



INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2018/19
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: 1F

TITOLO PROGETTO: Bpm Waveform & How Mixing Work

AUTORE 1: Azzaro Daniele

Sommario:

1 - Obiettivi del progetto	2
1.1 Panoramica sui comandi della console.	
1.2 Focus sul display.	
1.3 Come avviene il Mixing tra tracce audio.	
1.4 Mixing con BPM analizzato e non.	
2 - Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici	6
3 - Risultati Ottenuti / Argomenti Teorici Trattati	6
3.1 Risultati pratici.	
3.2 Risultati teorici.	

Salve, sono Daniele Azzaro, studente di Ingegneria Informatica. In questo progetto analizzerò: l'interfaccia fisica della console Pioneer XDJ-RX, come funziona il Mixing tra tracce audio e come viene determinato il Beat per minuto (BPM). Inoltre, saranno presenti delle documentazioni video per rendere il progetto quanto più coinvolgente possibile. È consigliabile leggere il seguente documento su Notebook a 'full screen' per non perdere la formattazione delle immagini. Buona lettura.

1.Obiettivi del progetto

1.1 Panoramica sui comandi della console:



La Pioneer XDJ-RX è una “All in one DJ system”, ovvero una console già ‘assemblata’ e pronta a l’uso. Le sue caratteristiche tecniche e costruttive sono derivate dai prodotti top di gamma della serie Pioneer CDJ & DJM, in particolare [CDJ-2000Nexus](#) e [DJM-450](#).

La console è composta da 3 sezioni:

•Deck 1 e 2:

I 2 deck che si trovano alle estremità della XDJ-RX, entrambi (chiamati “Piatti Digitali”) sono composti dagli stessi componenti. Su ciascun Deck viene caricata la traccia che si vuole riprodurre e che può essere manipolata dai relativi pulsanti:

Vinyl Speed-Jog Mode: Vinyl speed regola la velocità della riproduzione e la messa in pausa della traccia; la Jog mode consente l’ON/OFF della modalità vinile (simulata con il touch e release).

Loop-Section: Consente di scegliere, regolare la lunghezza e l'uscita da un loop creato durante la riproduzione.

Direction and Slip: Il *Direction* inverte la direzione di riproduzione della traccia, mentre il tasto slip consente di adoperare loops e scratches senza interrompere la normale esecuzione della traccia.

Track-Search: Permette di selezionare la traccia numericamente successiva a quella attuale o portare avanti/indietro il brano attualmente caricato nel deck.

Jog: Consente lo *scratch* o *Tempo Adjust* del brano ruotando in senso orario o in senso antiorario la Jog.

Play-Pause: Mette in pausa o in riproduzione il brano

Pads: Comprende 4 modalità: *HotCue* (un segnalibro della traccia); *AutoBeatLoop* (Loop automatico che va da 1/18 a 8 battute); *LoopSlice* (Loop che può essere manipolato); *Slice* (permette di ottenere 4 *pads* blu aggiuntivi); tutte queste modalità sono legate ai 4 *pads* di colore blu.

Tempo-Section: Comprende 4 pulsantiere: *SlideTempo* (rallenta o velocizza la velocità del brano); *MasterTempo* (se ON, non cambia il pitch del brano durante l'uso dello *SlideTempo*); *Tempo* (aumenta il range del tempo da ± 6 a $\pm wide$); *BeatSync* (se ON, il software corregge automaticamente il tempo del brano).

•Mixer:

Il mixer, posto al centro, consente di mixare (miscelare) le tracce, precedentemente caricate sui deck, tra di loro grazie all'utilizzo dei fader, degli effetti e degli equalizzatori. In dettaglio:

Beat-Effects: Comprende 8 effetti che possono essere applicati a tutti i canali presenti/connessi alla console. Possiamo regolare il tempo di effetto sul beat e la profondità grazie ai pulsanti: *Beat*, *Time* e *Level*, sotto ai quali è presente l'ON/OFF dell'effetto.

Equalization: Consente di regolare: *Trim* (Amplificazione della traccia), Alti, Medi e Bassi.

Fader-Channel: Sono presenti due canali (CH1 e CH2) che sono associati rispettivamente al Deck 1 e al Deck2. Muovendo su e giù i *fader* verticali aumentiamo e diminuiamo il volume del brano, lo stesso avviene con il *fader* orizzontale. Entrambi i *fader* hanno la stessa funzione. Al centro troviamo il display che indica il volume in dB.

Color-FX: Comprende 4 effetti, differenti dai *Beat-Effects*, poiché possono essere applicati solo sui bassi e i medi del brano.

HeadPhones: Consente di regolare il volume in cuffia dei relativi canali, ascoltandoli singolarmente o contemporaneamente.

Menù-Navigation: Comprende i bottoni per la navigazione all'interno del software e della libreria musicale.

Switch-Deck/PhonoLines: Lo switch permette di selezionare quale ingresso audio verrà assegnato al CH1 o CH2, se Deck o *Phono/Lines*.

▪ 1.2 Focus sul display:



L'ampio display permette di visualizzare le forme d'onda dei brani caricati, rispettivamente, nel Deck 1 e nel Deck 2. Ciascun informazione relativa alle tracce è visibile in basso a sinistra per il Deck 1, e in basso a destra per il Deck 2. Oltre alle corrispettive forme d'onda, sono presenti: i BPM, la durata, le informazioni sul brano, il *Beat-Effect* selezionato e tutti i *Loop* e *HotCue* attivi. Invece, con i comandi fisici posti alla sinistra dello schermo è possibile muoversi tra le varie periferiche (PC, USB1 e USB2) supportate dalla console.

■ 1.3 Come avviene il Mixing tra tracce audio:

● Introduzione a Rekordbox:

Il software della Pioneer Dj console è stato progettato insieme al software Rekordbox, il quale funziona come un libreria musicale. Istallandolo gratuitamente sul Notebook è possibile gestire tutta la propria libreria musicale: infatti è possibile creare playlist, ordinare i brani per BPM, impostare *HotCue*, *Key* e definire le preferenze di *ConsoleSystem* che verranno caricate direttamente sulla console appena collegata alla propria unità USB.

Ogni brano inserito all'interno della libreria Rekordbox, verrà analizzato in BPM e forma d'onda e successivamente inserito nella periferica USB desiderata. È possibile far leggere alla Pioneer XDJ-RX una unità USB con brani non sincronizzati con la libreria Rekordbox; la console non andrà in errore, ma non visualizzerà la forma d'onda e il BPM del brano (come si può vedere nel display del paragrafo precedente). Il software interno della console provvederà solamente ad analizzare in *'RealTime'* il BPM e la *preview* del brano.

● Mixing:

L'utilizzo di Rekordbox permette all'utente di poter avere una visione generale della propria libreria musicale. Ma come avviene il Mixing? Selezionare la prima traccia e caricarla sul Deck 1, questa avrà un suo BPM, in base a questo dato possiamo scegliere la seconda traccia che andrà caricata sul Deck 2. A proprio piacimento, dopo aver messo a tempo i due brani o usando qualsiasi altra tecnica, sfruttando le cuffie e alzando il *fader* del canale relativo alla seconda traccia, avverrà il Mixing tra il primo brano e il secondo brano. A seconda l'esperienza dell'esecutore, il Mixing può essere percepito dalle nostre orecchie in modo gradevole o no. Il Mixing, quando comprende più di due tracce e la sua durata si estende, prende il nome di *"Dj-Set"*. [\(Clicca sul logo 'YT' per avere un esempio\)](#)

■ 1.4 Mixing con BPM analizzato e non:

● Definizione di BPM:

I BPM, Battiti Per Minuto, sono l’unità di misura di frequenza, è usata principalmente per l’indicazione metronomica in musica e per la misura del battito cardiaco. In ambito musicale il bpm deriva da un termine anglosassone. In generale, si ha: dati n-BPM, con n che varia tra 1 e 1000, otterremo n-Battiti/Pulsazioni al minuto.
Quando la *Disco Music* cominciò a essere sempre più suonata, i BPM divennero fondamentali per i DJ che così cominciarono a poter mixare i brani con un tempo compatibile. A questo riguardo, i generi musicali moderni si identificano e si possono suddividere come segue:

GENERE	BPM
HIP-HOP	70-110
REGGAETON	70-120
DISCO MUSIC	110-140
HOUSE	120-130
DANCE	120-145
TRANCE	125-150
PROGRESSIVE HOUSE	128-140
Hi-NRG	130-140
DUBSTEP	140-150
DRUM’N’BASS	160-185
HARDCORE	160-250
METAL ESTREMO	200-300
SPEEDCORE	200-1000

- **Il Mixing:**

Dopo aver spiegato la funzione di Rekordbox e cos'è il BPM, possiamo passare "l'atto pratico":

Mixing con BPM Analizzato: caricando sul Deck 1 e Deck 2 dei brani con BPM analizzato, visualizzeremo a schermo la forma d'onda della traccia. Questa può aiutarci ad avere un'idea complessiva di come varia l'andamento del brano durante la sua riproduzione, rendendo più intuitivo e creativo il punto di 'attacco' del brano successivo. Sulla forma d'onda del brano sarà presente una *BeatGrid*, ovvero una griglia che identifica ogni singolo beat. Tale griglia può essere allargata o diminuita, a proprio piacimento. Quando mettiamo a tempo le due tracce, possiamo vedere sul display, che le *BeatGrid* delle due tracce coincidono. Bisogna però prestare ugualmente attenzione, poiché a seconda di come il beat del brano sia stato realizzato non è detto che se le due *BeatGrid* coincidano, ovvero che le tracce siano a tempo. Bisogna quindi affidarsi sempre al proprio udito.

Mixing con BPM Non Analizzato: se invece utilizziamo dei brani che non sono stati analizzati, non visualizzeremo a schermo le forme d'onda dei brani. Il BPM verrà calcolato istante per istante dal software della console, questo comporterà ad una mancata precisione di quest'ultimo in quanto, dato che il beat della traccia varia, il BPM avrà un margine di errore di circa il 20%. Ad esempio, una traccia che ad orecchio è all'incirca sui 120 BPM, in fase di riproduzione il software analizzerà il brano ottenendo una variazione di BPM compresa tra: 119.8 e i 120.6. In ogni caso, il software introduce questo errore poiché cerca di ottenere un'analisi precisa al millesimo del BPM, cosa che non può avvenire con l'uso del proprio orecchio. Dato che ci sono queste piccole variazioni, il mixing deve avvenire con molta più cura e attenzione, andando a correggere istante per istante il tempo del brano che stiamo mettendo a tempo con il brano in riproduzione.

In conclusione:

La bravura di un DJ risiede nel riuscire a sfruttare e immaginare l'andamento della forma d'onda del brano oltre che all'intuire ad orecchio il BPM della traccia. Più si ha conoscenza di quanto detto, più il DJ-Set potrà essere lineare e creativo.

2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici

Il metodo proposto per l'analisi di progetto è un metodo semi-sperimentale, per il quale ho coniugato le mie conoscenze e la mia esperienza con le specifiche tecniche che sono disponibili in rete. Di seguito i riferimenti:

- <https://www.pioneerdj.com/it-it/news/2015/xdj-rx/>
Link alle caratteristiche tecniche e specifiche di sistema della console.
- http://faq.pioneerdj.com/files/img/Manual_rekordbox_en.pdf
Manuale di Rekordbox in cui sono elencati tutti i comandi e le funzionalità del software.
- https://it.wikipedia.org/wiki/Battiti_per_minuto
Link alla definizione di BPM con relativa suddivisione per generi.
- <https://vimeo.com/153066302>
Link al video dell'algoritmo di *Beat Detection*.

3. Risultati Ottenuti / Argomenti Teorici Trattati

Dato che il progetto ha una valenza semi-sperimentale, analizzeremo i risultati attesi con: dei video esplicativi tenendo conto delle definizioni e spiegazioni date al punto [1. Obiettivi del progetto](#) e con dei risultati teorici sull'analisi matematica del BPM.

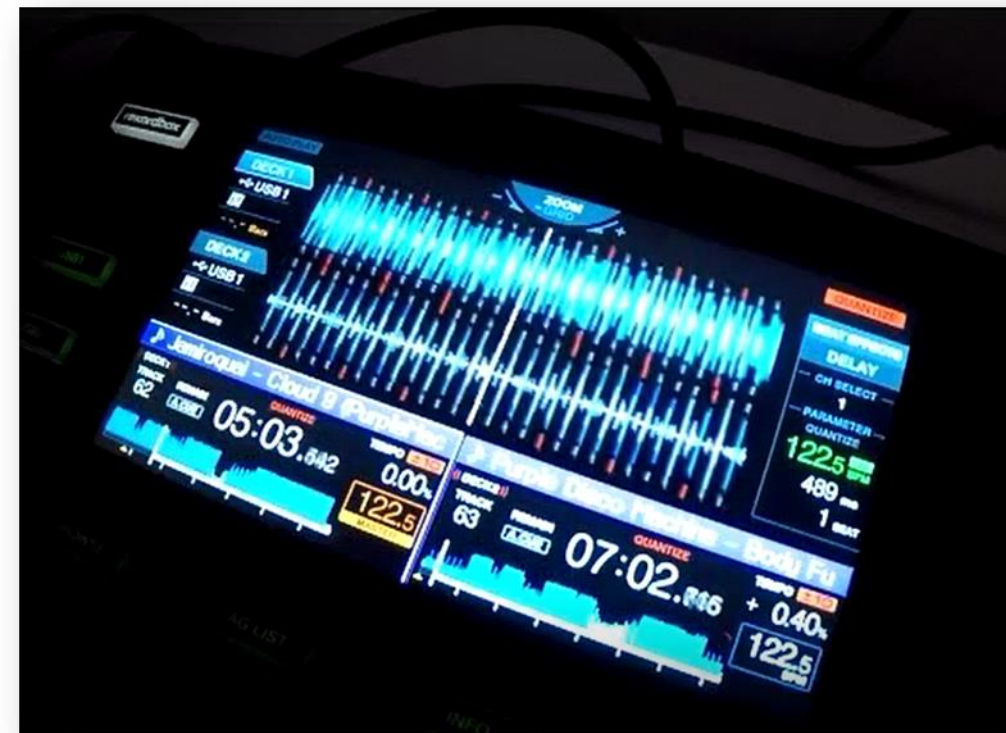
In generale: i risultati attesi per qualsiasi tipo di mixing, possono essere sintetizzati in due unici punti:

- Le due tracce sono perfettamente messe a tempo e non si nota la transizione tra un brano e il successivo, a meno che, non siano due brani con tonalità completamente differenti;
- Le due tracce sono fuori tempo e durante il mixing è presente il classico rumore di "accavallamento di *beat*" simile ad un galoppo. In quel caso bisogna agire sulla Jog e sul '*Tempo Adjust*' per garantire la riuscita del mixing.

■ 3.1 Risultati pratici:

Verranno presentati in Live e con video esplicativi i seguenti risultati:

- **Mixing con 2 tracce con BPM analizzato:**



Si notano in entrambi le foto, la presenza di entrambe le *Waveforms* con relativa *BeatGrid* e del BPM sul Deck 1 e Deck 2.

In particolare, nella seconda foto viene modificato manualmente il BPM della traccia nel Deck 2 per mettere a tempo in due brani.

- **Mixing con 1 traccia con BPM analizzato e 1 traccia con bpm non analizzato:**



Il brano caricato nel Deck 1 non è stato precedentemente analizzato con Rekordbox, quindi, ci attendiamo una **Real-Time BPM Estimation**: .

Il *Tempo Adjust* del secondo brano varierà a seconda della variazione del BPM del primo brano.

- **Mixing con 2 tracce con BPM non analizzato:**



In questo caso, il **Real-Time BPM Estimation**: sarà calcolato in entrambe le tracce. La variazione del BPM e il *Tempo Adjust* per il Mixing inpegnerà maggiormente a causa di una continua variazione di BPM. Questo non preluderà la corretta riuscita del Mixing se i brani sono messi perfettamente a tempo.

■ 3.2 Risultati Teorici:

Oltre ad i risultati di Mixing, analizziamo i risultati attesi adoperando il corretto algoritmo per determinare un Beat ed ottenere il BPM del brano:

- **L'Algoritmo di Beat Detection:**

Poiché i software Pioneer e Rekordbox sono protetti da *Copyright*, analizzeremo come funziona l'algoritmo di beat detection implementato da Frédéric Patin. Come funziona?

Utilizzando la *Trasformata di Fourier (FFT)* dalla libreria *FMOD sound library* trasformeremo il dato audio da *time/ waveform space* in *frequency space*. La trasformata di Fourier ci restituirà una serie di numeri complessi. Per applicare l'algoritmo consideriamo: la parte reale del dato come audio che sarà inviato in uscita allo *speaker* sinistro e la parte immaginaria allo *speaker* destro. Gli step da seguire saranno:

1. Calcolare l'ampiezza del dato dalla Trasformata di Fourier.
2. Usare tale dato per calcolare il *sound energy* per ogni sotto-banda.
3. Confrontare l'attuale valore d'energia con *buffer* cronologico di energia per determinare la presenza di un beat.

Calcoliamo il *Sound Energy* per la *Beat Detection*:

Step 1:

Usiamo una finestra di 1024 samples e un frequenza di campionamento di 44100Hz:

$$B[i] = L[i]^2 + R[i]^2$$

B = Ampiezza del suono *buffer*; **L**=*Speaker Sx*; **R**=*Speaker Dx*.

Step 2:

Con il valore ottenuto calcoliamo il valore istantaneo dell'energia per sotto-banda:

$$E[i] = \frac{32}{1024} * \sum_{k=32*i}^{32*(i+1)} B[k]$$

E=*instant energy buffer*; **1024** = *Sample size*; **32** = numero di sotto-bande.

Step 3:

Per ogni sotto-banda, corrisponde un *sound energy history buffer* **H[i]**, che contiene gli ultimi 43 *samples*:

"44100/1024 = 43 energy samples corrispondono circa ad 1 secondo di musica"

$$A[H[I]] = \frac{1}{43} * \sum_{k=0}^{42} H[k]$$

A[H[I]] = valore medio del *sound energy history*.

Step 4:

Per ciascun sotto-banda, confrontiamo il valore di energia istantaneo con il valore medio del *sound energy history* moltiplicato con il valore di beat di soglia costante (**C=1,5 circa**):

$$E[i] > C * A[H[i]] = beat$$

Se tale disequazione è verificata, abbiamo un *beat*.

Graficamente:



- **Real-Time BPM Estimation:**

Come si nota nei risultati di Mixing elencati sopra, quando un brano non ha già analizzato il BPM, il software della console provvederà a farlo. Ma come funziona? Che risultato si otterrà?

In primo luogo, verrà memorizzato il tempo in cui un *beat* si verifica in *buffer* della cronologia dei *beat* = $H[n]$. Ad ogni *frame*, svuota tutti i valori che sono superiori al secondo precedente e ricalcola. Il valore di BPM corrente è quello che viene calcolato più spesso da una cronologia di BPM calcolati.

In conclusione:

Ascoltando attentamente il Mixing allegato/ la *Live* si possono perfettamente capire i risultati attesi dal progetto ed intuire quanto la pratica, l'esser incline alla musica e al tempo, possano influire molto sulla corretta esecuzione del *Tempo Adjust* e la corretto riuscita del Mixing.