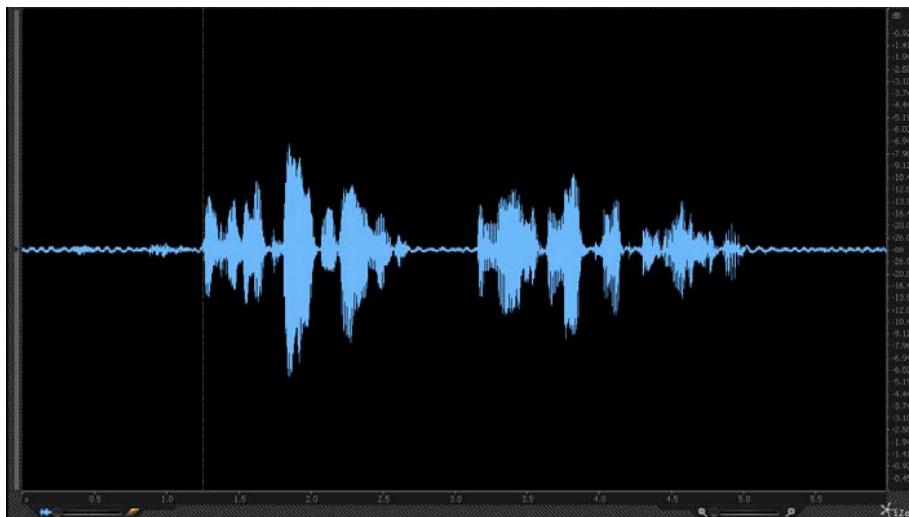


Figura 4 Rappresentazione sinusoidale di un campione di voce umana

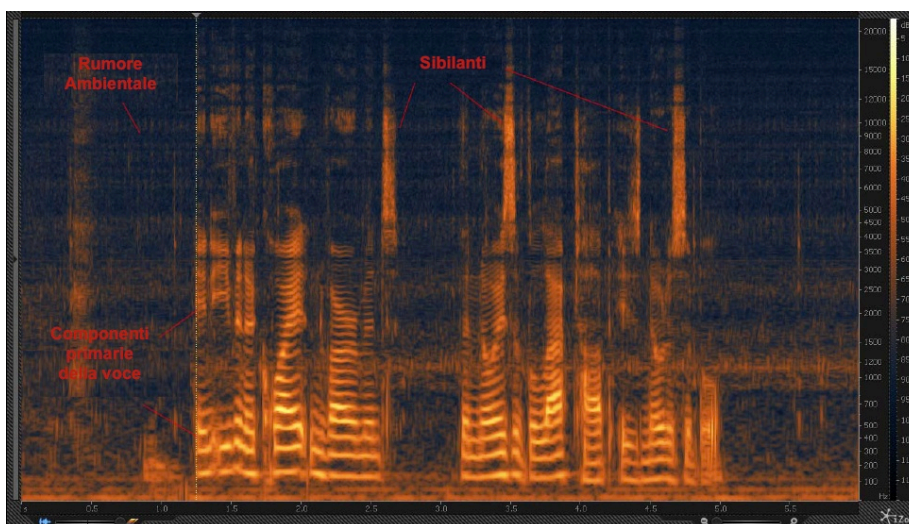


Figura 5 Spettrogramma di un campione di voce umana

Per quanto un orecchio attento è il primo mezzo per captare le problematiche eventuali legate al segnale, la visualizzazione secondo queste due forme è forse il miglior modo per percepire immediatamente il senso ed il tipo di problema da risolvere.

Nel vedere rappresentato, per esempio, un documento audio abbastanza lungo, si possono individuare da subito gli eventuali *clip* presenti, i rumori d'intermittenza, i *drop out* senza dover necessariamente ascoltare l'intero materiale per tutta la sua durata.

Nello specifico andiamo a trattare i tipi di disturbi ed errori digitali che si possono riscontrare durante un riversamento.

Hum, o rumore di fondo, è solitamente il risultato del rumore elettrico generato nella catena del segnale registrato. Può, in genere, essere percepito come un tono a bassa frequenza, di solito tra i 50 Hz o 60 Hz. Questi due valori dipendono dai diversi voltaggi adottati per la linea elettrica, relativamente in Europa e negli Stati Uniti. Nella visualizzazione dello spettrogramma, questo viene rappresentato come una serie di linee orizzontali: la più luminosa rappresenta la fondamentale, quindi le frequenze di 50 o 60Hz, mentre le linee meno intense che le accompagnano, le armoniche.

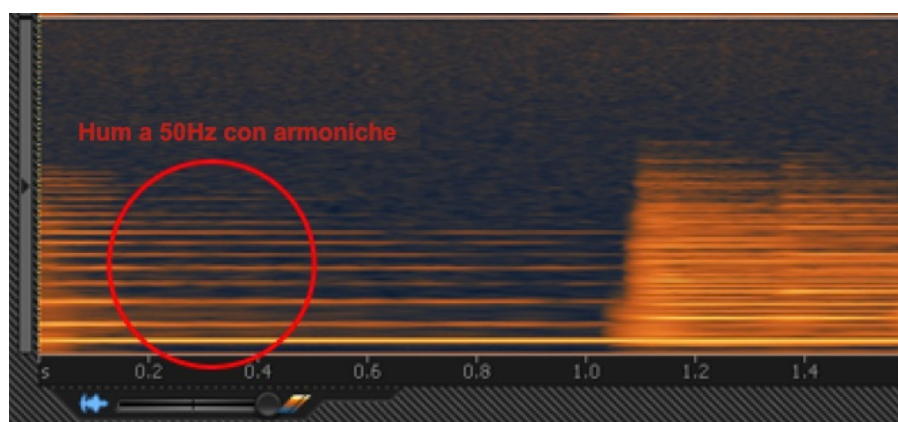


Figura 6 Rumore di fondo a 50 Hz con armoniche

In situazioni come in questo esempio, dove il suono fondamentale reca insito solo poche armoniche, un *plug-in* di rimozione specifico per il rumore di fondo è il miglior strumento di lavoro. *Hum Removal Module* della RX, nello specifico, controlla e rimuove fino a sette armonici sopra la frequenza fondamentale.

Nel caso in cui questo tipo di disturbo si estendesse anche alle alte frequenze (*Buzz*), il solo modulo di rimozione per l'*Hum* risulterebbe non completo in quanto escluderebbe dal materiale solo la frequenza base e le relative armoniche. Per ottenere un risultato completo dovremmo integrare il processo con l'utilizzo di un *plug-in* che elimini un rumore tonale (*Tonal Noise*) così da coprire quella gamma di frequenze alte che non sono contemplate nel vocabolario di un modulo per la soppressione del rumore di fondo.

Il rumore a banda larga (*Hiss*) invece, a differenza dell'*Hum* e del *Buzz*, è diffuso in tutto lo spettro delle frequenze e non concentrato su determinate altezze. Il fruscio del nastro magnetico e il rumore di ventole e condizionatori d'aria nel caso di una presa diretta sono buoni esempi di rumore a banda larga. In una rappresentazione spettrogrammatica, questo tipo di rumore appare come macchioline che circondano il materiale audio.

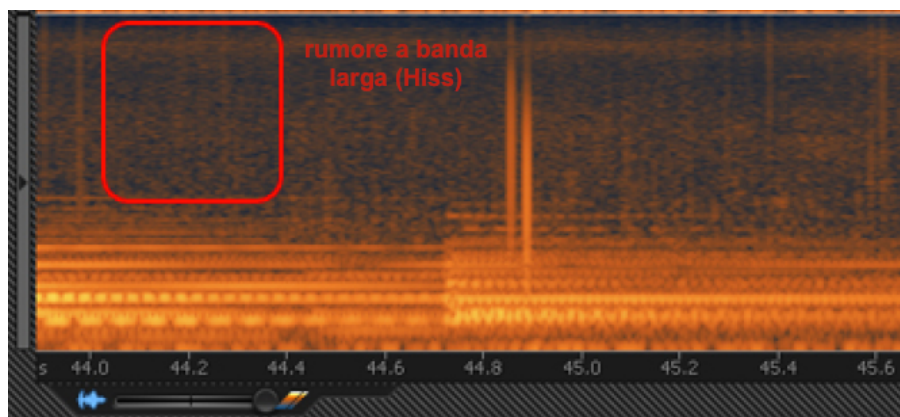


Figura 7 rappresentazione del rumore a banda larga in uno spettrogramma

A volte è consigliabile mantenere una piccola quantità di rumore a banda larga per rendere le registrazioni, nell'insieme, più naturali. È pratica comune, infatti, aggiungere questa tipologia di rumore ad alcune registrazioni troppo pulite, come nel caso di registrazioni MIDI, per simulare le caratteristiche del rumore di fondo del nastro magnetico, o a registrazioni analogiche effettuate in camere anecoiche, per aggiungere una giusta auralizzazione²⁴.

Nel processo di rimozione del rumore di fondo, infatti, si tenta di individuare e rimuovere gli elementi fastidiosi e invadenti come il sibilo nelle alte frequenze e i rumori meccanici, conservando invece quegli elementi che non sono di disturbo, ma rappresentano, in un contesto audio, l'ambiente presente e udibile.

Oltre a rumori continuativi, possiamo riscontrare brevi rumori d'impulso come i *Clicks* e i *Pops* specialmente nel caso di riversamenti effettuati da vinile, o nel caso di registrazioni fatte tramite un *DAW (Digitale Audio Workastation)* durante le quali, un'impropria impostazione del *buffer* introduce simili errori digitali. In entrambi i casi, questi brevi impulsi verranno visualizzati nello spettrogramma come linee verticali più o meno luminose a seconda dell'ampiezza del rumore.

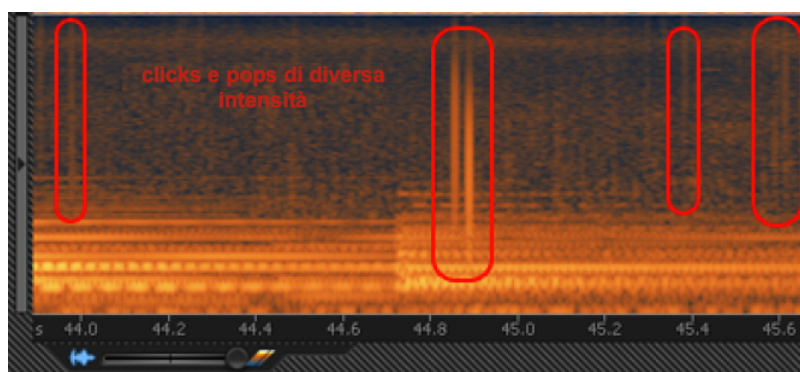


Figura 8 Clicks e Pops

²⁴ Questo argomento sarà ampiamente trattato nel prossimo capitolo.

I numerosi *plug-in* usati per la rimozione di tali disturbi possono essere lanciati in automatico per una scrematura degli errori più evidenti o usati manualmente nelle porzioni di materiale in cui è necessario un lavoro più accurato.

È il caso dei rumori intermittenti: questi non sono originati da un processo digitale, sia esso riversamento o registrazione, ma appaiono come errori non volontari nelle registrazioni in presa diretta. Gli esempi includono tosse, starnuti, passi, clacson, squilli di telefono e rumori assimilabili a questa tipologia. Sono facilmente individuabili in uno spettrogramma perché appaiono come linee orizzontali estranee al contesto principale del materiale audio in questione.

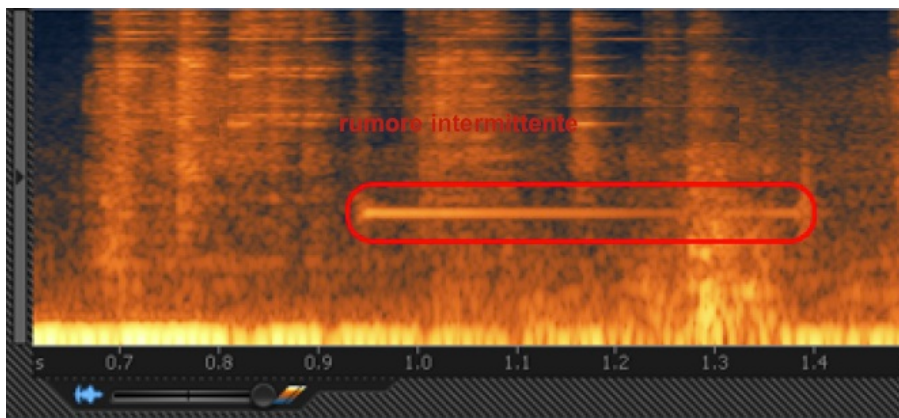


Figura 9 rumore intermittente

Per la natura così casuale dei disturbi, l'intervento manuale e le impostazioni *ad hoc* per i singoli casi risultano necessari per il raggiungimento di un buon risultato. È pratica consolidata sostituire le porzioni occupate dai rumori intermittenti con materiale audio circostante²⁵ per dare coerenza all'intero elaborato.

Un altro problema comune si verifica quando un forte segnale acustico distorce sull'input di una scheda audio / convertitore, mixer, registratore o altro hardware di equipaggiamento. Il risultato di questa sovrabbondanza di segnale (*Clipping*) è una

²⁵ Per materiale circostante s'intende materiale prossimo nella *time – line* del clip audio, pari a pochissimi millisecondi.

distorsione di sovraccarico. Per meglio visualizzare la problematica si preferisce in genere utilizzare la rappresentazione della forma d'onda, che permette di vedere in modo molto chiaro le sezioni squadrate della sinusoide tipiche del *clipping* (*clipped peaks*).

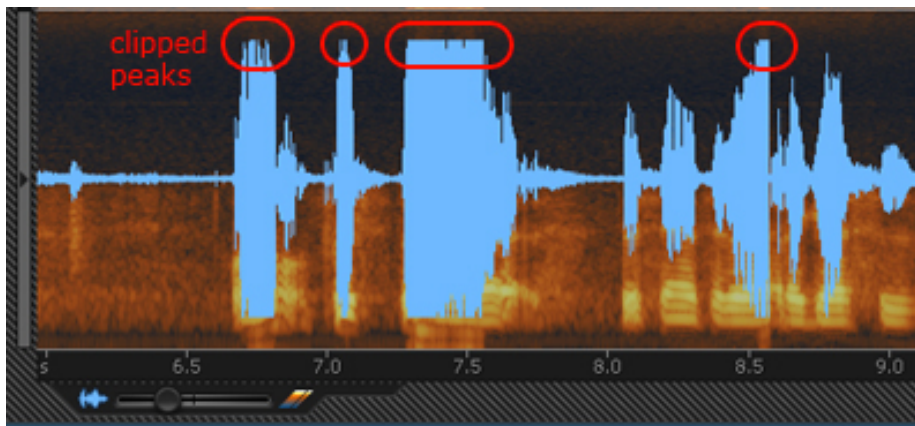


Figura 10 creste squadrate (*clipping*)

Sebbene non tutti i tipi di distorsione possono essere rimossi, alcuni *plug-in* permettono, in molti casi, di ricostruire i picchi squadrate sia analogici che digitali e ripristinare la registrazione a uno stato più naturale del suono.

Il caso più particolare di errore durante una digitalizzazione è rappresentato da brevi tratti di audio mancante o danneggiato, definiti più propriamente con i termini *Gap* e *Drop Out*.

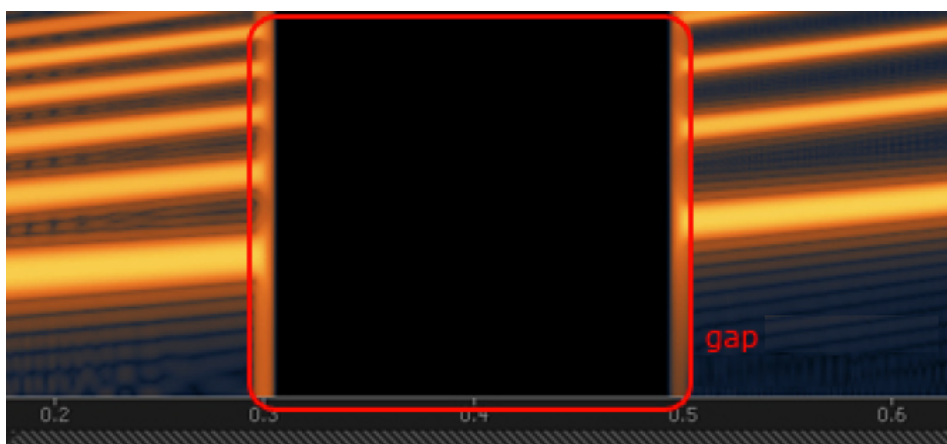


Figura 11 Gap di tre decimi di secondo in un sample di White Noise.

Un software in particolare, *iZotope RX Advanced*, è fornito di un modulo, l'*RX Spectral Repair*, che può essere utilizzato per risintetizzare lacune audio, fino a poco più di mezzo secondo, utilizzando le informazioni circostanti per colmare il divario e ricompilarlo con informazioni *ex novo* create usando modelli avanzati di ri-sintesi.

Visto il lasso di tempo in questione, raramente percettibile anche al più attento tra gli ascoltatori, lo strumento messo a disposizione dal software in questione è davvero unico ed utile e, a parer mio, utilizzabile in questi casi senza incorrere in quella critica che vede nella ricostruzione sintetica, una pratica poco ortodossa non concessa nel restauro.

Ognuno dei *plug-in* utilizzati per pulire il materiale audio da *Clip, Pop, Clicks, Hum, Buzz, Hiss, Broadband Noise, Intermittent Noise* hanno innumerevoli parametri personalizzabili: questo non solo perché il lavoro ad opera di ogni singolo operatore è riconducibile ad una propria pratica maturata con l'esperienza in campo, ma per la vastissima casistica e tipologia dei materiali sui quali si effettua il restauro.

I manuali dei diversi software presentano una chiara spiegazione della relativizzazione digitale e grafica degli strumenti analogici più comunemente usati in uno studio di registrazione e le relative funzioni (*Gain, Threshold, Knee, Ratio, Dither, Low-cut, High-Cut, etc.*).

Questo presuppone, da parte dell'operatore che restaura digitalmente l'audio, un'approfondita conoscenza dei macchinari usati nel *recording process*.

La raccolta d'informazioni, quando possibile, sulle suddette attrezzature, rende ancora più dettagliato il campo di azione in quanto, la storicizzazione dei mezzi usati riduce, a volte drasticamente, il tempo di lavoro, fornendo informazioni precise e utili sulla qualità e la natura del materiale audio²⁶.

²⁶ Come trattato ampiamente nel capitolo I, l'evoluzione dei mezzi di registrazione e di riproduzione ha portato ad un'amplificazione delle caratteristiche del suono rappresentate.

Escludendo dall'elenco quindi, tutto il processo di documentazione inerente non solo al materiale da restaurare, ma alle attrezzature utilizzate e all'architettura acustica nella quale è stato registrato, la mia personale esperienza mi ha portato a fissare un percorso utile, in pratica, al processo.

Nella maggior parte dei casi l'iter è il seguente:

1. *back up* multipli del materiale originale e *back up* frequenti nella sequenza di lavoro;
2. prima pulitura dei difetti più evidenti: questo permette di ottimizzare il tempo utilizzando gli automatismi del software e di portare alla luce, difetti altrimenti non individuabili;
3. ascolto ripetuto ma a distanza di tempo del materiale sul quale si opera, per disabituare l'orecchio all'ascolto dello stesso spezzone e rinfrescare così la capacità di *focus* sui particolari. La psico-acustica è sempre tenuta in considerazione in questo caso come nel successivo;
4. utilizzo della funzionalità *Compare* che permette un rapido cambio delle diverse impostazioni per un raffronto veloce ed efficace tra le diverse versioni del restauro;
5. compilazione di una sorta di diario di bordo dove specificare, oltre alle operazioni effettuate, tutti i parametri e le impostazioni manuali per un recupero pratico in caso di necessità.

I suddetti punti rappresentano solo le stazioni di un personale percorso che riguarda, nello specifico l'utilizzo di un software principale, *Protools 9 HD*, e dei *plug-in* del *bundle iZotope RX Advanced*.

CAPITOLO III: ACUSTICA ARCHITETTONICA E AURALIZZAZIONE: SPERIMENTAZIONE NEL PROCESSO DEL RESTAURO DIGITALE

3.1: acustica degli anfiteatri romani e greci

Un pregio particolare degli anfiteatri greci e romani, luoghi in cui ancora oggi, ove presenti, vengono eseguite diverse rappresentazioni, è la possibilità per gli spettatori di seguire senza alcuna difficoltà voci, dialoghi e suoni provenienti dal palcoscenico o dal fondo dell'ambiente.

La caratteristica di queste antiche costruzioni, infatti, è la poderosa acustica naturale che si pone come principale enunciato degli ambienti realizzati per la fruibilità del suono.

Un articolo del settimanale *New Scientist*²⁷ ha affrontato e discusso la problematica che, nonostante sia stata risolta all'incirca duemila anni fa in modo empirico, è ancora oggi un elemento di primaria importanza per rendere i teatri e le sale da concerto, le chiese e persino le normali sale per convegni adatti a far giungere distintamente al pubblico le voci di chiunque si presenti sul palcoscenico per recite, spettacoli musicali, conferenze o altro.

I risultati di un lavoro di ricerca compiuto da un'*equipe* di esperti di acustica dell'*Università di Sheffield U.K.* sulla tecnica costruttiva di sei anfiteatri antichi ha portato a conclusioni davvero sorprendenti.

Si è accertato finalmente quali fossero le regole e i principi adottati per ottenere i migliori risultati acustici in ambienti aperti. Qualche elemento certamente ci è pervenuto attraverso l'opera fondamentale dovuta a Vitruvio, architetto romano del I secolo

²⁷ Numero 2595 del 17 Marzo 2007, *Sound principles guided design of Greek amphitheatres.*

a. C., *De Architectura*²⁸, ma si tratta di principi costruttivi e tecniche di vario tipo che, per quanto molto dettagliate ed esaurienti, rimangono pur sempre di carattere generale per quanto riguarda le leggi della fisica chiamate in causa in particolare dallo studio dei teatri all'aperto.

La buona o ottima acustica degli anfiteatri non era, infatti, un problema tecnico apparentemente risolto con metodi pratici e canonizzati ma il risultato della perfetta conoscenza di un principio fisico semplice ma essenziale: il riverbero delle onde sonore sui materiali adoperati dai costruttori, normalmente la pietra e il legno, e l'angolazione di questi rispetto alla sorgente sonora.

La diversa tipologia di materiale conduceva a risultati diversi come testimonia il confronto tra le strutture del *Teatro greco-romano di Taormina* in Sicilia e dell'*Anfiteatro di Pompei* in Campania, entrambi in pietra lavica, e l'*Anfiteatro di Lecce*, costruito con una pietra locale molto compatta e per questo con una struttura elaborata *ad hoc*.

Gli esperti dell'università inglese hanno dunque accertato, sulla base della scienza, le relazioni esistenti tra i diversi elementi strutturali quali la pendenza data agli anfiteatri, molto spesso situati sui fianchi di una collina o su un semplice scoscendimento del terreno, la disposizione delle gradinate dove si sedevano gli spettatori, la loro altezza calcolata in base alla capienza del teatro ed il numero di spettatori previsto, la grandezza del palcoscenico e dell'orchestra (spazio antistante) ed il materiale utilizzato per la costruzione della struttura.

Se prima, quindi, nella progettazione architettonica, ci si limitava ad una mera imitazione delle strutture che presentavano una buona acustica senza conoscerne le ragioni, i parametri e le relazioni tra i diversi elementi, oggi è possibile misurare o calcolare a priori la riverberazione, l'isolamento ed il

²⁸ Vitruvio, *De Architectura*, Libro V, traduzione a cura di Antonio Corso – Elisa Romano, I Millenni, 1997.

controllo del rumore, la distribuzione e l'assorbimento del suono per ottenere ambienti che mirano alla intelligibilità del parlato, alla libertà da rumori esterni indesiderati e alla ricchezza della musica.

A dettare i principi basilari di questa scienza chiamata acustica architettonica, fu, tra il 1895 e il 1915, Wallace Clement Sabine, Professore di Matematica e Fisica presso l'*Università di Harvard*.

3.2: la Scienza del suono: da Sabine ai giorni nostri

Nel 1895 l'*Università di Harvard* aprì il *Fogg Art Museum*, oggi *Fogg Museum*, un meraviglioso edificio che conteneva al suo interno un'altrettanto meravigliosa e grande sala – conferenze. Purtroppo, fin dalla prima *lectio* tenuta nello spazio adibito, risultarono chiare le problematiche acustiche che non permettevano nessuna possibilità di comprensione dei discorsi pronunciati. Per risolvere lo spiacevole inconveniente, *Harvard* si rivolse a uno dei suoi più promettenti collaborati, Sabine per l'appunto, all'epoca ventisettenne e assistente alla cattedra di Fisica.

Egli avvicinò i problemi dell'acustica architettonica munito di una mente acuta e indagatrice, un buon orecchio, e strumenti quali un cronometro e un organo a canne con un serbatoio di aria compressa come fonte sonora. Identificò così il motivo per il quale i discorsi nella sala del *Fogg Art Museum* erano inintelligibili: il suono persisteva troppo a lungo, cioè la struttura presentava un'eccessiva riverberazione.

Il fenomeno fu ridotto ricoprendo di feltro alcuni muri, facendo diventare la sala «non eccellente, ma del tutto atta allo scopo»²⁹.

Sabine fu il primo a definire il tempo di riverberazione, un parametro molto importante nello studio dell'acustica delle sale da concerto. Secondo la sua definizione, questo era il tempo impiegato da un suono riverberante per divenire appena udibile. Molti anni dopo, quando divenne possibile eseguire misurazioni elettroniche del livello d'intensità sonora, il tempo di riverberazione venne definito come il tempo impiegato da un suono, dopo il suo spegnimento, per decrescere di 60 dB di livello d'intensità.

²⁹ <http://encyclopedia.jrank.org/articles/pages/3561/Sabine-Wallace-Clement.html>

Sabine non si limitò solo alla sua definizione ma inventò anche un modo utile e abbastanza preciso per calcolarne i tempi in funzione del volume e della frazione del suono incidente riflesso dai muri e dalle altre superfici.

Lavorando in una camera sotterranea con muri di cemento e mattoni, egli riuscì a misurare i coefficienti di assorbimento di molti materiali diversi, la trasmissione del suono e il modo per isolare acusticamente le stanze, necessità all'epoca molto sentita nei conservatori.

Lo scopo degli studi di Sabine era principalmente mirato al miglioramento dell'acustica delle sale progettate da architetti che erano totalmente all'oscuro delle necessità degli ascoltatori. Egli stesso progettò una sala, la *Symphony Hall* di Boston, costruita nel 1900, che ancor oggi è una delle migliori sale da concerto del mondo.

La ricerca sull'acustica architettonica, al giorno d'oggi, non viene più condotta esclusivamente negli Stati Uniti dove è nata, ma in altri paesi europei, come la Germania o l'Italia, dove si stanno raggiungendo risultati eccellenti.

Le problematiche nell'acustica architettonica sono, generalmente, due: la prima mira a ricercare nella progettazione dello spazio e nell'utilizzo dei diversi materiali un ambiente che permetta agli esecutori una giusta percezione del suono o, come si dice in gergo, un bel suono; la seconda verte sulla successiva trasmissione al pubblico.

La progettazione di sale da concerto richiede inoltre una particolare attenzione alla riduzione del rumore esterno e all'eliminazione del rumore interno, come nel caso di sistemi di condizionamento dell'aria la cui collocazione non è stata ottimizzata per lo scopo.

In sintesi, lo studio mira a trovare l'ottimale condizione di riverberazione affinché i musicisti, solista o *ensemble* che siano, o gli oratori, riescano ad avere una percezione ottimale del suono, calcolata come somma della fonte e del suo ritorno

(riverbero), e che la stessa possa essere anche ad appannaggio del pubblico.

Sabine stesso riuscì a calcolare, con metodo empirico, la differenza di riverberazione ottimale, stabilendo un tempo maggiore per le sale da concerto ed uno minore per quelle destinate alle conferenze.

Questa problematica si accentua quando si pone nel contesto di esecuzioni all'aperto.

I rumori esterni sono, infatti, naturalmente più cospicui e, anche se risulta facile sistemare superfici riflettenti vicine all'orchestra per permettere agli orchestrali di sentirsi l'un l'altro, è davvero difficoltoso far arrivare al pubblico il suono per sola riverberazione, almeno non senza un sistema di amplificazione artificiale.

In altri termini, si può affermare che senza l'ausilio dell'elettronica, la musica all'aperto non può avere la stessa risoluzione di qualità di una sala da concerto.

Dai tempi di Sabine sono stati fatti molti progressi: sono state acquisite nuove conoscenze sulla psico-acustica (tra tutte la definizione dell'effetto *Haas*³⁰) e, grazie all'utilizzo di mezzi elettronici per la produzione e la misurazione del suono, si è potuto avanzare nello studio delle risorse che l'acume di pochi ma valenti studiosi aveva posto come fondamenta dell'acustica architettonica.

Le formule di Sabine, riviste in seguito da C.F. Eyring³¹, vennero accettate per più di mezzo secolo. Solo negli anni Sessanta, alcune misurazioni condotte con apparecchiature elettroniche in varie sale, moderne e antiche, mostrarono alcune limitazioni delle stesse, confermandone però la giusta intuizione.

³⁰ L'effetto si verifica quando il ritardo tra due segnali, uno diretto e l'altro riflesso, è sufficientemente piccolo, minore cioè di 30-35ms. Questo comporta da parte del cervello, la percezione di un unico suono la cui direzione sarà quella del suono con maggiore intensità.

³¹ Eyring, C. F. *Reverberation time in 'dead' rooms*, J. Acoust. Soc. Am. 1, 168, 1930.

È proprio l'avanzamento tecnologico degli strumenti che apre lo studio verso l'orizzonte di dati sempre più precisi e completi.

Un sistema di calcolo consiste nel seguire, con un computer digitale, le riflessioni successive di raggi rappresentanti i vari cammini delle onde sonore: alcuni raggi incontreranno materiale assorbente e perderanno energia dopo la riflessione, altri saranno riflessi da pareti di legno o intonacate e perderanno meno energia.

Nel 1970 Schroeder pubblicò un articolo nel quale, utilizzando questo sistema di simulazione al computer, presentava alcuni esempi sui tempi di riverberazione relativi ad ambienti chiusi, bidimensionali, di forma irregolare, aventi alcune pareti rivestite di materiale assorbente³². Schroeder confrontò la curva rappresentante il livello di intensità sonora espresso in dB in funzione del tempo, il tempo di riverberazione cioè, con le curve ottenute con le formule di Sabine ed Eyring, ottenendo dati meno approssimativi dei suoi predecessori.

Questi risultati sono importanti non solo per la progettazione delle sale da concerto, ma anche per la determinazione dei coefficienti di assorbimento di vari materiali da adoperare nella costruzione.

Una prospettiva diversa, ma sempre inerente al discorso, si apre quando si affronta il problema della riproduzione delle caratteristiche acustiche di una sala da concerto: questa è parte integrante del processo di riverberazione quando il luogo addetto all'esecuzione è all'aperto, come si accennava prima, o talmente ampio da prevedere l'utilizzo di attrezzature elettroniche per una corretta propagazione del suono e delle sue caratteristiche.

³² M. R. Schroeder, *Computer models for concert hall acoustics*, Am. J. Phys. 41, 461-471, 1973.

Nel 1967, lo stesso Schroeder, insieme a Bishnu Atal, mostrò come due altoparlanti potessero produrre una fonte sonora apparente collocata esternamente ad essi³³.

P. Damaske e V. Mellert usarono lo stesso effetto nel 1969 per produrre un sistema stereo perfetto³⁴. I suoni venivano raccolti da due condotti auditivi di una testa finta munita di due padiglioni auricolari, per poi essere filtrati, elaborati e inviati a due altoparlanti situati in una camera anecoica: i suoni emessi dai due altoparlanti potevano ricreare nei condotti auditivi della testa finta esattamente le stesse sollecitazioni di pressione sonora che erano state prese quando la testa era esposta alla registrazione dal vivo.

Con una registrazione di questa tipologia si può, in termini più semplici, ricreare esattamente per un ascoltatore posto in una camera anecoica³⁵, quello che un altro ascoltatore, la testa finta di questo esperimento, ha percepito nella sala.

Questo permette la totale riproduzione dell'acustica propria di un determinato ambiente ma anche, tramite l'analisi parametrica dei valori, un confronto efficace della qualità del suono riprodotto in diverse strutture.

Grazie a questi studi è stata possibile la realizzazione di sale di concerto il cui tempo di riverberazione può essere modificato cambiando l'angolazione di pannelli assorbenti tramite sistemi elettronici, come avviene all'*Espace de Projection* all'*IRCAM* di Parigi³⁶.

Per concludere, Sabine definì chiaramente i requisiti fondamentali per ottenere una buona acustica in un auditorium qualsiasi. Affinché questo si verifichi bisogna che:

³³ J. R. Piercen, *La scienza del suono*, Bologna, Zanichelli Editore, 1988.

³⁴ R. M. Aarts, *JAES* Volume 48, Issue 3, pp. 181-189; March 2000.

³⁵ Ambiente strutturato in modo da ridurre il più possibile la riflessione sulle pareti.

³⁶ V. M. A. Peutz, *AES Convention 59*, Paper Number 1310, February 1978.

1. il suono sia sufficientemente forte;
2. le componenti contemporanee di un suono complesso mantengano un rapporto appropriato tra le loro intensità;
3. suoni successivi nella loro rapida articolazione, sia che si tratti di parlato, sia che si tratti di musica, siano chiari e distinti, liberi da sovrapposizione mutua e da rumori estranei.

La trattazione dell'argomento è spesso correlata da innumerevoli formule e calcoli che ho ommesso perché più pertinenti ad una esposizione di carattere matematico – fisica degli studi. Ho invece preferito tracciare per larghe linee l'evoluzione dei quei ragionamenti che hanno portato a stabilire le condizioni necessarie, nonché del tutto sufficienti, per una buona acustica. I requisiti che Sabine esprimeva più di tre quarti di secolo fa si concretizzano fisicamente in una serie di parametri che, prendendo spunto dalle caratteristiche intrinseche alla struttura di un teatro, lo fanno intendere in altri termini, più tecnici ed elitari, come un «sistema lineare tempo invariante», caratterizzato pertanto dalla sua «risposta all'impulso»³⁷.

³⁷ S. Cingolani, R. Spagnolo, *Acustica musicale e architettonica*, Città Studi, 2007.

3.3: auralizzazione

L'auralizzazione è un processo che consente di combinare un suono registrato in ambiente anecoico con la risposta all'impulso di un ambiente reale, misurata o simulata, e che fornisce l'*output* acustico del suono anecoico come se fosse stato riprodotto nell'ambiente reale, aggiungendogli quindi il riverbero dovuto alle caratteristiche acustiche di quest'ultimo. Le applicazioni sono le più svariate e spaziano dalla simulazione della correzione di acustica di un ambiente sino allo studio della qualità del suono.

Quando, durante la notte del 29 gennaio 1996, il famoso e rinomato *Gran Teatro La Fenice* di Venezia bruciò, uno dei migliori teatri d'opera del mondo improvvisamente sparì. Il suo suono meraviglioso era comunque almeno parzialmente salvo perché, proprio due mesi prima, alcune misurazioni acustiche erano state effettuate utilizzando la tecnica della risposta all'impulso binaurale³⁸.

La disponibilità di tali misurazioni fu molto fondamentale durante la progettazione della ricostruzione del teatro e dimostrò l'importanza di acquisire e salvare per i posteri la risposta acustica delle sale da concerto.

M. Gerzon per primo propose di iniziare una sistematica raccolta di risposte all'impulso tridimensionali misurate in antichi teatri ed in sale da concerto, onde valutare il comportamento acustico di queste ultime e preservarlo per le future generazioni³⁹. La sua proposta ha trovato una favorevole risposta solo in tempi molto recenti con la pubblicazione della *Carta di Ferrara*⁴⁰ e con la nascita di un gruppo internazionale

³⁸ L. Tronchin, A. Farina, *The acoustics of the former Teatro "La Fenice", Venice*, JAES Vol. 45, Numero 12, 1997, p. 1051.

³⁹ M. Gerzon, *Recording Concert Hall Acoustics for Posterity*, JAES Vol. 23, Numero 7, 1975, p. 569.

⁴⁰<http://www.minervaeurope.org/structure/nrg/documents/charterparma031119final-i.htm>

di ricercatori che si sono accordati sulla metodologia sperimentale da seguire per raccogliere questi dati.

Finora solo di un modesto numero di teatri si ha una caratterizzazione completa mediante risposte tridimensionali all'impulso.

Il procedimento mira ad ottenere l'auralizzazione di segnali sonori anecoici, facendo impiego delle risposte all'impulso rilevate sperimentalmente in un dato ambiente e consentire di ascoltare l'effetto prodotto dal teatro in esame, che può così essere facilmente confrontato con quello di altri teatri.

Storicamente la tecnica dell'auralizzazione deriva da quella, usata ormai da oltre trenta anni, di registrazione stereofonica mediante microfoni binaurali collocati su una testa artificiale.

Tale tecnica consisteva nella registrazione di rappresentazioni musicali nei teatri, che potevano essere ascoltate con grande fedeltà mediante riproduzione in cuffia.

Grazie ad un'analisi dei dati in una prospettiva evolutiva, si è resa possibile la separazione tra la registrazione dell'evento artistico e la sua riproduzione in un particolare spazio: se, infatti, la musica ed il canto vengono preventivamente registrati in una camera anecoica, è possibile aggiungere in seguito l'effetto di un particolare spazio acustico, in questo caso un teatro, mediante un opportuno filtraggio numerico di tali segnali anecoici. In tal modo può essere ricreata con grande realismo la sensazione di ascolto che si avrebbe nel teatro senza la necessità di doverlo registrare di nuovo nello stesso⁴¹.

Tale procedimento è stato denominato *auralizzazione*, in analogia al quello di visualizzazione che consente di riprodurre immagini anziché suoni.

Partendo dall'originale implementazione del metodo, che prevedeva l'utilizzo di risposte all'impulso binaurali come filtri numerici per l'auralizzazione, e che dunque era idoneo solo alla

⁴¹ M. Kleiner, B. Dalenback, P. Svensson P, *Auralization - An Overview* - JAES, vol. 41 N.11, November 1993, p.861-875.

riproduzione in cuffia, si sono avuti, in questi ultimi due anni, significativi progressi: oggi è possibile realizzare filtri numerici idonei alla riproduzione del segnale auralizzato su una normale coppia di altoparlanti stereo, meglio se posti a breve distanza fra loro (*stereo dipole*)⁴².

Inoltre, se nel teatro erano state misurate risposte all'impulso *B-Format*, è possibile utilizzare le stesse per la realizzazione di una completa riproduzione del segnale auralizzato secondo la metodica *Ambisonics*⁴³, che prevede un elevato numero di altoparlanti posti intorno alla zona di ascolto, con corretta riproduzione dell'informazione tridimensionale, compresi i suoni che provengono dall'alto o dal basso.

Alla base di tutti questi effetti, comunque, troviamo un'unica, semplice formulazione matematica, basata sulla convoluzione fra i segnali anecoici ed i filtri numerici (risposte all'impulso).

Nel presentare la teoria matematica dell'auralizzazione, nelle sue varie implementazioni, riporterò solo le due formule matematiche della convoluzione analogica e digitale, omettendo quindi, tranne che all'inizio del processo, le complicate rappresentazioni matematiche e grafiche delle complesse funzioni che ne conseguono: le due formule in questione, per logica e semplicità, illustrano il processo in modo sintetico e chiaro.

La convoluzione di un segnale continuo $x(\tau)$ con un filtro lineare caratterizzato dalla risposta all'impulso $h(\tau)$ produce un segnale d'uscita $y(\tau)$ dato dalla ben nota relazione:

$$y(\tau) = x(\tau) * h(\tau) = \int_0^{\infty} x(\tau - t) \cdot h(t) dt$$

Quando il segnale in ingresso e la risposta all'impulso sono segnali digitali, e quindi campionati ($\tau = i \cdot \Delta\tau$), e la risposta

⁴² O. Kirkeby, P. A. Nelson, and H. Hamada, *Virtual Source Imaging Using the Stereo Dipole*, Pre-prints of the 103rd AES Convention, New York, 26-29 September 1997.

⁴³ M. Gerzon, *Ambisonics in multichannel broadcasting and video*, JAES Vol 33, No:11, Nov. 1985, p. 859-871.

all'impulso ha una lunghezza finita N , tale integrale si riduce ad una sommatoria:

$$y(i) = \sum_{j=0}^{N-1} x(i-j) \cdot h(j)$$

Bisogna effettuare la somma di N prodotti per ciascun dato campionato, e ciò produce un numero molto alto di somme e moltiplicazioni. Questo calcolo avviene in virgola mobile⁴⁴ per evitare *overflow* ed un rumore numerico eccessivo. Per tali ragioni la *direct true convolution* in tempo reale, attualmente si può effettuare solo nei casi di risposte all'impulso lunghe poche centinaia di punti, mentre per descrivere in modo soddisfacente la risposta all'impulso di una tipica sala da concerto ci vogliono almeno 100000 punti (alla frequenza di campionamento di 44.1 kHz).

Il calcolo della convoluzione può essere significativamente semplificato sfruttando la *FFT (Fast Fourier Transform)* e la *IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)*, poiché una convoluzione nel dominio del tempo si riduce ad una semplice moltiplicazione nel dominio della frequenza tramite lo spettro complesso di *Fourier* del segnale d'ingresso e della risposta all'impulso. Poiché l'algoritmo di *FFT* suppone che il segmento di segnale analizzato sia periodico, la semplice implementazione del calcolo nel dominio della frequenza produce risultati insoddisfacenti: occorre infatti rimuovere dal segnale d'uscita la periodicità causata dall'*FFT* mediante due algoritmi, chiamati *overlap-add* e *select-save*.

I due algoritmi producono un flusso di dati molto ampio che richiede un'allocazione di memoria molto grande, tipicamente 1 Mb, per memorizzare la sequenza d'ingresso o il segnale d'uscita e che fissa il fabbisogno totale per l'intero processo

⁴⁴ Metodo di rappresentazione dei numeri razionali (e di approssimazione dei numeri reali) e di elaborazione dei dati usati dai processori per compiere operazioni matematiche.

nell'ordine di qualche Mb. Questa è la ragione per la quale non può essere facilmente implementato sulle diffusissime schede *DSP* di basso costo che non sono dotate di tali quantità di memoria.

Sino ad un anno fa circa, il processo di convoluzione poteva essere realizzato solo in tempo reale e tramite sofisticate e costosissime *workstation*⁴⁵: oggi sono disponibili appositi moduli addizionali (*plug-ins*) per riproporre il procedimento *offline* sui principali software di manipolazione delle forme d'onda installati su terminali di fascia alta. Alcuni di essi, inoltre, includono già un modulo di convoluzione, come nel caso di *Cool Edit Pro*, prodotto per *Adobe* da *Syntrillium Software*⁴⁶.

Le tecniche di riproduzione sono principalmente tre: l'auralizzazione con ascolto in cuffia, con riproduzione su altoparlanti stereo e la riproduzione di un segnale *B-Format* su un sistema di altoparlanti *Ambisonics*.

Per l'effettuazione dell'auralizzazione con ascolto in cuffia è sufficiente disporre di risposte all'impulso binaurali, ottenute piazzando la testa artificiale in una idonea posizione nel teatro, e collocando l'altoparlante omnidirezionale in una o più posizioni significative. Per quanto riguarda l'opera lirica, è necessario l'utilizzo di almeno due risposte all'impulso binaurali, una con sorgente sul palcoscenico e l'altra con sorgente in fossa. La prima sarà utilizzata come filtro per la traccia audio contenente la voce dei cantanti, la seconda per la base orchestrale.

Risultati migliori si ottengono, soprattutto in termini di effetto spaziale della riproduzione, se l'emissione dell'orchestra è divisa in alcune sezioni e se ciascuna di esse viene convoluta con una risposta all'impulso diversa, ottenuta dalla

⁴⁵ D. McGrath, A. Reilly, *Huron - A Digital Convolution Workstation* - Audio Engineering Society - Sydney - The 5th Australian Regional Convention, 1995.

⁴⁶ <http://www.adobe.com/special/products/audition/syntrillium.html>

corrispondente posizione della sorgente sonora omnidirezionale. Analogamente, se sul palcoscenico sono presenti più cantanti, la traccia audio di ciascuno andrebbe convoluta con la risposta all'impulso binaurale corrispondente alla posizione da esso occupata.

La seguente figura illustra lo schema di tale multi-convoluzione:

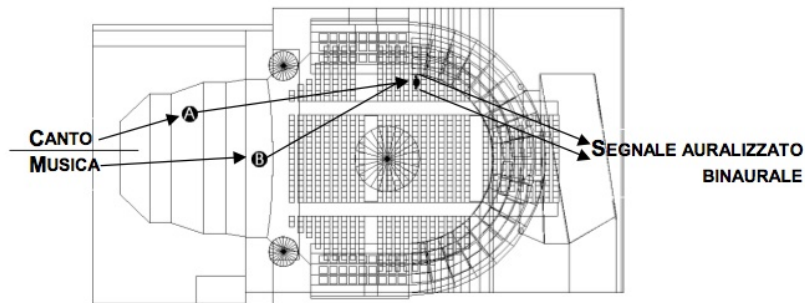


Figura 12 – schema di convoluzione multipla

Va osservato che il segnale prodotto dalla convoluzione di un segnale anecoico con una risposta all'impulso binaurale è idoneo prettamente all'ascolto tramite cuffia. Ciononostante, applicando un'idonea equalizzazione in frequenza che tenga conto del particolare modello di testa artificiale impiegata e di cuffia d'ascolto utilizzata, riusciamo a creare un suono con una connotazione più universale e riproducibile da apparecchiature più eterogenee. Questo può essere fatto misurando dapprima la risposta della testa binaurale con la cuffia applicata su di essa, indi filtrando opportunamente i segnali convoluti in modo da compensarla per tale risposta in frequenza.

Il risultato di tale misurazione, fatta con *Cool Edit Pro*, è visibile nella seguente figura:

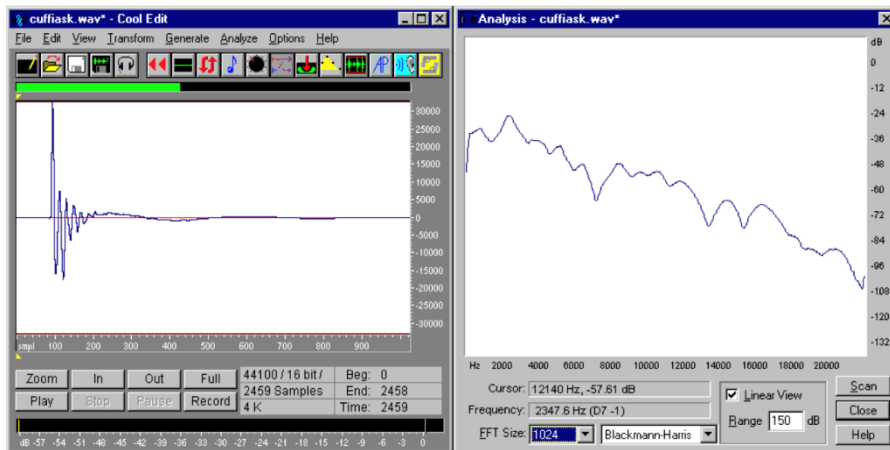


Figura 13 – risposta all’impulso ed in frequenza del complesso cuffia-testa

L’equalizzazione della risposta in frequenza è ottenuta creando un opportuno filtro inverso a fase minima, secondo la procedura di Nelly e Allen⁴⁷. La seguente figura illustra il filtro inverso così ottenuto, che può venire applicato al segnale binauralizzato mediante una ulteriore convoluzione:

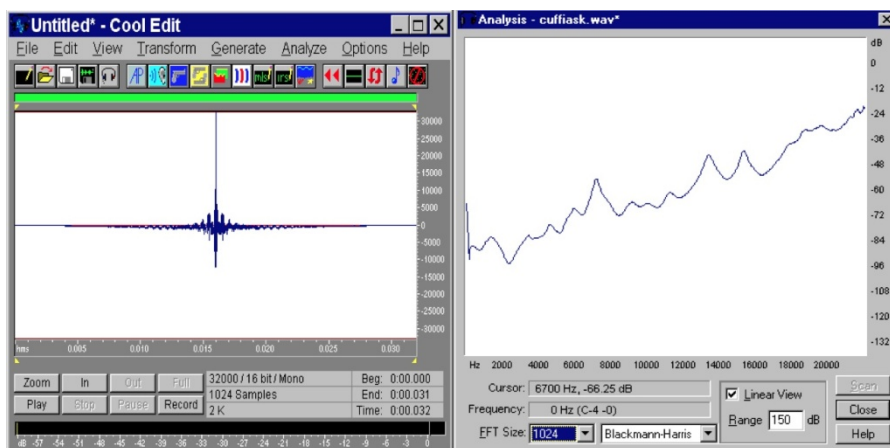


Figura 14 – Filtro inverso per l’equalizzazione.

La procedura diventa poco più complessa nel caso di una riproduzione su altoparlanti stereo.

⁴⁷ S.T. Neely, J.B. Allen, *Invertibility of a room impulse response*, J.A.S.A., vol.66,1979, pp.165-169.

Una registrazione binaurale, infatti, o un'auralizzazione ad essa equivalente non potrebbe venire riprodotta come tale su una normale coppia di altoparlanti stereo, per due motivi:

- 1) il segnale proveniente dall'altoparlante sinistro finisce anche sull'orecchio destro, e viceversa;
- 2) il segnale binaurale contiene già le risposte in frequenza dell'orecchio esterno, che verrebbe in tal modo riapplicata una seconda volta.

La rappresentazione grafica che segue mostra ciò che accade quando una coppia di altoparlanti è posta di fronte ad un ascoltatore: il segnale proveniente da ciascun altoparlante raggiunge entrambe le orecchie, cosicché all'ingresso del canale uditivo i canali destro e sinistro arrivano mixati.

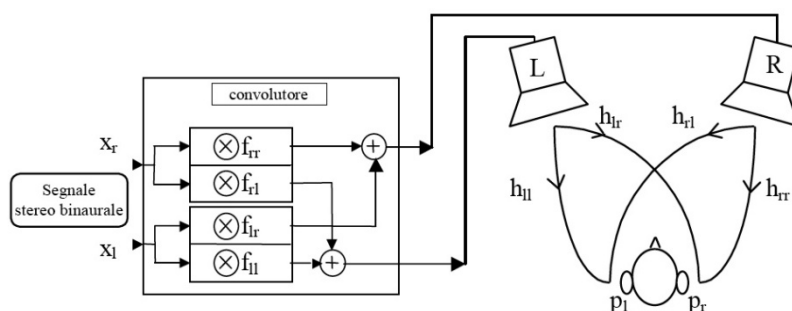


Figura 15 - percorso dei segnali che giungono alle orecchie attraverso gli altoparlanti

La funzione di trasferimento relativa alla testa HRTF (*Head Related Transfer Functions*) è già compresa nelle risposte all'impulso usate per la convoluzione binaurale, ma il segnale che arriva dagli altoparlanti interferisce nuovamente con la testa dell'ascoltatore, e in questo modo il filtraggio dovuto alla testa viene operato due volte.

Per queste ragioni è necessario usare un algoritmo che ritrasformi i segnali che arrivano alle orecchie, in modo che sull'orecchio sinistro arrivi solo il segnale stereo sinistro e sull'orecchio destro solo quello destro.

Se sono state misurate le quattro risposte all'impulso fra gli altoparlanti e le orecchie è possibile calcolare facilmente le quattro risposte all'impulso inverse, capaci di operare l'opportuno pre-filtraggio così come è accaduto nell'esempio prima riportato dell'auralizzazione binaurale in cuffia. In particolare, dopo semplici passaggi matematici che portano alla soluzione di un sistema di quattro equazioni in quattro incognite, si ottiene il risultato di misurazione delle quattro risposte all'impulso relative agli altoparlanti e alla testa dell'ascoltatore, il cui effetto, una volta invertito il segnale, è così completamente eliminato dal segnale audio da riprodurre. Così facendo viene eliminato non solo il *cross-talk*⁴⁸ (diafonia) ma anche qualsiasi altro filtraggio indesiderato dovuto alla risposta in frequenza degli altoparlanti, oltre alla funzione di trasferimento relativa alla testa, evitando il doppio filtraggio esaminato in precedenza.

È opportuno, a tal proposito, che la testa artificiale utilizzata sia la stessa già impiegata per la misura delle risposte all'impulso nel teatro, in modo che anche la particolare scelta della testa binaurale sia resa ininfluenza sul risultato.

L'esperienza mostra l'incorrere in un fenomeno dovuto alle riflessioni dell'ambiente d'ascolto che causa un effetto di *comb filter*⁴⁹ nel dominio della frequenza, producendo difficoltà numeriche nel calcolo e risposte all'impulso modificate con ampi picchi che distruggono l'originale equilibrio della risposta in frequenza.

Esistono due soluzioni per risolvere tale limitazione: se l'ascolto non può svolgersi in una sala appositamente trattata, tramite i calcoli illustrati precedentemente, si fa in modo di estrarre solo la parte anecoica delle quattro risposte all'impulso sperimentali.

⁴⁸ Rumore o interferenza elettromagnetica che si può generare tra due cavi vicini di un circuito o di un apparato elettronico.

⁴⁹ Particolare filtro che aggiunge al segnale al tempo presente una sua versione ritardata (*delay*) di un certo numero di passi.

In questo modo la compensazione digitale del *crosstalk* non tiene conto della presenza delle riflessioni dell'ambiente.

In alternativa si può usare una piccola camera anecoica: in questo caso le quattro risposte all'impulso non sono troncate, ma la loro lunghezza è ridotta applicando una finestra *semi-gaussiana*, per tagliare fuori il rumore dalla coda riverberante.

Generalizzando, il problema nell'impiego della teoria suddetta consiste nel calcolo del filtro inverso, poiché il segnale da invertire è un segnale causale, tempo-finito, a fase non minima (*mixed-phase*). In generale non esiste una soluzione esatta a questa sorta di problema: fra tutte quelle disponibili, il procedimento messo a punto da *Nelson e Kirkeby*⁵⁰ si presenta come il più adatto ed interessante. Il filtraggio inverso viene operato nel dominio della frequenza, prendendo a ciascuna frequenza il reciproco del numero complesso che esprime la funzione di trasferimento del sistema.

Sebbene in base alla teoria esposta la posizione dei due altoparlanti risulti ininfluente sul risultato, in pratica si rintraccia una posizione ottimale. Essa però non coincide con il classico triangolo stereo suggerito per l'ascolto delle normali incisioni, in cui gli altoparlanti sono collocati in posizioni situate a +/- 30° rispetto all'asse longitudinale della testa dell'ascoltatore. La posizione ottimale per ottenere la migliore *cross-talk cancellation* si ottiene posizionando i due altoparlanti molto vicini tra loro, con una apertura angolare di +/- 5°. La seguente figura pone a confronto la disposizione standard degli altoparlanti di un sistema stereo tradizionale con lo "stereo dipole":

⁵⁰ O. Kirkeby, P. A. Nelson, H. Hamada, *The "Stereo Dipole"- A Virtual Source Imaging System Using Two Closely Spaced Loudspeakers* – JAES vol. 46, n. 5, May 1998, pp. 387-395.

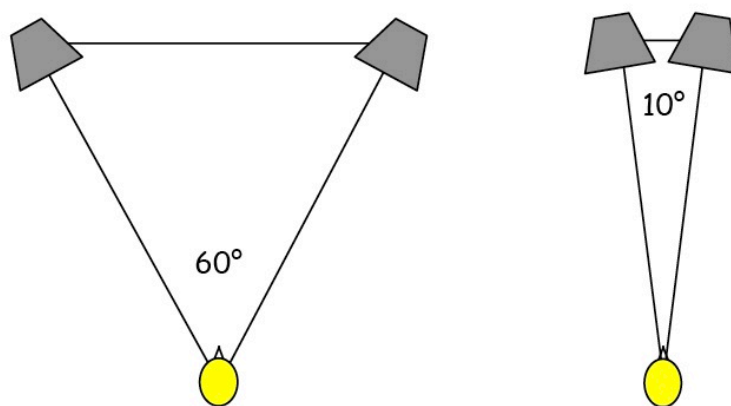


Figura 16 - Configurazione stereo standard (sx) e Stereo Dipole (dx)

Va osservato infine che è sostanzialmente conveniente distribuire i segnali auralizzati direttamente nel formato “stereo dipole” anziché in quello binaurale: in tal modo essi sono resi indipendenti dalla particolare testa artificiale impiegata diventando, come nel caso della finalizzazione per l'utilizzo in cuffia, universali e già pronti per l'ascolto su un economico sistema stereo senza la necessità di ulteriori filtraggi digitali.

Se il rilevamento della risposta all'impulso nel teatro è stato effettuato mediante un microfono *Soundfield*⁵¹ o equivalente, si hanno a disposizione risposte all'impulso di tipo *B-format*⁵², costituite da un segnale omnidirezionale (*W*) corrispondente alla pressione acustica, e da tre segnali (*XYZ*), corrispondenti alle componenti cartesiane della velocità di oscillazione delle particelle d'aria. La seguente figura illustra il significato fisico del segnale *B-format* ottenuto dal microfono tridimensionale *Soundfield*:

⁵¹ Particolare microfono dotato di quattro capsule orientate ognuna in una differente direzione e capace quindi di catturare un suono poli-dimensionale.

⁵² A. Farina, L. Tronchin, *3D Impulse Response measurements on S.Maria del Fiore Church, Florence, Italy* – Proc. of ICA98, International Conference on Acoustics, Seattle (WA) 20-26 June 1998.

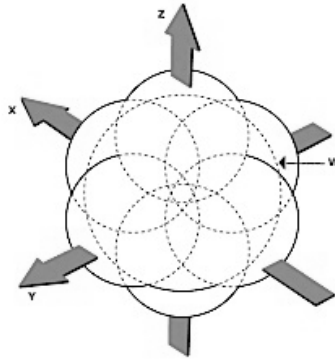


Figura 17 - diagrammi di direttività delle quattro componenti del segnale B-format

Come nei casi precedenti, è possibile ricostruire una registrazione virtuale in formato *B-format* convolvendo opportuni segnali anecoici, musica e canto per esempio, con le risposte all'impulso *B-format* ottenute con diverse posizioni della sorgente, e mixando fra loro i risultati di tali convoluzioni.

Il segnale *B-format* così ottenuto è sostanzialmente indistinguibile da una registrazione effettuata dal vivo nello stesso posto d'ascolto dello stesso teatro.

L'aspetto interessante di questa metodica è la possibilità di impiegare, per la riproduzione del segnale *B-format*, un sistema di altoparlanti configurato secondo la metodica *Ambisonics*. Si tratta di circondare un idoneo volume di ascolto con un adeguato numero di altoparlanti disposti uniformemente: la configurazione più semplice è quella di un cubo, con 8 altoparlanti identici posti nei vertici dello stesso.

Dal segnale *B-format* è agevole ricalcolare i segnali da inviare agli otto altoparlanti sulle basi delle tradizionali convenzioni sulla orientazione degli assi X, Y e Z, e riducendo di 3 dB il segnale W.

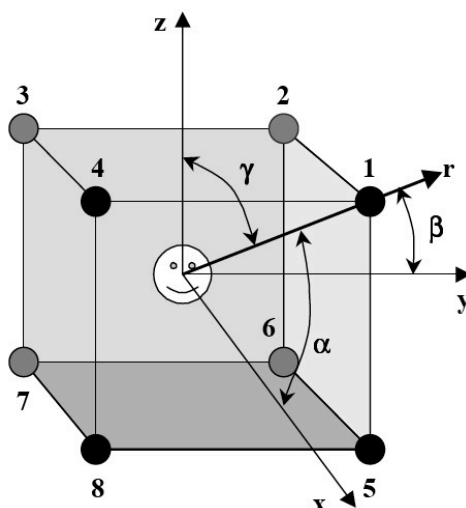


Figura 18 - Geometria del sistema di riproduzione Ambisonics 3D ad 8 altoparlanti

L'elaborazione è dunque molto semplice vista la capacità di qualunque software di manipolazione di segnali audio multitraccia (ad esempio, *Cool Edit Pro* oppure *GoldWave*) di processare i quattro segnali del *B-format* per produrre gli otto segnali richiesti dal sistema di riproduzione *Ambisonics*.

Il principale vantaggio della riproduzione con questo sistema risiede nel fatto che l'ascolto tridimensionale diviene possibile per gruppi di ascoltatori anche numerosi, pur mantenendo sempre una elevata compattezza dell'informazione.

Alla luce di quanto esposto e a chiosa dell'esposizione delle sperimentazioni, possiamo quindi dire che la tecnica dell'auralizzazione, implementata mediante convoluzione di segnali anecoici con risposte all'impulso sperimentali, consente di ricreare la sonorità degli spazi in cui queste ultime sono state acquisite. Le capacità di calcolo dei moderni computer rendono possibile il procedimento di convoluzione tramite l'impiego di non troppo costosi sistemi dedicati, portando quindi la tecnica dell'auralizzazione ad appannaggio di un più largo numero di persone.

Questo significa, nel caso specifico del restauro digitale dell'audio, che è possibile, tramite l'utilizzo di questa tecnica ancora poco diffusa, ottenere i dati di ambientalizzazione delle

sale nelle quali i materiali da restaurare sono stati eseguiti e registrati, avendo così a disposizione quei parametri utili ad una pulitura delle imperfezioni meccaniche e digitali mirata alla conservazione delle specifiche spaziali dell'esecuzione.

L'attenzione, infatti, non è posata sul sistema di riproduzione, sia esso *Stereo Dipole* o *Ambisonics 3D*, ma ai dati di cui si ha bisogno per ottenere, tramite questi sistemi, una riproduzione fedele dell'ambiente delle sale da concerto.

È possibile attraverso simulazioni grafiche di un ambiente, ottenere risultati molto realistici dei tempi di riverberazione e di *decay* di un dato suono prodotto al suo interno, il che, oltre ad essere utile, risulta avveniristico nei casi in cui la sala da concerto o il teatro non è più fisicamente misurabile perché distrutto parzialmente o *in toto*.

A tal proposito, riporto il caso del *Teatro Degli Intrepidi*, costruito all'inizio del diciassettesimo secolo da Giovan Battista Aleotti di cui sono rimasti ai posteri solo alcune piantine che ne attestano la struttura e testimonianze storiche di chi ha assistito alle rappresentazioni. Sulla base dei documenti ritrovati e sullo studio dei materiali con i quali lo stesso architetto fece costruire il *Teatro Farnese* di Parma, ne è stata calcolata l'acustica architettonica tramite il processo di auralizzazione per mano dei professori P. Fabbri dell'*Istituto di Storia dell'Arte – Università di Ferrara*, A. Farina del *Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università di Parma* e P. Fausti e R. Pompoli dell'*Istituto di Ingegneria – Università di Ferrara*.

Di seguito, un sunto della pubblicazione dello studio e alcune considerazioni.

3.4: ricostruzione virtuale dell'acustica del Teatro degli Intrepidi

Il *Teatro degli Intrepidi* di Giovan Battista Aleotti (1546-1636), costruito a Ferrara nel 1605, fu uno dei primi esempi di teatro stabile in Italia. L'Aleotti lo aveva realizzato su incarico del Marchese Enzo Bentivoglio riducendo "in forma di bellissima arena"⁵³ un granaio presso la chiesa di S. Lorenzo, che *l'Accademia degli Intrepidi* aveva avuto in affitto dal Duca di Modena Cesare d'Este. Questa, fondata agli inizi del 1600 da alcuni letterati ferraresi, si distingueva per "grandiosi spettacoli e rappresentazioni e torneamenti e giostre e melodrammi"⁵⁴.

Del teatro rimane un disegno con la pianta conservato all'Archivio di Stato di Modena, attribuito da A. Cavicchi⁵⁵ all'Aleotti.

G. B. Aleotti, pur rifacendosi alle soluzioni architettoniche del teatro *Olimpico di Vicenza* (1580) di Andrea Palladio (1518-1580), sopprime, in questo teatro, la scena fissa ed anticipa alcune fondamentali caratteristiche dei teatri d'opera moderni. Nella sala, le gradinate formano una "U" rendendo più ampio lo spazio destinato ad ospitare alcune parti dello spettacolo; tale spazio, in seguito, sarà occupato dalla platea. Dietro alla galleria, a differenza dei teatri *Olimpico di Vicenza* e *Olimpico di Sabbioneta* di Vincenzo Scamozzi (1553-1613), introduce altre gradinate che costituiscono, secondo alcuni studiosi, l'embrione delle file sovrapposte dei palchi. Il palcoscenico viene ampliato

⁵³ A. Frizzi, *Memorie per la storia di Ferrara*, Pomatelli, Ferrara 1796, V, p.43.

⁵⁴ G. Faustini, *Biblioteca de' scrittori ferraresi*, III, c. 16 v. B. Ar. Ferrara: collezione Antonelli 362.

⁵⁵ A. Cavicchi, *L'architettura teatrale dall'epoca greca al Palladio*, pp. 333 - 342; in: *Bollettino del Centro Internazionale di Studi di Architettura "Andrea Palladio"*, XVI 1974.

per ospitare scene mobili e per permettere la movimentazione delle macchine.

La novità più importante rispetto ai precedenti teatri è rappresentata sicuramente da un elaborato arco di proscenio che incornicia la prospettiva.

Pur non essendo un'invenzione dell'Aleotti, l'arcoscenico è per la prima volta presente in modo stabile come parte integrante dell'organizzazione spaziale di un teatro. L'arco di proscenio, dividendo la sala dall'area del palcoscenico, svolge non solo la fondamentale funzione di nascondere i macchinari, ma costituisce l'elemento architettonico più monumentale del teatro. Questo elemento di separazione, inizialmente senza alcun collegamento tra sala e palcoscenico, sarà in seguito modificato dallo stesso Aleotti introducendo nella *Sala Grande del Palazzo Ducale* adibita a teatro, prima un ponte mobile nel 1612 e quindi una scala fissa, nel 1624, dotata di due rampe laterali che consentiranno la sistemazione dell'orchestra al centro, davanti al palcoscenico.

Tutti questi elementi innovativi troveranno piena realizzazione nell'opera maggiore dell'Aleotti: il *Teatro Farnese di Parma* (1617-1618). Il Teatro degli Intrepidi fu restaurato una prima volta nel 1626 da Francesco Guitti, allievo dell'Aleotti, che munì il palcoscenico di nuovi impianti tecnici per la movimentazione delle macchine e di vari tipi di scene che si affiancano a quella tragica dell'Aleotti. Profondamente restaurato nella sola parte riservata al pubblico nel 1660 dall'architetto Carlo Pasetti, il teatro fu distrutto da un incendio l'11 giugno 1679.

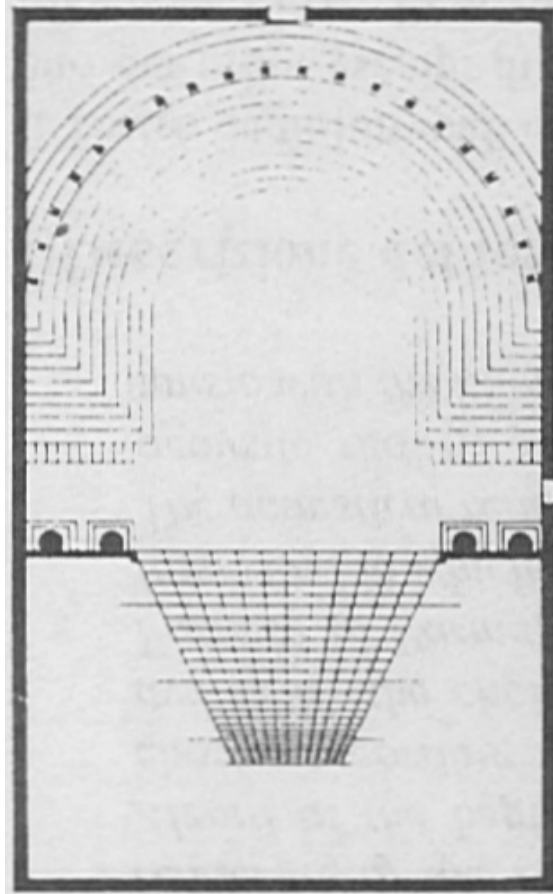


Figura 19 - Pianta del teatro

Per una ricostruzione architettonica ed acustica del teatro è stato utilizzato un modello 3D elaborato secondo i dati sulla pianta forniti da Cavicchi⁵⁶.

Le dimensioni della sala in pianta sono di m 22 x 37. L'altezza del teatro, di m 13, è stata dedotta, oltre che dal disegno dell'arcoscenico, dalle probabili dimensioni dei 13 gradoni della cavea e dalla corona di colonne con architrave che costituivano il loggiato. Il volume della sala e del palcoscenico risultano rispettivamente di 5.400 m³ e di 4.000 m³. Il palcoscenico presenta una superficie in pianta di 300 m². Il numero massimo di spettatori che il teatro poteva contenere si può stimare in circa 800.

⁵⁶ Ibidem.

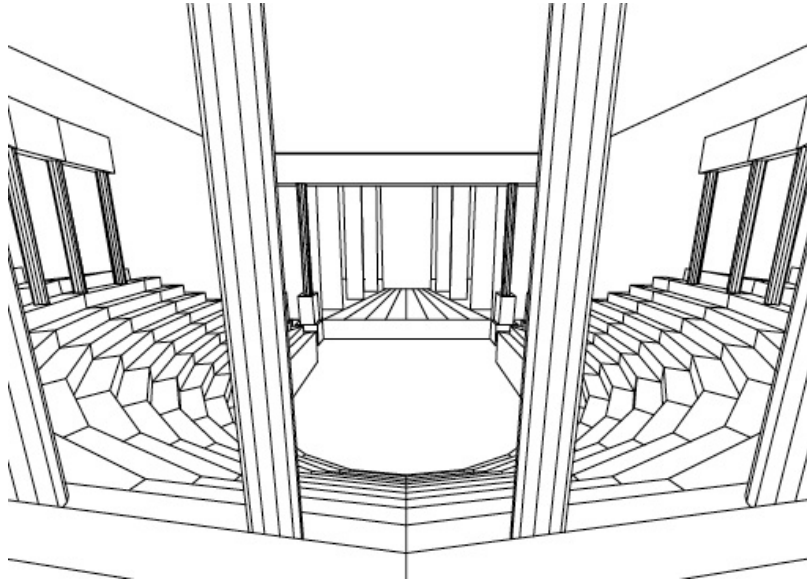


Figura 20 - ricostruzione in 3D del palcoscenico

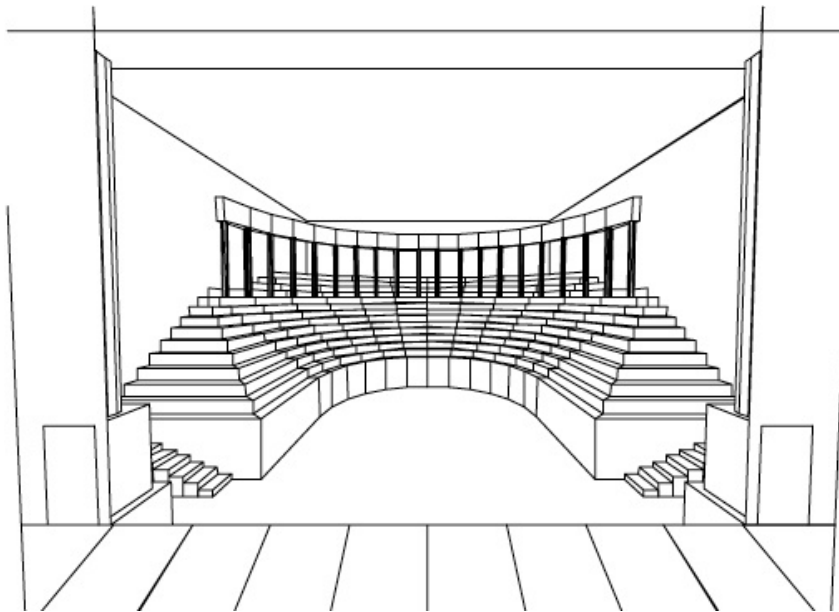


Figura 21 - ricostruzione in 3D della gradinata

Il grado di finitura delle pareti del granaio in cui fu costruito il teatro e la presenza di un soffitto nella sala possono essere ragionevolmente dedotti per analogia con la tecnica costruttiva adottata dallo stesso Aleotti nel *Teatro Farnese*.

Da una lettera al Duca di Parma, scritta nella primavera del 1618 per chiedere licenza, l'Aleotti ci fa infatti capire come le parti scoperte dal legno fossero intonacate e come fosse

previsto, a chiusura della sala, un soffitto dipinto realizzato in sottili tavole di legno di pioppo. Sopra il palcoscenico non è stato inserito alcun soffitto in considerazione del fatto che le travi di copertura del granaio dovevano essere un indispensabile aggancio per carrucole, rinvii ed altri sistemi di movimentazione dei vari macchinari. L'intero teatro era realizzato in legno: gradoni, colonne, arcoscenico e palcoscenico. In mancanza di precisi riferimenti documentari, il pavimento della cavea è stato ipotizzato in cotto secondo le consuetudini costruttive dell'epoca.

Una volta appurate le ipotesi delle dimensioni della struttura e del materiale utilizzato per la costruzione, si è proceduto alla ricostruzione grafica ed acustica del teatro, impiegando due software di previsione: *Ramsete*⁵⁷ e *Aurora*⁵⁸.

Il primo è un programma di calcolo basato sulla tecnica del tracciamento di piramidi, che consente di calcolare la risposta all'impulso all'interno di un ambiente, introducendone la geometria, le proprietà acustiche dei materiali, la posizione e le caratteristiche della sorgente sonora e la posizione del ricevitore.

Il secondo è ancora un programma di calcolo che consente di ottenere l'auralizzazione dell'ambiente ricostruito, il processo di simulazione di esperienza di ascolto binaurale ampiamente discusso in precedenza.

L'introduzione dei dati geometrici è stata effettuata con l'apposito CAD in dotazione di *Ramsete*, anche se è stato necessario impiegare *Autocad*TM per la realizzazione di alcuni dettagli costruttivi delle gradinate. L'interfaccia fra *Ramsete* ed

⁵⁷ A.Farina, P. Galaverna, G. Truffelli, "RAMSETE" un nuovo software per la previsione del campo sonoro in teatri, ambienti industriali ed ambiente esterno, Atti del XXII Convegno Nazionale AIA, Lecce 13-15 Aprile, 1995, pp.85-90.

⁵⁸ 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 ottobre 1993.

*Autocad*TM è stata utile anche per esportare il disegno geometrico verso il programma *3D-Studio*, impiegato per la visualizzazione foto – realistica della geometria del teatro, come da rappresentazione nelle Figg. 20 e 21.

La simulazione è stata condotta invece ipotizzando una sola sorgente sonora omnidirezionale, collocata al centro del palcoscenico, a rappresentare una delle possibili posizioni occupate da un attore. In realtà, in quel periodo, risultano documentate anche sorgenti collocate dietro le quinte, come riportato dalla seguente cronaca relativa all'inaugurazione del *Teatro Farnese*, dovuta al Buttigli⁵⁹:

[...] e grave Sinfonia di Stromenti, sì da mano, come da fiato, la quale uscendo da cinque Chori, l'uno residente nell'Orchestra, due sulle porte laterali del Salone, dentro le ballaustrate recingenti le statue equestri; gli altri due a destra, e sinistra, nell'intimore del Proscenio, nè quai luoghi tutti erano bonissimi organi, colli più famosi Musici, e rari Organisti d'Italia [...].

Sono stati considerati ascoltatori in varie posizioni delle gradinate: lo spazio di platea era, infatti, luogo della rappresentazione scenica, e non veniva occupato dal pubblico. La simulazione è stata condotta lanciando 2048 piramidi⁶⁰, con un tempo di calcolo di circa 1 ora. Le risposte energetiche all'impulso, elaborate dal programma di calcolo *Ramsete*, sono state successivamente trasformate in risposte in pressione impiegando il programma *Aurora*, e quindi rese idonee alla convoluzione con segnali originali anecoici, onde fornire l'auralizzazione della risposta della sala. Come segnale

⁵⁹ M. Buttigli, *Descrizione dell'apparato fatto, per honorare la prima, e solenne entrata in Parma della Serenissima Principessa, Margherita di Toscana, Duchessa di Parma*, Piacenza & C. Parma 1629, p. 268.

⁶⁰ Per piramidi o fasci piramidali (*Pyramid Tracing*), s'intendono i campioni utilizzati per la misurazione nello spazio della propagazione e riposta del suono. È l'evoluzione del *Ray Tracing*, un preciso algoritmo di *rendering* nel campo della computer grafica 3D, ampiamente utilizzato anche nelle simulazioni acustiche.

anecoico sono stati impiegati un testo recitato all'aperto ed un brano di violino eseguito in camera anecoica.

La frase che viene recitata nella registrazione riferisce le parole di dedica dell'Aleotti a Ranuccio Farnese che si accompagnano all'incisione di Oliviero Gatti della *Scena Tragica del Teatro degli Intrepidi*⁶¹:

[...] se bene il teatro di Ferrara eretto, molt'anni sono, da quest'illustrissima Accademia degli Intrepidi col mezzo de' miei disegni non è per anco ridotto a quella perfezione che gli si deve, e per la varietà delle Scene, e per la molteplicità delle macchine, ha tuttavia in sè tanto di nobiltà e di vaghezza, per quella parte in ch'egli è compiuto, che non mediocre diletto porge a' riguardanti.

Dopo la convoluzione, i segnali auralizzati vengono trasferiti su cassetta DAT a mezzo di una semplice scheda audio a 16 bit. Come tali, questi segnali sono idonei all'ascolto in cuffia. È evidente che, se riprodotti con altoparlanti in un ambiente normale, si perde l'effetto spaziale del campo sonoro ricostruito. La simulazione è stata ripetuta in due condizioni della sala: vuota e con gradinate gremite di pubblico. Dal confronto fra i risultati dei due casi, si evince che la presenza del pubblico ha un effetto considerevole sulla risposta acustica della sala.

Nel confronto fra le risposte all'impulso a 1 kHz con e senza pubblico, si osserva come la presenza di esso comporti una netta riduzione della coda riverberante, accompagnata anche da una certa tendenza all'instabilizzazione della parte terminale della coda sonora. Questo fatto è causato dal tracciatore di piramidi, che non tiene conto degli effetti di diffusione del campo sonoro, poiché considera sempre riflessioni speculari⁶².

⁶¹ C. Molinari, *Per una storia di alcuni teatri ferraresi*, in: *Teatri Storici in Emilia - Romagna*, Istituti per i beni culturali dell'Emilia Romagna, Bologna 1982.

⁶² B.I. Dalenback, *The importance of diffuse reflection in computerized room acoustic prediction and auralisation - Proc. of Opera and Concert Hall Acoustics*, IOA vol. 17, part 1, London, 1995, pag 27-34.

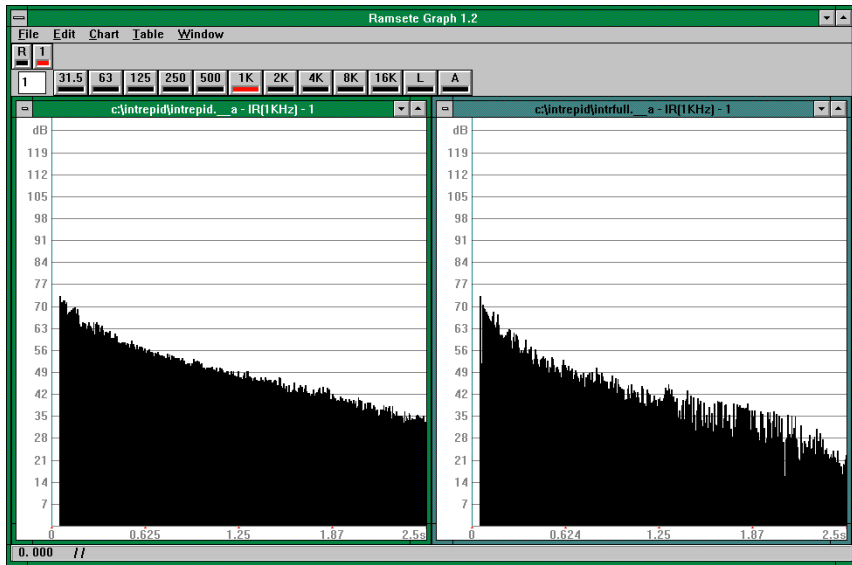


Figura 22 - grafici delle risposte all'impulso calcolate con Ramsete

Dal confronto del tempo di riverberazione nei due casi, si nota che, comunque, esso rimane molto elevato (sopra i 3 secondi alle frequenze medie) anche in presenza di pubblico, e questo concorda con le testimonianze dell'epoca che parlano di notevole rimbombo.

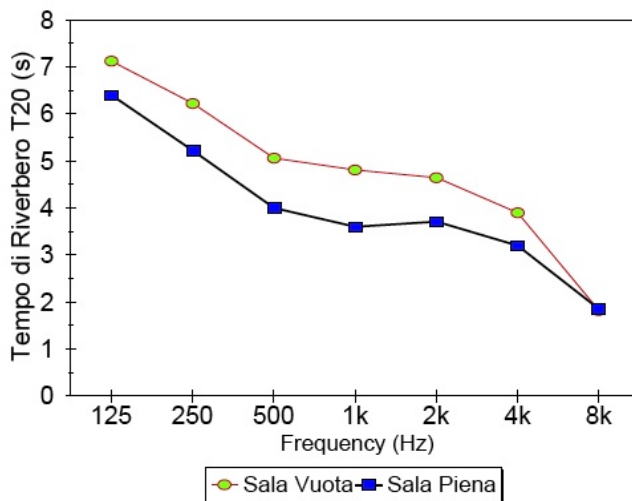


Figura 23 - tempo di riverberazione

Osservando poi i valori dell'indice di chiarezza, si osserva come esso sia molto basso a sala vuota, mentre a sala piena, rientri nella fascia di valori ottimali.

Ciò corrisponde a quanto riportato dagli autori d'epoca, che dichiaravano che, nonostante il rimbombo, risultavano perfettamente distinguibili le sorgenti sonore.

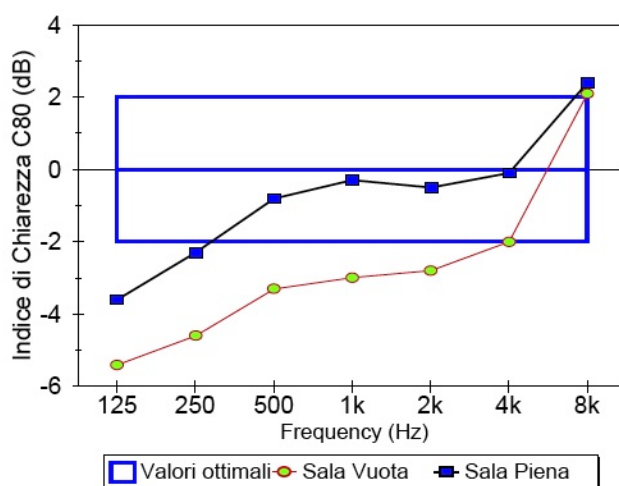


Figura 24 - indice di chiarezza

A questo effetto non corrisponde purtroppo una buona intelligibilità della parola, che soffre a causa dell'eccessiva riverberazione: se si osservano i valori relativi allo *Speech Transmission Index*, si deduce infatti che lo stesso è inferiore a 0.4 a sala vuota (pessima intelligibilità), e raggiunge 0.45 a sala piena (intelligibilità scarsa). Va però considerato che la simulazione in oggetto è stata eseguita con sorgente entro il palcoscenico ed ascoltatore sulla parte posteriore della gradinata, dunque a grande distanza dalla sorgente. Nella pratica, l'azione scenica si svolgeva spesso nella zona che oggi chiameremmo platea, e quando l'attore era in tale zona, l'intelligibilità era sicuramente migliore.

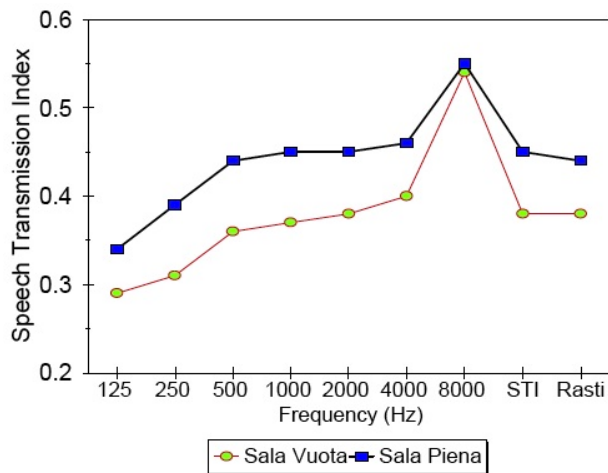


Figura 25 - valori di intelligibilità STI

Infine una mappatura del parametro LF (*Lateral Energy Fraction*)⁶³ fornisce indicazioni sull'effetto di *enveloping* nel campo sonoro. Tale valore è molto scarso a breve distanza della sorgente, ma in gran parte della gradinata assume valori abbastanza elevati, grazie alla presenza di numerose riflessioni laterali, causate dalle gradinate stesse e dai colonnati. Si osserva un certo effetto di focalizzazione al centro della platea, che comunque, non essendo occupata dal pubblico, non costituiva alcun problema pratico.

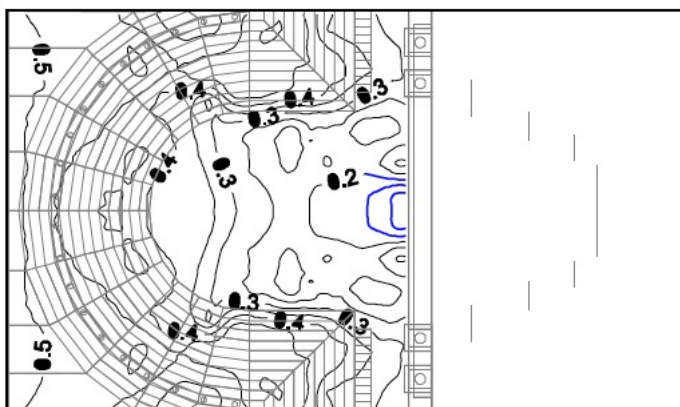


Figura 26 - mappatura dell'LF

⁶³ Il rapporto tra energia sonora che proviene lateralmente ed energia sonora proveniente da tutte le direzioni.

L'esperimento dell'applicazione delle tecniche di visualizzazione e auralizzazione appena esposte permette di mettere in evidenza le caratteristiche acustiche di un teatro costruito circa quattro secoli fa e poi andato distrutto.

Affascinante è sicuramente la possibilità di "ascoltare" un testo recitato o un brano di musica come se questi fossero stati eseguiti nell'architettura del *Teatro degli Intrepidi*, caratterizzato, dai dati emersi, da una buona acustica non solo per l'ascolto della parola ma anche per quello della musica.

La tecnica dell'auralizzazione, applicata per la prima volta ad un teatro non più esistente, ha permesso infatti di far rivivere uno spazio perduto portando sino a noi le sonorità del passato.

Se quest'operazione è stata possibile in un contesto di mera ipotesi che ha però prodotto risultati concreti, è facile immaginare come l'applicazione di un processo simile ad una struttura esistente e ancora fruibile per il pubblico possa fornire importanti parametri per la sonorizzazione di post – produzione. In uno slancio verso l'innovazione, gli stessi risultati possono essere di grande aiuto nel processo del restauro digitale dell'audio: le operazioni mirate per recuperare infatti una buona qualità del materiale, depauperano lo stesso degli elementi fisico-acustici che non riguardano propriamente il suono espresso in frequenza e intensità, ma la trasmissione dello stesso nello spazio, assoggettabile al timbro o ad alcune caratteristiche di questo.

Per questo è pratica comune, o suggerita, preferire una pulizia meno profonda per conservare l'aura propria dell'esecuzione dal vivo contestualizzata non solo nel tempo ma anche nello spazio.

L'utilizzo dei risultati ottenibili tramite *Ramsete* e *Aurora*, permettono, in modo oggettivo, di poter ridare lo smalto unico di ogni luogo all'esecuzione in esso avvenuta.

Che questo possa poi essere considerato, in una larga accezione del termine, un artefatto, resta una questione aperta

a numerose disquisizioni: se però si pone come assunto la necessità dell'operazione di masterizzazione atta a completare il processo di registrazione e fruizione dell'audio, fase che, come detto nel capitolo II, manca totalmente nel caso di una registrazione per archiviazione, l'auralizzazione può essere considerata come mezzo efficace da annoverare nella rosa delle operazioni utili alla finalizzazione dell'audio.

Nel prossimo e ultimo capitolo, in cui illustrerò il mio personale percorso seguito per il restauro del materiale in oggetto, proverò a chiarire ulteriormente quanto fin ora esposto.

CAPITOLO IV: PIERINO E IL LUPO DI PROKOVIEV E LA MANON LESCAUT DI PUCCINI: TRA RECUPERO E RESTAURO INNOVATIVO

4.1 riflessioni sul documento e sul digitale

Nella storia orale, quando si parla di fonte o di matrice s'intende, quasi sempre, un documento sonoro e raramente una trascrizione di esso.

Come esposto nel capitolo I, le prime sperimentazioni per la creazioni di strumenti in grado di riprodurre il suono, vertevano sulla capacità di questi di trascrivere schematicamente su carta «il movimento delle onde sonore»⁶⁴.

I contributi teorici che si occupano dei repertori musicali espressi direttamente su documenti sonori sono concordi, pur ognuno nella sua specificità, nel considerarli frutto di un sistema di scrittura e quindi di lettura.

Un rullo di pianola, pur essendo un importantissimo documento musicale, non è un documento sonoro; così come non lo è un file *MIDI*.

Il suono, infatti, in questo tipo di documenti, non viene né scritto né letto: ciò che viene scritto e in seguito letto è un codice astratto, interpretabile grazie ad un protocollo che, combinato ad un *hardware*, permette di produrre il suono.

Questi sistemi in altre parole non producono documenti sonori, ma direttamente e istantaneamente suoni.

La terminologia che riguarda produzione e riproduzione di documenti è molto varia e a volte ambigua.

L'evento o l'esecuzione riprodotti s'identificano spesso con lo stesso documento e i termini "scrivere" e "leggere" sono usati in funzione dei rispettivi contesti: in modo retorico, in ambito

⁶⁴ I. Pitman, *Phonography; or, Writing by Sound; Being a Natural Method of Writing, Applicable to all Languages, and a Complete System of Shorthand*, London, S. Bagster & Sons, 1840.

scientifico, e in modo storico, in un ambito più largamente tecnologico.

In un celebre articolo del 1991, Dietrich Schueller⁶⁵ definiva il processo di registrazione e il processo di ri-registrazione, analizzandoli dal punto di vista degli interventi che sul supporto vengono effettuati. Come ho già fatto in parte nel capitolo II, riporto in modo schematico i percorsi da lui descritti.

Il momento in cui il suono viene fisicamente prodotto, (*performance* o evento sonoro), è composto da tre elementi: esecutore, strumento e acustica dell'ambiente in cui avviene l'esecuzione.

Affinché si possa produrre un documento è necessario almeno uno di altri due passaggi nel processo di produzione: la ripresa del suono e la sua registrazione.

Nella ripresa l'intervento umano può variare da un massimo di decisioni, nei casi di riprese dal vivo di concerti o eventi che necessitano l'utilizzo di apparecchiature molto elaborate, a un minimo di decisioni, nel caso di suoni prodotti direttamente da macchine, che diventano in questo caso, esecutori in tempo reale e dove l'elemento della ripresa non esiste ma si arriva direttamente al passaggio successivo, quello della registrazione.

Una serie di livelli intermedi, alcuni dei quali particolarmente interessanti, possono essere rintracciati nel processo che rende la catena elettroacustica decisiva per la copia di un documento. La registrazione è il momento più delicato nel processo di produzione del documento sonoro.

Sebbene non sempre sia facile separare i due momenti, ripresa e registrazione, in questo contesto almeno due elementi determinanti distinguono nettamente le due fasi e, ai fini della ricostruzione della nascita di un documento sonoro, sono

⁶⁵ *The Ethics of Preservation, Restoration, and Re-Issue of Historical Sound-Recording*, JAES, 39,12, 1991, pp. 1014-1017.

essenziali: l'apparecchiatura di memorizzazione del segnale audio sul supporto con le inevitabili alterazioni che introduce e l'ineludibilità della registrazione.

In questo scenario si sceglie, infatti, l'aspetto materiale che assumerà il documento, cioè le sue caratteristiche chimico-fisiche, e il formato con cui l'informazione sonora verrà memorizzata.

La post-produzione, che nell'arte fonografica è elemento privilegiato fin da quando è stata possibile, è la fase tecnologicamente più elaborata e meno testimoniata. Le figure del *sound-engineer* e del consulente musicale, che in fase di montaggio del prodotto discografico decidono quale sarà il suono finale, sono riconosciute come figure centrali, anche se non sempre, tuttora, adeguatamente valorizzate.

Nel caso dei repertori musicali senza notazione, se si vuole agire con criteri filologici e critici, è quindi indispensabile cercare di conoscere le circostanze in cui i tre momenti sono avvenuti e poter risalire ai protagonisti e alle tecnologie azionate.

Riassumendo ancora una volta, tutti i processi tecnologici che implicano la registrazione hanno in comune le seguenti tre fasi:

- *generazione* dell'evento sonoro;
- *memorizzazione* dell'informazione generata su un supporto, ovvero la registrazione;
- *post-produzione e conservazione* del supporto registrato.

La distinzione fra l'esistenza del documento e la sua accessibilità potrebbe sembrare oziosa, ma la pratica ci insegna che sono molti i documenti che, di fatto, non essendo consultabili, è come se non esistessero⁶⁶.

L'accesso ai documenti sonori, rispetto ai documenti scritti, è reso ancor più problematico dal fatto che è necessario un apparato di riproduzione per poterli leggere.

⁶⁶ W. H. Rubsamen, *Music research in Italian libraries. An anecdotal of obstacles and discoveries*, "Notes", s. II, 6, 2, Mar. 1949, pp. 220-233.

Un ulteriore passo in avanti avviene quando si ha la necessità di recuperare il documento: il deterioramento fisico del supporto, infatti, porta a volte, come scelta obbligatoria, una ri-registrazione che spesso comporta anche una sostituzione di tipologia del supporto stesso.

E nel caso in cui, come sovente avviene nei documenti di archivio, il processo primario fosse orfano della fase di post-produzione, la ri-registrazione potrebbe diventare la chiosa del discorso per la fruibilità del documento stesso.

Per quest'analogia, il processo di ri-registrazione implica una serie di decisioni che dipendono strettamente da quello di registrazione, di post-produzione e dalla storia del documento.

Per questo in fase di restauro, alcune operazioni diventano necessarie e doverose mentre altre sono possibili e legate al tipo di restauro che si vuole effettuare o che è stato commissionato⁶⁷.

Diventa quindi indispensabile appuntare dettagliatamente ogni singola decisione ed operazione effettuata, senza tralasciare la tipologia dei supporti e la tecnologia utilizzata: solo così sarà possibile, in futuro, risalire, in un percorso a ritroso, all'originale. Tutti i tipi di documenti, con alcune eccezioni, come ad esempio i reperti archeologici e i monumenti, considerati a tutti gli effetti dei documenti, possono essere digitalizzati.

I testi scritti, le immagini, gli audiovisivi, possono esistere in formato numerico grazie ad una codifica. La corsa all'innovazione dei mezzi e ai relativi *codec* per questa trasformazione, è giustificata nell'ambito della mediazione che sottende i sistemi digitali: i documenti digitali sono facilmente collegabili fra loro grazie alla loro natura numerica comune. Il termine *ipermediale* sta progressivamente sostituendo quello *multimediale* in quanto, l'aspetto della connessione fra documenti, che caratterizza l'ipermedialità, è ormai elemento

⁶⁷ A. Orcalli, *Orientamento ai documenti sonori*, in S. Canazza e M. Casadei Turronei Monti (a cura di), *Ri-mediazione dei documenti sonori*, Udine, Forum, 2006.

distintivo dei sistemi informatici⁶⁸.

Nella ricostruzione materiale della provenienza di un documento sonoro dobbiamo interrogarci su tutti i passaggi tecnologici che esso ha subito, e questo soprattutto per riconoscerne la sua integrità e autenticità.

Per lo studioso, essere in grado di valutare se un documento è conforme all'originale, integro e autentico, nel dominio digitale è un problema sempre più urgente da risolvere e non eludibile ed il tecnico è chiamato a fornire più input possibili per la ricostruzione dell'*iter* che riporta alla matrice.

Molte agenzie culturali, università e musei, stanno facendo investimenti sostanziali per trasformare il loro patrimonio d'informazioni in forma digitale.

Europeana, il database on-line che consente di scoprire ed esplorare le risorse digitali di musei, biblioteche, archivi e collezioni audiovisive di diversi Paesi europei, è un esempio calzante di fruibilità digitale e ipermediale⁶⁹.

In conclusione, gli esecutori ed i loro strumenti, l'acustica dell'ambiente, reale o virtuale che sia, in cui è avvenuto l'evento sonoro, i tecnici di ripresa e di registrazione, le apparecchiature utilizzate, dalle tecnologie al supporto finale, diventato parte essenziale dell'oggetto dell'indagine, e per osmosi, rappresentano, tutte insieme, il documento stesso.

⁶⁸ Ibidem.

⁶⁹ <http://www.europeana.eu/portal/index.html>

4.2: gli archivi dei teatri di tradizione italiani

I principali teatri italiani di tradizione, *La Scala* di Milano, il *Teatro dell'Opera* di Roma ed il *San Carlo* di Napoli, hanno fortemente dimostrato la volontà del recupero dei materiali conservati nei loro archivi, predisponendo spazi appositi per la consultazione di opere restaurate e digitalizzate e siti *on-line* per fornire una prima indicizzazione e, in alcuni casi, un primo ascolto.

Se il regio partenopeo si pone come scopo la sensibilizzazione delle nuove generazione ad una conoscenza completa della funzione del teatro nelle varie epoche, oltre che a salvaguardare il patrimonio culturale, nell'ottica di una promozione in un sistema produttivo, il *Teatro alla Scala* di Milano, parte dagli stessi obiettivi, ma in un contesto meno aperto al pubblico e ottimizzato per le funzioni interne della struttura.

L'attività del teatro è documentata in 17.000 locandine, e conseguenti cronologie dettagliate, e in più di un milione di fotografie di scena, prove e *back-stage*, 5.000 nastri di registrazioni scaligere d'opera, balletto e di concerti sinfonici a partire dal 1950, per un totale di 10.000 ore di musica. Le testimonianze riguardano i passaggi di grandi cantanti, da Maria Callas a Joan Sutherland, da Renata Tebaldi a Giulietta Simionato, da Leyla Gencer a Mirella Freni, da Franco Corelli a Luciano Pavarotti, da Giuseppe Di Stefano a Mario Del Monaco, da Carlo Bergonzi a Plácido Domingo, da Tito Gobbi a Piero Cappuccilli, da Ettore Bastianini a Renato Bruson; di grandi direttori, da Toscanini a Guido Cantelli, da Victor De Sabata a Antonino Votto, da Herbert von Karajan a Carlos Kleiber, da Gianandrea Gavazzeni a Dimitri Mitropoulos, da Carlo Maria Giulini a Claudio Abbado, Riccardo Muti, Daniel Barenboim, Pierre Boulez; di grandi registi, dai Benois a Pizzi, da Svoboda a Ronconi, da Strehler a Chéreau, da Ljubimov a

Carsen; di grandi danzatori e coreografi, da Ugo Dall'Ara a Mario Pistoni, da Rudolf Nureyev a Paolo Bortoluzzi, da Carla Fracci a Liliana Cosi, Luciana Savignano, Alessandra Ferri, fino a Massimo Murru e Roberto Bolle.

Dal 1998 il progetto di digitalizzazione si è esteso con processo modulare e ha dotato gli archivi del teatro, in particolare il magazzino costumi e accessori, l'archivio bozzetti e figurini, il magazzino degli attrezzi di scena, l'archivio fotografico e delle locandine, di un'applicazione informatica personalizzata e di tutti gli strumenti necessari per la conservazione dei differenti materiali.

Nel 2006 *La Scala DAM* è stato così collegato con una rete intranet alle postazioni – chiave del teatro, mettendo a disposizione delle strutture interne la documentazione multimediale del materiale relativo alla creazione, alla produzione e alla documentazione di ogni spettacolo: appunto bozzetti e figurini, costumi, calzature, gioielli, acconciature, attrezzi di scena, manifesti e locandine, fotografie e registrazioni audio. Il tutto finalizzato all'attività quotidiana di ogni settore.

Caso a sé, perché unico nell'apertura dei contenuti al pubblico, rappresenta l'archivio del *Teatro dell'Opera*.

L'*Archivio Storico del Teatro dell'Opera* è stato istituito il 21 giugno 1946 con delibera del Sovrintendente Agostino D'Adamo, allo scopo di raccogliere, conservare e tramandare l'enorme quantità di documenti e testimonianze dell'attività artistica svolta a partire dalla sua fondazione.

Tuttavia, per motivazioni diverse, è stato possibile realizzare fisicamente l'*Archivio Storico* soltanto a partire dal 2001, grazie alla sensibilità ed attenzione del Sovrintendente Francesco Ernani e dell'intera direzione.

Dopo un lungo lavoro di ricerca, dedicato al recupero ed al riordino del patrimonio storico documentale del *Teatro dell'Opera*, nel 2003 l'archivio è stato aperto al pubblico,

diventando così un importante punto di riferimento per coloro che studiano o si interessano del melodramma ed in particolare del teatro musicale del novecento.

Dispone di una pregevole raccolta di bozzetti scenografici e figurini, libretti di sala, manifesti e locandine, partiture e spartiti autografi, cimeli di compositori ed artisti, registrazioni video, dagli anni Ottanta in poi, e registrazioni audio, dagli anni Sessanta in poi. L'archivio comprende inoltre una fornita biblioteca, un'emeroteca, un consistente archivio fotografico e una fornita discoteca, costituitasi anche grazie ad alcune donazioni. La collaborazione, infatti, con Enti ed Istituti di cultura italiani e stranieri ha reso possibile la diffusione dell'attività dell'archivio e tutto ciò ha contribuito a far sì che privati cittadini fossero indotti ad accrescere con importanti donazioni il suo già cospicuo patrimonio.

Nel 2006 l'*Archivio Storico* ha completato la sistemazione della sala per la conservazione di bozzetti e figurini, che ad oggi contiene circa 11.000 opere dei più grandi scenografi, tra i quali i maggiori esponenti dell'arte figurativa del secolo scorso.

L'oculata scelta da parte della direzione di dotare il teatro di questa ulteriore struttura operativa ha permesso, pertanto, di rendere visibili e fruibili anche al grande pubblico i documenti storici che ne testimoniano la storia dalla sua fondazione fino ad oggi. Sono state allestite, infatti, due sale di lettura e una sala di consultazione per il materiale audio-video, un laboratorio di digitalizzazione, indispensabile per il salvataggio dei vecchi nastri audio-video e per la masterizzazione delle registrazioni delle attuali produzioni.

L'*Archivio Storico* sta continuando il proprio lavoro di catalogazione e digitalizzazione del patrimonio storico documentale del teatro anche attraverso l'ausilio del web e delle nuove tecnologie, al fine di diffondere in maniera sempre più capillare la propria memoria storica.

E proprio grazie all'impegno dimostrato, e ad una sapiente

operazione diplomatica, che l'*Archivio Storico del Teatro dell'Opera* è l'unico che mette a disposizione, nella versione *on-line*, rare registrazioni audio-video di esecuzioni storiche, grazie alla stipulazione di contratti particolari con la *SIAE* per l'utilizzo pubblico sul web delle edizioni.

Dalle conversazioni avute nei diversi incontri con l'attuale direttore, Dott. Francesco Reggiani, sono emerse chiare le linee sulle quali la direzione si muove.

Con la rassegna *Fogli d'Album*, l'*Archivio Storico ed Audiovisuale della Fondazione Teatro dell'Opera di Roma*, intende riproporre al pubblico una piccola selezione di alcune delle produzioni più pregevoli ed interessanti andate in scena negli ultimi venticinque anni.

Una carrellata, certamente non esaustiva, di titoli rari, di interpreti d'eccezione, di allestimenti di qualità.

Il teatro a partire dalla metà degli anni Ottanta si è dotato di quelle tecnologie di ripresa video che hanno consentito di costituire l'attuale preziosissimo patrimonio di documentazione audiovisiva, permettendo così a tante produzioni di sopravvivere al breve tempo della rappresentazione pubblica.

Progressivamente la qualità delle immagini è andata migliorando favorita dall'evoluzione delle videocamere e dei relativi supporti (3/4 di pollice UMATIC, VHS, video 8, Mini DV, DVD), dal passaggio dall'analogico al digitale e dal bianco e nero al colore.

E quando si affronta, tra i diversi temi, la direttiva data ai suoi operatori per il restauro e la finalizzazione, la sua argomentazione, anche in questo caso, è esauriente:

Escludendo gli errori meccanici, i rumori elettronici di ripresa audio, preferisco che si lascino presenti ed intatti gli elementi che rendono l'esecuzione unica: colpi di tosse, rumore di scarpette da punta, un arco sbattuto sbadatamente contro un leggio, hanno lo stesso valore di un applauso a scena aperta. Sono pure sempre riprese d'archivio con tutte le imperfezioni ed i difetti del caso, ma il loro fascino probabilmente risiede proprio in questo e soprattutto nella loro unicità.

La volontà quindi non è solo far ascoltare le grandi esecuzioni ospitate in un teatro storico, ma consegnare ai posteri, insieme

alle note egregiamente eseguite, la presenza di un pubblico ed emozionalmente coinvolto.

4.3: restauro di *Pierino e il lupo*, Op.67 di Prokofiev

La prima bobina che ho deciso di restaurare rappresenta un caso abbastanza unico non per il lavoro di restauro di per sé, ma per la particolare situazione archivistica che si è palesata dopo le prime ricerche fatte sui titoli in essa contenuti.

Scritto a mano e a matita sul contenitore in cartone *BASF*, prezzato 1.700 lire, sono stati riportati i titoli delle due opere: una è il *Pierino e il lupo*, Op.67 di S. Prokofiev, l'altra è la *Guida del giovane all'orchestra* di B. Britten.

In entrambi i casi mancano il numero d'opera e gli esecutori.

Da un primo ascolto, nell'operazione preliminare per scegliere i parametri di riversamento per la digitalizzazione, è stato facile risalire alla voce recitante dell'opera di Prokofiev: Eduardo De Filippo.

Da una serie di ricerche incrociate, sono riuscito a risalire all'orchestra e al suo direttore: Lorin Mazeel che dirige l'*Orchestre de Paris*.

Di questa esecuzione ne esiste una sola versione pubblicata nel 2002 dalla *Deutsche Grammophon* per la collana *Galleria*, che viene presentata come rimasterizzazione su CD dell'originale master registrato presso uno studio di Amburgo nel 1966.

Il cd pubblicato propone due opere: *Pierino e il lupo*, di Prokofiev, e *Variazioni e fuga su un tema di Purcell op. 34*, di Britten.

La registrazione in bobina presente presso l'archivio del CTA (*Centro Teatro Ateneo*) annovera le stesse opere, anche se l'opera di Britten, è riportata con il suo titolo originale, *Guida del giovane all'orchestra*.

È doveroso chiarire da un punto di vista filologico l'uso del titolo e del sottotitolo per il brano di Britten. Composto nel 1946, reca come titolo *the Young person's Guide to the Orchestra*, tradotto come *Guida all'orchestra per i giovani* o *Guida del giovane*

all'orchestra, e come sottotitolo *Variazioni e fuga su un tema di Purcell, op. 34*. Lo stesso autore ne ha creato due versioni: una con un commento di Eric Crozier solitamente declamato dallo stesso direttore d'orchestra durante l'esecuzione, ed un'altra esclusivamente strumentale. Prassi comune è indicare il brano con il titolo originale quando il commento è presente, indicarlo invece con il sottotitolo quando questo invece è omesso dall'esecuzione.

Sia nel cd pubblicato dalla *Deutsche* che nella bobina in archivio, il commento è recitato dallo stesso Lorin Maazel, direttore d'orchestra delle esecuzioni: la titolazione riportata in archivio, quindi, è filologicamente più corretta.

Proprio questo brano mi ha condotto a ritrovare la pubblicazione per mano della *Deutsche* della bobina in questione.

Resta aperta la discussione sulla diversa datazione della bobina e della registrazione ufficiale riportata sulla pubblicazione dalla casa discografica: la custodia riporta, scritto a mano, l'anno 1965 mentre la *Deutsche Grammophon* riporta come data di registrazione e ultimazione del master il 1966.

In casi limite, la presenza di un nastro magnetico vergine all'interno di un archivio di nastri magnetici registrati potrebbe essere elemento utile per determinare un termine *post quem* o *ante quem* quell'archivio nel suo complesso si è formato. Conoscendo, infatti, la marca e il modello del nastro si può risalire al periodo di produzione e di presenza sul mercato e quindi avere indicazioni sul periodo di formazione dell'archivio.

Ponendo alla base questo principio, ho condotto così una ricerca all'interno dell'archivio stesso, cercando di risalire alla provenienza della bobina in questione.

Nell'archivio del *CTA* sono state censite 150 bobine, 30 delle quali sono di marca *BASF* e recano, stampato all'interno della custodia la dicitura originale *Badische Anilin - & Soda-Fabrik AG 67 Ludwigshafen*, che rappresenta il nome per esteso del

produttore ed il luogo di produzione.

Tutte le bobine il cui contenuto è un'opera musicale (cinque delle trenta citate), riportano notizie sul contenuto approssimative e poco precise.

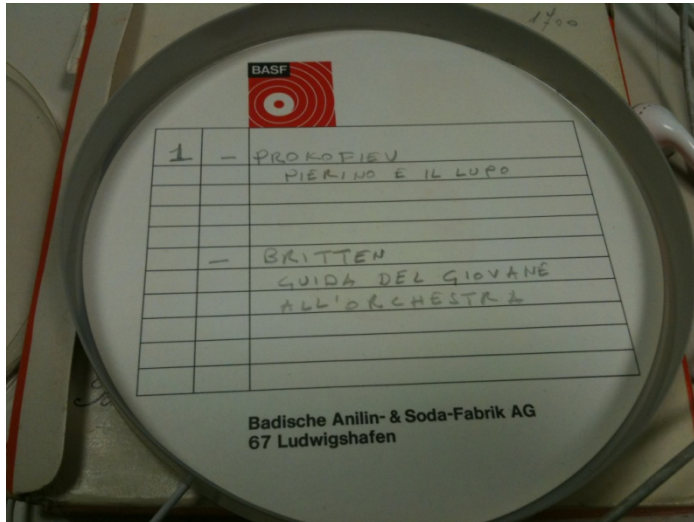


Figura 27 - custodia in cartone della bobina: interno

Anche la tabella nella quale riportare i dati di archiviazione è stampata, all'interno, in lingua tedesca: questo fa presumere che la bobina provenga direttamente della Germania, importata quindi e portata in Italia dopo la registrazione.

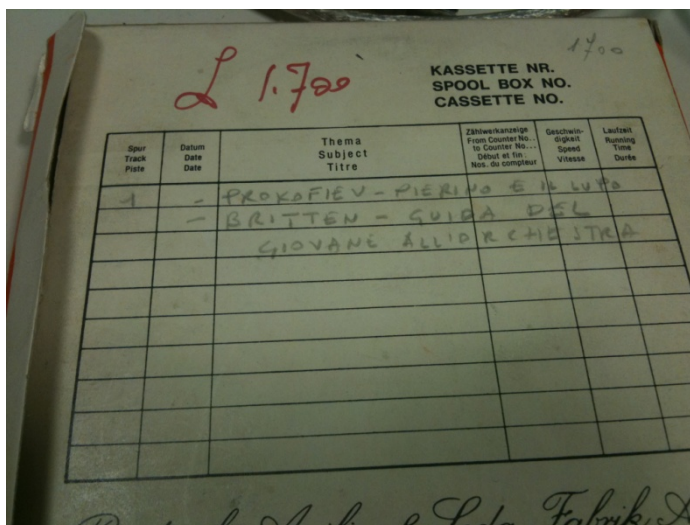


Figura 28 - custodia in cartone della bobina: esterno

Dopo una serie di comunicazioni intercorse con l'ufficio rappresentante della casa discografica tedesca, sono riuscito ad acquistare e ad avere una copia della pubblicazione su CD, ormai fuori produzione.

Da un confronto delle due esecuzioni, supportato non solo da un attento ascolto, ma anche da misurazioni comparative della *time – line* fatte con l'ausilio di un software, è evidente che le due esecuzioni non sono uguali: per quanto la recitazione di De Filippo sia perfettamente identica, l'esecuzione orchestrale risulta nella versione pubblicata più dilatata nelle scelte dell'andamento.

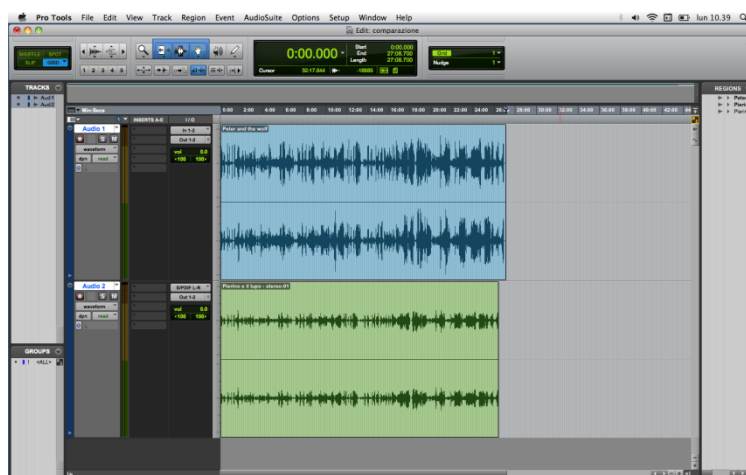


Figura 29 - comparazione dei due file

La durata totale del brano, infatti, è di 27 minuti, 8 secondi e 700 millesimi, a differenza del brano su bobina che dura 26 minuti, 26 secondi e 015 millesimi.

Il processo di registrazione multitraccia, inventato da Les Paul negli anni Quaranta, era già largamente usato negli anni Sessanta: è facilmente immaginabile quindi che, in sede di registrazione, la voce recitante sia stata ripresa e fissata su una traccia a parte, mentre la parte musicale, quella propriamente eseguita dall'orchestra, su di un'altra.

Nella registrazione su bobina, sono presenti due *drop out*

(minuto 2:52.106 e minuto 14:02.338), presumibilmente dovuti ad errori meccanici durante la registrazione del nastro: entrambi i *drop out* riguardano solo la parte orchestrale, escludendo cioè la registrazione della voce.

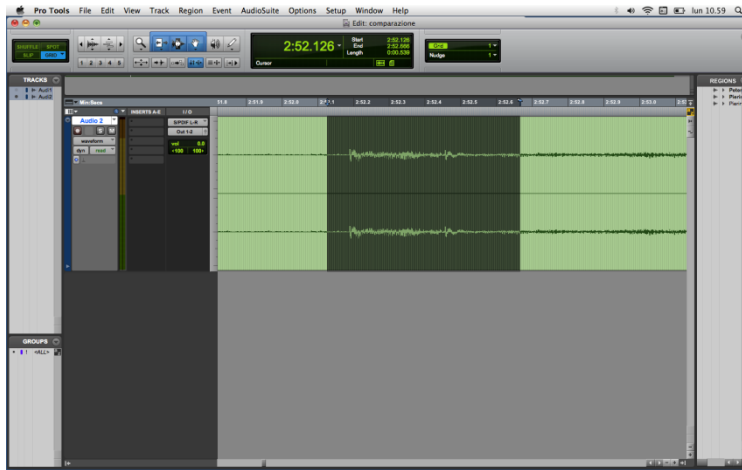


Figura 30 - primo *drop out*

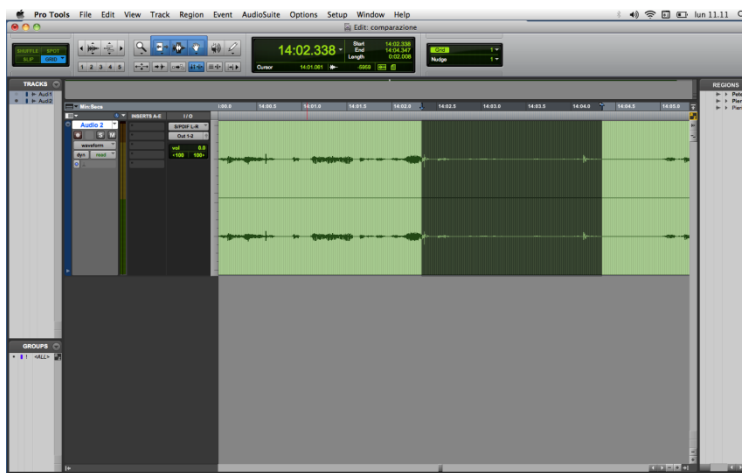


Figura 31 - secondo *drop out*

Se anche si dovessero operare due tagli ed inserire tra essi i secondi di silenzio calcolati per riempire il tempo di registrazione mancante, la differenza di minutaggio tra le due registrazioni, per quanto minore, sarebbe ancora notevole.

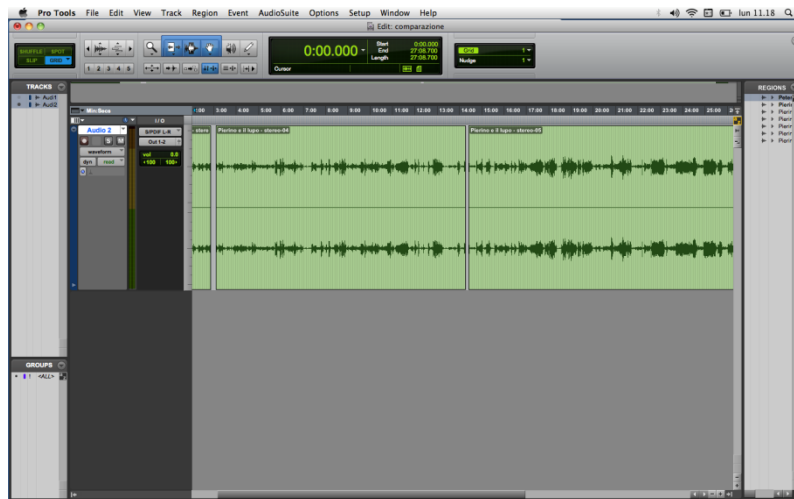


Figura 32 - inserimento di silenzio utile al sovrapposizione dei *drop out* nella *timeline*

Da una comparazione basata sui parametri principali di una registrazione (volume ed equalizzazione), le due esecuzioni risultano diverse: trattandosi di una rimasterizzazione, così come dichiarato sulla copertina del CD dall'apposito logo, la traccia sul supporto digitale è stata chiaramente ottimizzata nei volumi e migliorata nelle equalizzazioni.

Ponendo che lo scarto di poco più di un minuto su un totale di 27 minuti non comporta un peggioramento della qualità del suono nel caso in cui si volesse usare un moderno *plug-in* di *time stretching*, ho operato in tal senso, portando le due esecuzioni allo stesso minutaggio.

In un riversamento di post-produzione analogico, si può modificare l'andamento del brano e di conseguenza la sua durata, agendo su un controllo che regola la velocità di scorrimento del nastro sulle testine: la stessa operazione è digitalmente possibile tramite l'uso di un software che ricampiona e comprime nuovamente le informazioni audio.

Nel processo di rimasterizzazione, quindi, per conferire al materiale una migliore qualità, i fonici potrebbero aver utilizzato un espediente simile.

Nel riproporre l'ipotesi, ho quindi utilizzato il modulo *DIGIRACK Time compression/expansion* di *ProTools 9 HD*, rendendo le

due esecuzioni perfettamente uguali per durata.

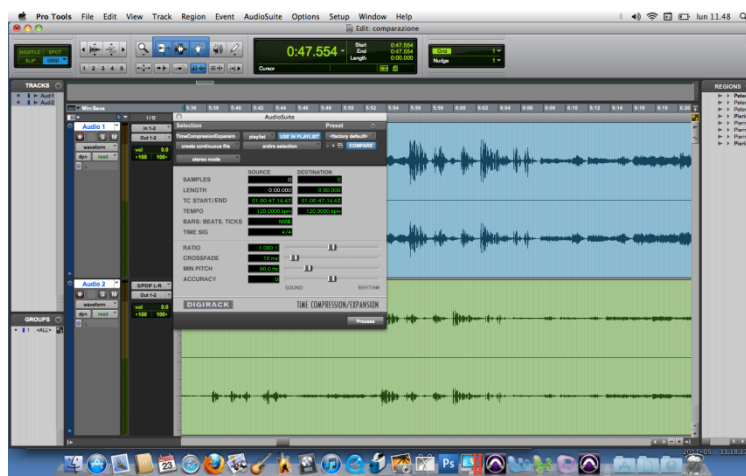


Figura 33 - Time compression/expansion plug-in window

Dall'ascolto, per quanto più semplice perché in *sincro*, si notano maggiori somiglianze nella parte orchestrale, ma più discrepanze nella parte recitata.

Per ipotesi, le due registrazioni potrebbero essere due master diversi, due differenti versioni, in cui, la voce recitante è stata sovrapposta, come scritto in partitura, a due diverse esecuzioni orchestrali: una più calma e lirica, nel caso della pubblicazione su cd, l'altra più incisiva e spedita, nel caso della bobina.

Di conseguenza, la bobina presente presso l'archivio del CTA potrebbe essere la copia, se non addirittura l'originale, di una tra le diverse versioni registrate in studio, ma non quella scelta successivamente per la pubblicazione.

Illustrerò di seguito il processo di restauro, dal riversamento, sino alla finalizzazione.

Il riversamento e la digitalizzazione sono stati effettuati da un *Nagra IV-S*, probabilmente il più riuscito e longevo registratore portatile a nastro professionale mai realizzato con bobine da 6.35-mm (¼ di pollice). Inventato dal *designer* polacco Stephan Kudelski è stato fabbricato nella *Nagra Kudelski* a Cheseaux, Svizzera, a partire dal 1960.

Il registratore ha tre velocità: 38, 19 e 9,5 cm / s (15, 7 ½, 3 ¾ ips), NAB o standard CCIR. Sono presenti due ingressi microfonic, commutabili in dinamico, con condensatore di tipo T o P (48V) e un'uscita di linea bilanciata.

Tra i visori presente nella facciata di controllo, un oscillatore per il monitoraggio, un modulometro, filtri passa-alto per la registrazione o la riproduzione e uno *switch* di controllo del livello automatico, con possibilità di applicare direttamente un *limiter*.

La macchina può essere dotata, come in questo caso, di un opzionale sistema di sincronizzazione *Pilot Tone 50/60 Hz* con un generatore di quarzo ed un controllo remoto della velocità.



Figura 34 - Nagra IV

Il registratore analogico è stato collegato ad un'interfaccia audio (*Digidesign Mbox 2*) tramite un cavetto *ad hoc* alle cui estremità sono stati montati due connettori *XLR* ed un connettore *Jack 6.3 mm*.

I moderni registratori *Nagra* prevedono, nella dotazione I/O, entrate *USB 2.0* e *Firewire 400*: questo permette di avere un segnale digitale convertito dalla fonte e quindi acquisibile direttamente da terminale senza l'ausilio di un'interfaccia

esterna.

Nel mio caso, volendo utilizzare un riproduttore analogico coetaneo per fabbricazione alla bobina, si è presentata l'esigenza di manifatturare un cavo con caratteristiche specifiche.

Questo per ottenere, una volta inserito nell'ingresso S/PDIF dell'*MBox 2*, un segnale totalmente fedele all'originale per ampiezza, sfruttando cioè la funziona dell'interfeccia di eludere gli errori di conversione A/D.

Il software utilizzato per la digitalizzazione è *ProTools HD 9*, installato su *SO Apple 10.6.7 (Snow Leopard)* su un *MacBook Pro 15"* con processore *2.4 Ghz Intel Core i5* e *Ram da 8 GB 1067 MHz DDR3*.

Al termine del riversamento, ho ottenuto una traccia unica, comprendente i due brani presenti sulla bobina, in formato mono *.wav/44.100kHz/24bit*.

Tramite la funzione interna del software (*traccia A, I/O S/PDIF/bus 7-8, traccia B, I/O bus 7-8/out 1-2, traccia A in play mode, Traccia B in record mode*) ho commutato la traccia in formato stereo L/R.

Una volta effettuato il taglio per isolare i due brani, ho esportato solo il materiale da restaurare, quindi il *Pierino e il Lupo*, con un *Bounce to Disk* che mi ha permesso di ottenere una traccia stereo in formato *.aif/44.100kHz/24bit* fruibile anche dal programma *stand-alone iZotope RX Advanced*.

Una volta importata la traccia nel software, la schermata che visualizza lo spettrogramma presenta chiare alcune problematiche che già dal primo ascolto si erano palesate.

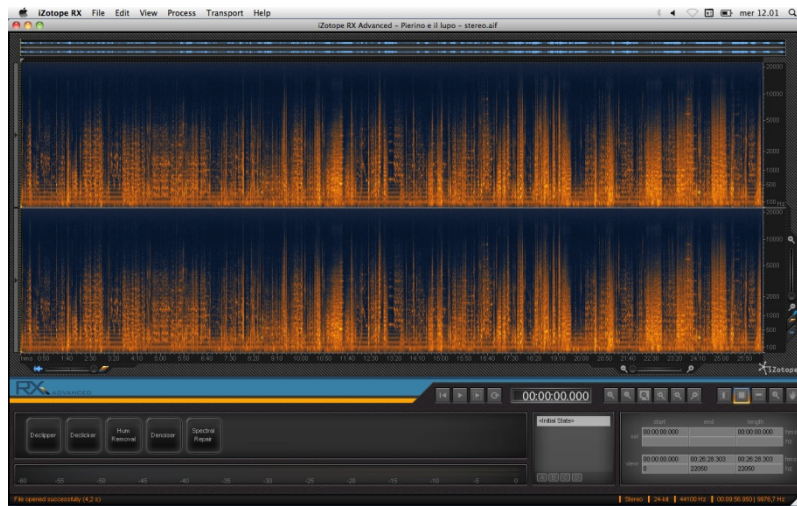


Figura 35 - rappresentazione tramite spettrogramma del Pierino e il Lupo in iZotope RX Advanced

È facilmente individuabile nella schermata il rumore di fondo (*Hum*) che nel nostro caso, essendo una registrazione fatta in Europa, è riconducibile ad una frequenza di 50Hz ed una serie di *clicks* dovuto al passaggio dall'analogico al digitale.

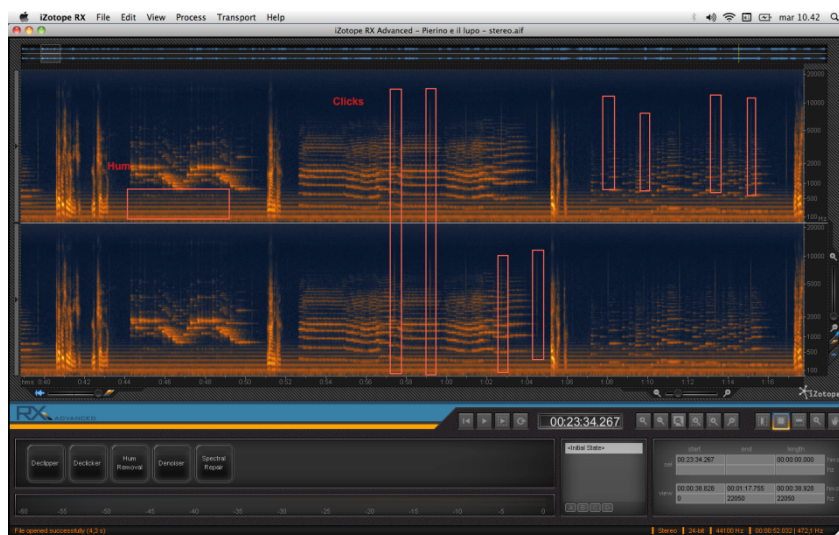


Figura 36 - Hum e clicks

Come prima operazione quindi, ho pensato di utilizzare il modulo *Hum Removal*, con un settaggio tipico a 7 armoniche sulla frequenza di 50 Hz.



Figura 37 - rumore di fondo prima di essere processato

Per quanto parte del rumore così facendo veniva rimosso, la voce recitante, che per timbro e altezza si colloca proprio su quelle frequenze, veniva assottigliata nell'ampiezza e resa metallica. Inoltre, solo parte delle armoniche veniva attenuata: il file presenta infatti non il più usuale *range* di armoniche che coprono le frequenze da 50 Hz a 400 Hz, ma queste si estendono vistosamente fino ai 700 Hz, probabilmente per un'amplificazione del rumore di fondo dovuta alla velocità di riproduzione del nastro.



Figura 38 - file processato con il modulo Hum Removal

Per cercare un risultato migliore, ho così utilizzato nuovamente *ProTools 9 HD* eseguendo una serie di operazioni mirate.

Per prima cosa, in modo empirico, ho utilizzato diversi parametri nel *plug-in X-Hum*, un modulo atto alla stessa funzione di *Hum Removal*, ma più duttile dal punto di vista della personalizzazione.

Dopo alcune prove, stabilendo come frequenza base del rumore di fondo prima 50 Hz e poi 100 Hz e diminuendo il *Gain* delle frequenze interessato di 15 dB, sono riuscito a coprire l'intera gamma di armonici che accompagnavano la fondamentale ed avere così un'attenuazione massima del rumore di fondo preservando la qualità della voce e delle parti orchestrali.



Figura 39 - modulo X-Hum in ProTools Hd 9

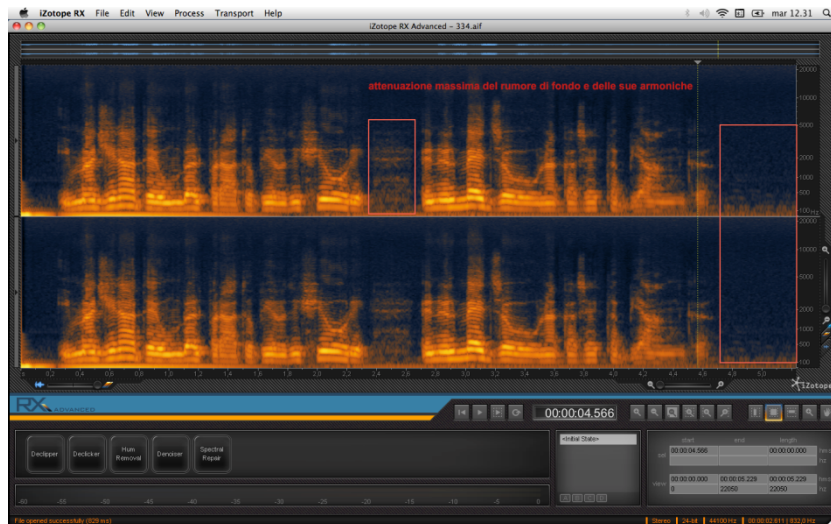


Figura 40 - spettrogramma dell'attenuazione massima del rumore di fondo (*Hum*) e delle sue armoniche

A corredo di questo *plug-in*, ho inserito nel rack virtuale di *ProTools HD 9*, il modulo *Declicker* di *iZotope RX Advanced*. Quest'ultimo software, infatti, può essere utilizzato sia come *stand-alone*, quindi come applicativo autonomo, o come *plug-in*, avendo la possibilità di caricare ogni funzionalità inclusa come singola funzione ausiliaria.

Ho usato la massima risoluzione di qualità, un livello di sensibilità alto e, visto il tipo di click da eliminare, una durata massima del disturbo di 2.0 ms.



Figura 41 - modulo Declicker all'interno di ProTools HD 9

Al fine di ottenere una visione completa dei primi passi del lavoro, ho preferito a questo punto fare un *bounce to disk* per salvare il file privo del rumore di fondo e di *click*.

ProTools HD 9 effettua la trasposizione del file audio su disco rigido in tempo reale, come se registrasse cioè in presa diretta il materiale, filtrato o non filtrato dai diversi *plug-in* che simulano la catena di apparecchiature analogiche presenti in uno studio. Questo comporta lunghi periodi di attesa tra un'operazione ed un'altra: in questo caso, ogni *bounce to disk* ha una durata di 26 minuti, 26 secondi e 015 millesimi, pari alla durata dell'intero brano.

Personalmente, oltre a salvare il progetto più volte, man mano che aggiungo moduli per eliminare le imperfezioni, preferisco creare file audio da poter eventualmente recuperare e visualizzare su altri software, in caso in cui ci dovesse essere un *breakdown* del singolo applicativo o dell'intero sistema operativo.

Una volta finita l'esportazione, e dopo un ulteriore ascolto, il materiale audio, privo delle impurità più evidenti, presenta un eccessivo rumore di fondo, dovuto alla presa diretta ma anche al fruscio del nastro magnetico durante la riproduzione.

Per attenuare il disturbo, ho utilizzato il *plug-in WNS Noise Suppressor*, un mezzo molto efficace in casi di *broadband noise*.

Selezionando una piccola frazione di silenzio, in cui era evidente e possibile ascoltare il rumore di fondo, ho utilizzato la funzione *Suggest* del software aggiuntivo per avere un'impronta delle frequenze del rumore ed un calcolo automatico dell'equalizzazione per attenuarlo.

Agendo sullo *slide* della soglia (*Threshold*), ho regolato la soppressione del disturbo: ho preferito fissare questa intorno ai -60 dB, per ottenere una riduzione notevole ma non la totale eliminazione del rumore meccanico, per lasciare agli ascoltatori la sensazione della bobina che viene letta dalle testine.



Figura 42 - modulo WNS Noise Suppression in ProTools HD 9

A questo punto del percorso di restauro, le imperfezioni dovute alla digitalizzazione, i disturbi meccanici, il rumore di fondo causato dalla tensione elettrica del microfono usato per la presa diretta, sono stati eliminati dal materiale audio.

Quello che risulta, a livello qualitativo, è una registrazione “pulita” ma di qualità non ottimale: si avverte una differenza troppo evidente di dinamica tra il testo recitato ed i passaggi meramente orchestrali, e specialmente questi, non risultano chiari.

Dall’analisi dell’*envelope*, visualizzata all’inizio del processo, non ci sono evidenti segni di saturazione o *clipping*: questo, in funzione del riversamento effettuato con una tecnica che riporta in piena fedeltà il contenuto della bobina in ampiezza, potrebbe testimoniare una registrazione cruda della parte musicale, senza nessuna azione, come d’altronde vuole la prassi, da parte di un eventuale tecnico, in sede di registrazione, sull’equalizzazione mirata ad una miglioria della qualità, ancora meglio, della bellezza del suono.

Per quanto sia d’uopo utilizzare filtri applicati ai microfoni per colorire meglio la voce, è altrettanto usuale non usarne sui microfoni che si utilizzano per riprendere l’orchestra, per ottenere un suono puro da migliorare successivamente.

Se, come ho supposto, questa bobina contiene una tra le diverse registrazioni che poi selezionate avrebbero dovuto

contribuire alla stesura definitiva del master, non ha subito nessun processo di post-produzione.

Dall'analisi della registrazione audio contenuta nel CD pubblicato dalla *Deutsche Grammophon* e da un confronto con la traccia ora ottenuta, risulta chiaro l'utilizzo di un potente equalizzatore, una normalizzazione del volume sul parametro del *peak*, per aumentarne l'intensità, il probabile uso di un compressore/limiter per adeguarne la dinamica alla pubblicazione sul mercato su CD e l'uso probabilmente di un software trattandosi di una rimasterizzazione digitale, per la distribuzione del suono nello spazio.

Per avere un'ulteriore prova di ciò che l'ascolto suggerisce ho confrontato il materiale restaurato ed equalizzato con il materiale pubblicato sul cd.

A tale scopo, ho utilizzato un modulo di misurazione di frequenza, volume e distribuzione della *Loudness* nello spazio stereofonico.

Il *plug-in PAZ-Analyzer* analizza la distribuzione del volume sul palcoscenico stereo, così come la rilevazione dei componenti fuori fase: il valore di *loudness* è indicata dalla lunghezza della linea e la posizione stereo è visualizzata dall'angolo di direzione.

Un segnale mono va verso l'alto così come un segnale centrato di un mix stereo. Un suono con un *panning*⁷⁰ molto pronunciato a sinistra o a destra, andrà a 45 gradi in entrambe le direzioni. La maggior parte dei missaggi⁷¹ stereo avrà un display a forma di ventaglio perfettamente centrato.

Nel caso del materiale restaurato, non avendo agito sulla distribuzione del suono per tenermi fedele alla traccia mono

⁷⁰ La collocazione del suono in un certo punto di uno spazio *L-R*.

⁷¹ Con il termine missaggio, ribadisco, si intende l'arte di miscelare, equalizzare, ottimizzare a livello di volume, timbro e spazialità (direzionalità e riverberazione) i suoni.

riversata⁷² e non avendo aggiunto nessuna ambientalizzazione, lo schema mostra una linea perfettamente centrata.



Figura 43 - visualizzazione delle frequenze, dell'ampiezza e della distribuzione della Loudness nello spazio L+R del materiale restaurato ed equalizzato

Dallo stesso misuratore, applicato al materiale estrapolato dal CD, risulta invece una forma a ventaglio non omogenea e alcuni picchi di segnali *out-of-phase*.



Figura 44 - visualizzazione delle frequenze, dell'ampiezza e della distribuzione della Loudness nello spazio L+R del materiale estratto dal CD

⁷² È prassi quella di registrare le voci o effettuare riversamenti in formato mono, trasformando solo successivamente la traccia in una traccia stereo, con i due canali totalmente aperti nel panning per centralizzare il suono.

I segnali fuori fase sono indicati tra i 45 e i 90 gradi su ciascun lato. Per quanto sia complesso definire quando un segnale viene mostrato in questa posizione o percepito come *out-of-phase*, possiamo dire che tale situazione può verificarsi quando gli strumenti sono indipendentemente piazzati su diverse posizioni o se il riverbero, applicato ad uno strumento, crea ritardi che arrivano a ciascun canale in tempi diversi.

In entrambi i casi, l'*out-of-phase* non genera disturbo: generalmente, per far sì che ciò accada, è necessario che i segnali di polarità opposta restino tali per un costante periodo di tempo.

Nel caso della spazializzazione operata dai tecnici della *Deutsche*, i segnali rilevati in fase opposta, brevi e momentanei, concorrono a dare all'ascolto una giusta spazialità dell'orchestra, con i suoi strumenti schierati nel tipico semicerchio.

Questa forma di ambientalizzazione non deriva dalla volontà di ripristinare l'ambiente circostante all'esecuzione: il brano infatti è stato registrato in uno studio anecoico, come dichiarato sulle specifiche del CD, e di conseguenza, necessitava della normale aggiunta di riverbero e spazialità insita nel processo di mixaggio, per rendere l'esecuzione pronta per la messa in commercio.

Ogni casa discografica, così come ogni emittente televisiva, ha alcuni parametri standard per la dinamica dell'audio, fuori dai quali non è possibile alcuna pubblicazione o trasmissione: questo permette, almeno per quanto riguarda le emittenti televisive e radiofoniche, un'omologazione del materiale sonoro che facilita una compilazione più fluida del palinsesto.

Per la pubblicazione su CD invece, a partire dagli anni Ottanta, si è assistito a quella che viene definita *Loudness War*.

Per richiamare maggior pubblico, specialmente nell'ambito della musica pop e rock, alcuni ingegneri del mastering decisero di trattare i livelli dei CD esattamente come se fossero i livelli di un

nastro analogico, equiparando il fondo scala digitale al punto di saturazione analogica con registrazioni che raggiungevano, sul picco, poco meno di 0 dB_{fs} ⁷³.

Ingegneri, musicisti ed etichette svilupparono ognuno le proprie idee su quanto i *Compact Disc* dovessero “suonar forte”, agendo spesso anche sulla distribuzione del suono nello spazio, pur sempre in formato stereo L/R: certo è che in venticinque anni, l’incremento dei volumi e l’appiattimento della dinamica ha portato ad un calo notevole della qualità del suono a favore di un mero e sterile impatto sonoro sull’orecchio.

Questo riguarda più propriamente la musica pop - rock ma, in modo marginale, anche le pubblicazioni di musica classica, i DVD e le pubblicità.

Riporto parte del testo della delibera *AGCOM n. 219/09/CSP* pubblicata nella *Gazzetta Ufficiale* del 5/12/2010 relativa a *Disposizioni in materia di livello sonoro dei messaggi pubblicitari televisivi e delle televendite*.

La normativa definisce le regole tecniche alle quali le emittenti televisive devono attenersi per evitare che i messaggi pubblicitari siano trasmessi con una potenza sonora superiore alla potenza sonora ordinaria dei programmi dell’emittente stessa. Tale livello di potenza sonora, o loudness, per l’intero programma, misurato con strumentazione conforme alle ITU-R BS. 1770 e BS. 1771, deve essere $-24 \pm 0,5 \text{ LKFS}$. Le caratteristiche tecniche della fornitura dei materiali pubblicitari sono pubblicate nei siti delle concessionarie delle diverse emittenti. Nel caso in cui il materiale consegnato, ovvero il singolo spot, abbia un livello di potenza sonora media diverso da quello indicato dalla normativa, le emittenti si riservano la possibilità di normalizzare tale livello, senza tuttavia alterarne la dinamica audio.

Dolby Digital ha fissato il suo standard sui $-20 \text{ dB}_{\text{fs}}$, un livello medio di volume ben definito e calibrato. Questo significa un volume robusto per le colonne sonore dei film, i concerti dal vivo, le opere liriche, i balletti, e tutto ciò che può essere

⁷³ Picco massimo della scala dB digitale, oltre al quale si ha la distorsione.

divulgato su DVD e CD.

L'operazione di compressione della dinamica, quindi, fa parte dello standard di operazioni a corredo di una pubblicazione.

Nel caso del disco pubblicato nella collana *Galleria*, è esplicitamente dichiarato in copertina che si tratta di un'edizione *Digitally Remastered*. Credo si possano, a questo punto, ricondurre in questa definizione le operazioni di post-produzione effettuate per la miglioria del suono nonché il trattamento secondo le direttive per la commercializzazione.

Il materiale audio che ho ottenuto dopo i diversi passaggi per eliminarne i disturbi è quindi fedele all'originale contenuto in bobina: questo comporta che se il restauro era mirato ad un recupero digitale della registrazione, con le operazioni correttamente eseguite il risultato è stato raggiunto.

Prestando ascolto invece all'orecchio che si è abituato all'esecuzione e che ne cerca una pulizia più consona al valore artistico, ho spinto oltre il lavoro cercando un miglioramento del suono attraverso l'applicazione non troppo invasiva di un equalizzatore.

Prima di procedere, ho effettuato un altro *bounce to disk* per avere così salvato in un file autonomo, il materiale audio esclusivamente pulito dai disturbi.

Il formato scelto è un formato standard: *.aif/44.100kHz/16bit*.

Ho optato per la tipologia *Audio AIFF-C* perché nativa nel sistema operativo *Apple*⁷⁴.

Alla fine dell'operazione, tornando su *ProTools HD 9*, ho scelto tra i diversi equalizzatori, il modulo Q8, un equalizzatore a otto bande.

Solitamente, l'equalizzazione standard per la musica classica prevede un aumento inversamente proporzionale delle frequenze basse dai 32 Hz ai 250 Hz, un leggero taglio delle frequenza medie, dai 500 Hz ai 1000 Hz, ed un graduale

⁷⁴ I formati *.aif* e *.wav* sono sostanzialmente uguali: il primo è stato creato dalla *Apple*, il secondo da *Microsoft*.

aumento delle frequenze da 2000 Hz ai 16000 Hz.

In questo specifico caso, i bassi, riconducibili alla fila dei contrabbassi e dei violoncelli, così negli ottoni, sono abbastanza pronunciati sia per la scrittura in partitura operata da Prokofiev, sia per il taglio dell'esecuzione data dal direttore d'orchestra, mentre nelle frequenze alte è presente un sibilo che le precedenti operazioni di pulitura non hanno eliminato.

Ho scelto quindi di tagliare le frequenze inferiori ai 32 Hz, tagliare in modo graduale quelle superiori ai 9000 Hz, e ridurre lievemente il volume delle frequenze centrali, quelle proprie della voce.

Questa curva di equalizzazione risulta in un più armonico rapporto di volumi tra la voce recitante e l'orchestra e diminuisce notevolmente il disturbo presente nelle alte frequenze.



Figura 45 - curva di equalizzazione

Riporto qui di seguito le tre rappresentazioni dello spettrogramma del finale dell'opera, uno stralcio di 1 minuto e 48 secondi. Per questioni inerenti ai diritti *Siae* di *copyright*, infatti, posso allegare a questo testo un CD, con un massimo di due minuti del materiale in questione.

I tre *screenshot* mostrano, visualmente, la graduale pulizia dello spettrogramma, fino al raggiungimento di una condizione di qualità e pulizia relativamente accettabile.

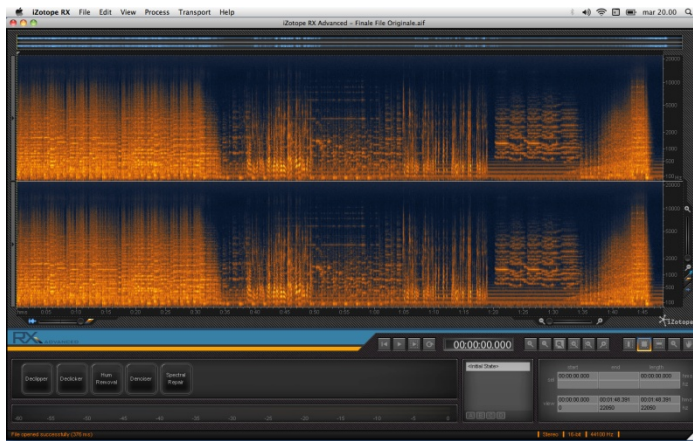


Figura 46 - spettrogramma del finale di *Pierino e il lupo* come da materiale originale digitalizzato (Traccia 1)

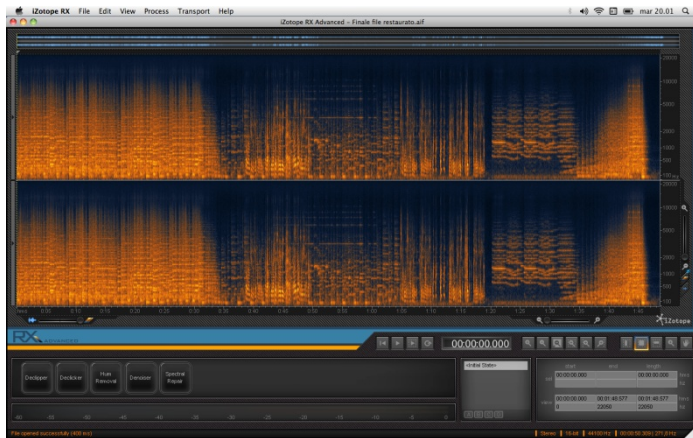


Figura 47 - spettrogramma del finale di *Pierino e il lupo* come da materiale restaurato (Traccia 2)

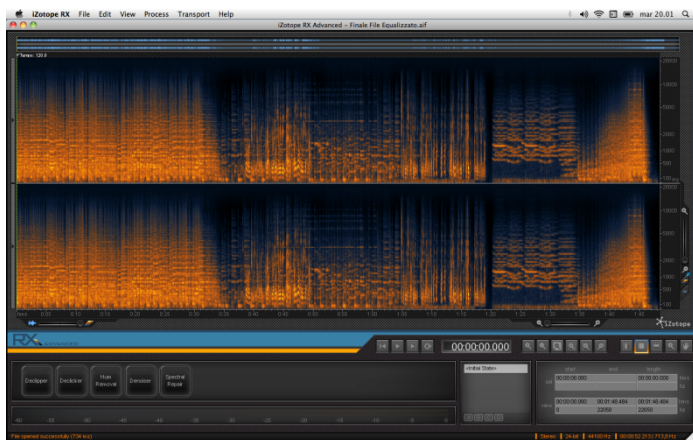


Figura 48 - spettrogramma del finale di *Pierino e il lupo* come da materiale restaurato ed equalizzato (Traccia 3)

Anche dopo il confronto delle tre tracce allegate, risulta chiaro all'orecchio il percorso che conduce ad una versione del materiale in cui tutto risulta più udibile e riconoscibile.

Se ascoltiamo invece il finale tratto dal cd digitalmente rimasterizzato, anch'esso allegato (Traccia 4), l'impatto sonoro è diametralmente diverso: il suono più cristallino, più coinvolgente perché distribuito nello spazio, più potente perché aiutato nei volumi. E per quanto non abbiamo certezza che la matrice sia la stessa, possiamo invece affermare che gli esecutori, lo studio e gli operatori sono gli stessi in entrambe le esecuzioni.

Proprio il confronto tra questo *excerpt* e lo stralcio processato con una non troppo invasiva equalizzazione, che riduce ancora i disturbi e rende più omogenea l'esecuzione, porta ad una sorta di giusta conclusione: anche se questo è un processo da assoggettare alla post-produzione, sembra palese che il risultato a cui conduce conferisce all'intera operazione di restauro una patina di qualità moderna che non interferisce con la storicità della registrazione, ma ne ripristina, come una delle accezioni del termine restauro recita, lo stato primordiale.

4.4: restauro della *Manon Lescaut* di G. Puccini

La *Manon Lescaut* di G. Puccini, ispirata al celebre romanzo francese *Storia del cavaliere Des Grieux e di Manon Lescaut* pubblicato da Antoine François Prévost nel 1731, andò in scena per la sua prima assoluta il 1° di febbraio del 1893, al *Teatro Regio di Torino*.

A differenza di altre opere pucciniane, *Manon Lescaut* ottenne immediatamente il favore della critica e del pubblico, un consenso che ancora oggi è indiscutibilmente fervido.

La registrazione di cui ho operato il restauro è stata effettuata dal vivo, il 3 marzo 1969, in occasione della prima rappresentazione, in quella stagione, al *Teatro dell'Opera* di Roma, in un teatro gremito di persone.

Gli interpreti sono Virginia Zeani, Walter Alberti, Richard Tucker, Mario Rinaudo, Ermanno Lorenzi, Giorgio Onesti, Giuseppina Dalle Molle, Gabriele De Julis, Renato Ercolani, Umberto Frisaldi, Giovanni Amodeo ed Enzo Titta.

Il direttore d'orchestra è Thomas Schippers che conduce il coro e l'orchestra del *Teatro dell'Opera* di Roma.

Il materiale mi è stato consegnato dall'archivio già digitalizzato su *Compact Disc*, quindi già riversato dalle originali bobine.

Nell'*iter* lavorativo fissato dalla direzione, infatti, prima di operare qualsiasi forma di elaborazione sui materiali digitalizzati, si procede con il riversamento di un cospicuo numero di bobine, secondo un piano di lavoro deciso secondo svariate esigenze. Le digitalizzazioni vengono poi filtrate attraverso il sistema *Sonic Solution NoNoise™*, un valido software che elimina rumore di fondo e rumori brevi quali *click* e *pop*, fissate su CD e archiviate in confezioni personalizzate nella collana *Archivi dell'Opera*, curata da Angelo Giovagnoli e Marina Poscia.

Solo in un secondo momento, partendo da questi supporti, si procede ad un lavoro di restauro più peculiare qualora fosse

richiesto.

Nel caso della *Manon Lescaut*, provata l'assenza di disturbi meccanici e imperfezioni dovute alla digitalizzazione, precedentemente eliminati dall'*équipe* dei tecnici dell'archivio, ho sperimentato il processo di auralizzazione con i dati ottenuti tramite il software di simulazione *Aurora*.

Il Prof. A. Farina, docente del *Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università di Parma* e ideatore dell'applicativo, sostiene che, nel caso di un teatro esistente, niente eguaglia l'accuratezza di un set di risposte all'impulso misurate.

Se nello scenario delle misurazioni acustiche del *Teatro degli Intrepidi* si è resa necessaria una costruzione tridimensionale dell'edificio per ottenere un ambiente virtuale, vista l'inagibilità della struttura andata totalmente perduta, nel mio caso, ho tenuto come punto di partenza, le misurazioni acustiche realizzate dal vivo nel 2001 da un'*equipe* di studenti, guidata dal Prof. G. Iannace, del *S.U.N. – Seconda Università degli Studi di Napoli – Facoltà di Architettura*.

Filtrando poi rumori e suoni isolati, come un colpo di timpani o il rumore dei passi in scena, ho analizzato tramite *Aurora*, gli stessi parametri presi in considerazione durante le misurazioni reali, al fine di ottenere in dati l'effettiva depauperazione dell'ambientalizzazione operata nella prima pulitura del materiale. Tramite calcoli matematici secondo le leggi di Sabine, ho poi ottenuto i dati utili ad una nuova riverberazione dei brani per riproporli in un più veritiero e fedele ambiente sonoro.

Di seguito, il restauro e successiva auralizzazione dell'aria *In quelle trine morbide*, tratta dal II atto della *Manon Lescaut*.

Dopo un primo ascolto, il materiale è apparso privo di *click* e disturbi simili e per quanto la qualità del suono e l'intelligibilità del cantato fossero buone, una leggera sensazione metallica poteva essere rintracciata nei brevissimi momenti di pausa scritti in partitura.

Questa poteva essere una conseguenza del filtraggio molto forte effettuato con il modulo di riduzione del rumore ambientale: per quanto infatti fossero ancora presenti quantità residue di rumore di fondo a 50 Hz e di *Broadband Noise*, il materiale si presentava abbastanza “pulito”.

Era udibile la presenza del pubblico, riconoscibile non solo dallo scrosciante e lungo applauso finale, ma da qualche parola non comprensibile sussurrata durante l’esecuzione.

L’intera dinamica registrata quindi, che aveva come limite minimo le parole bisbigliate dal pubblico e che cresceva via via con il pianissimo dell’orchestra fino al possente acuto del soprano per poi raggiungere il picco con l’applauso del pubblico, indicava che la ripresa era stata effettuata con una coppia di microfoni omnidirezionali, posti, probabilmente, in alto e davanti al golfo mistico, come consuetudine nelle sale da concerto.

Le ipotesi fatte sono state confermate dallo spettrogramma ottenuto tramite *iZotope RX Advanced*.



Figura 49 - spettrogramma del materiale come da CD

Una volta importato il file in *ProTools HD 9*, ho utilizzato il *plug-in X-Hum* ed il *plug-in Z-Noise* per rimuovere i disturbi residui.

Dopo il trattamento, era evidente l’assenza di *Broadband Noise*:

l'ocra-arancio della sommatoria delle frequenze dei suoni infatti si stagliava da un pulitissimo fondo nero e, dopo l'applicazione del filtro di rimozione del rumore di fondo, nelle immediate adiacenze delle ascisse, non erano individuabili le caratteristiche linee orizzontali che determinano la presenza di una frequenza fondamentale e relativi armonici.



Figura 50 - settaggi del modulo X-hum



Figura 51 - settaggi del modulo Z-Noise

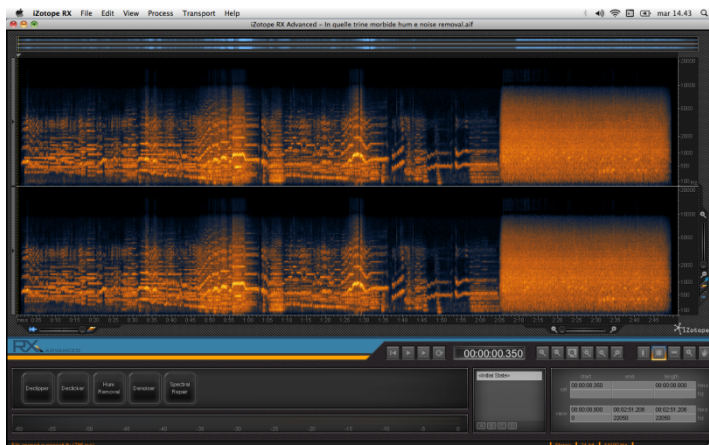


Figura 52 - spettrogramma del materiale dopo il trattamento con i due moduli di riduzione del rumore

L'utilizzo del modulo *PAZ-Analyzer* ha mostrato e confermato l'uso di microfoni omnidirezionali durante la ripresa: dal ventaglio visualizzato, infatti, si è potuta dedurre la spazialità e la distribuzione sui due canali stereo *L+R*. Per la forma dello schema, lontana dalla sottile linea precisamente centrata che sarebbe risultata come conseguenza dell'utilizzo di un microfono direzionale, si è potuta evincere la gamma angolare del microfono omnidirezionale.

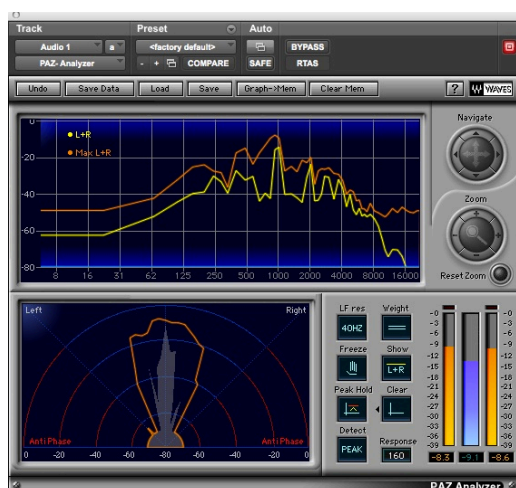


Figura 53 - Analisi delle frequenze e del *SoundField*

Considerando la buona dinamica del brano, oltre alla qualità raggiunta con le diverse operazioni di filtraggio dei disturbi, il lavoro di restauro potrebbe essere già considerato esaustivo.

Queste basi invece segnano, nel mio personale percorso, il punto di partenza per un ulteriore approfondimento sulle tecniche digitali di recupero dell'audio, mirate alla collocazione del materiale, attraverso sperimentazioni innovative, in un più preciso ambiente acustico.

Per ottenere dati puntuali e utili all'operazione di ambientalizzazione alla quale l'intero processo di restauro è, in questo caso, finalizzato, ho importato il file nel sistema operativo *Windows Xp* per poterlo analizzare, tramite *Adobe*

Audition, con *Aurora*.

I grafici che presenterò di seguito non saranno simili a quelli riportati nell'esposizione del caso del *Teatro degli Intrepidi*: i risultati ottenuti dai tecnici che hanno condotto le misurazioni, sono stati presentati in quell'ambito tramite il *software Ramsete* perché frutto di una mera simulazione digitale che ricercava un'ambientalizzazione dei campioni per renderli ascoltabili nel contesto virtuale ricostruito.

L'applicazione sperimentale del *software*, nel mio caso, è stata effettuata in modo inverso: tramite *Aurora* ho cercato di capire l'ambiente nel quale l'esecuzione è avvenuta, gli eventuali processi esterni che avrebbero potuto modificare l'ambientalizzazione del materiale durante una prima fase di recupero, e, qualora questo fosse avvenuto, collezionare i dati completi per riportare l'esecuzione nella sua *location*.

Se quindi, nel caso di una totale simulazione digitale, anche il suono è generato o riprodotto da macchine, in questa specifica situazione l'analisi è condotta su un'esecuzione reale registrata in presa diretta per scopi archivistici.

Questo ci permette di partire da alcuni dati reali ed inequivocabili come ampiezza, durata del brano e presenza di disturbi deducibili dalla prima analisi del documento, necessaria anche per una forma più tradizionale di restauro.

Una raccolta più approfondita di nuovi estremi e parametri si rende necessaria per comprendere invece quelle caratteristiche meno pronunciate del documento da restaurare.

Ho così rintracciato nella registrazione dell'intera opera, suoni singoli che potessero rendere proficuo l'uso del software: nello specifico, ho ritenuto validi *samples* quali un rullo ed un colpo di timpani, un rullo ed un colpo di rullante, una strappata del *tutti* dell'orchestra ed il rumore di passi in scena.

Tra questi, l'ultimo si è rivelato il più adatto alla determinazione dei modelli.

Ho poi scelto tra le variabili dell'analizzatore quei valori che

potessero avvicinarsi alle ipotesi fatte per la registrazione, fissando così tra i -5 dB e i -15 dB la gamma del tempo di riverberazione ed impostando come mezzo di ripresa, la coppia di microfoni omnidirezionali presupposta.

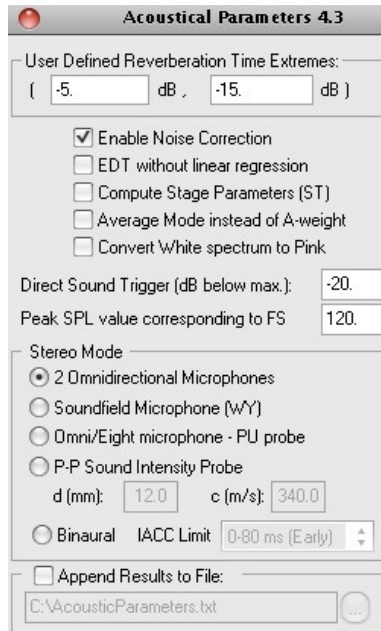


Figura 54 - parametri impostati per l'analisi con *Aurora*

Ho potuto ottenere così i dati dei tempi di riverbero $T20$ e l'indice di chiarezza $C80$ dell'esecuzione che è la risultante dell'insieme dato dalla caratteristica collocazione dei microfoni e dalle proprietà acustiche del teatro.

Ho omesso la misurazione dell'indice d'intelligibilità perché utilizzato, nello specifico, per calcolare l'indice di trasmissione del parlato: nel nostro caso, la parola era presente come libretto di un'aria d'opera, quindi cantata.

Di seguito, il grafico delle misurazioni schematizzate per banda del campione dei passi del tenore sul palcoscenico durante una scenda del IV atto.

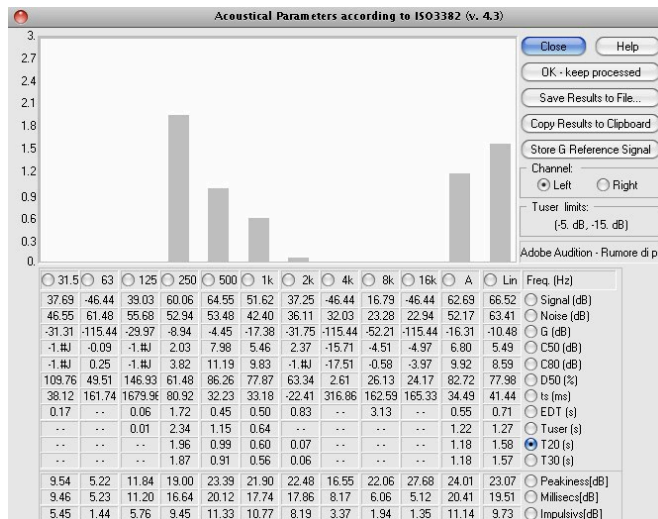


Figura 55 - indice dei tempi di riverbero T20

Se invece avessimo analizzato l'intero brano, per ricercarne una componente *N* di *Noise*, sarebbe risultato chiaro nel grafico ottenuto l'intervento dei tecnici dopo il riversamento, mirato a pulire dai disturbi più evidenti il materiale.

Il sintetico appiattimento del valore intorno allo 0 prova come, l'eliminazione del rumore ambientale, ha agito in modo oggettivo su tutte le frequenze, togliendo a quelle meno evidenti, parte dell'ambianza.

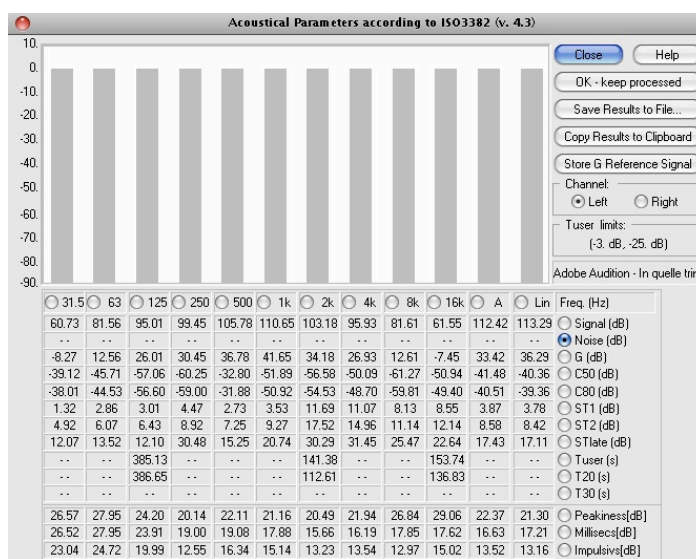


Figura 56 - misurazione del parametro Noise

Da questo assunto parte la mia volontà di provare, ricercando in via sperimentale, a conferire nuovamente al documento restaurato quell'identità spaziale che si rischia di sminuire con l'utilizzo delle normali tecniche: se infatti la riduzione del rumore ambientale attenua i disturbi della presa diretta, può ridurre, senza discriminante, il riverbero che rappresenta il naturale percorso del suono nell'aria, privando così l'esecuzione del tipico colore che l'ambiente le conferisce.

All'eccelsa qualità di alcune esecuzioni dal vivo, siano esse sinfoniche o operistiche, ha spesso contribuito l'ottima acustica delle sale da concerto nelle quali sono state presentate e che hanno fornito al suono uno spazio fisico consono ad un ascolto ottimale.

L'indice di chiarezza, i cui valori sono stati ottenuti sempre attraverso un'analisi digitale, mostra, nel nostro caso, le buone qualità acustiche del teatro.

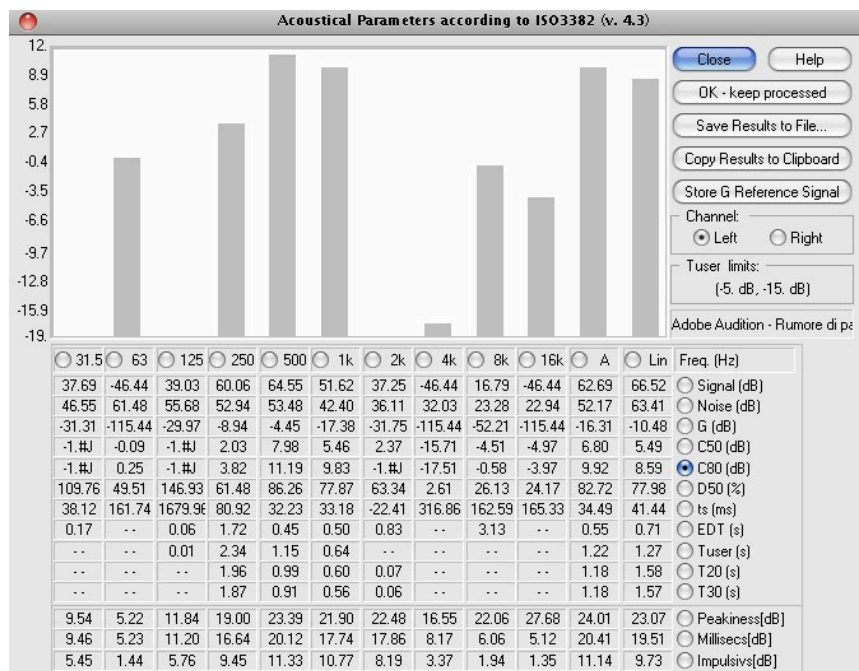


Figura 57 - misurazione dell'indice di chiarezza C80

Per un confronto mirato alla precisione dei parametri da utilizzare durante l'auralizzazione, ho tenuto conto dei dati della

misurazione dei descrittori della qualità del suono del *Teatro dell'Opera*, redatti per mano di un'equipe guidata dal Prof. G. Iannace nel 2001⁷⁵.

Posti nel teatro apparecchiati atti alla riproduzione e ricezione del suono secondo una mappa che potesse coprire punti nevralgici come palcoscenico, platea e palchetti, i tecnici hanno operato misurando gli attributi della percezione uditiva che maggiormente influenzano il giudizio di un individuo sulla qualità dell'ascolto della musica in una sala da concerto. Nella fattispecie il senso di riverberazione, la nitidezza della qualità uditiva, l'intensità percepita e l'impressione spaziale.

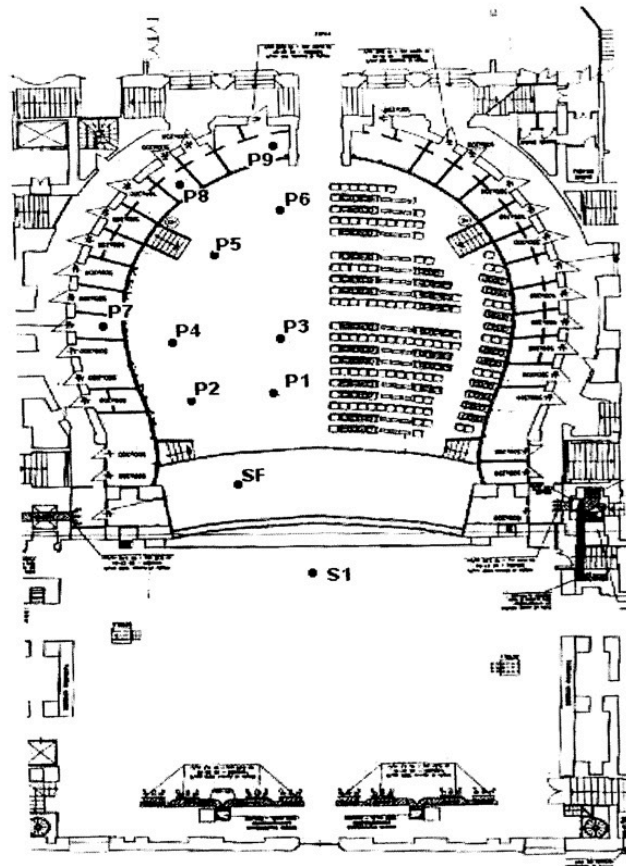


Figura 58 - disposizione dei punti di ricezione (P1-2-3-4-5-6-7-8-9) e delle sorgenti sonore (SF-1)

⁷⁵ G. Iannace, C. Ianniello, L. Maffei, R. Romano – *Acoustic Measurements in the "Teatro dell'Opera" in Rome* - Proceedings of the 17th International Congress on Acoustics, Roma (Italia), 2-7 Settembre 2001, paper 5885, ISSN 0393 1110.

Le misurazioni sono state eseguite ponendo prima una sorgente sul palcoscenico (la voce dei cantanti) e poi nel golfo mistico (l'orchestra).

In questo modo si sono ottenute misure precise della percezione della voce collocata nel suo spazio d'azione e del suono d'insieme proveniente dal luogo ad esso adibito, calcolando i tempi di riverbero (*RT* e *EDT*), l'indice di definizione del parlato (*D50*) e l'indice di chiarezza dal suono (*C80*).

Di seguito i dati ottenuti:

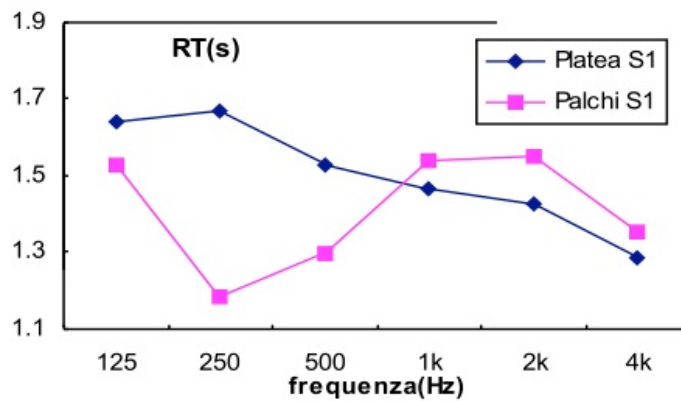


Figura 59 - valori del tempo di riverbero (*RT*) della voce

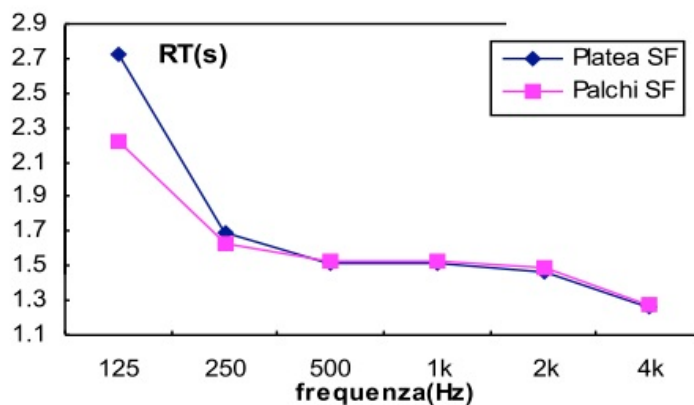


Figura 60 - valori del tempo di riverbero (*RT*) dell'orchestra

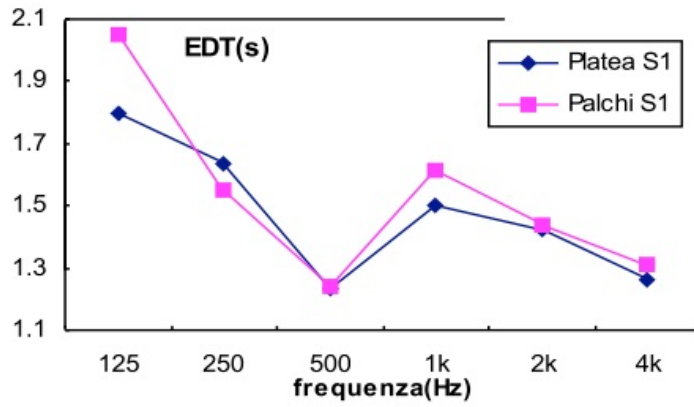


Figura 61 - Valori dell' EDT (Early Decay Time) della voce

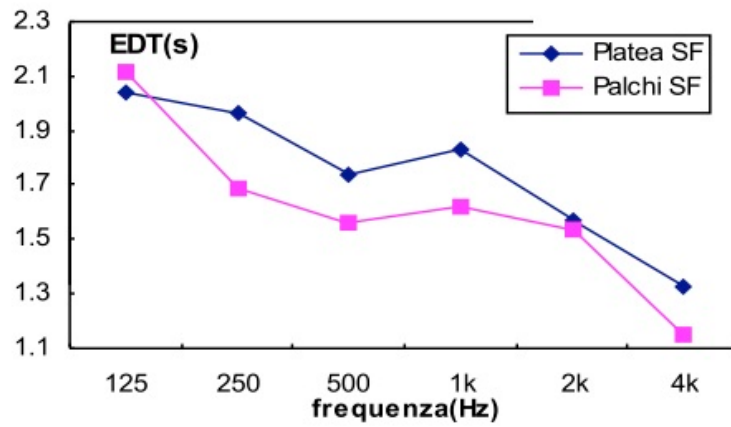


Figura 62 - valori dell'EDT (Early Decay Time) della voce

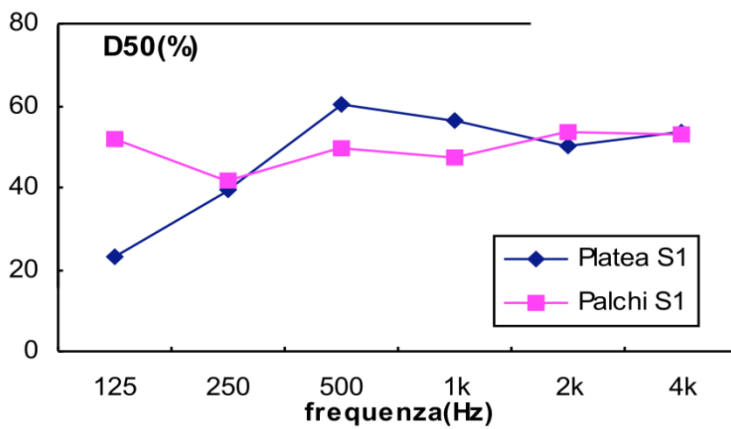


Figura 63 - valori dell'indice di definizione D50 della voce

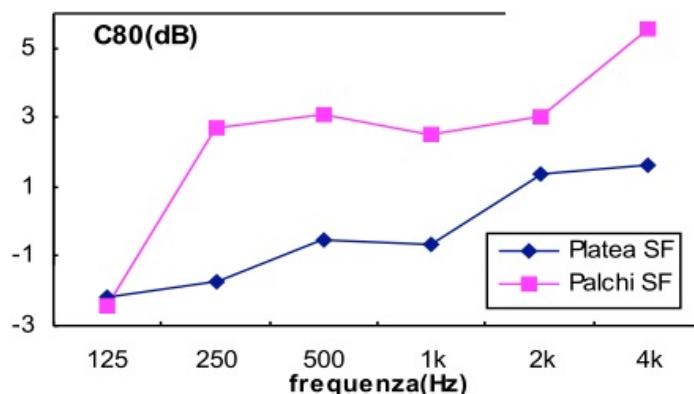


Figura 64 - valori dell'indice di chiarezza C80 dell'orchestra

Senza entrare nel merito della precisione dei dati ottenuti ma ponendoli per assunto come veritieri, i risultati mostrano come la sala presenta un'acustica chiara, caratterizzata da un'elevata vivezza e pienezza delle note, come provano gli alti valori *RT* ed *EDT*, valorizzata, in particolar modo, dall'esecuzione di musica lenta e poco articolata.

La romanza pucciniana, nella quale la vocalità del soprano che si estende dal registro medio e grave fino a lunghi acuti e filati è supportata da un'orchestrazione che trova negli archi un forte sostegno coloristico, può essere considerata uno dei migliori esempi dell'acustica del teatro.

Un'analisi del campione tramite la funzione *CrossFunction* di *Aurora* ha dato ulteriore conferma della posizione dei due microfoni durante la registrazione.

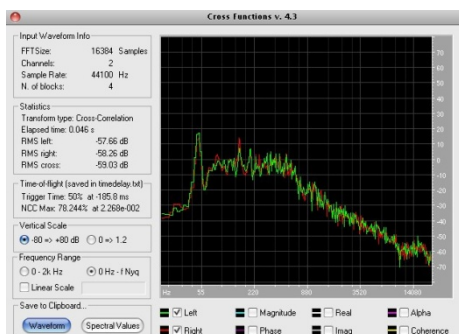


Figura 65 - grafico della funzione *Cross Function*

I due canali risultano pressoché uguali (linea rossa = canale destro/linea verde = canale sinistro) confermando un'immagine stereofonica scarsa che conferma l'utilizzo di due microfoni omnidirezionali, posti molto vicini tra loro, e davanti al golfo mistico, all'altezza dei palchetti.

La spazialità acustica dell'ambiente è data, con precisione, da altre cifre ottenute dalla misurazione reale: i valori misurati della frazione di energia laterale (LF), infatti, sono uguali e fissati a 0.27 quando la fonte sonora è posta sul palcoscenico, e differiscono di non molto (0.34 in platea e 0.26 sui palchi), quando la fonte è invece posta nel golfo mistico.

Questi, che si pongono nella gamma dei valori ottimali per una buona acustica, sono stati ottenuti tramite la misurazione ad impulso in un ambiente totalmente vuoto, privo cioè di pubblico, e implicano l'assimilazione del coefficiente d'assorbimento dei materiali con cui la sala è costruita all'acustica effettivamente misurata.

Ai fini del restauro dell'aria tratta dalla *Manon Lescaut*, per riprodurre le qualità ambientali di quel dato giorno, è stato importante tener presente che, trattandosi della prima recita del melodramma a Roma, il teatro era gremito di pubblico.

La diversa temporalità dei due eventi (l'opera è andata in scena nel marzo del 1969 e le misurazioni sono state effettuate nel 2001) non precludono l'attendibilità dei dati che possono essere considerati ancora validi al giorno d'oggi sulla base di notizie storiche.

Il *Teatro dell'Opera*, infatti, conosciuto come *Teatro Reale dell'Opera* fino l'avvento della Repubblica, subì per volere dell'amministrazione capitolina una ristrutturazione e un ammodernamento nel 1958, in vista delle Olimpiadi del 1960. Piacentini, cui era stato già affidato un primo progetto di ristrutturazione nel 1926 per volere di Mussolini, intervenne nuovamente ed in modo radicale sulle architetture preesistenti, consegnandoci l'odierna facciata con i relativi ingresso e

foyer⁷⁶.

Dall'epoca non ci sono stati sostanziali cambiamenti nella struttura e nell'arredamento: questo ci fa assumere l'immutabilità delle proprietà acustiche del teatro.

Con questo presupposto, ho spostato l'attenzione sul pubblico, che, nelle sale da concerto, è la causa principale di assorbimento sonoro alle medie e alte frequenze, e ho stimato i nuovi parametri acustici dovuti alla presenza di un vastissimo numero di spettatori.

In questa fase del lavoro è stato di fondamentale importanza l'apporto datomi dal Prof. Angelo Farina, pioniere in Italia dell'auralizzazione e ideatore dei software per l'analisi e la sua applicazione, già in precedenza citato insieme alle sue pubblicazioni.

Il calcolo eseguito secondo le sue direttive è risultato abbastanza facile con riferimento al tempo di riverbero, in quanto, secondo la formula di Sabine, note le unità assorbenti di partenza (volume V della sala e tempo di riverbero a sala vuota $T1$), e aggiungendo a denominatore le unità assorbenti $A2$ dovute al pubblico⁷⁷, ricaviamo le seguenti operazioni:

$$A1=0.16*V/T1$$

$$A2=a(f)*N$$

$$T2=0.16*V/(A1+A2)$$

In questo modo riusciamo ad ottenere un dato preciso che indica i tempi di riverbero nella specifica condizione del teatro al momento dell'esecuzione.

⁷⁶ http://www.operaroma.it/il_teatro/strutture/teatro_dell_opera/storia

⁷⁷ Direttamente proporzionali al numero di posti N , che nel nostro caso è di circa 2200.

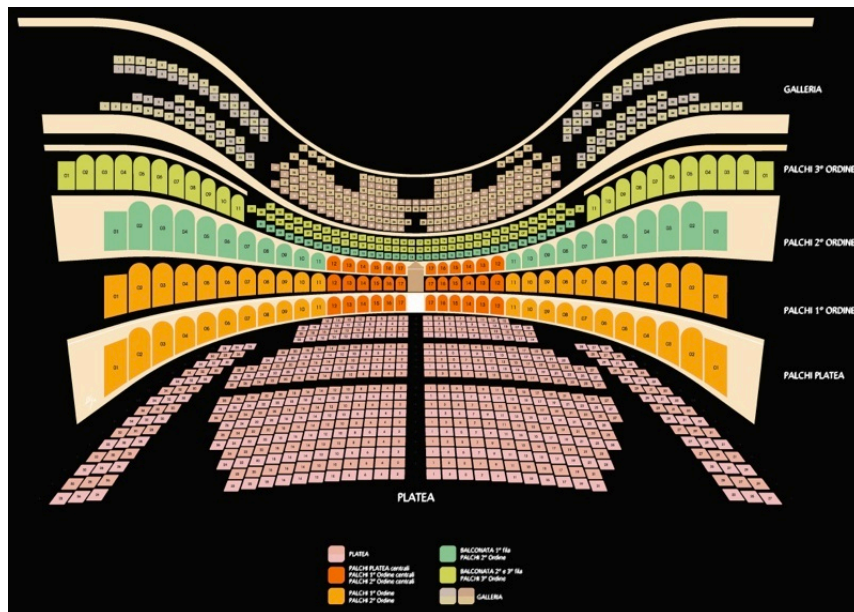


Figura 66 - pianta del Teatro dell'Opera

Il calcolo dell'indice di chiarezza ha richiesto un'elaborazione di poco più complessa, trattandosi di un valore espresso in dB che rappresenta il rapporto fra energia iniziale nei primi 80 ms, non variabile in funzione del riverbero, ed energia tardiva dopo gli 80 ms, direttamente proporzionale invece al fattore $4/A$ del riverbero.

Il nuovo calcolo dunque, presenta la nuova energia riverberata secondo la seguente formula:

$$C80^1 = C80 + 10 \cdot \log_{10} [(A1 + A2) / A1]$$

A questo punto, sottraendo i valori di riverbero e chiarezza ricavati dall'analisi digitale del materiale estratto dal CD, ho definito i valori che ho fornito al modulo di riverbero artificiale, arbitrari alle varie frequenze.

Il problema dell'ambienza ci pone davanti ad un intervento finalizzato ad un leggero arrotondamento dei valori di riverberazione ed ad un piccolo allontanamento della distanza sorgente – ascoltatore.

I microfoni, infatti, sospesi in aria e all'altezza del podio,

rappresentano un punto di ascolto realistico ma non reale: il direttore d'orchestra è, infatti, l'ascoltatore la cui percezione è più prossima ai valori risultati dall'analisi, ma non il diretto ricettore che è spazialmente spostato sulla verticale di qualche metro.

Nell'intento di far ascoltare l'esecuzione dalla collocazione di uno spettatore, possiamo quindi "muovere" il punto di ripresa della registrazione, quindi i microfoni, in una diversa e più consona posizione.

Per ottenere questo effetto, ho alzato di livello la coda riverberante senza però renderla meno ripida.

Tra i diversi *plug-in* ideati per l'ambientalizzazione, per altro testati in questo caso per un confronto equiparato dei risultati, il modulo *Waves IR1* mi è sembrato quello più adatto alle specifiche del materiale audio e dell'ambiente in cui è stato registrato.

Nella collezione di risposte all'impulso di teatri implementabile nel modulo, ho rintracciato una configurazione che, per i dati che presenta, è molto simile al quadro acustico scaturito dai calcoli effettuati sul *Teatro dell'Opera di Roma*.

Si tratta del *Teatro Valli di Reggio Emilia*, che come conferma lo stesso Farina che ne ha fatte personalmente le misurazioni, è simile al teatro di tradizione romano per forma in pianta, volume, materiali, epoca di costruzione e numero di posti.

Ho posto così il punto d'ascolto nella sesta fila, non troppo lontano alla posizione del direttore d'orchestra. Tra i *set*, ho scelto quello che presenta una coppia microfonica *ORTF*, composta da due cardioidi *Neumann*, l'attrezzatura di ripresa più simile a quella ipotizzata per la registrazione.

Per ricreare la riverberazione dell'esecuzione nella data circostanza, ho ridotto il tempo di riverbero da circa 1.6s, il suo valore reale, a circa 0.8s e per regolare il valore di chiarezza, ho agito sul rapporto *wet/dry*, che mi ha permesso anche di

allontanarmi spazialmente dalla sorgente⁷⁸.

Per assicurarmi che i valori di chiarezza fossero quelli voluti nel rispetto dell'ambiente reale e del pubblico ipotizzato, ho filtrato con il *plug-in*, senza cambiarne le impostazioni decise per l'utilizzo sul documento, un segnale impulsivo (*Delta di Dirac*⁷⁹) per poi analizzarne la risposta attraverso il modulo *Acoustical Parameters* di *Aurora*, e verificarne la correttezza dei dati.

L'attenta valutazione del risultato è stata effettuata usando una coppia di monitor professionali auto-amplificati e con ingresso digitale prodotti dalla *Genelec*, in modo da testare la qualità di un'immagine spaziale che potesse funzionare bene sia in cuffia che su due casse stereo di buona qualità.



Figura 67 - impostazioni e preset modulo IR1

Nel supporto allegato a questo scritto, ho riportato tre tracce audio (Tracce 5,6,7) che testimoniano l'iter seguito: la durata dell'aria è di circa due minuti, anche se il minutaggio di ogni singola traccia è di 2 minuti e 51 secondi, avendo conservato il lungo applauso finale che giunge alla fine dell'esecuzione.

Il risultato ottenuto porge ad un ascoltatore attento, un suono

⁷⁸ La riduzione del parametro *Dry* rispetto al parametro *Wet* è direttamente proporzionale alla distanza dalla sorgente.

⁷⁹ Funzione generalizzata che dipende da un parametro reale in modo tale che sia nulla per tutti i valori del parametro ad eccezione dello zero, ed il suo integrale sul parametro tra $-\infty$ e ∞ sia pari a 1.

generalmente più fluido e timbricamente più morbido che si muove nella spazialità in modo più naturale e privo di quella patina metallica che il primo passaggio di filtri gli aveva conferito.

Che questa sia la reale sensazione che un presunto ascoltatore, seduto in sesta fila, abbia potuto provare non è certo: è evidente però che i calcoli e i numeri ci indicano come il documento, così proposto, possa essere più facilmente assoggettabile ad una più prossima realtà.

CONCLUSIONI

Dalla ricostruzione documentata del percorso di restauro digitale del *Pierino e il Lupo*, Op. 67 di Sergej Prokoviev e dell'aria *In quelle trine morbide* tratta dal II atto della *Manon Lescaut* di Giacomo Puccini si evince la proficua utilità dei dati ottenuti da una più profonda analisi dei documenti che concorre, nello slancio innovativo, a rivelarne, in un rinnovato ascolto, una più puntuale collocazione storica.

La raccolta d'informazioni precisa e puntuale posta alla base della normale *routine* del processo, diventa quindi il nucleo di partenza per una coda di operazioni che mirano ad un recupero più focalizzato e circoscritto.

Nel caso della bobina conservata presso l'archivio del *Centro Teatro Ateneo*, uno studio contestualizzato all'archivio stesso ed una ricerca a largo raggio hanno confermato nuove possibilità d'indagine nella ricerca della matrice e nell'identificazione del materiale, quando, per svariate ragioni, questo risultasse, per mancanza di dati, approssimativo.

Lo stesso processo è poi stato utile per verificare quanto di un documento archiviato viene modificato in prospettiva di una commercializzazione, ottimizzando, nel rispetto della standardizzazione dei requisiti per la pubblicazione, parametri propri dell'audio quali dinamica e compressione.

Questo comporta una più contemporanea qualità dell'ascolto che si colloca però ai limiti di una rilettura del documento, privato in parte dalle caratteristiche conferitegli al momento dell'incisione sulla matrice.

Se espedienti simili sono stati usati per il documento proveniente dall'archivio del *Teatro dell'Opera* di Roma, il presupposto e lo scopo muovono da concetti e scenari totalmente diversi.

Il brano di Prokoviev, infatti, nella pubblicazione fatta della *Deutsche Grammophon*, è stato eseguito e registrato in studio

e pensato, all'origine, per essere trattato e finalizzato con un intervento di post-produzione. Questo, come espresso chiaramente tra le specifiche in copertina, è stato eseguito trentatré anni dopo e ha agito, utilizzando attrezzature più moderne, sull'equalizzazione, l'ottimizzazione del livello di volume e del timbro e sulla spazialità e riverberazione dei suoni.

Nel caso dell'opera di Puccini, invece, la tecnica di auralizzazione, supportata da calcoli reali di misurazione acustica del teatro ed il successivo trattamento del documento attraverso moduli digitali specifici, ha ricreato, attraverso i numeri, la precisa collocazione spaziale dell'esecuzione.

Per quanto senza questo ulteriore trattamento il documento risulterebbe già sufficientemente intelligibile e di buona qualità, il passo potrebbe rendersi necessario in un'ottica di una maggiore precisione di storicità: gli inevitabili passaggi per l'eliminazione dei disturbi più comuni, attenuando il "non suono", cancellano parte dell'ambienza originale insita nelle informazioni audio, dislocandolo, per assurdo, in un "non luogo" acustico.

Quando si ha la possibilità di reperire dalle fonti le condizioni specifiche di una data esecuzione, come per esempio la quantità di pubblico presente in sala, e raccogliere tramite misure reali o simulazioni attraverso un software la precisa schematizzazione delle proprietà acustiche del teatro, possiamo conferire nuovamente al documento quel *quid* che rende unica l'esecuzione e, parimenti, lo stesso.

L'odierna situazione economica del paese, in cui i tagli alla cultura hanno ridotto non solo i titoli in cartellone ma anche i fondi destinati alle operazioni di recupero degli archivi, rende l'implementazione di una pratica innovativa del genere, almeno in modo generalizzato, poco probabile.

I mezzi per il restauro digitale dell'audio non sono di per sé troppo dispendiosi: la spesa, infatti, per l'*hardware* e il *software*

è facilmente ammortizzabile da un ente o società che punta alla pratica con un discreto *budget* iniziale.

È sicuramente più impegnativo, da un punto di vista economico, munirsi *in loco* delle giuste apparecchiature per riprodurre i supporti ormai obsoleti, non solo perché difficili da reperire, ma perché necessitano di una continua manutenzione e cura.

Se dovessimo aggiungere a queste spese anche le misurazioni acustiche di una determinata sala da concerto o l'eventuale simulazione, che prevede tra le cento e le duecento ore di lavoro per la sola creazione del *Cad*, possiamo immaginare come le reali difficoltà economiche possano fermare l'eventuale processo d'innovazione.

La situazione sembra migliore nel contesto dell'*Unione Europea*, tra le quali direttive invece è possibile rintracciare forti volontà per il recupero e la digitalizzazione degli archivi e ingenti fondi erogati per la realizzazione di questi progetti.

Certo è che la creazione di un *data base* che raccolga tutte le proprietà d'ambiente delle sale da concerto, finalizzato non solo ad un innovativo restauro digitale ma anche ad una preservazione numerica di qualità acustiche uniche, potrebbe risultare un legante efficace per la creazione di una più stretta rete tra gli archivi.

Realtà più grandi, come quelle del *Teatro alla Scala* di Milano, o del *Teatro San Carlo* di Napoli, o del *Teatro dell'Opera* di Roma potrebbero impiegare parte dei fondi per commissionare e realizzare le misurazioni, ottenendo valori utili per l'applicazione del "restauro auralizzato" nei propri archivi storici, e servire poi le specifiche necessarie alla stessa forma di recupero innovativa ad archivi minori che conservano materiale più eterogeneo.

Fuori da scenari immaginifici, l'elaborato porta l'esempio di come questo sia possibile, cercando di fornire una sorta di ampio glossario non indicizzato con cui il "diario di bordo" del processo può essere meglio compreso.

Riporto, per concludere, una citazione del Maestro Claudio Abbado:

La cultura arricchisce sempre; la cultura permette di superare tutti i limiti; [...] la cultura, come la musica, è ascolto, che è la base del vivere civile e del pluralismo. [...] la cultura è un bene comune e primario, come l'acqua: i teatri, le biblioteche, i musei, sono i suoi tanti acquedotti; la cultura è come la vita [...]

e la vita ha bisogno, anche in piccolo, di essere preservata nella sua unicità.

RINGRAZIAMENTI

Desidero porgere i miei più sinceri ringraziamenti, con stima e riconoscenza, al Prof. Ferruccio Marotti, docente presso *La Sapienza – Università di Roma* e direttore del *Centro Teatro Ateneo*, per avermi dato la possibilità di svolgere, in un ambiente vivido e sereno, questa attività di ricerca.

Vorrei ringraziare la Dott.ssa Desirée Sabatini, responsabile del settore di postproduzione video e restauro digitale presso il *Centro Teatro Ateneo* e docente presso *La Sapienza – Università di Roma*, per aver contribuito alla mia iniziazione e alla mia crescita professionale in questo campo.

Desidero infine ringraziare il Prof. Angelo Farina, docente presso il *Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università di Parma* e membro dell'*AES*, *ASA* e *IAA*, per avermi supportato con preziosissimi consigli durante lo sviluppo della metodica d'innovazione del progetto, e Gilles Barberis, *Head of Sound Department* presso *l'Immagine Ritrovata* di Bologna, e Fabrizio Bacherini, *Sound Engineer* presso lo studio *Start Group*, per le puntuali notizie *on-the-fly* sui software.

Un ultimo ringraziamento va alla mia famiglia che mi ha sostenuto nelle scelte lungo questo percorso: a loro sarò sempre grato.

BIBLIOGRAFIA

- Aarts, Ronald M. JAES Volume 48, Issue 3, pp. 181-189; March 2000;
- Abdounur, Oscar João, *Matemática e Música: O pensamento analógico na construção de significados*, São Paulo, 2002, 2ª Edizione, Editora Escrituras;
- Buttigli, Marcello, *Descrittione dell'apparato fatto, per honorare la prima, e solenne entrata in Parma della Serenissima Principessa, Margherita di Toscana, Duchessa di Parma, Piacenza & C.* Parma 1629, p. 268;
- Calas, Marie-France, Fontaine, Jean-Marc, *La conservation des documentes sonores*, CNRS Editions, Paris, 1996;
- Calas, Marie-France, *Les débuts des archives sonores set visuelles*, in "Ethnologie française", VIII, 1978, p. 331;
- Cavicchi, Adriano, *L'architettura teatrale dall'epoca greca al Palladio*, pp. 333 - 342; in: *Bollettino del Centro Internazionale di Studi di Architettura "Andrea Palladio"*, XVI 1974;
- Cingolani, Sergio, Spagnolo, Renato, a cura di, *Acustica musicale e architettonica*, Città Studi, 2007;
- Cox, Christian e Warner, Daniel, *Audio Culture*, Continuum, 2004;

- Dalenback, Bengt-Inge, *The importance of diffuse reflection in computerized room acoustic prediction and auralisation* - Proc. of Opera and Concert Hall Acoustics, IOA vol. 17, part 1, London, 1995, pag. 27-34;
- Doati, Roberto e Vidolin, Alvise, *Nuova Atlantide. Il continente della musica elettronica*, Venezia, La Biennale, 1986;
- Duranti, Luciana, *La definizione di memoria elettronica: il passo fondamentale nella sua preservazione*, in Morelli e Ricciardi, pp. 151-152;
- Everest, Alton, *Manuale di Acustica*, HOEPLI, 1996;
- Eyring, Carl F. *Reverberation time in 'dead' rooms*, J. Acoust. Soc. Am. 1, 168, 1930;
- Farina, Angelo, *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 Ottobre 1993;
- Farina, Angelo, Galaverna, Paolo, Giabbani, Marzia, *Il processo di auralizzazione: metodologia ed esemplificazione*, dispensa Università di Parma;
- Farina, Angelo, Galaverna, Paolo, Truffelli, Guido, *"RAMSETE" un nuovo software per la previsione del*

- campo sonoro in teatri, ambienti industriali ed ambiente esterno*, Atti del XXII Convegno Nazionale AIA, Lecce 13-15 aprile, 1995, pp.85-90;
- Farina, Angelo, Tronchin, Lamberto, *3D Impulse Response measurements on S.Maria del Fiore Church, Florence, Italy* – Proc. of ICA98, International Conference on Acoustics, Seattle (WA) 20-26 June 1998;
- Faustini, Giuseppe, *Biblioteca de' scrittori ferraresi*, III, c. 16 v. B. Ar. Ferrara: collezione Antonelli 362;
- Feaster, Patrick, a cura di, *Édouard-Léon Scott de Martinville's "Fixation graphique de la voix" (1857). A critical edition with english translation and facsimile*, in <http://www.firstsounds.org/>;
- Flichy, Patrice, *Une histoire de la communication moderne*, Baskerville, 1994, p. 106;
- Frizzi, Antonio, *Memorie per la storia di Ferrara*, Pomatelli, Ferrara 1796, V, p.43;
- Galilei, Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica*, Einaudi, 1997;
- Gelatt, Roland, *The Fabulous Phonograph*, New York, Appleton Century, 1977;

- Gerzon, Michael, *Ambisonics in multichannel broadcasting and video*, JAES Vol 33, No:11, Nov. 1985, p. 859-871;
- Gerzon, Michael, *Recording Concert Hall Acoustics for Posterity*, JAES Vol. 23, Numero 7, 1875, p. 569;
- Graziani, Mauro, *Cronologia della Tecnologia Audio e della musica elettroacustica*, Dispensa, 2007;
- Haspels, Jan Jasp, *Automatic Musical Instruments: Their Mechanics and their Music, 1580–1820*, The Hague, 1987;
- Iannace, Gino, Ianniello, Carmine, Maffei, Luigi, Rosario, *Acoustic Measurements in the “Teatro dell’Opera” in Rome* - Proceedings of the 17th International Congress on Acoustics, Roma (Italia), 2-7 settembre 2001, paper 5885, ISSN 0393 1110;
- Kirkeby, Ole, Nelson, Philip A., *Digital Filter Design for Virtual Source Imaging Systems*, *Pre-prints of the 104rd AES Convention*, Amsterdam, 15 - 20 May, 1998;
- Kirkeby, Ole, Nelson, Philip A., Hamada, Hareo, *The “Stereo Dipole”- A Virtual Source Imaging System Using Two Closely Spaced Loudspeakers* – JAES vol. 46, n. 5, May 1998, pp. 387-395;
- Kirkeby, Ole, Nelson, Philip A., Hamada, Hareo, *Virtual Source Imaging Using the Stereo Dipole*, *Pre-prints of the*

- 103rd AES Convention, New York, 26-29 September 1997;
- Kleiner, Mendel, Dalenback, Bengt-Inge, Svensson, Peter, *Auralization - An Overview*, JAES, vol. 41 N.11, November 1993, p.861-875;
- McGrath, David, Reilly, Andrew, *Huron - A Digital Convolution Workstation* - Audio Engineering Society - Sydney - The 5th Australian Regional Convention, 1995;
- Miglioli, Gaetana, *Romanzo della mitologia dalla A alla Z*, Firenze, Editore D'Anna, 2007;
- Molinari, Carla, *Per una storia di alcuni teatri ferraresi*, in: *Teatri Storici in Emilia - Romagna*, Istituti per i beni culturali dell'Emilia Romagna, Bologna, 1982;
- Neely, Stephen T., Allen, Jont B., *Invertibility of a room impulse response*, J.A.S.A., vol.66, 1979, pp.165-169;
- Numero 2595 del 17 marzo 2007, *Sound principles guided design of Greek amphitheatres*;
- Orcalli, Angelo, *Orientamento ai documenti sonori*, in Canazza, Sergio e Casadei Monti Turrone, Mauro, (a cura di), *Ri-mediazione dei documenti sonori*, Udine, Forum, 2006;
- Perruca, Eligio, *Fisica generale e sperimentale*, Unione Tipografica-Editrice Torinese, Torino, 1937;

- Piercen, John Robinson, *La scienza del suono*, Bologna, Zanichelli Editore, 1988;
- Pitman, Isaac, *Phonography; or, Writing by Sound; Being a Natural Method of Writing, Applicable to all Languages, and a Complete System of Shorthand*, London, S. Bagster & Sons, 1840;
- Righini, Pietro, *Gli intervalli musicali e la musica: dai sistemi antichi ai nostri giorni*, Edizioni Zanibon, Padova, 1975;
- Rubsamen, Walter H., *Music research in italian libraries. An anecdotal of obstacles and discoveries*, "Notes", s. II, 6, 2, Mar. 1949, pp. 220-233;
- Schroeder, Manfred Robert, *Computer models for concert hall acoustics*, Am. J. Phys. 41, 461–471, 1973;
- *The Ethics of Preservation, Restoration, and Re-Issue of Historical Sound-Recording*, JAES, 39,12, 1991, pp. 1014-1017;
- Tronchin, Lamberto, Farina, Angelo, *The acoustics of the former Teatro "La Fenice", Venice*, JAES Vol. 45, Numero 12, 1997, p. 1051;
- V. M. A. Peutz, AES Convention 59, Paper Number 1310, February 1978;

- Vitruvio, *De Architectura*, Libro V, traduzione a cura di Antonio Corso – Elisa Romano, I Millenni, 1997;
- Voce *Boyle, Robert*, in *Scienziati e tecnologi*, Milano, Mondadori, 1975, p. 207;
- Welch, Walter L., Burt, Leah Brodbeck, Read, Oliver, *From tinfoil to stereo: the acoustic years of the recording industry*, University Press of Florida, 1994;
- Zavagna, Paolo, *Guida alla copia e al restauro dei documenti sonori*, dispense interne (2006), Conservatorio “L. Cherubini” di Firenze.

WEBGRAFIA

- <http://encyclopedia.jrank.org/articles/pages/3561/Sabine-Wallace-Clement.html>;
- http://en.wikipedia.org/wiki/RIAA_equalization;
- <http://www.adobe.com/special/products/audition/syntrillium.html>;
- <http://www.aes.org/aeshc/docs/audio.history.timeline.html>;
- <http://www.europeana.eu/portal/index.html>;
- <http://www.minervaeurope.org/structure/nrg/documents/chartparma031119final-i.htm>;
- <http://www.nytimes.com/2008/03/27/arts/27soun.html>;

— http://www.operaroma.it/il_teatro/strutture/teatro_dell_opera/storia;

— <http://www.quantel.com>.