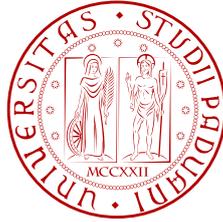


UNIVERSITÀ DI PADOVA



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

TESI DI LAUREA

**UN MODELLO PER LA FRUIZIONE FILOLOGICA DI
DOCUMENTI SONORI STORICI :
VIRTUALIZZAZIONE WEB-BASED DI UN
GRAMMOFONO PER LA RIPRODUZIONE DI DISCHI
FONOGRAFICI DIGITALIZZATI**

Laureando: Niccolò Pretto

Relatore: Prof. Sergio Canazza Targon

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Padova, 06/03/2014

Anno Accademico 2013/2014

Sommario

La tesi descrive un modello per la fruizione filologica di dischi fonografici e l'implementazione della relativa applicazione web. Vengono analizzati i supporti in gommalacca e descritti gli errori più comuni nelle operazioni di digitalizzazione. Il secondo capitolo illustra l'ideazione e lo sviluppo del grammofono, prendendo in esame la tecnologia utilizzata; viene quindi presentata l'effettiva implementazione dell'applicazione. La conclusione propone possibili sviluppi futuri.

Ringraziamenti

Ai miei genitori, perchè mi avete dato tutto; questa laurea non è altro che un modo per dirvi *Grazie*.

A Giulia, Viola, Luca e Matteo, per la pazienza e il sostegno che ogni giorno mi date.

Agli amici di sempre, perchè se sono arrivato fin qui, il merito è anche vostro.

Al prof. Canazza, per la disponibilità con cui mi ha guidato in questo progetto.

A Emma, semplicemente perchè sei la mia bimba.

Indice

Sommario	i
Ringraziamenti	iii
1 Introduzione ai supporti fonografici su disco	1
1.1 Introduzione	1
1.2 L'evoluzione del supporto fonografico	2
1.2.1 Le prime registrazioni sonore	2
1.2.2 Le origini del disco (1887-1897)	4
1.2.3 I dischi in gommalacca (1897-1956)	5
1.2.4 I dischi flessibili (1903-1956)	6
1.2.5 I dischi Pathé (1906-1930)	8
1.2.6 I dischi Edison Diamond "DD" (1913-1929)	9
1.2.7 I dischi in acetato (1933-fine anni Sessanta)	9
1.3 Equalizzazioni	10
1.4 Velocità di rotazione	11
1.5 Errori nella digitalizzazione dei supporti fonografici	12
2 Ideazione e sviluppo del grammofono virtualizzato	15
2.1 Tecnologia utilizzata	15
2.1.1 Strumenti e linguaggi per lo sviluppo	15
2.1.2 Web Audio Api	16
2.2 Modelli alla base del grammofono	17
2.2.1 L'Automa	17
2.2.2 Il Grafo Audio	18
2.3 Implementazione del grammofono	21
2.3.1 Struttura e sorgenti	21
2.3.2 Interfaccia Utente	22
2.3.3 Funzioni del grammofono	24
2.3.3.1 Il costruttore <i>Gramophone(context)</i>	24
2.3.3.2 Caricamento di un disco	25

2.3.3.3	Riproduzione di un brano	26
2.3.3.4	Movimento del braccio del grammofono	27
2.3.3.5	Velocità di rotazione	27
2.3.3.6	Curve di equalizzazione	28
2.3.3.7	Virtualizzazione del trasformatore di segnale Albiswerk 502/50	30
3	Conclusioni e sviluppi futuri	33
	Appendici	37
A	Equalizzazioni	37
B	Interfacce	43
B.1	AudioBufferSourceNode interface	43
B.2	BiquadFilterNode interface	43
B.3	GainNode Interface	44
B.4	DynamicsCompressorNode Interface	44

Elenco delle figure

1.1	L'originale fonografo " <i>tin-foil</i> " di Edison.	3
1.2	Disegno allegato al brevetto n. 564586 di Emil Berliner.	4
1.3	Disco Gramophone Record di Emile Berliner in ebanite.	5
1.4	Cartolina "Sonorine" del 1906 ca., fronte e retro.	7
1.5	Disco Neophone stampato a Londra probabilmente nel 1904	8
1.6	Curve di equalizzazione per lo standard RIAA	14
2.1	Il più semplice context realizzabile	16
2.2	Automa utilizzato per la virtualizzazione del grammofono	17
2.3	Grafo audio completo utilizzato per la virtualizzazione del grammofono	20
2.4	Screenshot del grammofono (stato 1)	22
2.5	Screenshot del grammofono (stato 2)	23
2.6	Screenshot del Track Loader	25
2.7	Screenshot dei controlli Rotation Preset	28
2.8	Screenshot dei comandi Equalization Preset	29
2.9	Screenshot della virtualizzazione del trasformatore di segnale Albiswerk.	31

Elenco delle tabelle

1.1	Velocità di rotazione dei principali supporti fonografici	13
A.1	Principali equalizzazioni dalla nascita del 78 giri fino all'LP	37

Capitolo 1

Introduzione ai supporti fonografici su disco

1.1 Introduzione

Le discipline legate all'ingegneria dell'informazione abilitano innovazioni e rivoluzioni in una moltitudine di campi scientifici diversi. In particolare, negli ultimi decenni si è assistito a una rapida crescita dell'applicazione di tecnologie informatiche al patrimonio culturale e musicale, con un riguardo particolare alla conservazione dei documenti sonori (“ideally, an audio preservation workflow would also involve the services of a specialized programmer” - Casey, 2007 [7]). Gli studiosi e il grande pubblico hanno iniziato a prestare maggiore attenzione alle registrazioni di opere musicali e al loro valore, sia personale che collettivo, per scopi culturali e di intrattenimento. Tuttavia, una conservazione sistematica e la fruizione di questi documenti risulta complicata dalla loro natura molto diversificata: le registrazioni contengono informazioni sulla loro esistenza artistica e culturale che va oltre il segnale audio. In questo senso, un accesso fedele e soddisfacente al documento sonoro non può essere realizzato senza le sue informazioni contestuali, cioè tutte quelle informazioni content-independent rappresentate dal contenitore, i segni sul supporto, il materiale allegato e così via.

I fattori che ostacolano la salvaguardia dei documenti audiovisivi sono molteplici: principalmente il massiccio investimento economico e di risorse umane necessarie allo scopo, per non parlare dei team con competenze interdisciplinari, molto difficili e molto costosi da formare. Di conseguenza, oggi molti archivi sono di fatto privi delle metodologie e delle tecnologie necessarie per un'adeguata conservazione del loro patrimonio.

Il processo di degrado fisico che caratterizza ogni tipo di supporto audio può essere rallentato, attraverso politiche di conservazione corrette, ma non fermato. Pertanto, si può far sopravvivere le informazioni contenute in un documento solo rinunciando alla sua materialità, attraverso un costante trasferimento delle informazioni in nuovi supporti. Sfortunatamente il *remediation process* (l'operazione per trasferire l'informazione da un supporto a un altro) è soggetto a errori elettronici, procedurali e operativi, oltre ad abbandonarsi a cambiamenti estetici dettati dal periodo storico in cui avviene. Con questo presupposto, una totale neutralità nel processo di tra-

sferimento non è realisticamente realizzabile e questo mette in luce il grosso problema filologico dell'autenticità dei documenti. Questo aspetto è molto rilevante nell'ambito della fruizione delle opere musicali digitalizzate. Molti progressi sono stati fatti negli ultimi anni per quanto riguarda le metodologie e le tecnologie per il restauro e la conservazione dei documenti sonori. Una profonda lacuna si evidenzia, invece, proprio nel settore della fruizione di queste opere. Infatti, nonostante una corretta conservazione e digitalizzazione, spesso vengono salvate in supporti ormai obsoleti, come i CD audio, che vengono poi archiviati e spesso non utilizzati a causa della limitata accessibilità agli archivi.

Questa tesi affronta i problemi relativi alla fruizione proponendo un innovativo modello web-based, quindi accessibile tramite internet attraverso un comune browser, che mette al centro la filologicità dei documenti. Questo progetto si limita all'ambito dei supporti fonografici su disco in gommalacca, proponendo la virtualizzazione di un grammofono che riproduce sia il funzionamento meccanico, sia le peculiarità sonore, dando la possibilità di personalizzare le modalità di ascolto e di ottenere un risultato molto simile a quello dei dispositivi di riproduzione dell'epoca. La possibilità di modificare i parametri di riproduzione, per esempio la velocità di rotazione e soprattutto le equalizzazioni, rende questo grammofono uno strumento molto flessibile e potente per uno studio storico, sociologico e musicologico delle opere musicali. La tecnologia web-based utilizzata, inoltre, permette di abbattere i problemi relativi all'accessibilità ai documenti, poiché risultano disponibili e riproducibili anche al di fuori del luogo di conservazione.

1.2 L'evoluzione del supporto fonografico

1.2.1 Le prime registrazioni sonore

Il primo strumento che permise la registrazione e la riproduzione di suoni su scala industriale fu il *fonografo* (Figura 1.1), inventato nel 1877 da Thomas Alva Edison. Il funzionamento di questa macchina, azionata manualmente tramite una manovella, era basato sulla rotazione di un cilindro d'ottone, coperto da un sottile strato di stagno, che scorreva sotto una puntina metallica. L'incisione del cilindro era resa possibile da un diaframma che trasferiva le vibrazioni sonore alla stilo che incideva così dei solchi sul foglio di stagno. La riproduzione della registrazione avveniva mediante l'utilizzo di una seconda punta di lettura, collegata ad un altro diaframma, molto più sensibile rispetto al primo, che permetteva di riprodurre l'incisione.

Ulteriori migliorie al fonografo furono apportate negli anni successivi da Alexander Graham Bell, Chichester Bell e Charles Sumner Tainter. In seguito ai loro studi fu sperimentata per la prima volta una tecnologia di incisione laterale su disco piatto (*zig-zag grooves*), trattato con un processo di elettroplaccatura con rame. Il primo disco sperimentale, prodotto da Charles S. Tainter, è datato 8 novembre 1881, ha un diametro di 10 pollici, è caratterizzato da solchi molto larghi ed è conservato presso lo Smithsonian Institute di Washington. Nel 1885 Chichester Bell e Charles Sumner Tainter brevettarono una macchina che prese il nome di *Graphophone*, caratterizzata da un cilindro di cera e un meccanismo di incisione verticale.

Il primo grammofono, che sostituì in breve tempo fonografo e grafofono, fu costruito da Emil Berliner tra il 1887 e il 1893. Le caratteristiche che fecero affermare questa nuova mac-

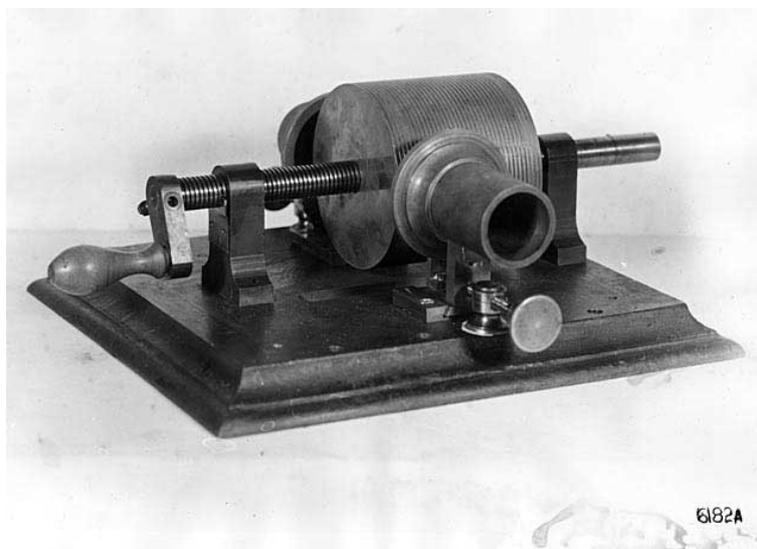


Figura 1.1: L'originale fonografo "tin-foil" di Edison.

(Fonte: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Edison National Historic Site)

china furono principalmente due: una resa sonora superiore e un costo di produzione inferiore ai dispositivi concorrenti. Il brevetto fu ufficializzato solo il 29 luglio 1896, e prevedeva un'incisione verticale dei solchi dall'alto verso il basso (*hill and dale vertical cut*), su un disco di vetro ricoperto da una pellicola di polvere di carbone o nerofumo sciolti in un solvente grasso o oleoso. Durante il processo di incisione la puntina era posta al di sotto del disco, così da evitare il depositarsi di particelle di nerofumo, come si può vedere dalla figura 1.2. La rotazione del disco, così come il funzionamento della macchina stessa, era azionata da una manovella. Le vibrazioni della sorgente sonora venivano ricevute dalla "tromba", che consisteva in un tubo tronco-conico, amplificate e trasmesse alla punta da un diaframma. Lo svantaggio del disco di vetro era la possibilità di essere prodotto in copia unica e risultò essere l'ostacolo maggiore per la diffusione di grammofoni e dischi nel mercato di massa.

La produzione in serie dei dischi fu resa possibile da Eldridge Reeves Johnson, il futuro fondatore della Victor Talking Machine Company, nonché ex dipendente di Emil Berliner. Tra il 1900 e il 1902 affinò il procedimento di produzione dei dischi, che permise lo sviluppo di una tecnica di fabbricazione basata sulle seguenti cinque fasi:

1. creazione della **matrice** con l'incisione del suono su un disco totalmente in cera;
2. realizzazione del **master**, ovvero una copia "negativa" della matrice tramite una tecnica di *elettroplantig*;
3. produzione di copie "positive" del master (**madri**) su dischi metallici tramite *elettroplantig*;
4. realizzazione di numerose copie "negative" delle madri (**stamper**);

5. produzione di dischi tramite un meccanismo di stampa degli stamper ¹.

La tecnica realizzata e, contemporaneamente, la cessione di molti brevetti per l'incisione su disco piatto, alle case discografiche, da parte di Berliner, diedero il via alla produzione di grammofoni e dischi su scala industriale.

1.2.2 Le origini del disco (1887-1897)

L'evoluzione dei primi supporti per la registrazione e la riproduzione del suono sono strettamente legati al materiale impiegato per la produzione dei dischi. La composizione chimico-fisica dei materiali utilizzati, infatti, è la principale causa di degrado dei documenti discografici e la scelta di questa ha decretato l'affermazione o il fallimento delle varie tipologie di supporto nel mercato.

Il primo disco, brevettato da Berliner, prese il nome di *Gramophone record*. Questo supporto aveva un diametro di 7 pollici (~18 cm), permetteva di registrare per 1 o 2 minuti, ed era di **vetro** ricoperto con polvere di carbone o nerofumo, sul quale venivano tracciati i solchi con la tecnica "lateral cut". Questi tracciati venivano fissati con una vernice e poi incisi nel vetro grazie

¹Con un singolo stamper era possibile produrre dai 500 ai 600 dischi, prima che questo si deteriorasse

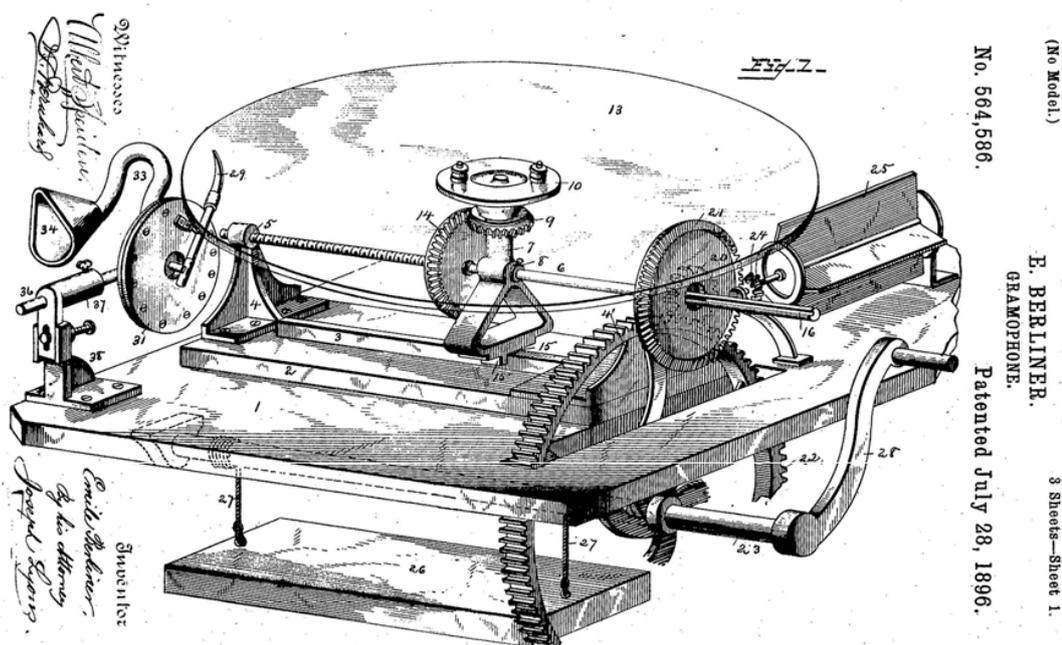


Figura 1.2: Disegno allegato al brevetto n. 564586 di Emil Berliner. (Fonte: Archivio Brevetti USA).

all'immersione in un bagno acido. Nessuno di questi dischi è giunto a noi, poiché la tecnologia fu velocemente superata. La qualità sonora, infatti, era molto scadente, caratterizzata da un intenso fruscio in fase di riproduzione e soprattutto era possibile produrre solo esemplari unici.



Figura 1.3: Disco Gramophone Record di Emile Berliner in ebanite.

(Fonte: Comunità “78L”)

Poco più di un'anno dopo la creazione del primo disco, Berliner decise di sostituire il vetro con **zinco** ricoperto da uno strato di cera d'api. La superficie veniva incisa definitivamente sempre tramite immersione in acido, così da dissolvere lo strato di cera. Allo stesso tempo ridusse le dimensioni arrivando ad un diametro di 5 pollici (~12.5 cm), oltre a passare a un taglio laterale.

Tra il 1893 e il 1897, alcune tra le principali case discografiche dell'epoca, introdussero in dischi in **ebanite**, un materiale simile alla gomma, prodotto tramite vulcanizzazione del caucciù. Presentava due importanti punti di forza: la possibilità di essere prodotti in serie da un negativo e una resistenza all'usura relativamente alta. Nonostante i notevoli miglioramenti, la scelta del materiale si rivelò presto sbagliata a causa dell'alta deperibilità dell'ebanite se esposta alla luce solare o artificiale, in quanto si avviava un processo di ossidazione che portava velocemente alla decomposizione del disco. Diversi furono anche i problemi

in fase di fabbricazione dei supporti per lo più a causa della comparsa di bolle provocate dal gas rimasto racchiuso al loro interno e da frequenti deformazioni della superficie dovute al raffreddamento non lineare del composto (Canazza, De Poli, Mian (2010) [4]; Canazza, Camurri, Fujinaga (2010) [5]; Canazza (2012) [6]; Bressan, Canazza (2013) [1]).

1.2.3 I dischi in gommalacca (1897-1956)

Il più importante cambiamento, che diede il via alla produzione in serie dei dischi, fu l'utilizzo della gommalacca, una resina organica di colore rosso violaceo ottenuta dalla secrezione della *Tachardia Lacca*, un piccolo insetto della famiglia delle Cocciniglie. Questa sostanza fu utilizzata come legante nella produzione di plastiche artificiali, come il cloruro di vinile, il materiale maggiormente utilizzato dalle case discografiche per la produzione dei dischi. Dal 1906 il processo di produzione del supporto fu ulteriormente innovato e migliorato grazie alla tecnica detta *laminazione*, che ridusse notevolmente la quantità di materiale superficiale per poter incidere il solco. Il risultato ottenuto fu il raggiungimento di dischi molto resistenti all'usura della puntina, anche se col passare del tempo diventavano sempre più fragili. Tra il 1897 e il 1909 si affermò una sorta di standard industriale nella produzione dei dischi. In questi anni furono prodotti i pri-

mi “78 giri”. Il nome nasce dalla velocità di rotazione che approssimativamente era di 78 rpm² ($\pm 5\%$), raggiungibile grazie all’introduzione di giradischi con motore a molla. Il diametro era di 7 pollici (~18 cm) e la capacità di riproduzione era di 2 minuti e mezzo o di 4 minuti e mezzo.

Dal 1901 il mercato vide la nascita di due importanti varianti di 78 giri. La prima fu l’immissione nel mercato di un nuovo formato di disco in gommalacca a 10 pollici (~25 cm). Mantenendo invariata la velocità di rotazione, questi presentano una capacità di registrazione di circa 3 minuti, grazie a una concentrazione dei solchi, incisi con il metodo laterale, di circa 85-120 per ogni pollice (2.54 cm). Fino all’avvento degli LP (Long Play) questa tipologia fu denominata “Standard Play”. Contemporaneamente al 10” fecero la loro comparsa le prime *sleeves*, ovvero delle robuste coperine di cartone marrone con il foro centrale per mostrare l’etichetta di carta pre-stampata, che andò a sostituire l’incisione diretta sul disco che avveniva tramite stampi. La seconda novità fu l’incisione su entrambe le facciate del disco. I primi *Doubledisc* furono stampati dalle case discografiche Odeon Records e International Zonophone Co nel 1901.

Nel 1903, grazie alla Gramophone C., si affacciò al mercato un nuovo formato con un diametro di 12 pollici (~30 cm). L’obiettivo iniziale era quello di contenere più facilmente brani di musica classica, grazie a una capacità di registrazione portata a circa 4 minuti.

1.2.4 I dischi flessibili (1903-1956)

Nella categoria dei *Flexible Records* rientrano varie tipologie di dischi plastici o cartacei. La loro produzione non ottenne un gran successo commerciale, se non in mercati di nicchia come quello delle cartoline sonore o pubblicitarie, con dischi distribuiti principalmente tramite servizio postale. La prima **cartolina postale “sonora”**, prodotta dalla casa discografica Zonophone di Berlino, fu annunciata nel 1903. La principale innovazione era la sostituzione della gommalacca con altri materiali plastici o di celluloidi, per far fronte alla fragilità e pesantezza insita nei normali dischi. Nel 1905 la casa discografica parigina Tebehem lanciò un’imponente campagna pubblicitaria ai fini di promuovere le *Sonorine*, ovvero cartoline registrabili e riproducibili in sede domestica grazie al fonografo “Phonopostal”. Si trattava di normali cartoline postali ricoperte da un sottile strato di vernice, nel medesimo lato in cui era apposto l’indirizzo del destinatario (Figura 1.4). A causa degli elevati costi da sostenere per acquistare il fonografo, le *Sonorine* non ebbero un grande successo commerciale.

Una tipologia alternativa di cartolina postale ebbe maggior fortuna negli anni precedenti alla prima guerra mondiale. I produttori iniziarono ad inserire nelle cartoline veri e propri 78 giri preregistrati riproducibili su normali grammofoni. Dal 1929 la ditta Raphael Tuck Company riuscì ad ottenere grossi guadagni con le *Gramophone Record Postcards*. Riciclando grandi stock di cartoline invendute, e inserendovi dischi con incisioni di pubblico dominio, riuscì a ridurre le spese di produzione e ad aumentare i margini di profitto. La qualità sonora era solitamente buona, nonostante risentisse di notevoli *rumble* e il suono fosse leggermente distorto a causa di una superficie non sempre perfettamente piana.

Nella primavera del 1904 comparve un’altra tipologia di disco appartenente alla categoria dei *Flexible Record*: i **dischi Neophone**. L’omonima casa inglese produsse un supporto “indistrutti-

²*Revolutions Per Minute*, giri al minuto



Figura 1.4: Cartolina “Sonorine” del 1906 ca., fronte e retro. La registrazione veniva incisa nella parte centrale tra l’indicazione del mittente e quella del destinatario.
(Fonte: <http://perso.crans.org/woessner/image/sonorine.jpg>)

bile” che adottava l’incisione verticale dei solchi. La base del disco era composta da uno spesso strato di cartapaglia pressata ed era ricoperta da uno strato di nitrocellulosa della caratteristica colorazione bianca. Erano previsti tre differenti formati: 9, 12 e 20 pollici con una capacità di registrazione, rispettivamente, di 4, 5 e 10 minuti. La casa discografica sperimentò anche un disco da 12 minuti, che può essere considerato il primo LP (long-playing). La velocità di riproduzione era di circa 78 rpm ($\pm 5\%$) e i solchi erano incisi dall’esterno verso l’interno. L’ascolto era possibile da grammofoni Edison o Pathé muniti di una punta sferica in zaffiro. Un’altra peculiarità dei primi dischi prodotti era un’etichetta di carta senza dati di esecuzione che erano incisi a mano in prossimità dell’ultimo solco registrato, come si può vedere in figura 1.5

Un vero successo, sia dal punto di vista commerciale che della qualità sonora, furono i dischi **Durium**, prodotti dalla casa discografica *Hit of the week Records* all’inizio degli anni Trenta. Altre etichette furono collegate come la *Durium Records* e, molto probabilmente, le contemporanee italiane *Dischi Durium* e *Dvrium La voce dell’Impero*. Durante il periodo della Grande Depressione americana, l’obiettivo principale era quello di produrre dischi a basso costo e fu raggiunto con una miscela di carta e resine brevettata proprio a nome *Durium*. I dischi *Hit of*



Figura 1.5: Disco Neophone stampato a Londra probabilmente nel 1904

the Week erano venduti settimanalmente nelle edicole ed erano destinati a una fascia di utenza popolare. Il prezzo a cui venivano proposti era estremamente concorrenziale. Un disco costava, infatti, 15 centesimi, un prezzo cinque volte inferiore rispetto ad esempio i *Columbia "Ethnics"* venduti a 75 centesimi di dollaro ciascuno. A differenza della concorrenza, che stampava quasi esclusivamente su entrambe le facciate, l'incisione era *single side*. L'altra parte veniva destinata a foto dell'artista, a citazioni dello stesso o a testi esplicativi. Altri formati furono proposti al pubblico, come i *Durium Juniors* di diametro 4" e vendute a soli 5 cents. Nel 1931 lanciò, inoltre, l'idea dell'incisione di due brani nello stesso lato. La seconda traccia non durava quasi mai più di 1 minuto, ma nel complesso i dischi arrivavano a contenere più di 4 minuti.

1.2.5 I dischi Pathé (1906-1930)

Nell'ottobre del 1906 la casa francese Pathé Frères lanciò un particolare disco in gommalacca, doppia faccia e a incisione verticale. Si contraddistingueva dagli altri principalmente per la particolare incisione dei sochi, con una caratteristica forma a "U" e che partivano dal centro per poi muoversi verso l'esterno (*run-out grooves*). I primi esemplari avevano dimensioni molto eterogenee che andavano dai 7 ai 20 pollici, e soprattutto una velocità di riproduzione a 90 giri per minuto. Solo dal 1914 la casa discografica iniziò a conformarsi agli standard dell'epoca, arrivando successivamente a produrre perlopiù dischi da 10" e 12", mantenendo la classica incisione a "U", ma portando la velocità a 78rpm e adottando la tecnica di lettura *run-in*, che parte dall'esterno e va verso l'interno. Inizialmente la riproduzione di questi dischi era possibile solo utilizzando uno specifico grammofono (*Pathéphones*) prodotto dalla casa discografica stessa, caratterizzato da una puntina di zaffiro. Questa scelta non riuscì, però, a convincere il grande pubblico. Poiché

lo standard non si impose sul mercato, i fratelli Pathé brevettarono un adattatore meccanico che permise ai loro dischi di essere riprodotti anche su altri grammofoni commerciali.

1.2.6 I dischi Edison Diamond “DD” (1913-1929)

Il nome *Diamond* deriva dal particolare tipo di puntina di lettura che veniva utilizzata per la riproduzione, in diamante (o zaffiro), che rendeva il disco ascoltabile o con un grammofono Edison oppure Pathé o negli altri con un particolare adattatore e con una nuova puntina. Il diametro era di 10 pollici (~25cm), lo spessore era di 0.5 cm e il peso si aggirava intorno i 450 grammi. La velocità di riproduzione era di 80 giri per minuto e aveva una capacità di circa 5 minuti. La vera particolarità di questi supporti era però il materiale con cui erano prodotti. I “DD” furono i primi dischi realizzati con una plastica completamente sintetica: la “condensite”, un materiale simile alla bakelite, creato da Jonas Walter Aylesworth dalla condensazione del fenolo. La base di questi dischi laminati si ricavava dalla compressione di farina di legno (58%), alcol etilico modificato (26%), bakelite (fenol-formaldeide) (15%) e nerofumo (1%). La vernice ricopriva entrambi i lati, era composta da alcol etilico modificato per il 66%, bakelite per il 38%, e da altri elementi di secondo piano per il rimanente 7%.

La vernice veniva stesa con un pennello sulla base del disco mentre quest’ultimo girava lentamente. Su entrambe le facce della base venivano in questo modo effettuate quattro applicazioni di vernice, separate tra loro da opportuni intervalli di tempo per consentire alla vernice appena stesa di asciugarsi. Dopo l’ultima applicazione il disco veniva inserito in un forno a vapore per la cottura finale. All’interno del forno il disco veniva riscaldato e pressato, fino a portare a termine l’essiccazione della vernice e ottenere la completa reazione degli elementi in essa contenuti. In generale il fenolo è un materiale molto stabile e non presenta particolari problemi di decomposizione. Risulta inoltre immune dall’attacco di funghi e batteri. Nonostante ciò, in presenza di un’elevata umidità la superficie dei dischi realizzati con questo tipo di materiale plastico può essere attaccata dalla muffa, che trova nel legno presente all’interno del disco e nella polvere che si deposita sulla sua superficie un ottimo nutriente (Canazza, De Poli, Mian (2010) [4]; Canazza, Camurri, Fujinaga (2010) [5]; Canazza (2012) [6]; Bressan, Canazza (2013) [1]).

1.2.7 I dischi in acetato (1933-fine anni Sessanta)

Prima dell’avvento dei nastri magnetici, le registrazioni sonore venivano realizzate quasi esclusivamente su dischi in acetato. Di conseguenza, la preparazione chimica di questi ultimi doveva essere un compromesso tra una facile incisione e una buona qualità della registrazione risultante. A partire dagli anni trenta, la maggior parte dei dischi in acetato venne realizzata con una base di alluminio rivestita su entrambi i lati da uno strato di acetato di nitrocellulosa che veniva plastificato con dell’olio di ricino. Le principali varianti a questo metodo di fabbricazione si registrarono durante la Seconda Guerra Mondiale, quando la base dei dischi anziché in alluminio veniva realizzata in vetro per le applicazioni professionali, e in cartone per quelle commerciali destinate all’uso di massa. In ogni caso, indipendentemente dal materiale impiegato per realizzare la base, a causa delle proprietà intrinseche del rivestimento di quest’ultima, i dischi in

acetato risultano essere il tipo di supporto più instabile mai utilizzato per la registrazione analogica dei suoni. La continua e purtroppo inarrestabile perdita dell'olio plastificante di ricino che impregna il rivestimento, ne provoca la graduale disgregazione. Inoltre, l'acetato di nitrocellulosa è soggetto ad una progressiva decomposizione e nel tempo tende a reagire con il vapore acqueo e con l'ossigeno. Il prodotto di queste reazioni idrolitiche sono degli acidi (tra i quali l'acido palmitico che si manifesta con delle macchie oleose di colore bianco sulla superficie del disco) che agiscono da catalizzatori per numerose altre reazioni chimiche. Le conseguenze sul rivestimento del disco di questi processi degenerativi, consistono nella sua progressiva disgregazione e nel suo distacco dalla base in alluminio del disco stesso, con la conseguente perdita delle informazioni in esso contenute. Attualmente si stimano sull'ordine dei tre milioni il numero di dischi in acetato ancora esistenti, molti dei quali rappresentano copie uniche di materiale mai fatto oggetto di riversamento (Canazza, De Poli, Mian (2010) [4]; Canazza, Camurri, Fujinaga (2010) [5]; Canazza (2012) [6]; Bressan, Canazza (2013) [1]).

I dischi in acetato vengono chiamati con vari nomi quali *Transcription discs*, *Instantaneous recording* o *Lacquer*. Venivano prodotti in 5 differenti formati: 7" (~18 cm), 10" (~25 cm), 12" (~30 cm), 13" (~33 cm) o 16" (~40 cm), con una capacità di registrazione, rispettivamente, di 2 ½, 3 ½, 5 ½, 6 e 12 minuti. Alcuni esemplari di questi dischi presentano tre o più fori nell'etichetta, necessari per fissare il disco al piatto durante l'incisione.

1.3 Equalizzazioni

Il principio su cui è basata l'equalizzazione dei dischi è legato al metodo di funzionamento della testina magnetica, la quale produce una risposta in frequenza piatta solo quando la velocità di registrazione rimane costante all'aumentare della frequenza. Al contrario, in una registrazione ad ampiezza costante la risposta della testina aumenta di 6 dB/ottava (Canazza, 2006 [2]). A velocità costante non ci sarebbe la necessità di aggiungere nessuna curva di equalizzazione al segnale. Se si utilizzasse questo metodo di incisione del disco, però, l'intensità del segnale dovrebbe aumentare alle basse frequenze, creando così escursioni troppo ampie. Questo comporterebbe una grossa diminuzione del numero di solchi incidibili, andando a ridurre notevolmente la durata temporale della registrazione su disco. Inoltre, le alte frequenze dovrebbero essere registrate a bassa intensità, rendendo il SNR³ inadeguato.

La registrazione costante dà invece buoni risultati alle basse frequenze, tenendo l'escursione del solco a livelli accettabili: purtroppo alle alte frequenze si creano distorsioni causate dalla maggiore velocità con cui deve muoversi la puntina e ai raggi di curvatura ridotti (Canazza, 2010 [3]). A causa della bassissima efficienza delle testine d'incisione nelle prime registrazioni elettriche, l'attenuazione delle basse frequenze portava a una graduale attenuazione anche delle alte frequenze. Questo comportava una oscillazione ad ampiezza costante fino alle frequenze medie, mentre in quelle superiori andavano via via decrescendo. Per porre rimedio a questo problema, i bassi furono incrementati fino ai 200 Hz e fu applicato un incremento di 6 dB/ottava alle alte frequenze. Così facendo si incrementò notevolmente il fruscio. L'introduzione di te-

³Signal-to-Noise Ratio

stine di incisione di maggior qualità permise una registrazione più accurata e con un intervallo frequenziale più ampio, soprattutto per le alte frequenze. Questo permise di inserire un taglio di 6 dB/ottava al di sopra di una frequenza tra i 3,4 e i 6 KHz, detta di *turnover*, che si traduceva in un forte miglioramento della resa sonora e una considerevole riduzione del fruscio.

Per l'analisi e la ricostruzione delle curve di equalizzazione è essenziale conoscere i *turnover*, o punti di transizioni. Questi sono le frequenze al di sotto delle quali le case discografiche applicavano i filtri per diminuire i bassi. Se ci si riferisce a turnover applicati a frequenze basse o medie si parla di *bass turnover*, mentre per frequenze medio alte di *treble turnover*.

La registrazione su supporti fonografici comporta quindi una inevitabile distorsione del suono detta *pre-emphasis*. In fase di riproduzione, per ottenere il suono originale, è necessario compensarla applicando una curva di equalizzazione complementare a quella iniziale. Questa operazione è denominata *de-emphasis*. Per ricostruire correttamente questa curva è essenziale conoscere i due valori di turnover. Solitamente, oltre al *bass turnover*, si trova il *rolloff* a 10 KHz in sostituzione del *treble turnover*. Con il termine *rolloff* viene spesso indicata la diminuzione di intensità (in dB) al punto di taglio delle alte frequenze (10 KHz) necessaria, durante la fase di riproduzione, per compensare l'aumento delle stesse frequenze effettuato in fase di registrazione. Consiste nella frequenza di taglio (*cutoff*) di un filtro passabasso che produce la corretta diminuzione a 10 KHz. Ricostruire la corretta curva di equalizzazione per un determinato supporto è una operazione spesso molto difficile. Fino alla metà degli anni Cinquanta, ogni casa discografica proponeva le proprie equalizzazioni. Come si può notare dalla tabella A.1, nel giro di qualche decennio si arrivò a un numero elevatissimo di curve diverse. Solo nel 1956 la *Recording Industry Association of America* (RIAA) propose uno standard industriale, adottando la *New Orthophonic Curve*. Era caratterizzata da un *bass turnover* a 500.5 Hz e un *treble turnover* a 2.122 (*rolloff* di -13.7 dB a 10 KHz). La curva di equalizzazione prevedeva, inoltre, un *filtro Low Frequency Shelving* con frequenza di *cutoff* a 50.05 Hz, al fine di minimizzare i rumori alle basse frequenze (*rumble, hum*) introdotti dal sistema di registrazione. La curva ottenuta unendo le tre componenti è proposta nella figura 1.6.

1.4 Velocità di rotazione

Un fattore essenziale per una corretta riproduzione di un disco è la velocità di rotazione, che deve coincidere con la velocità adottata durante il processo di incisione. Colloquialmente i dischi in gommalacca vengono chiamati "78 giri" riferendosi ai giri al minuto necessari per la loro riproduzione. Nonostante ciò, una buona parte di questi dischi necessitava di una velocità di rotazione molto variabile tra i 65 e i 100 rpm. Questo parametro cambiava notevolmente a seconda della casa produttrice e dell'anno di produzione del supporto. Ogni stabilimento adattava la velocità a seconda delle tecniche di incisione e dei materiali del disco. Già dai primi anni del Novecento, grazie all'affinamento delle tecniche di produzione, le velocità andarono approssimandosi ai 78 giri, dato che risultava un buon compromesso tra la durata della registrazione, l'ampiezza del solco, la grandezza della puntina, il logoramento del supporto e della puntina e la fedeltà sonora. Diminuendo la velocità, si aumentava la durata del contenuto musicale memorizzabile e allo stesso tempo si abbassava la fedeltà al segnale originale. Basse velocità erano tollerate

solo per garantire l'intelligibilità del parlato, ma non erano accettabili per opere musicali dove la qualità del timbro è un fattore critico. Nel 1912, inoltre, in seguito ai risultati di alcuni test percettivi condotti dalla British Gramophone Company sembrò che il miglior risultato auditivo si avesse in corrispondenza della velocità di 78 rpm. Ciononostante alcune case, ad esempio la Columbia, continuarono la loro produzione a 80 giri. Fu l'introduzione della colonna sonora nelle produzioni cinematografiche – con l'avvento, nel 1925, della registrazione elettrica – che rese necessaria l'introduzione di uno standard nella velocità di registrazione/riproduzione. Solo così si sarebbe potuta mantenere, infatti, la perfetta sincronizzazione⁴. La scelta per i 78.26 giri al minuto fu dettata da un'esigenza pratica conseguente all'utilizzo di motori elettrici sincroni (questi giravano alla velocità di 3600 o 1800 rpm); in America, dove la corrente di rete ha una frequenza di 60 Hz, utilizzando un motore a 3600 rpm, con una riduzione a 46:1 si otteneva una velocità di rotazione di 78.261 giri al minuto. Da qui l'adozione di questo standard. Per lo stesso motivo, in Europa dove la frequenza di rete è 50 Hz, lo standard fu fissato a 77.922 rpm. Come per tutte le innovazioni, la velocità standardizzata a circa 78 giri non fu universalmente e immediatamente adottata, essa costituirà uno standard diffuso e condiviso soltanto per incisioni effettuate dall'inizio degli anni Trenta (Fugazzotto, 2009 [8]).

1.5 Errori nella digitalizzazione dei supporti fonografici

L'enorme varietà di standard relativi alle curve di equalizzazione e alla velocità di rotazione comporta grossi problemi in fase di digitalizzazione dei supporti fonografici. Per eseguirla correttamente, mantenendo invariate le proprietà sonore del documento, è indispensabile conoscere gli esatti valori della curva, e quindi i punti di transizione, e i giri per minuti con cui è stato inciso il supporto. Non sempre è agevole individuare i punti di turnover che caratterizzano la curva di equalizzazione. Generalmente la metodologia di individuazione dei parametri di equalizzazione prevede cinque criteri:

1. studio dei documenti (bollettini, schede, ecc.) prodotti dalla casa discografica in questione;
2. indagine storico-tecnica sui sistemi di incisione dell'epoca;
3. raccolta delle testimonianze dei tecnici audio, che all'epoca, hanno condotto le operazioni di registrazione;
4. analisi in frequenza del segnale riversato con diverse curve di equalizzazione;

⁴I primi passi nella sincronizzazione di suono e immagini per il cinema erano già stati mossi all'inizio del Novecento grazie a un sistema messo a punto dal berlinese Oscar Messter. Nel 1903 Messter aveva sviluppato, infatti, un progetto che consisteva nell'abbinare elementi sonori, registrati su dischi per grammofono appositamente costruiti, alle immagini di un film muto in modo da dotarlo di sottofondo musicale. Ma a causa dei notevoli problemi di sincronizzazione, così come accadde al successivo esperimento del Vitaphone negli Stati Uniti, il sistema non riscosse molto successo. Se la pellicola si rompeva o era stata riparata, infatti, o se la puntina del grammofono saltava un solco durante la riproduzione risultava impossibile ritrovare la sincronizzazione tra disco e film. Ciononostante Messter riuscì a presentare circa 120 film sonori alla World' Fair di Saint Louis nel 1904. I dischi per il sistema Messter furono riprodotti dalla Gramophone & Typewriter Ltd.

5. ascolto comparativo di segmenti di segnale equalizzati con curve differenti (Canazza, 2010 [3]).

A questa procedura si aggiunge il lavoro necessario per ricostruire l'esatta velocità di incisione. Nel caso delle grosse case discografiche, come la Columbia o la Victor, si ha, ormai, un certo numero di studi specialistici cui poter fare riferimento, che si basano soprattutto su schede o altri documenti d'epoca redatti dagli ingegneri del suono che si occuparono delle incisioni. In altri casi è possibile far riferimento alle indicazioni che le stesse case produttrici ebbero cura di stampare sulle etichette dei dischi o sulle copertine. In mancanza di tali dati occorre ricorrere a altre tecniche. Se si conosce, ad esempio, l'esatta frequenza con cui venivano accordati gli strumenti musicali all'epoca della registrazione è possibile dedurre la velocità del disco misurando l'altezza delle note suonate. Nel caso di registrazioni elettriche, è vantaggioso ricorrere alla misura dell'interferenza elettromagnetica con la corrente di rete: assumendo l'ipotesi che questa interferenza produca un segnale (*hum*) esattamente a 50 Hz (Europa, Asia, Africa e parte est del Giappone) o 60 Hz (America e parte ovest del Giappone) si può eseguire un'analisi in frequenza del segnale digitalizzato con una velocità di rotazione di 78 giri, e quindi calcolare la velocità corretta per avere un *hum* consistente con la frequenza di rete (Canazza, 2010 [3]). Un riferimento iniziale per la scelta della velocità di rotazione corretta dei supporti prodotti in USA, può essere trovato nella tabella 1.1.

Data la complessità del lavoro di restauro e digitalizzazione, può capitare che il risultato non rispecchi fedelmente l'incisione del disco. Il grammofono virtuale realizzato in questa tesi risulta essere un valido strumento di analisi delle tracce digitalizzate. Permettendo di ricostruire una qualsiasi curva di equalizzazione e dando la possibilità di variare la velocità di riproduzione cerca di semplificare la ricerca dei parametri corretti di equalizzazione e di velocità.

Tabella 1.1: Velocità di rotazione dei principali supporti fonografici

Primi Columbia	Fino al 1910 circa	70.00 rpm
Primi Victor e HMV	Fino al 1910 circa	71.29 rpm
Maggior parte dei Victor acustici	Fino al 1925	76.59 rpm
Columbia acustici e maggior parte <i>vertical recording</i>	Fino al 1925	80.00 rpm
Registrazioni elettriche	Dal 1926	78.26 rpm

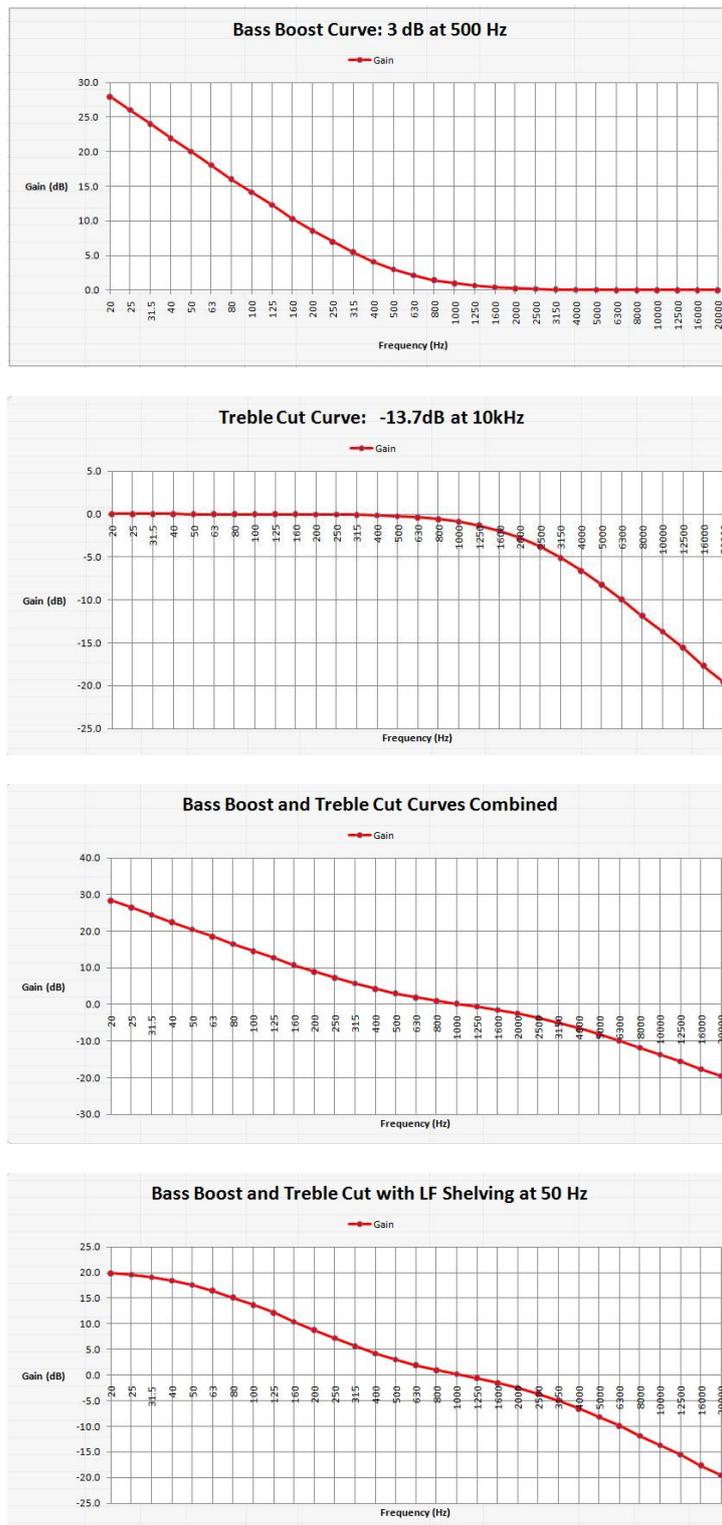


Figura 1.6: Curve di equalizzazione per lo standard RIAA. (Fonte: http://wiki.audacityteam.org/wiki/78rpm_playback_curves)

Capitolo 2

Ideazione e sviluppo del grammofono virtualizzato

2.1 Tecnologia utilizzata

2.1.1 Strumenti e linguaggi per lo sviluppo

La virtualizzazione del grammofono si basa su una piattaforma software LAMP. L'acronimo è ottenuto dall'unione delle iniziali dei nomi delle principali componenti che la compongono: *Linux Apache MySql PHP*. Il sistema operativo Linux installato è Ubuntu versione 12.10. Il web server, che sta alla base del sito internet che ospita l'applicazione, è Apache 2.2.22. MySql è il *Relational Database Management System* (RDBMS), scelto per ospitare e gestire la struttura del CMS ¹ Joomla e le tabelle necessarie per il funzionamento del grammofono. Per facilitare la gestione del database è risultato molto utile *phpMyAdmin*, che propone un'amministrazione visuale tramite browser. La versione PHP è la 5.4.6.

Il grammofono è realizzato e testato all'interno di una pagina web del sito della mostra "Visioni del suono". Il sito si basa sulla versione 2.5.7 del CMS Joomla. Per integrare nella pagina il codice esterno che implementa l'applicazione è stato aggiunto il plugin *Jumi*.

I linguaggi alla base dell'applicazione sono:

HTML5: linguaggio di *markup* per la strutturazione delle pagine web;

PHP: linguaggio di programmazione interpretato per lo sviluppo di pagine web dinamiche e applicazioni web lato server;

Javascript: linguaggio di scripting orientato agli oggetti per la la creazione di pagine web;

CSS3: linguaggio usato per definire la formattazione di documenti HTML, mediante "fogli di stile".

¹ *Contents Management System*

Le librerie javascript *Web Audio Api* e *jQuery* si sono rivelate essenziali per la realizzazione dell'applicazione: la prima per gestire componenti audio complesse, la seconda per gestire gli aspetti grafici e strutturali del documento, per manipolare il *Document Object Model* (DOM) e per mantenere la compatibilità tra i vari browser.

2.1.2 Web Audio Api

Prima dell'introduzione delle *Web Audio Api*, la gestione di contenuti sonori nel web era alquanto primitiva e per poter sviluppare applicazioni audio complesse bisognava obbligatoriamente utilizzare plugin come Flash o QuickTime. L'elemento `<audio>`, introdotto con HTML5, consente una riproduzione audio basilare, ma non è abbastanza potente per applicazioni interattive o per giochi web-based più sofisticati. Le principali limitazioni dell'elemento sono:

1. un controllo del tempo poco preciso;
2. un limite molto ristretto per il numero di suoni che possono essere riprodotti contemporaneamente;
3. nessun modo per eseguire un pre-buffer affidabile del suono;
4. nessuna possibilità di applicare effetti in real-time;
5. nessuna possibilità di analizzare i suoni.

Queste API² cercano di colmare queste lacune, mettendo a disposizione delle librerie Javascript con funzionalità avanzate di processing, sintesi, analisi e spazializzazione del suono.

Le Web Audio Api sono costruite attorno al concetto di *context*, ovvero un grafo diretto dei nodi audio che definiscono il flusso audio dalla sorgente (solitamente un file audio) alla destinazione (nella maggior parte dei casi casse acustiche o cuffie). Mentre il segnale passa attraverso un nodo, le sue proprietà possono essere modificate e controllate.

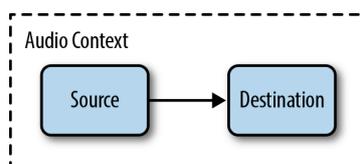


Figura 2.1: *Il più semplice context realizzabile*

(Fonte: http://chimera.labs.oreilly.com/books/1234000001552/ch01.html#s01_1)

Il context più semplice è una connessione diretta tra il *source node* e il *destination node* (Figura 2.1). Le tipologie di nodi messe a disposizione dalla libreria per creare il grafo sono:

Source nodes Sorgenti audio come buffer, live audio inputs, `<audio>` tag, oscillatori o JS processors;

²Application Programming Interface

Modification nodes Filtri, convolvers, panners, JS processors, ecc.;

Analysis nodes Nodi per l'analisi o JS processors;

Destination nodes Output audio e buffer per offline processing;

I nodi possono essere connessi o disconnessi dinamicamente mediante le funzioni *connect()* e *disconnect()*. Le Web Audio Api, inoltre, consentono di usare sorgenti multiple che possono essere combinate per una riproduzione simultanea.

2.2 Modelli alla base del grammofono

2.2.1 L'Automa

L'automa che sta alla base del grammofono, come si può vedere dalla figura 2.2, può trovarsi in quattro differenti stati.

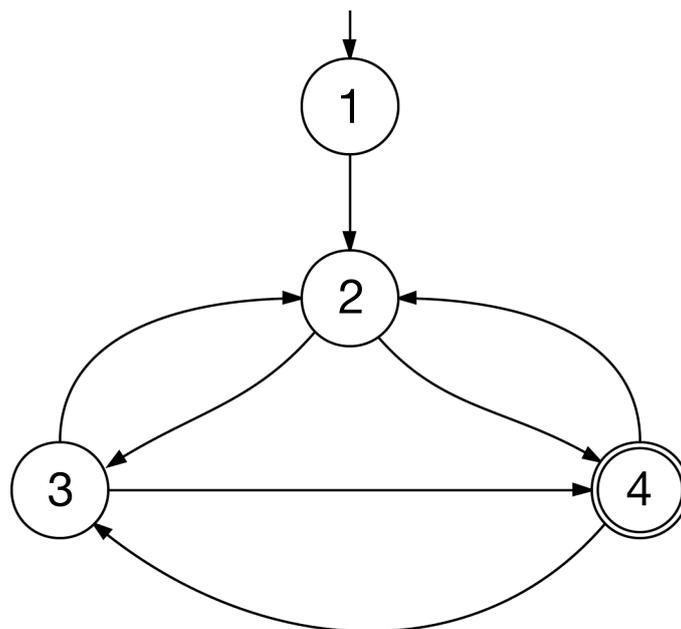


Figura 2.2: Automa utilizzato per la virtualizzazione del grammofono

All'apertura della pagina web l'applicazione si trova nello stato iniziale (1), in cui non è stata ancora caricata nessuna traccia. Il braccio è fermo al di fuori dalla base del disco e, se viene trascinato, ritorna al punto di partenza. Quando l'automa si trova in questo stato non è possibile modificare né le curve di equalizzazione, né la velocità di rotazione. Nel caso in cui si provi a muovere il braccio o la levetta di azionamento del grammofono, la pagina web scorrerà fino al *TrackLoader*, invitando così a selezionare un brano tra quelli proposti nella sezione. Non appena l'utente preme il bottone *Load Disk*, l'applicazione carica la traccia selezionata e si porta nello stato 2. Rispetto allo stato 1, è presente il disco, con il titolo della canzone scelta nella *label*,

e i comandi sono sbloccati. Ogni volta che si seleziona un'opera musicale tra quelle proposte il grammofoono ritorna in questo stato. Il braccio, se spostato, non ritorna più nella posizione di partenza, ma rimane dove è stato rilasciato, a condizione che si trovi all'interno del disco. Così facendo l'applicazione si sposta nello stato 3. Per azionare la rotazione del disco e riprodurre il documento sonoro è necessario alzare la levetta di azionamento. Se il grammofoono si trova nello stato 2, dopo una breve animazione, che sposta il braccio sopra il disco, inizia l'ascolto. Non appena parte l'ascolto, l'automa passa allo stato 4, ovvero lo stato di esecuzione del brano. Da qui, è possibile andare nello stato 3, mettendo in pausa il disco abbassando la levetta di azionamento. Viceversa, alzandola, il grammofoono si sposta dallo stato 3 al 4.

2.2.2 Il Grafo Audio

Le *Web Audio Api* consentono una gestione dinamica dei nodi di cui si compone il *context*. A seconda dei comandi che vengono impartiti dall'utente, quindi, il grafo può avere o meno determinate componenti. La struttura prevede un insieme di nodi disposti in serie. La figura 2.3 propone il grafo completo di tutti i nodi. Il primo nodo, l'oggetto *audioSource*, è la sorgente audio, deriva dall'interfaccia *AudioBufferSourceNode*, riportata nell'appendice B.1 ed è creato con la funzione *createBufferSource()*, messa a disposizione del *context*. Come si può intuire dal nome dell'interfaccia, contiene al suo interno il *buffer* della traccia selezionata. Altre importanti proprietà derivano dagli attributi *playbackRate*, per modificare la velocità di riproduzione, e *onended*, un *EventHandler* che dà l'opportunità di lanciare una funzione non appena il buffer si esaurisce, o se la riproduzione viene fermata tramite il metodo *stop()*. Il metodo principale è *start()*, che permette di far partire l'ascolto dall'inizio o, se viene passato un offset, da dove viene indicato dal parametro.

Se si utilizzano delle curve di equalizzazione personalizzate, la sorgente si collega a una serie di 32 oggetti *BiquadFilterNode*. L'interfaccia di questi *AudioNode* è riportata nell'appendice B.2. Questa tipologia di nodo può implementare i seguenti filtri *low-order*:

- low-pass filter;
- High-pass filter;
- Band-pass filter;
- Low-shelf filter;
- High-shelf filter;
- Peaking filter;
- Notch filter;
- All-pass filter.

Tutti i 32 filtri utilizzati nel *context* rientrano nella categoria *Peaking filter*. Il nodo *hornNode* serve per aggiungere la distorsione prodotta dalla tromba del grammofono. In questa prima versione dell'applicazione, non sono presenti curve preimpostate, quindi non è mai adoperato.

I 24 *BiquadFilterNode* successivi sono tutti del tipo *Peaking filter* e sono utilizzati per ricreare i canali del trasformatore di segnale Albiswerk. Il nodo *volumeNode* è un *GainNode* ed è sempre presente nel grafo durante la riproduzione. Come si può vedere dall'appendice B.3 è composto dal solo attributo *gain*, un fattore moltiplicativo che regola il guadagno applicato al segnale d'ingresso del nodo. L'attributo è collegato a un *range* che consente all'utente di modificare il volume di riproduzione del brano.

Prima del nodo *destination* si trova un *DynamicsCompressorNode*. L'unico attributo utilizzato, tra quelli dell'interfaccia proposta nell'appendice B.4, è *reduction*. Permette di abbassare il gain complessivo di un numero di decibel compreso tra 0 e -20. Se al segnale non sono assegnate curve di equalizzazione, questo parametro è impostato a -20, riducendo così di 20 dB il volume complessivo. L'introduzione di una curva richiede spesso un gain troppo elevato (superiore a +10 dB) per alcune frequenze, che porta inevitabilmente a distorsioni del suono. Per evitare questo fenomeno, il gain per tutte le frequenze viene abbassato uniformemente, in modo tale che la frequenza con il gain più elevato raggiunga al più un guadagno di 10 dB, e compensato sommando a *reduction* il valore corrispondente.

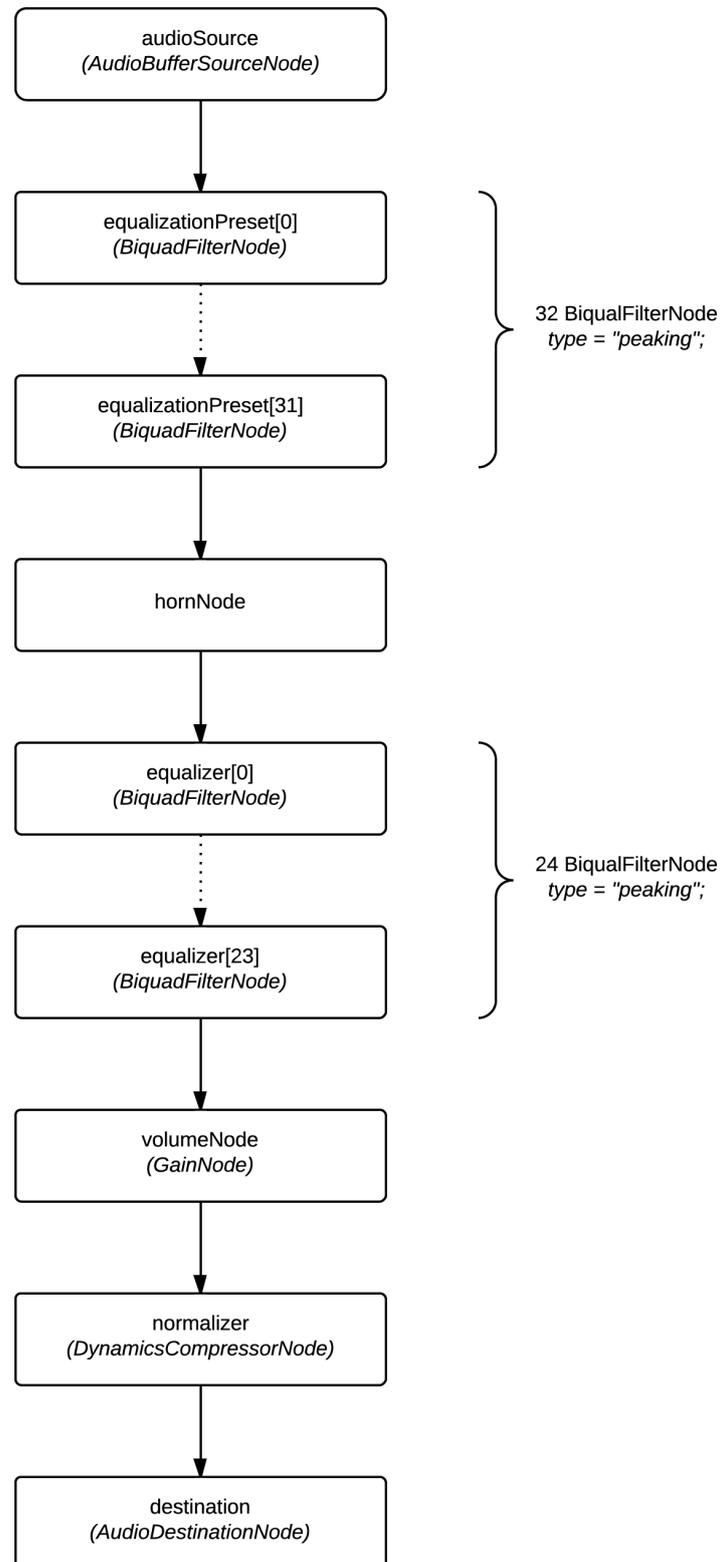


Figura 2.3: Grafo audio completo utilizzato per la virtualizzazione del grammofono

2.3 Implementazione del grammofono

2.3.1 Struttura e sorgenti

La virtualizzazione del grammofono è stata sviluppata con diversi linguaggi: HTML5, PHP, Javascript e CSS3. Data la complessità dell'applicazione, il codice è distribuito su diversi file. Quello principale, nel quale confluiscono tutti gli altri, è *gramoPlayer.php*. Al suo interno è definita la struttura della pagina web grazie all'alternarsi di funzioni PHP e di tag HTML. La prima parte del codice è dedicata all'importazione dei seguenti fogli di stile:

- *gramophone.css*
- *gramophoneControls.css*
- *gramophoneEqualizer.css*
- *gramophoneSongDB.css*
- *gramophoneClass.css*

Subito dopo vengono importati i file javascript che stanno alla base del funzionamento del grammofono: *gramophone.js* e *gramophoneTools.js*.

A seguire si trova la creazione di tre oggetti essenziali per l'applicazione:

- **context**, senza il quale non sarebbe possibile la creazione del grafo audio;
- un oggetto **Gramophone**, il cui costruttore richiede come parametro *context* e che implementa tutte le funzioni del grammofono;
- un oggetto **GramophoneTools** di supporto ai metodi dell'oggetto precedente, che contiene principalmente codice jQuery per la gestione grafica dell'applicazione.

Successivamente è definita tutta la struttura della pagina web in linguaggio HTML e PHP. Le principali sezioni (<div>) in cui è divisa la pagina sono:

1. **player**, all'interno del quale si trova la virtualizzazione del grammofono;
2. **controlsTitle** e **controlsMenu**, per il menù dei controlli;
3. **equalizationTitle** e **eqMenu**, per l'equalizzatore *Albiswerk*;
4. **songDBTitle** e **dbMenu**, per il loader dei brani.

Due ulteriori <div> sono stati inseriti per una futura espansione, che prevede di dotare l'applicazione di un visualizzatore della risposta in frequenza dei filtri utilizzati dalle curve di equalizzazione e dal trasformatore di segnale *Albiswerk*. Gli elementi con il suffisso "Menu" contengono al loro interno gli strumenti per caricare e personalizzare le tracce, ma quando si accede alla pagina risultano nascosti all'interno di un "menù a fisarmonica", introdotto per rendere più pratico e funzionale l'utilizzo dell'applicazione.

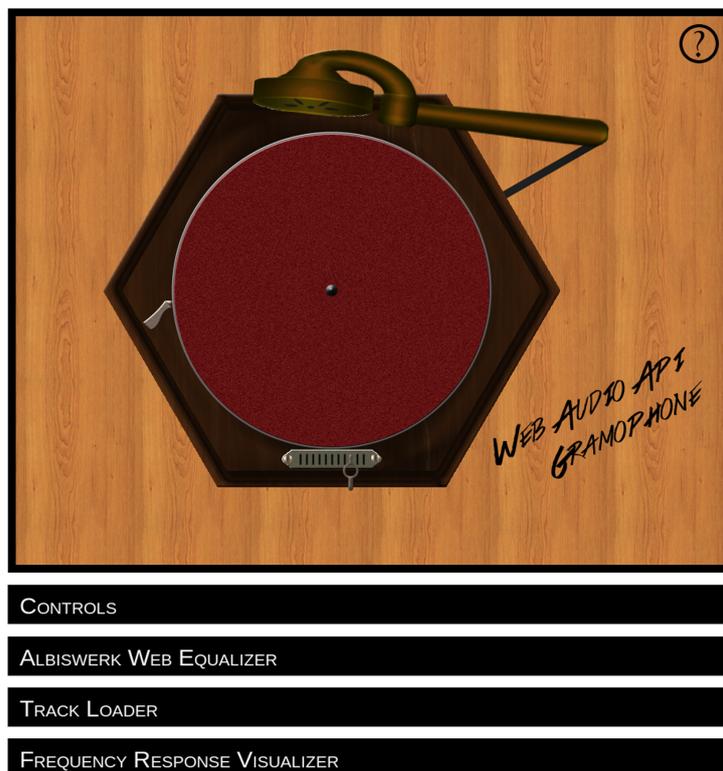


Figura 2.4: Screenshot del grammofono virtualizzato subito dopo il caricamento della pagina (Stato 1).

2.3.2 Interfaccia Utente

L'applicazione cerca di riprodurre il più fedelmente possibile il funzionamento del grammofono e le sue modalità di utilizzo. Per fornire all'utente un'esperienza d'uso simile a quella reale è stata realizzata una *user interface* intuitiva che riproduce nel dettaglio le varie componenti meccaniche del grammofono. La struttura è stata realizzata con diversi elementi HTML sovrapposti e un massiccio uso di fogli di stile. A ogni componente del grammofono è associato almeno un tag e il suo relativo stile css.

All'interno della sezione *player*, si trovano i seguenti `<div>`, relativi alle quattro componenti principali del grammofono:

1. **playDiv** con all'interno un `<input>` di tipo *range*, che grazie ai fogli di stile diventa una verosimile **levetta di azionamento** della rotazione del disco;
2. **vinyl** che permette di visualizzare il **disco** e la sua *label*;
3. **arm** che riproduce il **braccio** del grammofono;
4. **changeRotation** che con un `<input>` di tipo *range*, personalizzato mediante css, mette a disposizione un **cursore** per cambiare la velocità di rotazione del disco.

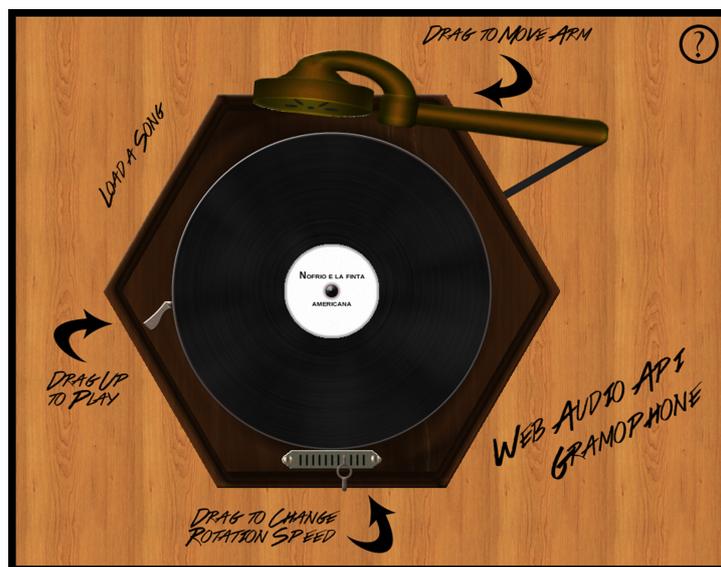


Figura 2.5: Screenshot del grammofono virtualizzato con disco e istruzioni d'uso (Stato 2).

Per aiutare l'utente è stato introdotto un bottone "help", che se premuto fa comparire le istruzioni per un corretto utilizzo dell'applicazione (Figura 2.5).

Scorrendo il documento viene visualizzato un "menù a fisarmonica" con le seguenti voci:

- **Controls;**
- **Albiswerk Web Equalizer;**
- **Track Loader;**
- **Frequency Response Visualizer.**

All'interno della prima voce si trova il sottomenù dei comandi, attraverso il quale è possibile personalizzare l'ascolto di un brano:

- **Rotation Preset**, che permette di selezionare una velocità di rotazione tra quelle preimpostate;
- **Equalization Preset**, che mette a disposizione alcune delle principali curve di equalizzazione e uno strumento per crearne di personalizzate;
- **Horn Preset**, che dà la possibilità di aggiungere curve preimpostate per riprodurre l'effetto di diverse trombe applicate al grammofono;
- **Volume**, per impostare il volume di riproduzione.

Le prime tre sottovoci utilizzano degli *<input>* di tipo *radio* per selezionare la velocità o le curve preimpostate. *Equalization Preset* propone anche uno strumento per la manipolazione della curva

di equalizzazione, che attraverso dei *range*, permette di modificare il punto di *bass turnover*, il *rolloff* e la frequenza di *cutoff* del filtro *Shelving*, se abilitato.

La riproduzione dell'eualizzatore Albiswerk è composto da un elemento `<div>`, che contiene 24 *range*, ognuno dei quali consente di modificare il gain del relativo filtro *peaking* che compone lo strumento. Il *Track Loader* permette di selezionare il brano tra quelli salvati nel database del sito. La maggior parte del codice PHP si trova in questa sezione. All'apertura della pagina web, infatti, viene fatta una query alla tabella *vds_gram* del database *my_visionidelsuono*, che contiene tutte le informazioni relative alla canzone. Grazie ai dati ricevuti dal database, vengono costruite le tabelle contenenti tutte le informazioni del brano e il pulsante *Load Disk* per caricare il disco corrispondente.

2.3.3 Funzioni del grammofono

2.3.3.1 Il costruttore *Gramophone(context)*

La maggior parte delle funzionalità dell'applicazioni derivano dalle proprietà e dai metodi contenuti nell'oggetto *Gramophone*. Il *context*, passato al costruttore come parametro, viene salvato su una variabile interna omonima, che conterrà il grafo audio. La creazione dell'oggetto prevede l'inizializzazione di un gran numero di variabili, tra cui tutti i nodi audio che, una volta connessi, comporranno il *context*. Il costruttore dichiara solamente la variabile *audioSource*, poichè sarà inizializzata solo dopo che l'utente avrà scelto il brano da ascoltare. Per le curve di equalizzazione e i filtri dell'eualizzatore Albiswerk vengono destinati due *Array*, che conterranno i rispettivi nodi dopo l'invocazione delle funzioni *createPresetEqualization()* e *createEqualizer()*, che provvede, inoltre, alla loro connessione. Queste due funzioni sfruttano gli array *equalizationPresetFrequency* e *equalizerFrequency*, che contengono tutte le frequenze di *cutoff* necessarie per impostare correttamente i *BiquadFilterNode*. I nodi *volumeNode* e *normalizer*, invece, vengono creati direttamente nel costruttori e collegati come in figura 2.2.

Per implementare l'automa descritto in figura 2.2 e per un corretto funzionamento del grammofono sono stati introdotti diversi flag. I principali sono:

isTrackLoaded = false: il grammofono si trova nello stato 1, diventa *true* non appena una traccia viene selezionata.

isPlaying = false: l'applicazione non sta riproducendo nessuna traccia audio, se gli viene assegnato un valore *true* l'automa si porta nello stato 4.

isEqualizerActive = false: il grafo non comprende i nodi del trasformatore di segnale Albiswerk. Quando l'utente apre il menù relativo, il flag si porta a *true* e viene inserita la curva corrispondente alla posizione dei cursori.

isInInitialPosition = true: il braccio è nella posizione iniziale al di fuori dello spazio del disco, viceversa se *false*.

isArmEnabled = true: è possibile muovere il braccio, se il valore cambia in *false* non è possibile trascinare l'elemento.

isPause = false: al momento dell'inizializzazione la traccia non si trova in pausa, può assumere il valore *true* (stato 3) solo se il braccio si trova all'interno del disco.

Il costruttore contiene numerosi altri attributi che verranno presentati, all'occorrenza, nei paragrafi successivi.

2.3.3.2 Caricamento di un disco

La funzione *loadDisk(path, nameTrack, speed)* viene invocata ogni volta che l'utente seleziona un brano tra quelli proposti nella sezione *Track Loader* (Figura 2.6). La prima azione eseguita

TRACK LOADER				
LOAD DISK	GIOVANNI DE ROSALIA - NOFRIO E LA FINTA AMERICANA (1919)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DIM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	76.6	3.5 MIL - 4 G	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	EDUARDO MIGLIACCIO - CHI CAMPA DERITTO CAMPA AFLITTO (1928)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DIM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	78.26	3.5 MIL - 4 G	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	PASQUALE ABETE - FRONNE 'E LIMONE (1921)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DIM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	80	3.5 MIL - 4 G	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	MICHELE SCIALPI - POVERO 'NNUCENTE (1921)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DIM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	80	3.5 MIL - 4 G	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	LEONARDO DIA - LI FIMMINI CU LU LIPSTICK (1929)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DIM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	78.26	3.5 MIL - 4 G	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	LEO DOMAR - INSEGNATEMI L'INGLESE (1928)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DIM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	78.26	3.5 MIL - 4 G	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	ROSINA GIOIOSA TRUBIA - STA TERRA NUN FA PI MIA (1928)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DIM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GRAMMOFONO	78.26	-	SOFT TONE	-

Figura 2.6: Screenshot del *Track Loader* contenente tutti i brani riproducibili dal grammofono

è un blocco totale dei comandi del grammofono, necessaria per poter svolgere le operazioni in mutua esclusione. Se al momento dell'invocazione un brano è in riproduzione, questa viene bloccata, il grammofono passa dallo stato 4 allo stato 2 dell'automa, la rotazione del disco e l'animazione del braccio vengono fermate. Se il flag *isInitialPosition* è impostato a *false*, il braccio viene riportato nella posizione iniziale al di fuori del disco. Nel caso in cui l'automa si trovi nello stato 1, viene visualizzato il disco. Fatto ciò, tutti gli attributi vengono impostati

per portare il grammofono nello stato 2 e viene salvata la velocità di rotazione originale del brano, passata alla funzione con il parametro *speed*. Il caricamento del buffer, eseguito da una chiamata asincrona *XMLHttpRequest*, utilizza il parametro *path* per reperire la traccia selezionata dall'utente. Non appena inizia il download del file appare un'animazione di buffering. Questa sarà sostituita dalla label del disco con il nome della traccia, ottenuto dal parametro *nameTrack*, non appena l'operazione sarà conclusa. A questo segue lo sblocco dei comandi, che permette all'utente di interagire senza limitazioni con l'applicazione.

2.3.3.3 Riproduzione di un brano

La funzione *playDisk()* viene invocata ogni volta che la levetta di azionamento del grammofono viene alzata o abbassata, ovvero quando il *range* contenuto nel div con id *playDiv* cambia posizione (da 0 a 1, o viceversa). Se non è stata ancora caricata una traccia e si cerca di alzare il cursore, questo ritornerà nella posizione iniziale e l'utente sarà invitato a scegliere un brano dal *Track Loader*. Nel caso in cui il disco sia in fase di riproduzione e la levetta venga abbassata, la canzone si ferma e il grammofono entra in pausa, ovvero nello stato 3 dell'automa; contemporaneamente il disco smette di girare e il braccio termina la sua animazione. Subito dopo l'invocazione del metodo *stop()* del nodo *audioSource*, viene aggiornato l'attributo *startOffset*, proprietà dell'oggetto *Gramophone*, che rappresenta il punto esatto in cui si è fermato l'ascolto del disco. Il costruttore inizializza questa proprietà con il valore "0". Ogni volta che il disco viene messo in pausa, la funzione aggiunge all'offset precedente la durata della riproduzione dall'ultimo play fino allo *stop()* corrente, per permettere, così, di ripartire dal punto corretto all'ascolto successivo.

Nel caso in cui l'applicazione si trovi nello stato 2 o 3 dell'automa, alzando la levetta di azionamento si invoca il metodo *play()* e il disco inizia la rotazione. Nel primo caso la funzione viene eseguita solo allo scadere di un *timeout*, che dà il tempo al braccio di muoversi dalla posizione iniziale fino all'interno del disco.

Una particolarità del nodo sorgente *AudioBufferSourceNode* è l'impossibilità di riprodurre nuovamente il brano una volta terminato il playback. Ad ogni occorrenza del metodo *play()*, quindi, è necessario ricreare il nodo sorgente, a partire dalle informazioni salvate nell'oggetto *Gramophone*. Questa caratteristica permette di isolare il *buffer* dal *player* e, grazie all'elevato livello di ottimizzazione nella creazione del nodo, di mantenere allo stesso tempo una buona efficienza. Lo svantaggio risiede nel fatto che il nuovo nodo deve essere collegato al grafo audio ad ogni invocazione del metodo.

Per creare un nodo sorgente vengono assegnati, oltre a *buffer*, l'attributo *playbackRate* e la funzione *onended*. Quest'ultima consente di eseguire il metodo *stopSong()* non appena si ferma la riproduzione. Dopo l'assegnamento dei valori viene invocata la funzione *start()* della sorgente, a cui è necessario passare come parametro l'*offset* precedentemente descritto. L'applicazione, dopo aver aggiornato i flag, passa allo stato 4, e memorizza il valore corrente del *currentTime* (il clock messo a disposizione dal *context*) all'interno della variabile *startTime*. Non appena questo accade viene calcolata la durata residua del brano e parte l'animazione del braccio grazie al metodo *moveArm* a cui è necessario passare come parametri il valore della variabile temporale appena calcolata, l'angolo di partenza del braccio e quello finale. Questa funzione realizza la graduale

rotazione del braccio grazie a una animazione *jQuery*. Durante lo spostamento, inoltre, mantiene aggiornato l'angolo corrente del braccio, memorizzandolo nella variabile *armCurrentAngle*.

Dato che l'applicazione vuole ricreare nella maniera più fedele possibile un grammofono "78 giri" con dischi da 10 pollici, è stato fissato un limite massimo di riproduzione a 210 secondi. Per questo motivo è stato aggiunto un *timeout* che invoca la funzione *stop()* per non superare questa soglia. La funzione *stopSong()* agisce solo nel caso in cui l'esecuzione del disco sia completata. Se il brano entra in pausa, quindi, non produce nessun effetto. Nel caso contrario il metodo si occupa di riportare il grammofono nello stato 2 dell'automa, fermando la rotazione del disco, avviando un'animazione che riporta il braccio nella posizione iniziale e resettando offset e flag.

2.3.3.4 Movimento del braccio del grammofono

Muovendo il braccio del grammofono è possibile scegliere il punto del disco da dove far partire la riproduzione. Il movimento è abilitato solo se il flag *isArmEnabled* è impostato a *true* e, durante lo spostamento, vengono disabilitati tutti gli altri comandi dell'applicazione. Il braccio è rappresentato nel *<div>* con id *arm*, che invoca il metodo *moveArmOnMouseDown(event)* ad ogni occorrenza dell'evento *onmousedown*. Se il grammofono è in fase di esecuzione, la funzione blocca l'ascolto, aggiorna lo *startOffset*, ferma l'animazione e il *timeout*.

Grazie alle funzioni *jQuery offset*, *left* e *right*, il metodo inizializza le variabili che serviranno da offset per tracciare il movimento. Durante il trascinarsi del braccio, la funzione *mousemove* calcola, ad ogni spostamento del mouse, l'ampiezza dell'angolo rispetto alla posizione iniziale e, tramite *css*, fa ruotare il braccio per seguire il puntatore. Vengono imposti solo due limiti: il braccio non può ruotare oltre all'etichetta del disco o oltre la posizione iniziale al di fuori del disco.

Se l'automa è nello stato 1, il braccio, una volta rilasciato, ritorna nella posizione iniziale e l'utente viene invitato a caricare un disco. Altrimenti, la funzione calcola il punto del disco da cui iniziare a riprodurre in base all'angolo corrente del braccio. Nel caso in cui il punto di rilascio sia al di fuori del disco o al di fuori della lunghezza del *buffer*, il braccio ritorna nella posizione iniziale e la rotazione del disco viene fermata. Nel caso contrario, viene aggiornato la variabile *startOffset* con il valore del punto di riproduzione calcolato. Se prima del trascinarsi il brano era in esecuzione, l'ascolto riparte con l'invocazione della funzione *play*.

2.3.3.5 Velocità di rotazione

Per modificare la velocità di rotazione del disco è possibile agire sul cursore del grammofono oppure utilizzare i comandi nella sezione *Rotation Preset*, dove vengono proposti i valori *rpm* maggiormente usati dalle più note case discografiche. In questo caso, la velocità è selezionabile mediante un *<input>* di tipo *radio*. Una volta che l'utente esegue il *check* di un campo, l'*<input>* relativo invoca la funzione *changePresetRotation()*, a cui passa come parametro il numero del *radio-button* corrispondente. Grazie a uno *switch* viene impostata la variabile *speed* relativa alla velocità scelta. L'operazione successiva consiste nell'aggiornare il range del cursore del grammofono, uniformandolo alla velocità scelta. Fatto ciò viene lanciata la funzione *chan-*

geRotation(). Come primo parametro viene passata la variabile *speed* e come secondo il valore “1”.

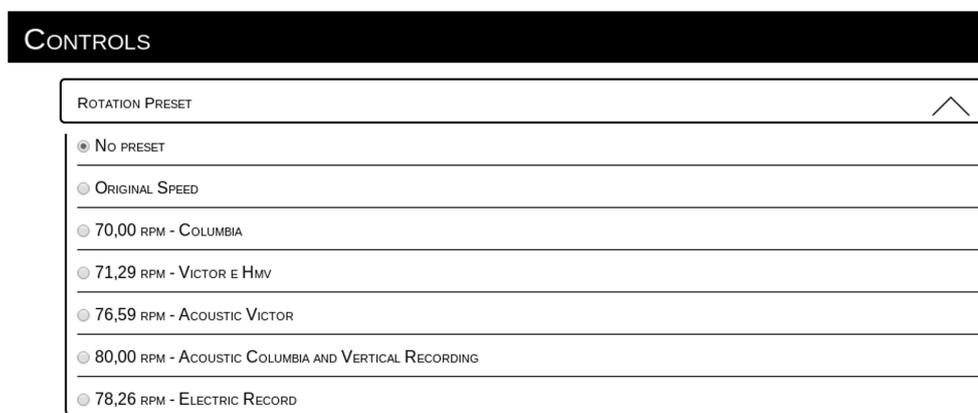


Figura 2.7: Screenshot dei comandi per personalizzazione della velocità di rotazione

Questa funzione è invocata anche ad ogni spostamento del cursore della rotazione. In questo caso però i valori passati sono diversi, infatti il primo parametro è l’oggetto *range*, mentre il secondo è il valore numerico “0”. Dopo aver salvato in variabili temporanee i valori della velocità *currentSpeed* e il *playbackRate* precedenti alla modifica, si appresta a estrapolare la velocità prescelta dal parametro *element*. Questo valore viene poi diviso per la velocità di rotazione con cui è stato registrato il brano selezionato, ottenendo così il nuovo *playbackRate*. Sulla base dei parametri ottenuti viene invocata la funzione *changeVinylRotation*, che calcola il tempo di rotazione e, tramite un’animazione CSS, aggiorna la velocità con cui ruota il *<div>* con id *vinyl*.

Nel caso in cui il grammofono sia in fase di riproduzione, viene aggiornato la variabile *startOffset*, sfruttando il valore memorizzato nella variabile temporanea *oldPlayBackRate*, e resettata *startTime*. Successivamente, la funzione ferma l’animazione del braccio e ne fa ripartire una di nuova basata sul *remainingTime* appena calcolato. Lo stesso procedimento viene eseguito per il *timeout* che si occupa di interrompere l’ascolto se si supera la durata massima del disco.

2.3.3.6 Curve di equalizzazione

La sezione *Equalization Preset* mette a disposizione alcune delle principali curve di equalizzazioni e uno strumento per crearne di personalizzate utilizzando *bass turnover*, *rolloff* e, se disponibile, la frequenza di *cutoff* di un filtro *LF Shelving*. Il tool crea una curva di equalizzazione utilizzando 32 nodi *BiquadFilterNode* in serie, creati e connessi dalla funzione *createPresetEqualization()*. Questi nodi vengono memorizzati all’interno dell’array *equalizationPreset*. I *BiquadFilterNode* sono di tipo *peaking* e consentono, quindi, di aumentare o diminuire il gain relativo a un range di frequenze, mantenendo invariate le altre. Il range viene definito da due valori: la frequenza centrale e il *Q factor*. All’interno di un ciclo *for* viene assegnato ad ogni nodo il parametro *frequency.value* e il *Q.value*. Il primo è preso dall’array *equalizationPreset-Frequency* inizializzato dal costruttore. Il valore 5.72 viene invece assegnato a tutti i nodi come fattore Q, che corrisponde a una larghezza di banda di un quarto di ottava.

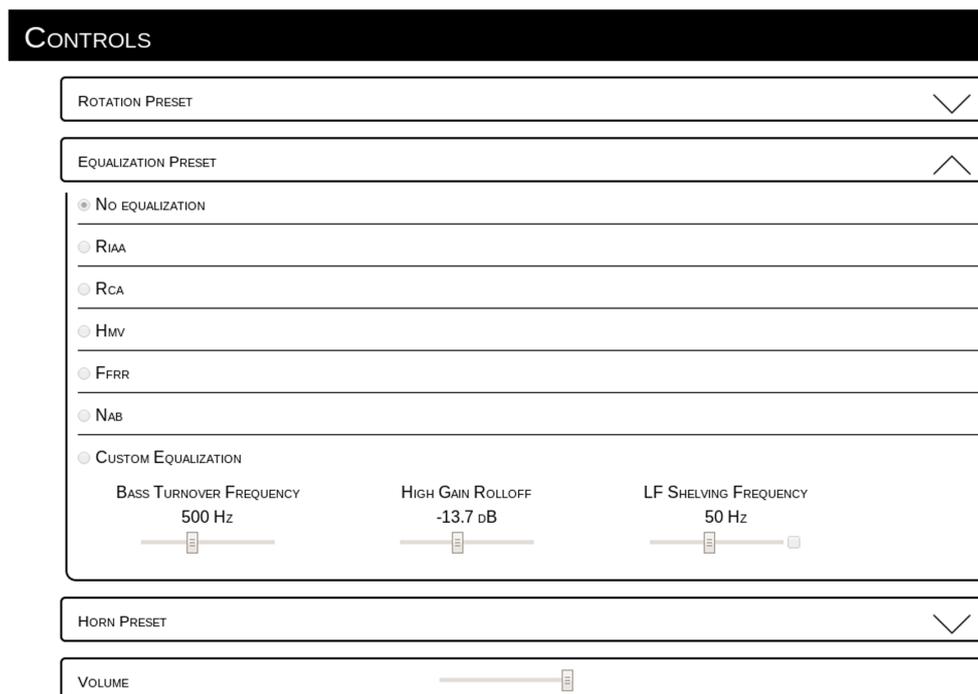


Figura 2.8: Screenshot dei comandi per la personalizzazione delle curve di equalizzazione.

Tramite un *radio-button* è possibile selezionare una curva già preimpostata o scegliere di crearne una personalizzata (Figura 2.8). A ogni elemento *radio* è associato la funzione *changePresetEq(preset)* che passa come parametro il numero corrispondente alla curva o al *Custom Equalization*. Tramite uno *switch* vengono assegnati i parametri di *bass turnover*, *rolloff* e *shelving*, se attivo. Nel caso in cui si scelga di non applicare nessuna curva, viene invocata la funzione *allGainToZero()*, che si occupa di impostare tutti i *gain* a, 0 tramite un ciclo *for*, e il parametro *reduction* del *DynamicsCompressorNode* a -20 dB. Per tutte le curve preimpostate vengono disabilitati i *range* per la personalizzazione. Inoltre, viene invocata la funzione *changeAllGainValue()* che si occupa di impostare il valore del *gain* per ogni nodo, per formare così la curva di equalizzazione. Per farlo viene creato un array temporaneo per contenere i valori del guadagno non normalizzati. All'interno di un ciclo *for*, per ogni nodo viene lanciata la funzione *getGain()* a cui viene passata la frequenza del filtro e i punti di transizione. Per ottenere il valore del *treble turnover* (*h*) viene invocato il metodo di *getTrebleTurnover*, a cui è passato il valore di *rolloff* (*r*) e che esegue il seguente calcolo:

$$h = \sqrt{\frac{10000^2}{10^{-(\frac{r}{10})} - 1}}$$

Il valore del guadagno da applicare al filtro, viene calcolato sommando il guadagno parziale, derivante da ognuno dei tre punti di transizione, ottenuti con le seguenti formule ³:

³l = frequenza low turnover, f = frequenza del nodo, h = frequenza high turnover, s = frequenza shelving turnover

$$\text{gain}LF = 10 \log_{10}\left(1 + \frac{l^2}{f^2}\right)$$

$$\text{gain}HF = -10 \log_{10}\left(1 + \frac{f^2}{h^2}\right)$$

$$\text{gain}SHF = -10 \log_{10}\left(1 + \frac{s^2}{f^2}\right)$$

Fatto ciò, la funzione *changeAllValue()* trova il valore del guadagno massimo tra i 32 presenti nell'array. Sulla base di questo calcola il valore di attenuazione dei vari gain ed esegue un ciclo *for* per normalizzare i nodi. Per compensare viene sommato il valore al parametro *reduction* del *DynamicsCompressorNode*.

Se l'utente seleziona la *Custom Equalization*, vengono sbloccati i vari *<input>* relativi ai parametri. Ogni modifica apportata a un *range* implica l'invocazione del metodo *changePresetValue()* a cui è passato il valore di input e il tipo di parametro che viene cambiato. Questa funzione non fa altro che aggiornare il valore degli attributi relativi alla curva e invocare a sua volta il metodo *changeAllGainValue()*.

2.3.3.7 Virtualizzazione del trasformatore di segnale Albiswerk 502/50

Il trasformatore di segnale Albiswerk modello 502/50 è un famoso banco di filtri usato principalmente nei primi studi radiofonici. Fu introdotto nel mercato nel 1957 dall'azienda Albiswerk e fu prodotto fino al 1983. Si tratta di un banco di filtri con larghezza di banda pari a un terzo di ottava.

La virtualizzazione di questo trasformatore di segnali è stata sviluppata per mettere a disposizione dell'utente un ulteriore strumento per la personalizzazione del suono, utile durante lo studio del segnale, nonostante questo comprometta parzialmente la filologicità dell'ascolto.

L'equalizzatore è composto da 24 *BiquadFilterNode* di tipo *peaking* collegati in serie e viene inizializzato durante il caricamento della pagina web dalla funzione *createEqualizer()*. Tutte le frequenze centrali del nodo sono contenute nell'array *equalizerFrequency* dell'oggetto *Gramophone*. Il *Q factor* applicato è 4.32 poiché i filtri sono a un terzo di ottava.

L'equalizzatore (Figura 2.9) viene attivato premendo il *<div>* con etichetta *Albiswerk Web Equalizer* grazie alla funzione *openTool()*, utilizzata per tutte le voci e le sottovoci del menù a tendina, dell'oggetto *GramophoneTools*. Tutti i guadagni del filtro sono collegati ai 24 *range* presenti nella sezione.

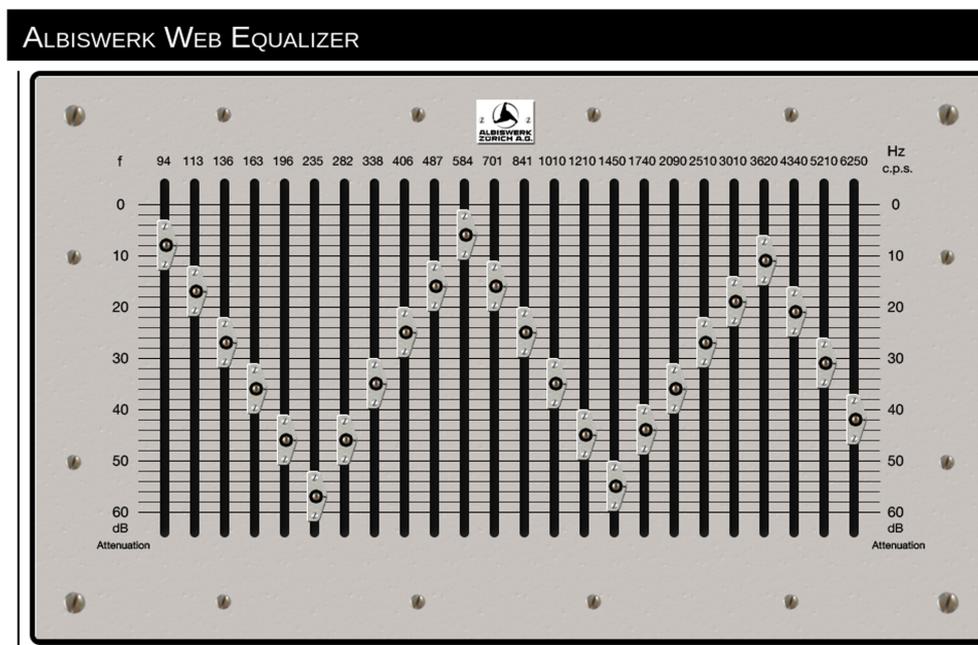


Figura 2.9: Screenshot della virtualizzazione del trasformatore di segnale Albiswerk.

Capitolo 3

Conclusioni e sviluppi futuri

Negli ultimi decenni, la ricerca e l'applicazione di tecnologie informatiche hanno portato enormi progressi nell'ambito del restauro e della conservazione dei documenti sonori. I consistenti risultati ottenuti, però, non sono andati di pari passo con quelli sviluppati nel settore della fruizione delle opere musicali. Questo ramo dell'informatica musicale è ancora parzialmente inesplorato. Al momento la maggior parte dei documenti sonori è relegata in archivi poco accessibili a studiosi e ricercatori; spesso i supporti utilizzati per mantenere le copie conservative sono obsoleti. La riproduzione di queste opere, inoltre, solitamente non tiene in considerazione gli aspetti filologici del documento, che sono essenziale per gli studi storici, sociologici e musicologici. È quindi necessario instaurare rapporti di tipo sinallagmatico tra i professionisti e i tecnici informatici e i musicologi che lavorano ai progetti di digitalizzazione dei documenti sonori nonché allo sviluppo di applicativi per la fruizione e il godimento delle opere musicali in questione.

Il modello web-based descritto in questa tesi propone uno strumento innovativo per una fruizione filologica di opere musicali. I caratteri distintivi di questo progetto sono:

- la facilità di accesso ai contenuti disponibili attraverso la rete;
- la fedeltà con cui sono ricostruiti i meccanismi del supporto di riproduzione nella virtualizzazione;
- la flessibilità nella gestione dei vari formati dei dischi fonografici in gommalacca, ottenuta con l'introduzione di strumenti per personalizzare le curve di equalizzazione e la velocità di rotazione;
- la capacità di modificare in tempo reale le caratteristiche del segnale sonoro.

Lo sviluppo di questa applicazione ha portato alla luce, inoltre, alcune problematiche relative alla tecnologia internet utilizzata. Le *Web Audio Api*, infatti, rappresentano un enorme passo avanti per lo sviluppo di applicazioni interattive e musicali su browser, ma, per il momento, non sono ancora in grado di competere con le librerie fornite dai linguaggi di programmazione in ambito desktop. Il secondo problema riguarda l'attuale inadeguatezza delle connessioni internet per la trasmissione di documenti sonori digitalizzati ad alta fedeltà. Le copie conservative, infatti, sono salvate in file di grandi dimensioni, che aumentano i tempi di caricamento.

Il modello si apre, però, a futuri possibili miglioramenti, che permetteranno di eliminare queste debolezze. Il grammofono al momento richiede il caricamento in memoria dell'intero file audio. Sfruttando le *Web Audio Api*, è possibile creare una riproduzione in streaming che abbasserebbe notevolmente i tempi di attesa per la fruizione del documento. Inoltre, per migliorare la resa sonora, la libreria mette a disposizione la possibilità di creare features personalizzate che permettono di realizzare nuovi nodi con funzionalità o caratteristiche non ancora presenti. Utilizzando funzioni javascript ad esempio si potrebbero realizzare dei filtri più precisi per curve di equalizzazione. Alcuni miglioramenti possono essere fatti anche nell'interfaccia grafica, per riprodurre più fedelmente il funzionamento meccanico del grammofono, utilizzando nuove librerie javascript come le *WebGL*. Per rendere ancora più verosimile la virtualizzazione, si potrebbe realizzare anche un modello del disco, così da permettere una manipolazione diretta del supporto fonografico. L'applicazione è già predisposta per una futura espansione con l'inserimento di una sezione dedicata alla visualizzazione della risposta in frequenza dei filtri che compongono le curve di equalizzazione e il trasformatore di segnale Albiswerk.

La virtualizzazione del grammofono è stata realizzata per una completa compatibilità dei browser *Chrome* e *Firefox*. Il programma *Internet Explorer*, invece, non supporta le librerie *Web Audio Api* e, per il momento, non è stato ancora annunciato un aggiornamento che le preveda. Diversa, invece, è la situazione dei browser per mobile, che presto si adegueranno allo standard consentendo così di poter utilizzare il grammofono su smartphone e tablet.

Appendici

Appendice A

Equalizzazioni

Tabella A.1: *Principali equalizzazioni dalla nascita del 78 giri fino all'LP*

Etichetta	Serie	Turnover (Hz)	Rolloff (dB)
Acoustic Recording	Dischi, cilindri, ecc...	0 (se non diversamente richiesto)	
“AES”	<i>Standard</i>	400	-12
AFRS	Trascrizioni	400	0 o -5
Allegro		750	-16
Allied		500	-16
ARS ¹		500	-12 o -13.7
Angel		500	-12
Arizona		400	-12
Artist		500	-16
Atlantic		500	-16
Audiophile		300	-8
BBC	Trascrizioni del 1949		da 0 a -5
BBC	Tutte le altre trascrizioni		da 0 a -5
Bach Guild			-16
Banner	Adattare come necessario	500	-16
Bartok		629	-16
Bartok	301-304, 309, 906-920	700	-16
Berliner	Dischi a 71.29 rpm	0	0
Blue Bird		800	-10
Blue Note	Jazz	400	-12
Boston	COL		-16
Brunswick	Rare	1000	-8.5

Continua nella prossima pagina

¹American Recording Society

Continua dalla pagina precedente

Etichetta	Serie	Turnover (Hz)	Rolloff (dB)
Brunswick	Dal 1946	300	-16
Brunswick	Primi modelli	300-500	0 o -16
BSI	Primi modelli	353	-10.5
Caedmon		629	-11
Caedmon	1001-1022	700	-12
Cameo	Documentazione non univoca		
Canyon		400	-12
Capitol	FDS	400	-12
Capitol-Telefunken		500	0
Capitol		500	-12
Cetra	Soria	400	-12 o -16
Cetra		400	-11
Colosseum		400	-12
Columbia	1925	200	-7
Columbia	1926	250	-5
Columbia	1938 (la maggior parte)	300	-16
Columbia	Dischi prodotti in Europa	300	-5
COL ²		Varie	-16
Concert Hall		400	-12
Contemporary		400	-11
Cook Laboratories		500	-11
Cook Laboratories	binaural inside band	500	0
Coral		400 o 750	-12 o -16
Decca	Primi dischi	150 o 300	0 o -6
Decca	1946	400 o 500	-12
Decca	FFRR 1949	250	-5
Decca	FFRR 1951	300	-14
Deutsch-Gramophone		300	-5
Dial		500 o 750	-16
Dischi		300	-16
Ducretet-Thomson		450	-11
EMI	1931	250	0
33LP		500	-12
EMS		375	-12
Edison		0	0
Electrola		800	-10

Continua nella prossima pagina

²Curva Columbia

Continua dalla pagina precedente

Etichetta	Serie	Turnover (Hz)	Rolloff (dB)
Elektra		629	-16
Epic	Se del 1954 applicare COL	750	-16
Esoteric		400 o 500	-12
European		280	0
Festival		750	-16
Folkways		629	-16
Good Time Jazz		400	-12
Gramophone		300	-10
HMV	1925-1946	250	0
HMV	1946	400	-10
HMV	1946-1954	500 o 800	-16
HMV	Prodotti in America	400	-12
Handel Society		750	-16 o -17
Haydn Society		750	-16 o -17
Harmony	Fino ad agosto 1929	300	-16
Hit of the Week		500	-5
Kapp		700	-16
Kendall		629	-16
King		500	-16
Linguaphone		300	0
L'Oiseau-Lyre		500	-10
London	Primi dischi	300	0
London	Fino a LL846	500 o 750	-10.5
London	FFRR 1949	250 o 280	-5
Lyrichord	Primi dischi	400 o COL	-16
Lyrichord	Dischi più recenti	629	-16
Mercury	Fino a ottobre 1954	400	-12
MGM		500	0 o -12
Montilla		500	-12
Musicraft		750	-14
NAB	<i>standard</i>	500	-16
New Records		750	-16
Nocturne		400	-12
Oceanic		750 o COL	-16
Odeon	Primi dischi elettrici	700	0
Odeon	Prima del 1947	300	-8.5
Oiseau-Lyre	Fino al 1954	COL	-8.5
OKeh	Elettrici	300	0 o -8.5

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Etichetta	Serie	Turnover (Hz)	Rolloff (dB)
Oriole	Documentazione non univoca		
Orthoacoustic	Trascrizione	500	-16
Overtone		400 o 500	-16
Oxford		750	-16
Pacific Jazz		400	-12
Parlophone	A seconda dell'anno	300 o 500	0 o -8,5
Pathé	Documentazione non univoca		
Period		500	-16
Polydor		300	-8.5
Philharmonia		400	-12
Polymusic		500	-16
Polymusic	Binaural Inside Band	500	0
RCA Victor	Primi dischi a 71.29 rpm	0	0
RCA Victor	Dischi a 76.59 rpm	0	0
RCA Victor	Dischi a 78 rpm (1925)	250 o 300	0 o -5
RCA Victor	Dischi LP (1931)	700 o 800	0 o -10.5
RCA Victor	Dischi 1933	375	-8.5
RCA Victor	Dischi 1935	300 o 500	0
RCA Victor	Dischi 1938	500	-5
RCA Victor	Dischi dal 1938 al 1948	500	0 o -12
RCA Victor	Dischi 1948	500	-10,5
RCA Victor	Dischi 1949	500	-12 o -13
Rachmaninoff Society		750	-16
Radiofunken		400	0
Remington		500	-12
Renaissance		750	-12
RIAA	<i>Standard</i>	500	-13.7
Riverside		400	-12
Romeo	Documentazione non univoca		
Schirmer		1000	-24
Stradivari		750	-16
Supraphone		400	0
Technicord		800	-12
Telefunken		400	0
Ultraphone		400	0
Urania	La maggior parte	750 o COL	-16
Urania	I più recenti	400	-12
Vanguard	411-22, 6000-18, 7001-7011	750 o COL	-16

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Etichetta	Serie	Turnover (Hz)	Rolloff (dB)
Velvet Tone	Fino ad agosto 1929	300	-16
Vitaphone		950	-18.5
Vitaphone	Motion Capture	300	0
Vocalion	Dischi elettrici	300	0
VOX		500 o 750	-16
War department	12" Special Service	700	-5
Western Electric	Prime trascrizioni	300	0
Westmister	Prima del 1956	500 o 750	-16
Westmister	"AES"	400	-12
Westrex		200	0
Zonophone	Primi dischi a 71.29 rpm	300	0

Si conclude dalla pagina precedente

Appendice B

Interfacce

B.1 AudioBufferSourceNode interface

```
interface AudioBufferSourceNode : AudioNode {  
  
    attribute AudioBuffer? buffer;  
    readonly attribute AudioParam playbackRate;  
    attribute boolean loop;  
    attribute double loopStart;  
    attribute double loopEnd;  
  
    void start(optional double when = 0, optional double offset = 0,  
              optional double duration);  
    void stop(optional double when = 0);  
  
    attribute EventHandler onended;  
  
};
```

B.2 BiquadFilterNode interface

```
interface BiquadFilterNode : AudioNode {  
  
    attribute BiquadFilterType type;  
    readonly attribute AudioParam frequency; // in Hertz  
    readonly attribute AudioParam detune; // in Cents  
    readonly attribute AudioParam Q; // Quality factor  
    readonly attribute AudioParam gain; // in Decibels  
  
    void getFrequencyResponse(Float32Array frequencyHz,  
                             Float32Array magResponse,  
                             Float32Array phaseResponse);  
  
};
```

B.3 GainNode Interface

```
interface GainNode : AudioNode {  
  
    readonly attribute AudioParam gain;  
  
};
```

B.4 DynamicsCompressorNode Interface

```
interface DynamicsCompressorNode : AudioNode {  
  
    readonly attribute AudioParam threshold; // in Decibels  
    readonly attribute AudioParam knee; // in Decibels  
    readonly attribute AudioParam ratio; // unit-less  
    readonly attribute AudioParam reduction; // in Decibels  
    readonly attribute AudioParam attack; // in Seconds  
    readonly attribute AudioParam release; // in Seconds  
  
};
```

Bibliografia

- [1] Bressan, F. & Canazza, S. (2013). *A systemic approach to the preservation of audio documents: Methodology and software tools*. Journal of Electrical and Computer Engineering, 2013:21 pages.
- [2] Canazza, S. (2006). *Ri-mediazione dei documenti sonori*, a cura di Sergio Canazza e Mauro Casadei Turrone Monti. Udine: Forum.
- [3] Canazza, S. (2010). *Settantotto giri in un minuto, quarantaquattromilacento campioni in un secondo. Sta terra nun fa pi mia. I dischi a 78 giri e la vita in America degli emigranti italiani del primo Novecento*, di Giuliana Fugazzotto. Udine: Nota.
- [4] Canazza, S., De Poli, G., & Mian, G. A. (2010). *Restoration of audio documents by means of extended kalman filter*. IEEE Trans on Audio Speech and Language Processing, 18(6):1107–115.
- [5] Canazza, S., Camurri, A. & Fujinaga, I. (2010) *Ethnic music audio documents: From preservation to fruition*. Signal Processing Journal, 90(4):977–980, 2010.
- [6] Canazza, S. (2012). *The digital curation of ethnic music audio archives: from preservation to restoration*. International Journal of Digital Libraries, 12(2-3):121–135.
- [7] Gordon, B. & Casey, M. (2007). *Sound directions: Best practices for audio preservation*. Harvard University, Cambridge, Mass, USA; Indiana University, Bloomington, Ind, USA.
- [8] Fugazzotto, G. (2009). *Il repertorio musicale dell'emigrazione italiana su dischi a 78 giri: la produzione made in USA dei primi trent'anni del Novecento*. PhD thesis, Università degli studi di Udine.