

# *Photos of GHOSTS (Photos of Grooves and HOles, Supporting Tracks Separation): conservazione attiva di dischi fonografici per mezzo di immagini digitali*

**Sergio Canazza**

Laboratorio AVIRES  
Dipartimento di Scienze  
Storiche e Documentarie  
Università degli Studi di Udine

**Giovanni Ferrin**

Laboratorio AVIRES  
Dipartimento di  
Filosofia  
Università degli Studi di Udine

**Lauro Snidaro**

Laboratorio AVIRES  
Dipartimento di Matematica e  
Informatica  
Università degli Studi di Udine

## **SOMMARIO**

Nel campo delle memorie audio, la conservazione si articola in passiva<sup>1</sup> (difesa del supporto dagli agenti ambientali, senza alterarne la struttura) e attiva (trasferimento dei dati nel dominio digitale). Poiché il disco fonografico è caratterizzato da un'aspettativa di vita relativamente bassa – se confrontata con quella di altri monumenti – la conservazione passiva risulta insufficiente. Durante il trasferimento A/D del segnale audio viene persa molta informazione contenuta nel documento originale; solitamente queste informazioni vengono (almeno parzialmente) vicariate per mezzo di fotografie e schede catalografiche, memorizzate nella copia d'archivio assieme al segnale audio digitale [1], [2]. In questa sede si propone di minimizzare questa perdita d'informazione mediante il trasferimento dei dati nel solo dominio video. La copia d'archivio sarà quindi costituita solo dalle riprese fotografiche del disco fonografico. Per creare copie d'accesso è stato implementato un algoritmo in grado di estrarre il segnale audio dal documento fotografico.

## **Parole Chiave**

Conservazione attiva di documenti sonori; dischi fonografici; codicologia del suono.

## **INTRODUZIONE**

La conservazione delle opere musicali memorizzate su disco pone problemi nuovi rispetto a quelli tradizionali della musica scritta o stampata su carta.

Il *disco piatto* inventato nel 1887 da Emil Berliner offriva prestazioni molto scadenti: il suono registrato presentava un rapporto segnale/disturbo estremamente basso, era afflitto da una forte distorsione e possedeva una risposta in frequenza estremamente limitata. Fino al 1925 tutte le registrazioni vennero effettuate in modo meccanico: un diaframma catturava mediante un corno le variazioni di pressione dell'aria trasformandole in movimenti meccanici paralleli della testina

---

<sup>1</sup> La conservazione passiva si suddivide a sua volta in indiretta – che non comporta il coinvolgimento fisico del disco – e diretta, nella quale il disco viene trattato, senza comunque alterarne struttura e composizione. Nella conservazione passiva indiretta rientrano: la prevenzione ambientale (che si esplica attraverso il controllo dei parametri ambientali che sono, in ordine decrescente di pericolosità per i dischi: umidità relativa, temperatura, inquinamento, luce), la formazione del personale addetto alla conservazione, l'educazione dell'utente. La conservazione passiva diretta comprende gli interventi di: realizzazione di custodie di protezione; spolveratura delle raccolte; disinfestazione degli archivi con gas inerti.

di incisione con la quale si realizzava un solco sulla superficie del disco. Solo nel 1925 Maxfield e Harrison [3], attraverso l'uso combinato del primo microfono e del *tubo sottovuoto*, resero possibile la conversione del suono in impulsi elettrici che venivano utilizzati per comandare la testina di incisione destinata a solcare la superficie del disco. Innovazioni fondamentali furono poi l'introduzione della modulazione multicanale a opera di Arthur Keller nel 1929, e l'invenzione, nel 1931, del riproduttore acustico ai cristalli da parte di Sawyer. Nell'arco di un secolo si è quindi passati dalle incisioni – prima meccaniche, poi elettriche – su disco a 78 giri (o con velocità di rotazione non standard, da 16 a quasi 100 rpm), al *Long Playing* in vinile a 33 giri, al 45 giri, all'introduzione – verso la fine degli anni '50 del Novecento – della codifica stereo e successivamente anche di quella quadrifonica, sebbene quest'ultima non abbia avuto la diffusione sperata. Hanno avuto una grande importanza storica anche i dischi – sempre analogici – registrati tramite la tecnologia magnetica<sup>2</sup>. Dagli anni '70 hanno poi goduto di una larghissima diffusione i dischi digitali magnetici (floppy-disk, mini-disk, hard-disk, hard-disk array), magneto-ottici e ottici (CD, Laserdisk, DVD, HD-DVD, Blue-ray Disc).

Questo eterogeneità di formati, tecniche di registrazione e supporti pone una serie di problematiche che rendono veramente complesse le operazioni di conservazione del supporto (conservazione passiva), di accesso ai dati e di digitalizzazione (conservazione attiva).

*Automatic text scanning* e *optical character recognition* vengono largamente usate nelle Biblioteche: diversamente da quanto accade nel testo, la conversione A/D del segnale audio inciso nei dischi fonografici viene solitamente eseguita per mezzo di un processo invasivo.

Com'è noto, esistono *laser turntable* in cui il tradizionale *pickup* è sostituito da un raggio laser. In questo modo il supporto non viene fisicamente toccato durante la lettura. Questi apparecchi soffrono di alcuni svantaggi: 1) sono molto sensibili ai graffi nel supporto e alle eventuali ondulazioni anomale del solco; 2) la capacità di riflessione della superficie del disco deve essere ottima; 3) sono vincolati all'informazione presente in un ridotto *laser spot*.

È interessante applicare strumenti sviluppati nel campo dell'*image processing* per estrarre i dati audio (informazione contestuale e segnale audio) dal documento fonografico.

---

<sup>2</sup> Basti pensare agli esperimenti, condotti da Pierre Schaeffer alla fine degli anni '40 del secolo scorso, di analisi del suono tramite *ascolto ridotto*.

Questo approccio permette: a) di conservare tutta l'informazione presente del supporto (sviluppandone un modello virtuale, in 2D o – indispensabile nel caso di dischi a incisione verticale – 3D); b) una lettura completamente non invasiva; c) la conservazione attiva di supporti le cui corrotture ne renderebbero impossibile una lettura tradizionale (Figura 1); d) di avviare un processo automatico e su larga scala di conservazione attiva da parte degli archivi discografici. In letteratura sono presentate alcune soluzioni [3], [5], [6] che fanno uso di HW molto costoso e/o non comprendono elaborazioni (*de-noise*, equalizzazioni, *de-wowed*) del segnale audio ricostruito.

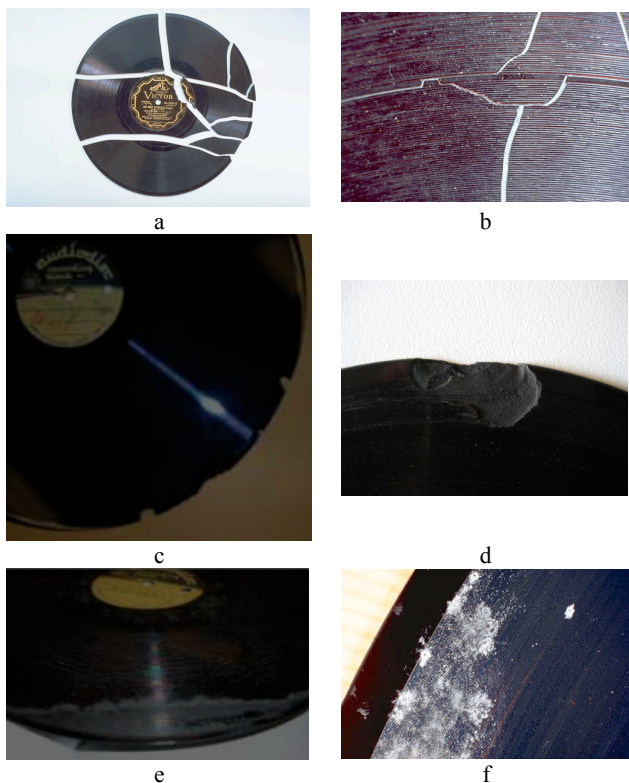


Figura 1. Esempi di corrotture in grado di rendere illeggibile il supporto fonografico. L'umidità è il fattore più pericoloso: mentre i dischi in gommalacca e in vinile sono meno inclini all'instabilità idrolitica, molte tipologie di *instantaneous discs* sono in grande pericolo di estinzione a causa dell'idrolisi (e). Tutti i dischi possono essere colpiti da micro-organismi (funghi e/o batteri) che crescono in ambienti caratterizzati da livelli di umidità superiori a 65 % RH (f). Inoltre, la base di metallo o di vetro dei dischi in gommalacca e in acetato li rende particolarmente fragili (a+d).

Dopo una breve introduzione delle metodologie di conservazione passiva dei dischi in funzione delle diverse composizioni del supporto, sono presentate alcune metodologie innovative per l'estrazione delle informazioni contestuali e del segnale audio. Saranno quindi mostrati due esempi di estrazione del segnale audio dal documento fotografico: il primo viene confrontato con una lettura tramite puntina; il secondo riguarda un disco spezzato, che non può essere letto con sistemi tradizionali. Entrambi i supporti considerati provengono dall'archivio personale di uno degli autori.

## TIPOLOGIA DEI DISCHI FONOGRAFICI

Il disco fonografico è stato, durante tutto il Novecento, il supporto più utilizzato per memorizzare segnali audio. Purtroppo, nonostante alcune tipologie di dischi si siano rivelati particolarmente robusti rispetto all'usura del tempo, molti fondi sono a rischio di scomparsa, soprattutto a causa dell'adozione, da parte di diversi archivi, di protocolli di conservazione non corretti. Una classificazione – funzionale rispetto alle diverse problematiche di conservazione – deve considerare (almeno) le seguenti categorie [7], [8], [9]:

- 1) *Shellac Discs*
- 2) *Instantaneous Discs*
- 3) *Microgroove Discs*

### *Shellac Discs*

Prodotti tra il 1898 e la metà degli anni '50 del Novecento<sup>3</sup>, ne esistono ancora oltre dieci milioni di esemplari. Questi supporti sono costituiti da una base (in alluminio, vetro o carta) accuratamente deumidificata, sulla quale è steso un sottile e uniforme strato di gommalacca<sup>4</sup> polverizzata in ogni lato in cui si vuole registrare l'audio<sup>5</sup>. Nonostante la rigidità che caratterizza questo supporto (che lo rende soggetto a rotture, v. Figura 1a), non sono emersi sistematici problemi di instabilità del materiale.

### *Instantaneous Discs*

Prima dell'introduzione dei nastri magnetici (avvenuta negli anni '40), gli *instantaneous discs* rappresentavano l'unico medium per la registrazione sonora che poteva venire letto immediatamente dopo l'incisione, evitando i lunghi processi industriali richiesti per la fabbricazione dei dischi industriali. Ne esistono ancora oltre tre milioni di esemplari: ognuno di questi è in copia unica e molti rivestono una grande importanza storica, sociale e culturale.

La maggior parte di questi supporti – i dischi in acetato – sono a grande rischio di scomparsa. Sono costituiti da una base in alluminio (o vetro, o acciaio, o carta), sulla quale è steso uno strato di nitrato o acetato di cellulosa. Col tempo questi supporti possono facilmente subire un processo idrolitico che fa restringere lo strato in acetato, oltre a renderlo fragile. La conseguenza è una delaminazione del disco che lo rende illeggibile (Figura 1e).

### *Microgroove Discs*

Dal 1948 i microsolfi in vinile hanno rimpiazzato i dischi in gommalacca e ancora oggi costituiscono uno dei supporti preferiti dagli audiofili. Il patrimonio di microsolfi è stimato in oltre 30 milioni di esemplari. I dischi in vinile sono composti da cloruro di polivinile (PVC da *polyvinyl chloride*) e da una percentuale (inferiore al 25%) di elementi secondari quali stabilizzatori, coloranti e sostanze antistatiche. Per assicurare all'impasto le proprietà plastiche necessarie, si effettua una copolimerizzazione dell'acetato di vinile con il cloruro di vinile. Il cloruro di polivinile è soggetto a fenomeni degenerativi se esposto alla luce ultravioletta o a sbalzi di temperatura. Quando un disco in vinile viene sottoposto a rapide variazioni di temperatura, il PVC che lo compone va incontro a un irreversibile processo di degrado termico, rilasciando dell'acido cloridrico (HCl). Per contrastarlo, in fase di produzione dei dischi, al cloruro di polivinile si aggiungono degli stabilizzatori chimici, che permettono, se non di evitare il processo, almeno di tenerlo sotto controllo, consumando l'acido cloridrico a mano a mano che viene rilasciato. I dischi

<sup>3</sup> Alcuni paesi (India e Pakistan tra gli altri) hanno in realtà continuato a fabbricarne sino alla metà degli anni '60.

<sup>4</sup> Macromolecola di origine animale prodotta dall'insetto *Coccus Laccae*.

<sup>5</sup> Alcuni dischi venivano infatti incisi solo su una facciata.

in vinile, non essendo un prodotto multistrato, non sono soggetti al fenomeno della delaminazione (contrariamente ai dischi in gommalacca o in acetato), provocato dalla diversa risposta dei singoli componenti alle condizioni ambientali. Il vinile si è dimostrato il più stabile tra tutti i materiali utilizzati nella produzione di supporti per la registrazione analogica dei suoni (nastri magnetici compresi). Per una descrizione dettagliata delle diverse tipologie di dischi fonografici si vedano almeno [1], [2], [8], [9].

### Cause di deterioramento

Le principali cause che concorrono a rendere instabile e difficilmente leggibile il supporto fonografico possono essere riassunte in:

- 1) umidità e temperatura
- 2) deformazioni meccaniche
- 3) polvere e scorie

L'umidità è il fattore più pericoloso. In particolare, i dischi in acetato sono molto sensibili all'idrolisi. I funghi possono aggredire facilmente i supporti se il livello di umidità cresce oltre il 65% RH (Figura 1f).

Temperature oltre i 40° C sono pericolose, soprattutto per i dischi in vinile. In generale la temperatura determina la velocità delle reazioni chimiche come l'idrolisi e dovrebbe quindi essere mantenuta bassa e soprattutto stabile (per evitare modifiche nelle dimensioni del supporto).

È di particolare importanza controllare in modo simultaneo la temperatura e l'umidità. Ad esempio, è gravemente sbagliato raffreddare l'ambiente senza contemporaneamente deumidificarlo: diversamente si rischierebbe un inaccettabile innalzamento dell'umidità relativa che può incoraggiare la crescita di funghi. La Tabella 1 riporta le temperature e l'umidità relativa consigliate per la conservazione e l'accesso dei dischi fonografici.

Tabella 1. temperature e l'umidità relativa consigliate per la conservazione e l'accesso dei dischi fonografici.

	°C	±/24h	±/anno	RH	±/24h	±/anno
Conservazione	5÷10	±1	±3	30	±5	±5
Accesso	20	±1	±3	40	±5	±5

È imperativo evitare che graffi e altre deformazioni causate da utilizzi impropri dell'apparato di lettura pregiudichino l'integrità meccanica del supporto. In questo senso, è di grande importanza seguire corretti protocolli di conservazione passiva indiretta (in particolare: addestramento del personale). In generale, i dischi fonografici devono essere archiviati verticalmente: l'unica eccezione è costituita da alcune varianti degli *instantaneous discs*.

Polvere e piccoli detriti deviano la puntina dal corretto percorso di lettura, causando rumori impulsivi in banda audio. Le impronte digitali costituiscono un collante ideale per le scorie. È quindi essenziale che l'ambiente dove sono archiviati i dischi e l'area operativa (*access area*) siano puliti e privi di polvere.

Per una descrizione dettagliata delle cause di deterioramento e relativi protocolli di conservazione, si vedano almeno [10], [11], [12], [13], [14], [15].

L'obsolescenza dei sistemi di lettura tradizionali ha già ridotto le possibilità di recuperare le informazioni memorizzate in alcune tipologie di *instantaneous discs*. Poiché non è lecito ipotizzare che tutti gli archivi siano dotati di sistemi di lettura professionali, non è forse totalmente priva di interesse la proposta di un sistema per l'estrazione del segnale audio e

dell'informazione contestuale dal documento fotografico. In questo modo, considerato la semplicità d'uso, il basso prezzo e la grande diffusione di apparecchi in grado di acquisire immagini digitali (scanner e fotocamere), tutti gli archivi sono messi in grado di intraprendere immediatamente azioni di conservazione attiva assolutamente non invasive.

### ESTRAZIONE DELL'INFORMAZIONE CONTESTUALE

Per l'estrazione automatica dell'informazione contestuale sono stati considerati strumenti sviluppati nel campo della *computer vision*. Per calcolare l'eccentricità del disco (che causa oscillazioni del *pitch* o distorsioni del suono) è stata sfruttata la letteratura prodotta nel campo dell'*iris detection* (sistemi per il riconoscimento dell'iride) [16]. In particolare, il nostro sistema utilizza l'operatore integrodifferenziale sviluppato per il rilevamento dei confini della pupilla e dell'iride [17]. L'operatore funziona come rilevatore di discontinuità circolari, calcolando le coordinate del centro e la dimensione del raggio della circonferenza contenuta nell'immagine. In questo contesto, viene utilizzato per estrarre i contorni del disco e quindi per rilevare la circonferenza del foro centrale (Figura 2). L'immagine viene acquisita garantendo il parallelismo tra il piano focale e il disco. Il sistema calcola quindi il raggio, il centro del disco e la deviazione tra questo e il centro del foro.

Per separare automaticamente le tracce viene invece usato un rilevatore a soglia sulla funzione intensità luminosa calcolata tra lo *specchio* e il margine esterno del disco fonografico.

Questi dati vengono utilizzati per l'estrazione dei campioni audio e quindi memorizzati nella copia d'archivio per eventuali elaborazioni future (correzione del *pitch* sul segnale audio digitale).



Figura 2. rilevamento automatico dei contorni del disco e del foro centrale. In questo caso, la deviazione tra i centri delle due circonferenze è di 0.22 cm.

### ESTRAZIONE DEI CAMPIONI AUDIO

Il sistema HW/SW prototipato dagli autori possiede le seguenti caratteristiche: a) separa automaticamente le tracce presenti nel disco; b) l'intervento dell'utente è ridotto al minimo; c) utilizza HW *low-cost*; d) è robusto rispetto a polvere, graffi e ondulazioni anomale dei solchi; e) utilizza innovativi algoritmi di riduzione del rumore e di *de-wowed* [18]; f) applica una curva di equalizzazione, opportunamente scelta (in funzione della data di incisione del disco, dell'etichetta discografica, ecc.) da una banca dati creata appositamente.

Il sistema impiega uno scanner opportunamente modificato al fine di mantenere, durante la ripresa fotografica, un allineamento ottimo della lampada rispetto al supporto (irradiazione della luce coassiale al disco) per tutti i solchi, senza utilizzare luce ultravioletta. Lo scanner usato (HP

ScanJet 4890 Photo) è impostato con una profondità di 8 bit (a livelli di grigio) e con una risoluzione di 4800 dpi, senza correzione digitale.

Il software riconosce automaticamente il centro del disco e il raggio (v. sezione "Estrazione informazione contestuale"): informazioni necessarie per creare un modello *rettificato* dei solchi. Utilizzando un rilevamento a soglia sul grafico della funzione intensità luminosa di una sezione dell'immagine del disco (tra lo *specchio* e il bordo) sono rilevate le diverse tracce. Il solco è modellato utilizzando la curva di intensità luminosa dei *pixels* dell'immagine digitale. Per ottenere i campioni sonori è sufficiente seguire – con una velocità lineare calcolata sulla base della velocità angolare stimata del disco – i modelli dei solchi: l'ampiezza sonora è proporzionale alle oscillazioni del solco.

L'uscita del sistema consiste nei file audio (formato BWF) contenenti l'informazione delle diverse tracce contenute nel disco, su cui è possibile applicare una curva di equalizzazione e diversi algoritmi di *denoise*. La Figura 3 riassume il processo di acquisizione.



Figura 3. Schema a blocchi del sistema di acquisizione.

Il software è stato prototipato in linguaggio Matlab (versione utilizzata: 7.4.0): l'estrazione del segnale audio da un disco 78 rpm (durata: 3' e 30") impiega circa 3 ore (utilizzando un Apple MacBook Pro equipaggiato con processore Intel Core 2 Duo a 2.2 GHz, 2 GB di memoria), raggiungendo un fattore, approssimativamente, 50 volte superiore al tempo reale. La frequenza di campionamento reale è di 96 kHz: il segnale viene ricampionato a 44.1 kHz tramite la funzione *resample* di Matlab.

## DUE STUDI DI CASO: STRANGE FRUIT E I-FEEL-LIKE-I'M-FIXIN'-TO-DIE RAG

**Strange Fruit** (MT 117). New York, 20 Aprile 1939, Frank Newton & Café Society Band (Commodore): Kenneth Hollon (ts), Sonny White (p), Jimmy McLin (g), John Williams (b), Eddie Dougherty (d), Billie Holiday (v).

*Strange Fruit* è probabilmente la più famosa canzone di condanna al razzismo americano. Il testo è mutuato da una poesia scritta da Abel Meeropol (musicata dallo stesso autore) e pubblicata nel *The New York Teacher* (1937) con lo pseudonimo Lewis Allan (dal nome dei suoi due figli deceduti in tenera età) [19]. Meeropol intendeva esprimere l'orrore che gli ha provocato la foto scattata da Lawrence Beitler ([http://www.thehypertexts.com/Mysterious\\_Ways/Mysterious\\_Ways\\_Lynching\\_of\\_James\\_Cameron.htm](http://www.thehypertexts.com/Mysterious_Ways/Mysterious_Ways_Lynching_of_James_Cameron.htm)), che era venduta come souvenir per turisti a 50 centesimi di dollaro e che ritraeva il linciaggio di Thomas Shipp e Abram Smith eseguito nel Marion, Indiana, il 7 agosto 1930.

La versione della canzone qui considerata è stata inserita nel Grammy Hall of Fame nel 1978<sup>6</sup> e inclusa nella classifica *Songs of the Century*, redatta dalle Recording Industry of America e National Endowment for the Arts.

La qualità sonora della registrazione – a causa, in particolare, della ripresa microfonica – è al di sotto della media del tempo. Probabilmente la Commodore, nelle sue prime sedute di registrazioni, non poteva permettersi lo stesso equipaggiamento di cui erano dotate la CBS o la RCA.

La copia del 78 rpm considerata (disco in gommalacca a 78 rpm, 1939, Commodore, 526-A, WP24405A, Figura 4) è molto rovinata. Entrambe le superfici sono affette da graffi. Inoltre alcune zone sono notevolmente più scure di altre: si può ipotizzare che questa corruzione sia dovuta a lavaggi (effettuati prima che il supporto fosse acquisito dall'archivio personale di uno degli autori) in cui sono state impiegate sostanze aggressive. Le corrotture producono evidenti distorsioni durante la riproduzione mediante puntina. Il trasferimento è stato effettuato utilizzando un giradischi Rek-O-Kut-Rodine 3; il segnale è stato acquisito a 44.1 kHz mediante la RME Fireface 400. Non sono state applicate curve di equalizzazione.

Contemporaneamente il segnale è stato estratto dall'immagine fotografica del disco, acquisita a 4800 dpi, con una profondità di 8 bit (a toni di grigio), senza inserire alcuna correzione digitale. Sono stati rimossi i click e ridotto il rumore a larga banda mediante un algoritmo basato sul Filtro di Kalman Estes (EKF) [18]. Il segnale è stato quindi ricampionato a 44.1 kHz.



Figura 4. Etichetta del disco in esame (526-A).

In Figura 5 è mostrata una stima della densità spettrale di potenza di entrambi i segnali audio effettuata mediante il calcolo del periodogramma nell'intervallo 13s-18s (finestra di analisi di 2048 campioni). In banda audio non si notano

<sup>6</sup>[http://www.grammy.com/Recording\\_Academy/Awards/Hall\\_Of\\_Fame/#s](http://www.grammy.com/Recording_Academy/Awards/Hall_Of_Fame/#s)

artefatti introdotti dall'algoritmo di estrazione del segnale audio dal documento fotografico; contemporaneamente è evidente il miglioramento in termini di rapporto segnale rumore ottenuto per mezzo dell'EKF.

La Figura 6 presenta le evoluzioni temporali dei due segnali audio. È evidente la grande diminuzione di rumori impulsivi nella versione restaurata.

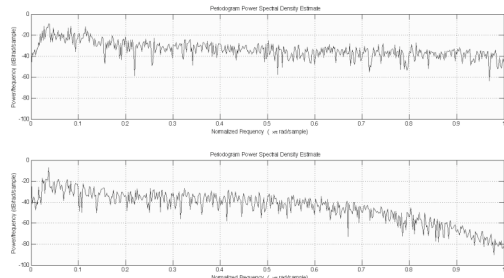


Figura 5. Periodogramma dei segnali audio rispettivamente acquisito mediante giradischi (sopra) ed estratto dal documento fotografico (sotto), relativi al disco 526-A, WP24405A. Finestra di analisi: 2048 punti. Intervallo di analisi: da 13s a 18s.

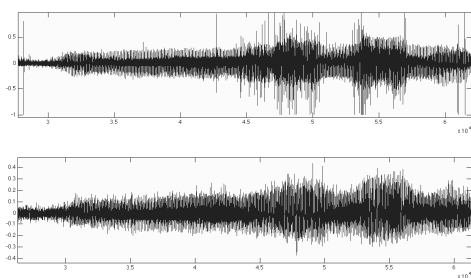


Figura 6. Evoluzione temporale dei segnali audio rispettivamente acquisito mediante giradischi (sopra) ed estratto dal documento fotografico (sotto), relativi al disco 526-A, WP24405A. Intervallo di analisi: da 12.5s a 23s.

***I-Feel-Like-I'm-Fixin'-to-Die Rag***, tratto da *Talking Issue Rag Baby No. 1: songs of opposition*, (Volume 1, Issue A: RAG-1001, 1965). Lato 1. Carl Schrager (washboard, kazoo), Bill Steele (b, washtub b), Barry Milton (g), Joe McDonald (v, g), Mike Beardsle (v). Lato 2. Pete Krug (v, g).

*I-Feel-Like-I'm-Fixin'-to-Die Rag* è probabilmente stata la più popolare canzone di protesta contro la guerra in Vietnam. È la *title track* del secondo *Long Playing* (Vanguard, 1967) del gruppo pop Country Joe and the Fish<sup>7</sup> e ha conosciuto un immenso successo internazionale grazie alla performance eseguita da Joe McDonald sabato 16 agosto 1969, durante il festival *Woodstock Music and Art Fair* tenuto nella Max Yasgur presso Bethel, New York. La prima edizione era però contenuta in un Extended Play edito nel 1965 (v. sopra). La confezione originale (una busta di dimensioni 7" e 1/2 x 10", v. Figura 7a) contiene: a) un disco microsolco a 33 rpm e 1/3 di

7"; b) un allegato di tre pagine con i testi e lo spartito delle canzoni.

La copia del microsolco in possesso di uno degli autori è rotta (il disco si presenta spezzato in due parti, v. Figura 7b) e quindi non è possibile riprodurre il documento per mezzo di un giradischi. Si è quindi estratto il segnale audio dal documento fotografico, acquisito a 4800 dpi, con una profondità di 8 bit (a toni di grigio), senza inserire alcuna correzione digitale. Il segnale estratto è stato equalizzato utilizzando una curva RIAA (l'incisione è del 1965). Sono stati rimossi i click mediante un algoritmo basato sul Filtro di Kalman Esteso (EKF) [18]: poiché il disco – in vinile – è di buona qualità (almeno rispetto ai dischi in gommalacca) e, fatta eccezione per la grave corrottela che ne ha provocato la rottura, in buone condizioni, non è stato ridotto il rumore a larga banda. Il segnale è stato quindi ricampionato a 44.1 kHz.

La Figura 8 presenta una stima della densità spettrale di potenza del segnale audio effettuata mediante il calcolo del periodogramma nell'intervallo 21s+26s (finestra di analisi di 2048 campioni); in Figura 9 è raffigurata l'evoluzione del segnale audio. Da queste figure si evince che la corrottela non ha causato artefatti rilevanti nel segnale audio estratto dalla ripresa fotografica.



Figura 7. Fotografia della busta originale (a) e del disco rotto (b).

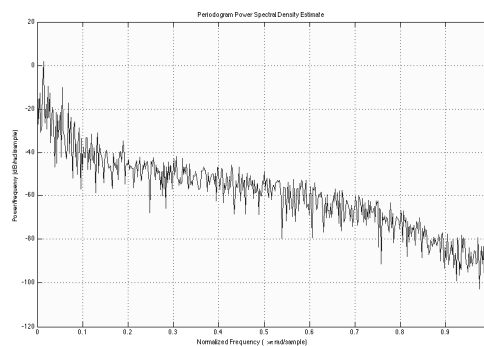


Figura 8. Periodogramma del segnale audio estratto dal documento fotografico relativo al disco RAG-1001. Finestra di analisi: 2048 punti. Intervallo di analisi: da 21s a 26s.

<sup>7</sup> Il nome del gruppo deriva da due locuzioni in uso nella cultura politica comunista statunitense: *Country Joe* era un popolare soprannome per Josif Stalin usato in America sin dagli anni '40 del Novecento, mentre *the fish* si riferisce a una frase – molto citata in USA – di Mao Tse-Tung, in cui il pensatore cinese sosteneva che il vero rivoluzionario doveva sapersi muovere attraverso la classe contadina come un pesce nell'acqua.

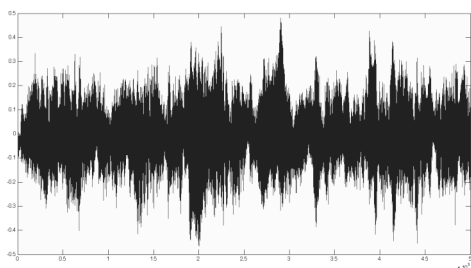


Figura 9. Evoluzione temporale del segnale audio estratto dal documento fotografico relativo al disco RAG-1001. Intervallo di analisi: da 12.5s a 23s.

## CONCLUSIONE

Negli archivi di dischi fonografici in cui sono state avviate azioni per la conservazione attiva dei documenti è già pratica comune memorizzare nella copia conservativa, assieme al segnale audio digitale, le fotografie del supporto (oltre che della copertina e degli eventuali allegati) e opportune schede catalografiche. Non è quindi improponibile (sia dal punto di vista dei costi, sia da quello della formazione del personale) pensare di acquisire documenti fotografici almeno di media qualità (da 4800 a 9600 dpi). La copia d'archivio sarà quindi costituita dalle fotografie del disco fonografico.

Gli archivi discografici che sinora non hanno avviato attività di trasferimento A/D possono in questo modo facilmente creare copie d'archivio dei dischi fonografici in loro possesso: diversamente dall'equipaggiamento professionale necessario per il trasferimento A/D del segnale audio, l'apparecchiatura per effettuare la ripresa fotografica è poco costosa e semplice da utilizzare.

Inoltre diventa finalmente possibile leggere dischi a) afflitti da gravi corrotture e b) di diversi formati senza per questo dover modificare l'equipaggiamento di lettura (come accade utilizzando i giradischi, dove è necessario regolare di volta in volta la velocità di rotazione, cambiare la puntina, modificare il peso del braccio, compensare la forza di *skating*, ecc.), con un evidente abbattimento dei costi per l'equipaggiamento tecnologico e per la formazione del personale.

L'algoritmo qui presentato – funzionante su hardware a basso costo – può essere vantaggiosamente utilizzato per la creazione di copie d'accesso estraendo il segnale audio e alcune informazioni contestuali direttamente dall'immagine dei solchi dei dischi.

Un'interessante ipotesi di sviluppo futuro potrebbe consistere nella realizzazione di uno strumento in grado – nei casi in cui nella copia conservativa è memorizzato anche il segnale audio, oltre al documento fotografico – di combinare l'informazione presente in entrambi i segnali audio (1-digitalizzato mediante puntina; 2-estratto dall'immagine), al fine di documentare in modo automatico le corrotture del supporto, che possono essere associate ai punti di minima somiglianza (secondo un qualche criterio) tra i due segnali.

## RIFERIMENTI

[1] Sergio Canazza. Note sulla conservazione attiva dei documenti sonori su disco. In Atti del Convegno annuale del Laboratorio per la Divulgazione Musicale (Ladimus). *Il suono riprodotto: storia, tecnica e cultura di una rivoluzione del Novecento*, EDT, Torino, 87-107, 2008.

[2] Sergio Canazza. Conservazione attiva e restauro audio dei 78 giri. Un caso di studio: Eternamente, In Canazza, S. e Casadei Turronei Monti, M. (a cura di), *Ri-mediazione dei documenti sonori*, pp. 695-715, Forum, Udine, 2006.

[3] Joseph Maxfield e Henry Harrison. Methods of high quality recording and reproduction of music and speech based on telephone research, *The bell system technical journal*, vol. 5, pp. 493-523, 1926.

[4] Stefano Cavaglieri, Ottar Johnsen e Frederic Bapst. Optical Retrieval and Storage of Analog Sound Recordings. *Proc. of AES 20th International Conference*, Budapest, Hungary, October 5-7, 2001.

[5] Vitaliy Fadeyev e Carl Haber. *Reconstruction of Mechanically Recorded Sound*. Lawrence Berkeley National Laboratory Technical Report 51983, 2003.

[6] Sylvain Stotzer, Ottar Johnsen, Frederic Bapst, Christoph Sudan e Rolf Ingol. Phonographic Sound Extraction Using Image and Signal Processing. *Proc. of ICASSP* Maggio, pp. 17-21, 2004.

[7] Marie-France Calas e Jean-Marc Fontaine. *La Conservation des documents sonores*. CNRS éditions, Ministère de la culture, Paris, 1996.

[8] Sarwan Khanna. Vinyl Compound for the Phonographic Industry. *Journal of the Audio Engineering Society*, 10-11, pp. 724-728, 1977.

[9] Leah Burt. Chemical Technology in the Edison Recording Industry. *Journal of the Audio Engineering Society*, 10-11, pp. 712-717, 1977.

[10] A.G. Pickett e M.M. Lemcore. *The Preservation and Storage of Sound Recordings*. Library of Congress, Washington D.C., 1959. Ristampato da ARSC, 1991.

[11] Jeremy Silver e Lloyd Stickells. Preserving Sound Recordings at the British Library National Sound Archive. *Library Conservation News*, 13, 1987.

[12] Dietrich Schüller. Preservation of Audio and Video Materials in Tropical Countries. *IASA Journal*, 7, pp. 35-45, 1996.

[13] Gilles Laurent. *The Care of Cylinders and Discs*. Milton Keynes: Technical Coordinating Committee, 1997.

[14] ARSC. *Audio Preservation: A Planning Study*. Association for Recorded Sound Collections (ARSC), Silver Springs, Maryland, AAA Committee, 1987.

[15] IASA TC-03. *The Safeguarding of the Audio Heritage: Ethics, Principles and Preservation Strategy*. Version 3, 2005.

[16] John Daugman. How iris recognition works. *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, Vol. 14, n. 1, pp. 21-30, 2004.

[17] John Daugman. New methods in iris recognition. *IEEE Transactions on system, man, and cybernetics –part B: cybernetics*, vol. 37, n. 5, pp. 1167-1175, 2007.

[18] Sergio Canazza. Tecniche di filtraggio per il restauro audio: modelli a confronto. In Canazza, S. e Casadei Turronei Monti, M. (a cura di), *Ri-mediazione dei documenti sonori*, pp. 259-338. Forum, Udine, 2006.

[19] David Margolick. *Strange Fruit: Billie Holiday, Café Society, and an Early Cry for Civil Rights*. Running Press, Philadelphia, 2000.