



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: 20

TITOLO PROGETTO: Sintesi additiva e Sintesi Vettoriale

AUTORE 1: Cristaldi Rosario

AUTORE 2: Cutuli Emanuela

AUTORE 3: Privitera Riccardo

Indice

1. Obiettivi del progetto

2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici

-<<Musica elettronica e sound design. Vol. 1: Teoria e pratica con MaxMSP>> di Alessandro Cipriani, Maurizio Giri, ConTempoNet, 2009

-Programmazione timbrica(Sintesi additiva) – Prof. Luca A.Ludovico

3. Argomenti Teorici Trattati

- Concetti base del suono
- Strumenti per la sintesi audio
- Tecniche di sintesi (sintesi additiva)
- Sintesi a spettro fisso e variabile
- Tecnologie usate (pure data, maxMSP)

1. Obiettivi del progetto

L'obiettivo del progetto è quello di realizzare una patch per la sintesi additiva con spettro armonico, ricreandola con MaxMSP, utilizzando 10 oscillatori le cui uscite vengono sommate da un miscelatore. Abbiamo bisogno quindi di 10 oggetti cycle ai quali forniremo 10 frequenze, ciascuna delle quali deve essere un multiplo intero della fondamentale.

2. Riferimenti Bibliografici e Metodo Proposto

Riferimenti Bibliografici

<<Musica elettronica e sound design. Vol. 1: Teoria e pratica con MaxMSP>> di Alessandro Cipriani, Maurizio Giri, ConTempoNet, 2009

Principale fonte per la spiegazione dei concetti base del suono, degli strumenti per la sintesi audio e dell'introduzione all'ambiente di sviluppo grafico MaxMSP.

Programmazione timbrica (Sintesi additiva) – Prof. Luca A.Ludovico

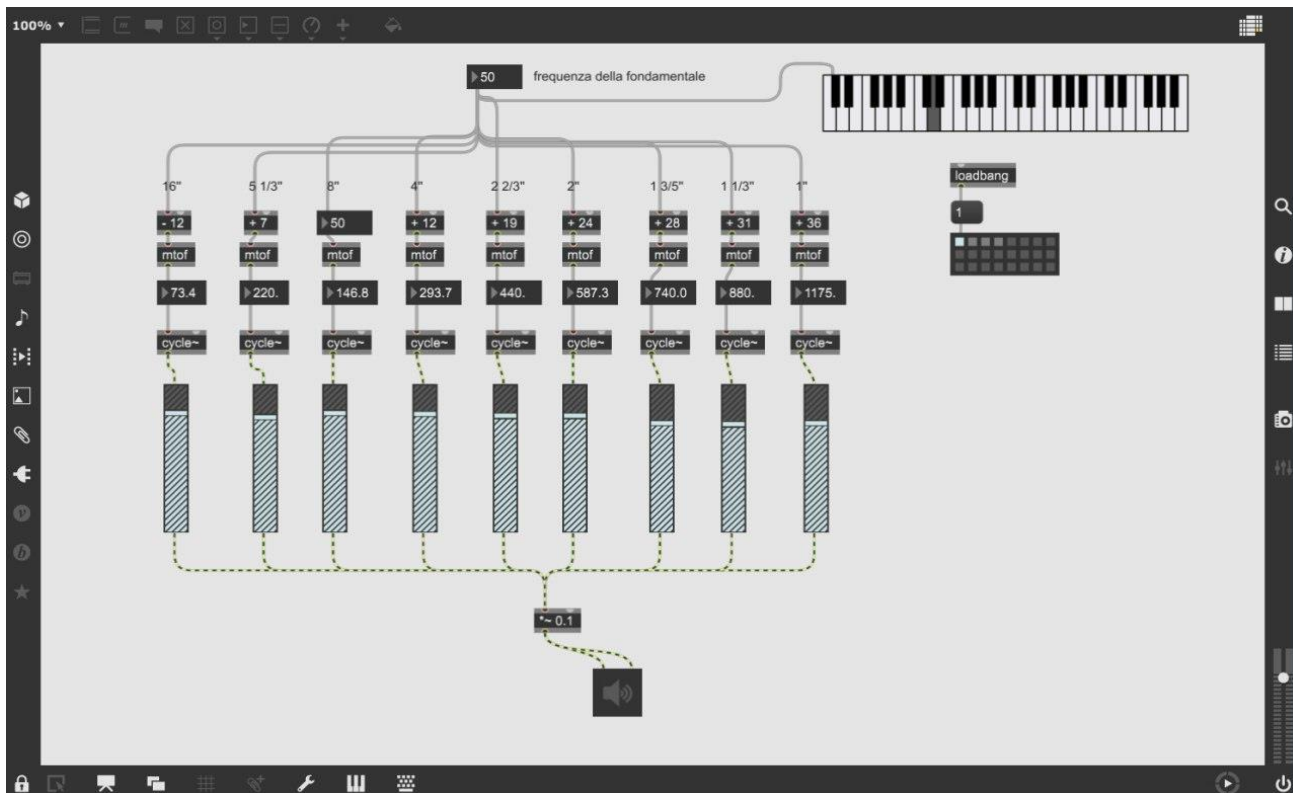
Principale fonte per la spiegazione della sintesi additiva.

Metodo Proposto

La patch va a ricostruire un piccolo organo riprodotto come strumento virtuale, sfruttando la tecnica della sintesi additiva. Per realizzarlo abbiamo scaricato uno schema, ossia lo schema dei registri dell'organo Hammond, dove sono riportati i valori delle parziali che servono per ottenere il timbro tipico dell'organo Hammond. Queste sono rappresentate dai numeretti scritti in alto (16, $5^{\frac{1}{3}}$, 8, 4, ecc..) e rappresentano i numeri delle parziali che compongono il segnale. A seguire si trovano i valori frequenziali ricavati attraverso un calcolo in midi; data una frequenza fondamentale, siamo andati a calcolare tutte le parziali secondo uno schema, attraverso una semplice somma, per poi convertire queste note midi, con l'oggetto mtof, in frequenza. Questa conversione è importantissima poiché, l'oggetto cycle, che permette di ricostruire un oscillatore sinusoidale, vuole in ingresso la frequenza e non la nota midi. I numeri delle istanze di cycle sono stati duplicati per le volte necessarie a ricostruire il numero delle parziali dell'organo Hammond. I gain a seguire servono a regolare il volume di queste parziali. Quindi la tecnica che abbiamo utilizzato è una sintesi additiva a spettro fisso in quanto le parziali non si modificano nel tempo ma si agisce solo sui volumi di quest'ultime per cambiare il timbro.

Alla fine, tutto il segnale viene riscalato perché MaxMSP ha come ampiezza massima il valore 1, è chiaro quindi che, se non avessimo riscalato il valore con una moltiplicazione, avremmo ottenuto il segnale in distorsione in uscita.

La tastiera in alto a destra ha uno scopo puramente visivo, per vedere la nota che si sta mandando su una tastiera tradizionale.



3. Argomenti Teorici Trattati

3.1 Concetti base del suono

Sintesi ed elaborazione del suono

L'introduzione dell'elettronica e, soprattutto, del computer nella musica ha consentito a compositori e musicisti di gestire e manipolare i suoni con una precisione e una libertà impensabili con i soli mezzi acustici. Grazie all'uso del computer è infatti possibile modellare il suono in ogni modo immaginabile; si dice spesso che mentre il compositore "tradizionale" compone con i suoni, il compositore elettronico compone i suoni, ovvero entra nel suono, nelle sue componenti elementari, creandole e trasformandole a suo piacimento. La stessa cosa avviene, per fare un parallelo, nella grafica e nell'animazione: grazie al computer è possibile creare immagini e sequenze filmate estremamente realistiche, che sarebbe difficile produrre con altri mezzi. Attualmente quasi tutti gli effetti speciali al cinema sono realizzati con il computer, e sempre più spesso i personaggi virtuali "recitano" al fianco di attori in carne ed ossa. Il "segreto" di questa flessibilità sta nel passaggio dal mondo analogico (quello degli oggetti concreti) a quello digitale (ovvero dei numeri): il processo di digitalizzazione consiste appunto nel trasformare un'informazione (un testo, un suono, un'immagine) in numeri. Una volta che un'immagine o un suono sono stati convertiti in una sequenza numerica, possono subire qualunque tipo di trasformazione, perché i numeri, grazie a secoli di sviluppo delle tecniche matematiche, possono essere trasformati e manipolati in qualsiasi modo. Questo testo si concentrerà essenzialmente su due aspetti: la sintesi e l'elaborazione del suono.

La sintesi del suono (sound synthesis) si riferisce alla generazione elettronica di un suono. In pratica si tratta della possibilità di creare un suono sulla base di alcuni parametri scelti in funzione del risultato sonoro che si vuole ottenere.

L'elaborazione del suono, o del segnale, (signal processing) si riferisce ai processi utilizzati per modificare un suono già esistente, ad esempio un suono di una chitarra che abbiamo precedentemente registrato, un suono generato con una particolare tecnica di sintesi, etc.

Sintesi digitale del suono

Per ottenere qualsiasi tipo di suono utilizzando un linguaggio di programmazione per la sintesi e l'elaborazione del suono, scriveremo nel computer le informazioni sul tipo di "macchina virtuale" che vogliamo costruire (realizzeremo cioè un algoritmo) e le operazioni che questa macchina deve compiere.

Una volta scritte queste istruzioni, chiederemo al programma (Max o altri) di eseguirle e di creare un flusso di dati numerici in cui sono rappresentate digitalmente tutte le caratteristiche del suono o dei suoni che abbiamo richiesto. Tra la generazione di questo

flusso di dati digitali e l'ascolto del suono avviene un'altra operazione fondamentale che richiede una scheda audio. La scheda legge i dati digitali e li trasforma in segnale elettrico che viene inviato all'amplificatore e poi agli altoparlanti. In questo caso la scheda opera una conversione da digitale ad analogico (D/A), cioè ci consente di ascoltare dei suoni le cui caratteristiche sono scritte in un flusso di dati digitali.

Questi dati possono anche essere memorizzati in un file audio che verrà salvato nel nostro hard disk, per permettere una riesecuzione dei dati stessi o una loro elaborazione. Quando il flusso dei dati è direttamente inviato alla scheda audio man mano che viene calcolato si ha una sintesi in tempo reale (real time). Quando invece il processo di calcolo viene prima svolto per intero (e memorizzato in un file audio) e solo successivamente inviato alla scheda audio per l'ascolto si ha una sintesi in tempo differito (non-real time o offline).

Frequenza, ampiezza e forma d'onda

Frequenza, ampiezza e forma d'onda sono tre parametri fondamentali del suono. Ognuno di questi parametri influenza nell'ascoltatore la percezione sonora, in particolare:

- a) la possibilità di distinguere un suono grave da uno acuto (frequenza)
- b) la possibilità di distinguere un suono di forte intensità da uno di intensità minore (ampiezza)
- c) la possibilità di distinguere diversi timbri (forma d'onda).

CARATTERISTICA	PARAMETRO MUSICALE	SENSAZIONE
Frequenza	Altezza	Acuto ↔ Grave
Ampiezza	Intensità	Forte ↔ Piano
Forma d'onda	Timbro	(Chiaro ↔ Scuro Armonico ↔ Inarmonico etc.)

Frequenza

La frequenza è il parametro fisico che determina l'altezza di un suono, cioè la caratteristica che consente di distinguere un suono acuto da un suono grave. La gamma delle frequenze udibili dall'uomo si estende da circa 20 a circa 20000 Hertz, cioè da 20 a 20000 cicli al secondo: al di sotto della minima frequenza percepibile, sotto i 20 cicli al secondo, si hanno gli infrasuoni, al di sopra di quella massima, sopra i 20000 cicli al secondo, si hanno gli ultrasuoni. Se ci concentriamo sul campo delle frequenze udibili, quindi dei suoni, potremo affermare che maggiore è la frequenza, tanto più acuto sarà il

suono. Ma cosa intendiamo per Hertz o “cicli al secondo”? Per saperlo facciamo riferimento alla definizione di suono data da Riccardo Bianchini: “Per suono si intende quel fenomeno meccanico dato da una perturbazione di un mezzo di trasmissione (in genere l’aria) che abbia caratteristiche tali da essere percepito dall’orecchio umano. La vibrazione viene trasmessa all’aria, per esempio da una corda vibrante. La corda si sposta avanti e indietro, e durante questo spostamento comprime le particelle d’aria (molecole) da un lato e le espande dall’altro. Successivamente il moto si inverte, e le molecole che prima erano state compresse si espandono e viceversa. Le compressioni e le espansioni (cioè le perturbazioni dell’aria che inizialmente era in stato di quiete) si propagano poi con una certa velocità attraverso l’aria circostante in tutte le direzioni, dando luogo a onde sferiche.

Questa densità può essere espressa da un valore di pressione. Quando l’aria viene perturbata, il valore di pressione non è più costante, ma varia da punto a punto: aumenta dove le molecole sono compresse, diminuisce dove le molecole sono espanse

Il fenomeno può essere studiato sia dal punto di vista dello spazio (osservando il valore della pressione nei vari punti in un determinato istante) sia dal punto di vista del tempo (misurando il valore della pressione in uno stesso punto in funzione del tempo). Ad esempio, se immaginiamo di trovarci in un determinato punto, assisteremo a una successione di compressioni ed espansioni dell’aria.

All’istante $t-1$, ovvero prima dell’istante t_0 la pressione dell’aria è al suo valore normale, dato che la perturbazione non è ancora giunta al nostro punto di osservazione. All’istante t_0 la perturbazione giunge al nostro punto di osservazione, la pressione inizia a crescere, giunge al massimo all’istante t_1 , poi decresce fino a tornare al valore normale all’istante t_2 , continua a decrescere e giunge al minimo all’istante t_3 , per poi risalire fino al valore normale all’istante t_4 , e così via.

Si è fin qui descritto un ciclo del fenomeno. Se questo si ripete sempre allo stesso modo il fenomeno si dice periodico. Il tempo necessario al completamento di un ciclo si dice periodo, si indica con il simbolo T e si misura in secondi (s) o in millisecondi (ms). L’inverso del periodo, cioè il numero di cicli che vengono completati in un secondo, si dice frequenza, e si misura in Hertz (Hz) o cicli per secondo (cps). Se per esempio un’onda sonora ha periodo $T=0.01$ s (cioè 1/100 di secondo) la sua frequenza sarà di: $1/T = 1/0.01 = 100$ Hz (o 100 cicli al secondo)” (ibidem).

Ampiezza

Il secondo parametro fondamentale del suono è l’ampiezza, che dà informazioni sulla variazione della pressione sonora, e che permette di distinguere un suono di forte intensità da uno di intensità debole. La pressione sonora più debole che l’orecchio umano è in grado di percepire si dice soglia inferiore di udibilità, mentre la pressione sonora massima che un ascoltatore umano può sopportare si dice soglia del dolore, in quanto al di là di questa si ha una vera e propria sensazione di dolore fisico e danni permanenti all’organo dell’udito. Il valore massimo della pressione si dice ampiezza di

picco dell'onda sonora; il valore della pressione in un punto qualsiasi si dice invece ampiezza istantanea. Quando si indica l'ampiezza di un suono, ci si riferisce al valore dell'ampiezza di picco del suono stesso. Ad esempio, se indichiamo un'ampiezza di picco 1, avremo un'onda che parte da un'ampiezza istantanea 0 (all'istante t_0); poi l'ampiezza istantanea inizia a crescere, giunge al massimo all'istante t_1 (valore 1) poi decresce fino a tornare al valore 0 all'istante t_2 , continua a decrescere e giunge al minimo all'istante t_3 (-1) per poi risalire fino al valore 0 all'istante t_4 , e così via.

Questa è la rappresentazione dell'ampiezza di un'onda sonora in funzione del tempo. Il processo di digitalizzazione trasforma tale ampiezza in una serie di numeri compresi tra 1 e -1. I numeri così ottenuti possono essere usati per rappresentare graficamente la forma dell'onda. La posizione in cui si trova il ciclo di un'onda in un determinato istante viene chiamata fase.

(Riferimento bibliografico: Musica elettronica e sound design Vol.1)

3.2 Strumenti per la sintesi audio

Dopo aver introdotto i concetti base del suono, possiamo passare a definire la sintesi audio e a vedere gli strumenti utilizzati a questo scopo.

La sintesi audio indica il processo di creazione artificiale del suono tramite circuiti elettronici. Può avere la finalità di ricreare il suono di uno strumento tradizionale oppure di creare un timbro non esistente in natura. Il termine sintetizzatore deriva dal nome di uno strumento prodotto nel 1951 dalla RCA Corporation, l'Electronic Music Synthesizer, anche se questo non generava effettivamente il suono in tempo reale. La metodologia di generazione e modifica del suono si basa su due componenti: l'oscillatore e il filtro.

Un oscillatore è un componente che produce un suono periodico mediante la continua ripetizione di una forma d'onda scelta fra diversi tipi:

- sinusoidale (sine), produce un suono puro, privo di armoniche;
- triangolare (triangle), produce un suono simile all'onda sinusoidale ma presenta anche delle armoniche dispari con ampiezze che decrescono esponenzialmente rendendo il suono cupo o sordo;
- quadra (square), produce un suono più ricco di alte frequenze rispetto all'onda triangolare presentando armoniche dispari con ampiezze che decrescono costantemente;
- a dente di sega (sawtooth), produce un suono molto ricco di armoniche pari e dispari con ampiezze che decrescono costantemente;
- rettangolare (pulse), produce un suono simile all'onda quadra costituito però da tutte le armoniche dove le ampiezze delle armoniche pari sono differenti da quelle delle

armoniche dispari. Quest'onda non ha una struttura fissa ma può essere modificata regolandone la larghezza (pulse width) raggiungendo ai suoi estremi un suono brillante oppure un suono nasale;

Altri tipi di oscillatori che non producono onde periodiche vengono detti generatori di rumore e posso produrre due tipi diversi di rumore:

- rumore bianco (white noise), produce un suono aperiodico con ampiezza costante su tutto lo spettro delle frequenze;

- rumore rosa (pink noise), produce un suono aperiodico dove le componenti a bassa frequenza hanno ampiezza maggiore rispetto alle componenti ad alta frequenza;

I filtri sono i componenti in grado di alterare lo spettro armonico e quindi il timbro di un suono enfatizzando oppure eliminando determinate bande di frequenze. Ne esistono di diversi tipi e si differenziano per il loro comportamento:

- filtro passa alto, permette il passaggio delle frequenze al di sopra di una frequenza fissata detta frequenza di taglio;

- filtro passa basso, permette il passaggio delle frequenze al di sotto di una frequenza fissata detta frequenza di taglio;

- filtro passa banda, deriva dall'accoppiamento di un filtro passa alto e di un filtro passa basso. Permette il passaggio delle frequenze comprese fra le frequenze minima e massima fissate;

- filtro a soppressione di banda (notch), l'opposto di un passabanda ed elimina una ristretta banda di frequenze lasciando passare le altre inalterate;

Ogni filtro ha due caratteristiche che descrivono ulteriormente il suo comportamento: la risposta del filtro e la risonanza. La filter response indica la pendenza con cui il filtro elimina le frequenze al di fuori della propria banda passante (12dB, 24dB, ecc); la risonanza indica invece quanto vengono enfatizzate le frequenze prossime alla frequenza di taglio.

(Riferimento bibliografico: Musica elettronica e sound design Vol.1)

3.3 Tecniche di sintesi

La sintesi additiva è la prima tecnica che è stata sviluppata ed utilizzata; si basa sulla somma di forme d'onda elementari per la creazione di una forma d'onda più complessa. L'idea alla base di questa tecnica deriva dall'analisi di Fourier, infatti se una qualsiasi onda è scomponibile in più onde sinusoidali, allora tramite il procedimento inverso sarà possibile ottenere una qualsiasi onda sommando più onde sinusoidali pure. Nel caso in cui le onde semplici siano multiple tra loro, la sintesi viene detta per armoniche e il suono risultante verrà percepito come un unico suono avente un'altezza definita e riconoscibile.

Un classico esempio di strumento che utilizza questa tecnica di sintesi del suono è l'organo a canne; qui infatti le canne producono un suono semplice, e per ottenere un suono più ricco vengono utilizzate più canne che suonano contemporaneamente a differenti altezze multiple della fondamentale. Analizzando il suono di uno strumento reale si nota che l'energia spettrale si concentra attorno a poche bande di frequenza; queste bande corrispondono alle onde sinusoidali da cui è costituito il suono. Si nota che ogni parziale ha una propria evoluzione nel tempo, ad esempio nell'attacco saranno maggiormente presenti alcune parziali che poi diventeranno trascurabili nelle fasi successive. In generale le parziali possono essere o non essere armoniche della fondamentale.

La sintesi additiva sinusoidale può essere descritta dalla seguente formula:

$$s(n) = \sum_k A_k(n) * \sin(2\pi \frac{f_k(n)}{F_s} n + \Phi_k)$$

dove le onde sinusoidali coinvolte nella sintesi hanno ampiezza $A_k(n)$ e frequenza $f_k(n)$ tempo varianti. Questa tecnica è teoricamente in grado di riprodurre qualsiasi timbro, ma ha bisogno di una grande quantità di dati in quanto il numero di onde semplici dovrebbe tendere all'infinito per ricreare fedelmente un suono; il carico di informazioni mette a dura prova la velocità di calcolo. Per questo motivo la sintesi additiva è poco utilizzata nei prodotti commerciali e rimane esclusivamente una tecnica di studio.

(Riferimento bibliografico: Musica elettronica e sound design Vol.1)

3.4 Sintesi a spettro fisso e a spettro variabile

La sintesi additiva a spettro fisso si basa sulla decomposizione di un suono periodico complesso in una somma di oscillazioni sinusoidali semplici che non variano nel tempo. In altri termini, i parametri degli oscillatori che concorrono alla formazione del timbro finale non variano nel tempo.

Il rapporto tra le frequenze degli oscillatori rispetto a una frequenza base può originare un valore intero (in tal caso si parla di rapporto armonico) o meno (rapporto inarmonico).

Molti strumenti musicali convenzionali hanno parziali prevalentemente armoniche, ma alcuni no (ad es. le campane)

Si può ottenere varietà timbrica ad esempio rendendo variabile l'ampiezza delle componenti armoniche nel tempo. [1][SEP] Inoltre, non è necessario che le componenti siano (o rimangano) armoniche: per molti timbri le componenti inarmoniche sono di fondamentale importanza, e comunque possono aggiungere interesse a un dato timbro. Anche la variazione della frequenza degli oscillatori (ad esempio un passaggio da componenti inarmoniche ad armoniche) crea spettri variabili. [1][SEP]

(Riferimento bibliografico: Programmazione timbrica(Sintesi additiva))

3.5 Tecnologie usate

Max MSP

Max/MSP è un linguaggio di programmazione vero e proprio, in quanto permette di sviluppare qualsiasi tipo di funzione, da semplice a complessa. È basato sulla programmazione grafica, ossia sul creare programmi, detti patch, collegando tra loro vari oggetti utilizzando appositi “cavi”; è un approccio che ricorda molto gli strumenti elettronici del ventesimo secolo in cui i suoni venivano creati e trasformati da oggetti elettronici che erano collegati fra loro tramite patch cables. Non è l'unico aspetto che lo differenzia dai linguaggi di programmazione più tradizionali come C o Java: Max/MSP è un linguaggio real-time. In C per esempio, un programmatore deve scrivere un codice in forma di testo in un file che deve poi compilare per poterlo successivamente utilizzare; in Max/MSP invece non esiste un vero e proprio stacco fra il processo di programmazione e il processo di esecuzione del programma in quanto ogni azione ha effetto nel momento stesso in cui viene completata. Per questo motivo molti artisti utilizzano Max/MSP (o Pd) nelle loro performance. L'unità su cui si basa lo sviluppo di nuovi programmi in Max/MSP è l'oggetto; le patch, come si è visto, sono formate da più oggetti collegati tra loro con “cavi” che connettono gli ingressi degli oggetti detti in-lets e le uscite degli oggetti dette out-lets. I cavi possono essere di due spessori a seconda del tipo di dati che trasportano: cavi sottili trasportano dati di controllo, cavi spessi trasportano segnale audio. Allo stesso modo esistono due diversi tipi di oggetti: gli oggetti che elaborano dati di controllo e gli oggetti che elaborano segnali audio. Le altre unità base del linguaggio sono i messaggi, le GUI box e i commenti. I messaggi si utilizzano per modificare il modo in cui si comportano gli oggetti, vengono collegati a questi ed inviano il proprio messaggio quando vengono cliccati oppure quando ricevono un comando apposito detto bang. Le GUI box sono, come suggerisce il nome, delle “graphical user interfacebox”, ossia degli oggetti con cui l'utente può interagire variandone l'aspetto mentre la patch è in esecuzione; possono presentarsi in forma di number box, fader (slider), interruttori (toggle), manopole (knob) o altro.

Pure Data

Pure Data è il predecessore di Max/MSP ed è un programma open source sviluppato negli anni '90 da Miller Puckette e utilizzato negli ambiti audio, video e grafico. Il suo utilizzo non si limita al solo processo di composizione, Pd infatti viene utilizzato anche per live performance musicali, veejaying, analisi audio, interfacciamento con sensori, controllo di robot e interazioni con siti web. È un software multiplatforma che può essere installato ed utilizzato su Windows, Mac OS X, GNU/Linux e su piattaforme mobili come iPhoneOS, Android e Maemo.

(Riferimento bibliografico: Musica elettronica e sound design Vol.1)