

REWIND: SIMULAZIONE DI UN'ESPERIENZA D'ASCOLTO STORICAMENTE FEDELE DI DISCHI FONOGRAFICI DIGITALIZZATI

Niccolò Pretto

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Università degli Studi di Padova
prettoni@dei.unipd.it

Sergio Canazza

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Università degli Studi di Padova
canazza@dei.unipd.it

SOMMARIO

Questo articolo presenta una virtualizzazione di un grammofofono per la riproduzione di dischi fonografici digitalizzati, realizzata utilizzando tecnologia web. Il lavoro introduce il problema della conservazione attiva dei dispositivi per la riproduzione di documenti sonori, risaltando la centralità dell'aspetto filologico nella fruizione. La web-application riproduce fedelmente il funzionamento del grammofofono, attraverso una interfaccia utente intuitiva che ne rappresenta graficamente tutte le componenti meccaniche. La descrizione delle tecnologie alla base dell'applicazione si sofferma sulle librerie *Web Audio Api*, fondamentali per ricostruire le peculiarità sonore che contraddistinguono i grammofoni per dischi in gommalacca. Nei primi anni del Novecento la mancanza di uno standard univoco per l'incisione di registrazioni fonografiche ha favorito la proliferazione di un enorme varietà di curve di equalizzazione e velocità di rotazione dei dischi: la virtualizzazione propone una soluzione flessibile per adattare in tempo reale i brani digitalizzati alle caratteristiche del supporto originale.

1. INTRODUZIONE

Le registrazioni audio rivestono un ruolo di primaria importanza come fonti documentarie per la ricerca in numerose discipline, quali musicologia, linguistica, storia e sociologia. Negli ultimi trent'anni, le risorse destinate alla conservazione e al restauro di questi documenti sono diventate sempre più consistenti. Il valore attribuito a questa parte del patrimonio culturale è cresciuto di pari passo con i dibattiti relativi alle metodologie e alle tecnologie da adottare per la loro conservazione. Proprio come accade per le fonti bibliografiche, è emersa la necessità di mettere al centro della discussione le problematiche filologiche, riguardanti, per esempio, l'autenticità e l'autorevolezza del documento [1].

Il problema relativo alla standardizzazione del processo di conservazione audio fu argomentato per la prima volta da William Storm nel 1980, che individuò "two legitimate directions", ovvero due tipologie di *re-recording* appro-

priate dal punto di vista archivistico. La prima definisce la copia "as the perpetuation of the sound of original recording as it was initially reproduced and heard by the people of the era" [2]. La seconda, invece, propone il raggiungimento di un obiettivo ancora più ambizioso: ottenere "the live sound of original performers" [2].

Con l'accettazione da parte della comunità scientifica del concetto "preserve the content, not the carrier" [1] e, quindi, con la presa di coscienza della necessità di digitalizzare i documenti sonori, il problema filologico è diventato sempre più rilevante. Il dibattito attuale, però, viene affrontato quasi esclusivamente dal punto di vista della conservazione e del restauro del documento, trascurando un aspetto essenziale: la fruizione. La maggior parte dei documenti sonori disponibili negli archivi e nelle varie biblioteche digitali, infatti, vengono riprodotti con applicazioni dedicate o commerciali "iTunes-like", che non pongono attenzione alle peculiarità dei dispositivi di riproduzione con cui i documenti erano riprodotti originariamente. Sono disponibili in commercio prodotti che riprendono alcune caratteristiche dei supporti di riproduzione, ma spesso sono ricostruzioni parziali e imprecise.

In controtendenza, questo articolo propone una soluzione software che mette in risalto il ruolo e le caratteristiche del supporto e dello strumento necessario per la sua riproduzione, proponendo una virtualizzazione di un grammofofono per la fruizione di dischi fonografici "78 giri" digitalizzati.

Questo lavoro si colloca nell'ambito della conservazione attiva [3, 4, 5] dei supporti. Ogni documento sonoro, infatti, si può associare al supporto fisico su cui viene registrato e, quindi, al dispositivo che ne permette la riproduzione e che ne caratterizza l'esperienza di ascolto. Questi dispositivi, quali grammofoni o magnetofoni, proprio come i documenti sonori, sono destinati ad una rapida obsolescenza ed è di primaria importanza preservare le loro funzionalità e le loro peculiarità. L'articolo propone, quindi, la virtualizzazione dei dispositivi di riproduzione come l'equivalente del concetto di "copia di accesso" nel campo della conservazione dei documenti sonori. Questa deve presentare l'interfaccia dello strumento, fornendo all'utente le funzionalità, le gestualità e le sonorità tipiche dello stesso, nonché ricreare un'esperienza d'ascolto conforme alla prima "legitimate direction", ovvero al paradigma "the sound preservation of audio history" [2].

"Votre Faust" di Henri Pousseur rappresenta un esempio reale per rimarcare l'importanza della fruizione mediante

uno strumento conforme al supporto e al dispositivo originali. L'opera del compositore belga rientra nelle categoria di opera "aperta", ovvero una composizione in cui è possibile alternare alcune sezioni, all'interno di certi vincoli, fornendo all'ascoltatore diverse versioni della stessa. La versione originale è stata distribuita nel 1973 con un box composto da 3 vinili e un gioco con le carte. Scegliendo casualmente alcune di queste carte, che corrispondono alle varie sezioni dell'opera, si può ottenere una tra le 30 versioni possibili della composizione. Grazie all'utilizzo dell'applicazione è possibile ricreare le condizioni di ascolto dell'epoca. Un *player* moderno permette un accesso alle varie sezioni veloce e precisa, ma non conforme al metodo di fruizione originale. La virtualizzazione, invece, prevede di spostarsi all'interno di un disco esclusivamente muovendo il braccio del grammofono, costringendo così l'utente ad ascoltare l'opera proprio come l'autore della composizione l'aveva ideata.

REWIND (Restoring the Experience: a Web-based Interface for accessiNg Digitized recordings) mette a disposizione dell'utente uno strumento addizionale, che, sebbene non storicamente fedele in relazione al grammofono originale, può risultare utile per lo studio e il perfezionamento della riproduzione di un brano. Si tratta della virtualizzazione del trasformatore di segnale Albiswerk modello 502/50, introdotto nel mercato nel 1957 e prodotto fino al 1983.

La sezione 2 offre una descrizione delle tecnologie web alla base della virtualizzazione; la sezione 3 presenta l'interfaccia utente che permette di interagire con l'applicazione, mentre la sezione 4 introduce il problema delle equalizzazioni e della velocità di rotazione e propone la soluzione sviluppata.

2. TECNOLOGIA WEB E GRAFO AUDIO

In accordo con il paradigma "distribution is preservation" [6], la rete risulta un ineguagliabile mezzo per la distribuzione dei contenuti sonori digitalizzati, sebbene necessiti di un grande lavoro di organizzazione dei contenuti. Sulla base di questo assunto, la scelta progettuale si è focalizzata sulle tecnologie web. L'applicativo si basa su una piattaforma LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP); i linguaggi utilizzati nella realizzazione dell'applicazione sono HTML5, PHP, Javascript e CSS3. Per quanto riguarda Javascript, si sono rivelate essenziali le librerie *jQuery* e *Web Audio Api*: la prima per gli aspetti grafici e strutturali, per manipolare il *Document Object Model* (DOM) e per mantenere la compatibilità tra i browser; mentre la seconda consente di gestire componenti audio complesse. Quest'ultima permette, inoltre, di superare le limitazioni del tag HTML5 `<audio>` [7]: offre, infatti, la possibilità di sviluppare applicazioni audio complesse senza dover ricorrere a plugin come Flash e QuickTime.

Queste librerie sono costruite attorno al concetto di *context*, ovvero un grafo diretto di *nodi* audio, modificabile dinamicamente, che definisce il flusso audio dalla sorgente (solitamente un file audio) alla destinazione (nella maggior parte dei casi diffusori acustici o cuffie). Mentre il segnale

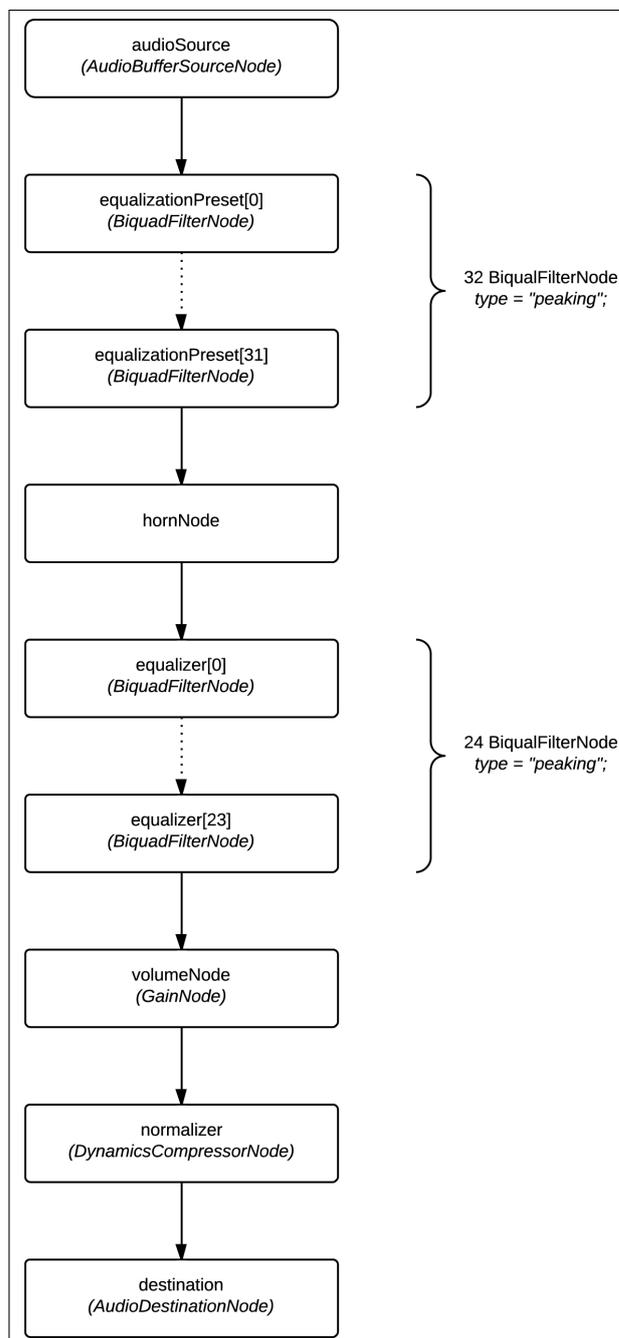


Figura 1. Grafo audio completo (*context*) utilizzato per la virtualizzazione del grammofono.

passa attraverso un nodo, le sue proprietà possono essere modificate e controllate. Le tipologie di nodi messi a disposizione dalla libreria per creare il grafo sono:

Source nodes Sorgenti audio come buffer, live audio inputs, `<audio>` tag, oscillatori o JS processors ¹;

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

Analysis nodes Nodi per l'analisi o JS processors;

¹ nodo di tipo *ScriptProcessorNode*, che permette allo sviluppatore di sintetizzare ed elaborare l'audio mediante algoritmi scritti in linguaggio Javascript.

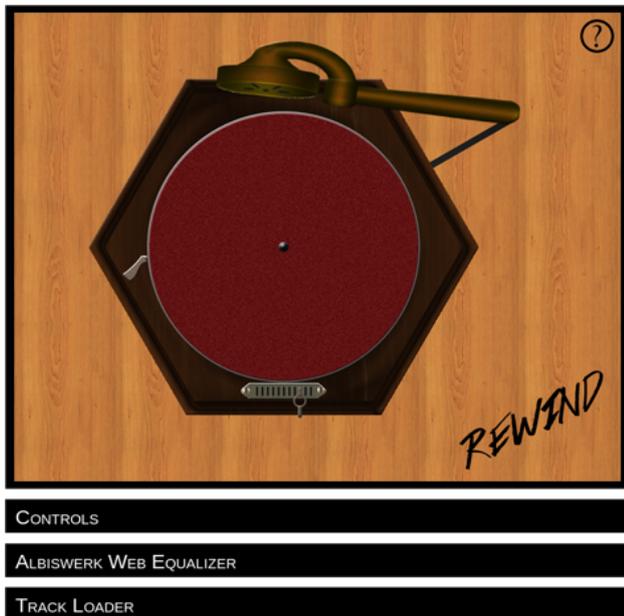


Figura 2. Grammofono prima del caricamento di un brano.

Destination nodes Output audio e buffer per offline processing. [7]

La Figura 1 propone i nodi che compongono il grafo dell'applicazione, nel caso in cui tutte le funzionalità siano abilitate. Il primo nodo rappresenta la sorgente audio, contiene il buffer della traccia che viene riprodotta dal grammofono e un parametro per modificare la velocità di riproduzione. Il segnale passa attraverso una serie di 32 filtri low-order di tipologia *peaking* [8] che, tramite opportune configurazioni, permettono di ottenere le equalizzazioni. Questi sono contenuti in un vettore di nodi denominato *equalizationPreset* i cui indici vanno da 0 a 31 ([0], [1], ..., [31]). Il nodo seguente è fittizio ed è funzionale per gli sviluppi futuri, che prevedono di dotare l'applicazione di altre curve di equalizzazioni, derivanti dalla tipologia di "tromba" utilizzata per la riproduzione dal grammofono. La successiva serie di filtri è alla base dell'implementazione di uno strumento di equalizzazione per personalizzare il segnale mediante 24 filtri *peaking*, contenuti in un vettore denominato *equalizer*. Il nodo *volumeNode* consiste in un semplice *gain* che regola il guadagno applicato al segnale, che, collegato ad un *<range>* HTML5 permette all'utente di modificare il volume di riproduzione. Il grafo presenta poi un *DynamicsCompressorNode* [8], necessario per compensare le eccessive variazioni del volume percepito ed evitare possibili distorsioni del segnale, dovute all'introduzione delle curve di equalizzazione. L'ultimo nodo, *destination*, rappresenta ciò che viene ascoltato dall'utente; spesso viene considerato come il dispositivo di output collegato agli altoparlanti o alle cuffie [8].

3. INTERFACCIA UTENTE

L'applicazione cerca di riprodurre il più fedelmente possibile il funzionamento del grammofono e le sue modalità di

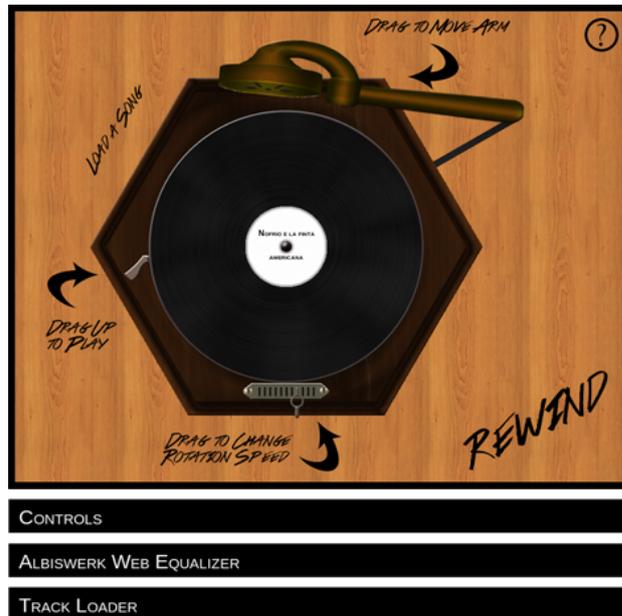


Figura 3. Grammofono dopo il caricamento di un brano.

TRACK LOADER				
LOAD DISK	GIOVANNI DE ROSALIA - NOFRIO E LA FINITA AMERICANA (1919)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	76.6	3.5 MIL - 4 g	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	EDUARDO MIGLIACCIO - CHI CAMPA DERITO CAMPA AFLITTO (1928)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	78.26	3.5 MIL - 4 g	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	PASQUALE ABETE - FRONTE E LIMONE (1921)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DM. 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)	DM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	80	3.5 MIL - 4 g	TRONCO - ELLITTICA	FLAT
LOAD DISK	LEONARDO DIA - LI FIRMINI CU LU LIPSTICK (1929)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DM. 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)	DM. 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 P MA (1928)			
GRAMMOFONO	VELOCITA'(RPM)	DM. E PESO PUNTINA	TIPO PUNTINA	EQUALIZZAZIONE
GIRADISCHI	78.26	-	SOFT TONE	-

Figura 4. Track Loader per selezionare il brano da riprodurre.

utilizzo. Per fornire all'utente un'esperienza d'uso simile a quella reale è stata realizzata una *user interface* intuitiva che rappresenta nel dettaglio le varie componenti meccaniche del grammofono. Nelle Figure 2 e 3 si può vedere come l'applicazione sia composta da un *player* e da un menù a fisarmonica che contiene i controlli per la personalizzazione del segnale (*Controls*), l'equalizzatore *Albiswerk* (*Albiswerk Web Equalizer*) e una sezione per caricare il brano desiderato (*Track Loader*).

Dopo il caricamento della pagina web, l'applicazione si presenta come in Figura 2. Nella sezione *Track Loader*, l'utente può selezionare la traccia desiderata tra quelle proposte (Figura 4). I brani a disposizione provengono dalla collezione di Giuliana Fugazzotto [9]. Per ogni brano vie-

ne visualizzata una tabella contenente tutti i metadati dell'opera, recuperati tramite un'interrogazione del database dell'applicazione. Una volta caricata la traccia, vengono sbloccate le funzionalità del *player* e della sezione *controls*: l'applicazione si trova nello stato raffigurato dalla Figura 3.

Le principali componenti del *player* sono il braccio del grammofono, una levetta di azionamento e un cursore per la velocità di rotazione. È possibile spostare il braccio trascinandolo all'interno del disco: l'applicazione tiene traccia dello spostamento del mouse, calcola l'angolo di spostamento e ruota il braccio di conseguenza. Il movimento rotatorio che lo caratterizza durante la riproduzione è impostato mediante una trasformazione sviluppata con una funzione jQuery e CSS3.

La levetta di azionamento consiste in un tag `<range>` di HTML5, opportunamente personalizzato con fogli di stile, con ammette esclusivamente due valori: uno per avviare la rotazione del disco e quindi la riproduzione, l'altro per fermarla.

Il cursore per la velocità è anch'esso un `<range>`, ma permette di impostare valori di tra 70 e 80, corrispondenti al numero di rotazioni del disco al minuto. Nella sezione *Controls* vengono messi a disposizione, mediante 3 sottosezioni, i valori pre-impostati per le velocità standard più comuni (sottosezione *Rotation Preset*), uno strumento per le curve di equalizzazione e il trasformatore di segnale Albiwerk modello 502/50 (Figura 5). Quest'ultimo viene attivato aprendo il menù, e si disattiva solo se chiuso. L'interfaccia è composta da 24 `<range>`, opportunamente modificati con stili CSS3.

Data la varietà dei browser utilizzati per la navigazione, durante lo sviluppo si è posta una particolare attenzione alla compatibilità. Per il momento i browser desktop che permettono di utilizzare l'applicazione correttamente sono Chrome, Firefox e Safari. Tra i principali programmi per la navigazione, solo Internet Explorer non permette l'utilizzo del grammofono virtualizzato, poiché al momento non supporta le librerie *Web Audio Api*.

4. EQUALIZZAZIONI E VELOCITÀ DI ROTAZIONE

Le curve di equalizzazione, che vengono applicate in fase di riproduzione da un grammofono, ricadono nella categoria delle alterazioni del segnale che Schüller [10] ha denominato alterazioni "intenzionali". Seguendo le indicazioni fornite dalla tipologia di re-recording *Type B* di Schüller [10, 11], le tracce ri-mediate devono essere equalizzate per compensare le equalizzazioni adoperate nella fase di registrazione del supporto. Le informazioni riguardanti la curva di equalizzazione corretta, come quelle per l'esatta velocità di rotazione, spesso non sono agevolmente reperibili [9]. Bisogna considerare il fatto che, solo per i cosiddetti "78 giri", ci sono innumerevoli standard e curve di equalizzazioni che variano a seconda della casa discografica e dell'anno di produzione. Il grammofono virtualizzato risulta uno strumento adatto a questo studio grazie alla possibilità di personalizzare le curve in real-time.

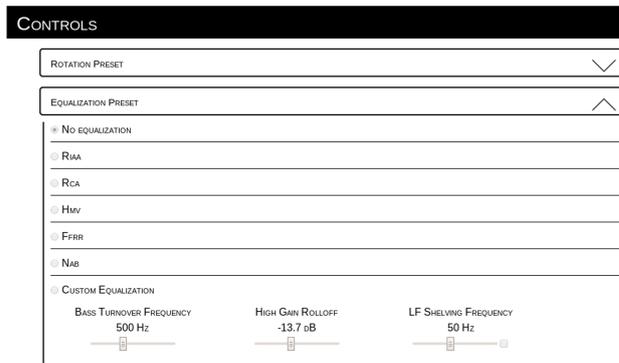


Figura 6. Sottosezione dedicata alla personalizzazione delle curve di equalizzazione.

A partire da una registrazione *flat*, quindi, senza alcuna compensazione, è possibile applicare una tra le più comuni curve di equalizzazione pre-caricate (*RIAA*, *RCA*, *HMY*, *FFRR*, *NAB*) oppure ricostruirne una, tarando opportuni parametri (vedi Figura 6).

Una curva di equalizzazione è caratterizzata da due punti di *turnover*, ovvero le frequenze al di sotto delle quali le case discografiche applicavano i filtri per ridurre il guadagno delle frequenze interessate, e che necessitano di essere compensate. Se ci si riferisce a basse o medie frequenze si parla di *bass turnover*, altrimenti, per medie o alte, *high turnover*. Quest'ultimo valore viene solitamente sostituito con un parametro denominato *rolloff*, ovvero la diminuzione di intensità (in dB) al punto di taglio delle alte frequenze (10 kHz); conoscendo la pendenza della curva (6 dB/ottava), infatti, è semplice individuare il punto di *turnover* [12]. In alcuni standard è previsto l'utilizzo di un ulteriore filtro *Low Frequency Shelving*, al fine di minimizzare i rumori delle basse frequenze (*rumble*, *hum*) introdotti dal sistema di registrazione.

Per impostare i valori dei filtri, e quindi ottenere la curva desiderata, l'applicazione mette a disposizione tre tag `<range>` di HTML5. Come già anticipato nella descrizione del *context*, vengono utilizzati 32 filtri di tipo *peaking*; questa tipologia di filtro consente di applicare un determinato *gain* a un range di frequenze, che viene definito da una frequenza centrale e un *Q factor* (in questo caso pari a 5.72, che corrisponde a una larghezza di banda di un quarto di ottava). L'algoritmo che modifica i guadagni dei filtri, per prima cosa si occupa di calcolare il punto di *high turnover* (h) a partire dal *rolloff* (r), attraverso la seguente formula:

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

Il guadagno relativo ad ogni filtro, viene calcolato sommando il guadagno parziale derivante da ognuno dei tre punti di *turnover*, ottenuti con:

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

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

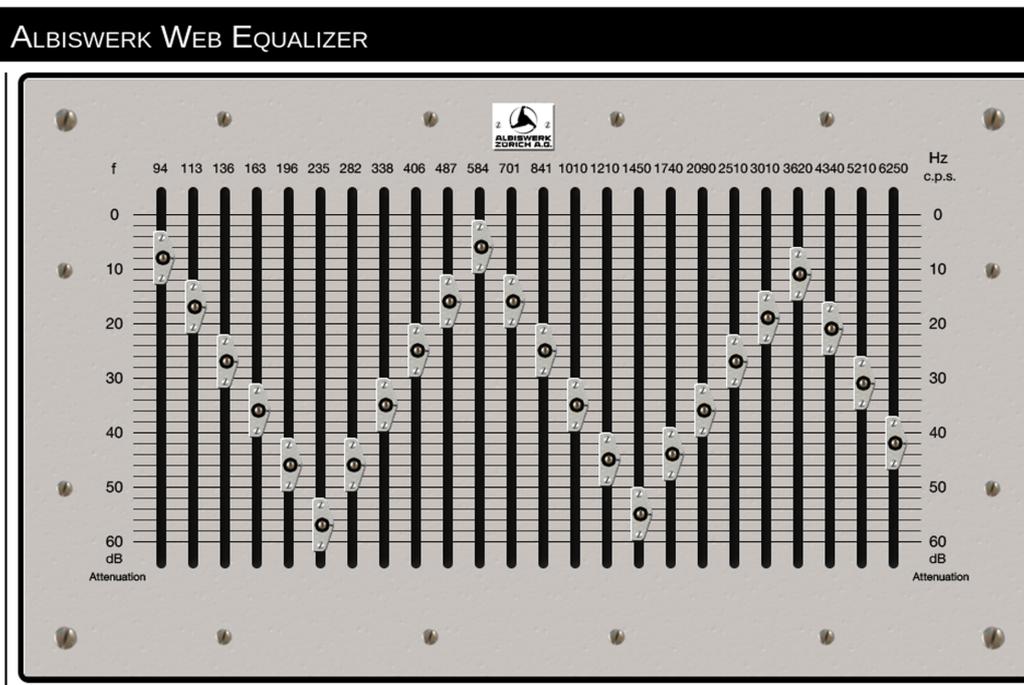


Figura 5. Virtualizzazione del trasformatore di segnale Albiswerk modello 502/50.

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

dove l è la frequenza del *bass turnover*, f la frequenza del nodo, h la frequenza del *treble turnover* e s frequenza del *low shelving turnover*.

L'algoritmo, successivamente, trova il valore massimo e calcola un'attenuazione, da applicare a tutti i filtri, per mantenere i guadagni al di sotto dei +10 dB, soglia al di sopra della quale c'è un forte rischio di distorsione del suono. Questa attenuazione viene compensata dal nodo *DynamicsCompressorNode*, che senza equalizzazioni è inizializzato a -20dB, mentre, a seconda della necessità, può essere incrementato fino a una soglia massima di 0 dB.

Come anticipato nell'introduzione, l'utente ha a disposizione anche la virtualizzazione del trasformatore di segnale Albiswerk modello 502/50: è stato riprodotto il banco di 24 filtri con larghezza di banda pari a un terzo di ottava, dando la possibilità di variare il guadagno da 0 a -60 dB, per le frequenze comprese tra gli intervalli centrati in 94 e 6250 Hz. L'equalizzatore è realizzato con una serie di 24 nodi *peaking*, opportunamente impostati con la frequenza centrale per ogni banda e un *Q factor* pari a 4.32.

La velocità di rotazione del disco deve coincidere con quella utilizzata in fase di incisione. L'unità adottata per riferirsi alla velocità di rotazione è *rpm*, acronimo di *revolutions per minute*. Tra il 1894 e il 1930 sono state adottate diverse velocità di incisioni dei dischi, da 70 a 90 rpm: ognuna di queste rappresentava un compromesso tra durata di riproduzione, qualità del segnale audio, possibilità tecnologiche e ottimizzazione dei costi di produzione. Lo standard 78 rpm fu introdotto nel 1912, ma divenne condiviso solo nei primi anni Trenta, con l'introduzione dei

primi dispositivi muniti di motori elettrici sincroni [13, 9]. Per questo motivo per molto tempo le case discografiche adottarono svariati standard. Gli errori nel processo di rimediazione relativi alla velocità di rotazione impattano notevolmente sulla qualità della traccia digitalizzata, poiché ne modificano la *pitch*, compromettendone la fedeltà, e rendendola a tutti gli effetti inutilizzabile a fini informativi. Un esempio di digitalizzazione errata è la prima pubblicazione su CD-A delle registrazioni Savoy & Dial (anni Quaranta del secolo scorso) del sassofonista Charlie Parker, che proponeva alcune tracce digitalizzate a velocità troppo elevate, la cui esecuzione presentava una tonalità diversa da quella originale, mai utilizzata in quei suoi assoli.

I dispositivi dell'epoca permettevano di modificare la velocità di rotazione per adattarla alla tipologia di disco: pertanto è stata aggiunta questa funzionalità, sia sul gramofono mediante un cursore, sia con una sezione specifica che permette di impostare alcune delle velocità più comuni. Di default vengono messe a disposizione dell'utente le seguenti velocità: *Columbia* (70 rpm), *Victor e HMV* (71.29 rpm), *Acoustic Victor* (76.59 rpm), *Electronic Recording* (78,26 rpm) e *Acoustic Columbia e Vertical Recording* (80 rpm) [12] (Figura 7). Come per le equalizzazioni, l'applicazione può risultare un valido aiuto per un ascolto fedele dei brani.

Per una corretta riproduzione, l'applicazione richiede un valore della velocità, espresso in rpm, necessario come riferimento. Per cambiare la velocità di riproduzione, le librerie *Web Audio Api* mettono a disposizione la variabile *playbackRate* [8], contenuta nei nodi *AudioBufferSourceNode*. In base al valore percentuale passato a questo parametro, aumenta o diminuisce la velocità di riproduzione. In fase di caricamento del disco, viene inizializzato a 1 e associato alla velocità in giri al minuto passata in fase di

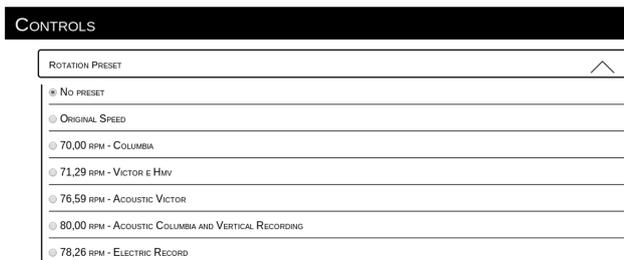


Figura 7. Sottosezione dedicata alla personalizzazione delle curve di equalizzazione.

caricamento del brano. Quando l'utente sposta il cursore del grammofono o seleziona una velocità pre-impostata attraverso un *radio button*, vengono riportati il valore della velocità selezionata e quello originale. Sulla base del valore ottenuto, l'applicazione modifica il *playbackRate* e avvia i metodi predisposti per variare in tempo reale la velocità di rotazione del supporto fonografico virtuale, che dopo aver aggiornato lo stato del grammofono, agiscono sui fogli di stile (CSS3) relativi alle animazioni del braccio e del disco.

5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Dal punto di vista della ricerca scientifica, REWIND (Restoring the Experience: a Web-based Interface for accessiNg Digitized recordings) è collocabile nell'ambito della conservazione attiva dei dispositivi di riproduzione. Il lavoro ha affrontato nel dettaglio diversi aspetti relativi alla fruizione, risaltandone la fruizione storicamente fedele. Grazie alle librerie *Web Audio Api* è stato possibile conciliare la versatilità e la facilità di accesso di internet con le funzionalità complesse in ambito audio tipiche di applicazioni desktop. Il risultato ottenuto è una virtualizzazione che ricostruisce fedelmente i meccanismi di un grammofono per dischi fonografici "78 giri". Allo stesso tempo l'applicazione riesce a essere adattabile ai vari standard di incisione dei dischi, grazie alla personalizzazione delle curve di equalizzazione e le velocità di rotazione. A ciò si aggiunge un altro importante punto di forza: la capacità di operare il tempo reale.

Le possibilità di utilizzo di questo strumento sono molteplici e spaziano dallo studio in ambito filologico e dei formati audio alla distribuzione e valorizzazione di beni culturali, in un'ottica di *edutainment*.

L'applicazione si apre a possibili miglioramenti e sviluppi futuri. Per rendere più verosimile il grammofono virtuale, sarebbe interessante sviluppare un modello più preciso dell'incisione del disco in gommalacca, che consentirebbe all'utente di spostarsi all'interno della traccia con maggior precisione, trascinando il braccio o ruotando il disco stesso. A questo potrebbe seguire una ricerca per ricreare equalizzazioni ancora più fedeli, mediante l'utilizzo di filtri personalizzati.

Dati i risultati ottenuti, questo lavoro potrebbe trovare la sua naturale prosecuzione nello sviluppo di altre applicazioni per la virtualizzazione di dispositivi diversi dal

grammofono, come un magnetofono. Infine, data la diffusione di dispositivi *mobile*, risulterebbe molto interessante eseguire una operazione di *porting* dell'applicazione su piattaforme come iOS o Android, per valutare le potenzialità della soluzione utilizzando librerie audio più complete e *gesture* evolute.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Bressan and S. Canazza, "A Systematic Approach to the Preservation of Audio Documents: Methodology and Software Tools," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2013, p. 21.
- [2] W. Storm, "The establishment of re-recording standards," *Phonographic Bulletin*, vol. 27, 1980.
- [3] S. Canazza and A. Vidolin, "Preserving electroacoustic music," *Journal of New Music Research*, vol. 30, no. 4, 2001.
- [4] D. Schuller, "The Safeguarding of the Audio Heritage: Ethics, Principles and Preservation Strategy," tech. rep., 2005.
- [5] S. Canazza and F. Avanzini, *Virtual analogue instruments: an approach to active preservation of the Studio di Fonologia Musicale*. Ricordi, July 2011.
- [6] E. Cohen, "Preservation of Audio in Folk Heritage Collections in Crisis," *Council on Library and Information Resources*, 2001.
- [7] B. Smus, *Web Audio API (Advanced Sound for Games and Interactive Apps)*. O'Reilly, 2013.
- [8] *Web Audio API (W3C Working Draft)*, Apr. 2014.
- [9] G. Fugazzotto and S. Canazza, *Sta terra nun fa pi mia: i dischi a 78 giri e la vita in America degli emigranti italiani del primo Novecento*. Nota, 2010.
- [10] D. Schuller, "The ethics of preservation, restoration and re-issues of historical sound recordings," *Journal of Audio Engineering Society*, 1991.
- [11] G. Boston, *Safeguarding the Documentary Heritage. A guide to Standards, Recommended Practices and Reference Literature Related to the Preservation of Documents of All Kinds*. UNESCO, 1988.
- [12] G. Fugazzotto, *Il repertorio musicale dell'emigrazione italiana su dischi a 78 giri: la produzione made in USA dei primi trent'anni del Novecento*. PhD thesis, 2009.
- [13] R. Warren, "Before the fine groove and stereo record and other innovations.," *Journal Audio Engineering Society*, vol. 25, no. 10/11, 1977.