

Conservatorio di Musica Santa Cecilia

Dipartimento di Nuove Tecnologie e Linguaggi Musicali



Tesi di Laurea Biennale in Musica Elettronica

Sistemi Complessi Adattivi per la performance musicale in Live Electronics

Relatore:

Giuseppe Silvi

Candidato:

Luca Spanedda

Correlatore:

Agostino Di Scipio

Anno Accademico 2021/2022

Dichiarazione

Dichiaro che il sottoscritto nonché autore del documento è il responsabile del suo contenuto, e per le parti tratte da altri lavori, queste vengono espressamente dichiarate citando le fonti.

Luca Spanedda

Ringraziamenti

Prima di entrare nel merito, voglio ringraziare qui le persone che hanno reso possibile e significativo questo percorso che ho intrapreso. La mia famiglia, che mi ha sempre supportato durante il mio percorso. Tutti i miei amici, che sono artisti, pensatori, e persone dal grande valore umano. I miei compagni di corso, che sono fantastici compositori dalle idee più stravaganti, e questi ultimi insieme ad i miei amici si sono rivelati esser stati per me importanti compagni di vita. Giuseppe Silvi, che mi ha accompagnato e guidato in questi ultimi anni sia da maestro che da amico, sempre amorevolmente nel mio percorso compositivo, ed insieme a lui, voglio ringraziare tutti i grandi Maestri e Professori del dipartimento di Musica Elettronica, a cui devo tanto del mio percorso, della mia crescita e del mio operato: Pasquale Citera, Nicola Bernardini, Marco Giordano, Luigi Pizzaleo, Federico Scalas. E il caro ex-Maestro Michelangelo Lupone, che ha formato il mio pensiero compositivo, e che mi ha sempre incoraggiato a fare del mio meglio e rinnovare il mio entusiasmo per la musica giorno per giorno. E infine ringrazio di cuore Agostino Di Scipio e Dario Sanfilippo, che sono per me grandi mentori e persone straordinarie, e che mi hanno accompagnato in questo ultimo periodo del mio percorso, aiutandomi e incentivandomi a portare avanti le mie idee visionarie per la composizione elettroacustica, rinnovando le mie prospettive. Sono grato a tutti voi senza il quale questo percorso non sarebbe stato lo stesso e non sarei giunto a questo grande traguardo, o meglio, punto di partenza per nuovi orizzonti. Grazie a tutti di cuore.

Abstract

Il lavoro qui presentato è uno studio di analisi, implementazione e esecuzione di tre Sistemi Complessi Adattivi per la performance musicale in Live Electronics. La scelta di questi tre sistemi corrisponde a tre diversi casi di studio nell'implementazione di dinamiche non lineari sfruttate per la generazione dei comportamenti emergenti nei Sistemi Complessi. Una prima parte del lavoro tratterà dell'implementazione e l'analisi di due brani rispettivamente di Agostino Di Scipio e Dario Sanfilippo. Di Agostino di Scipio un sistema con non linearità provenienti dal mondo fisico, che sfrutta fenomeni generati dalla catena elettroacustica all'interno dell'ambiente e riportati poi all'interno del sistema digitale. Di Dario Sanfilippo invece un sistema che sfrutta delle non linearità appositamente programmate dal compositore nel mondo digitale, controllate tramite agenti di autoregolazione scritti nel software. Infine l'ultima parte del lavoro è dedicata alla composizione di un mio brano, che sfrutta elementi di logiche ibride apprese dai due casi di studio presentati qui, e che andrà a conclusione del lavoro di ricerca sviluppato durante il corso della tesi.

Contents

1	Introduzione	2
1.1	La Cibernetica	3
1.2	Le cibernetiche nella musica	5
1.3	Il Feedback	13
2	Ecosistemi Udibili	16
2.1	L'interazione Uomo-Macchina-Ambiente	17
2.2	Il Meccanismo LAR	18
2.3	Trasformazioni del suono	27
3	Sistemi Autonomi	32
4	La Composizione di RITI : un sistema caotico ibrido	33
A	First appendix	34
A.1	aelibrary.lib	34
B	Second appendix	41

List of Tables

List of Figures

1 Introduzione

All'inizio del XX Secolo si manifestò una situazione globale di importanti cambiamenti in tutti gli ambiti.

Nel mondo dell'arte con la nascita delle avanguardie artistiche e in risposta alla problematica del dover trovare nuovi modi di fare che riflettano le tematiche della società attuale. Nelle scienze, con l'esigenza di dover introdurre nuovi paradigmi per far fronte alla grande crisi dei fondamenti e delle certezze. Durante il corso del secolo poi, questi cambiamenti hanno portato ad importanti punti di incontro non più occasionali fra questi due ambiti. La figura dell'artista inizia ad interessarsi alle nuove tecnologie e teorie scientifiche, e questo è stato un importante punto in comune a tutte le avanguardie dell'epoca, inclusa quella musicale.

Nel caso di questa tesi, l'attenzione che ripongo a questo scenario del XX Secolo è in particolare su un cambio di paradigma scientifico nascente durante la seconda guerra mondiale e consolidato al termine di questa, la nascita della cibernetica e la conseguente formulazione di scienze della complessità. La complessità, non è un ambito trattato da una sola scienza, ma più un nuovo modo di pensare e di osservare i fenomeni della realtà.

Se nella cosmologia greca, questa realtà veniva spiegata come caos per l'insieme disordinato e indeterminato degli elementi materiali, contrapposto al cosmos che rappresenta l'ordine, come si può osservare fra i miti delle varie Teogonie fra cui la più famosa quella scritta da Esiodo.¹ Oggi la parola caos ha invece un significato decisamente meno generale. Il caos, anzi il caos deterministico, è la scienza che studia i sistemi dinamici che esibiscono una sensibilità esponenziale rispetto alle condizioni iniziali. O, in termini più rigorosi, è la scienza che studia la dinamica dei sistemi non lineari. Questo cambio di paradigma ha avuto inizio verso la fine del XIX secolo, quando uno studioso nell'ambito della meccanica classica, Henri Poincaré, osservò e analizzò la possibilità di un comportamento fortemente irregolare di alcuni sistemi

¹Sofia Ranzato. "L'origine del mondo divino Una lettura di Esiodo". ita. Thesis. Facoltà di Lettere e Filosofia C. d. L. S. in Scienze dell'Antichità, 2006/2007, p. 10.

dinamici studiando il problema dei tre corpi, che lo portò alla scoperta del caos matematico.² La scoperta di Poincaré segnerà un punto di svolta che verrà ripreso poi solamente negli anni '50 del secolo successivo dal meteorologo Edward Norton Lorenz, quando nel '63 Lorenz pubblicherà il suo articolo *Deterministic Nonperiodic Flow*³, nel quale tratta del comportamento caotico in un sistema semplice e deterministico, con la formazione di un attrattore strano, e aprendo di fatto ufficialmente la strada quella che diverrà poi la Teoria del Caos, mostrando come in realtà all'interno dell'ordine emergano forme di disordine, e all'interno del disordine siano presenti forme di ordine.

1.1 La Cibernetica

Tornando a questo complesso scenario del XX secolo, al termine della seconda guerra mondiale e qualche decennio prima della formulazione della Teoria del Caos, uno dei più importanti avanzamenti nelle scienze che contribuì alla formazione del primo paradigma della complessità, risiedette nell'introduzione della cibernetica.

La cibernetica è la scienza che studia i principi astratti di organizzazione nei sistemi complessi, ed ebbe inizio durante gli anni della seconda guerra mondiale, merito del fisico e matematico Norbert Wiener. Nel '40 Wiener insieme ad altre ad altre prominenti figure provenienti da diversi ambiti scientifici, come Ross Ashby, Margaret Mead, Gregory Bateson, Heinz von Foerster, partecipano ad una serie di conferenze multidisciplinari chiamate "The Macy Conferences", inizialmente intitolate come "Feedback Mechanism in Biology and the Social Sciences" con l'obiettivo comune di andare a definire gli ambiti di interesse della nuova scienza. A seguito nel '48, ispirato dalla meccanica ed i suoi risultati conseguiti durante la guerra e contemporaneamente dallo sviluppo della teoria della comunicazione (o informazione)

²June Barrow-Green. *L'Ottocento: astronomia. Il problema dei tre corpi e la stabilità del Sistema solare*. URL: https://www.treccani.it/enciclopedia/1-ottocento-astronomia-il-problema-dei-tre-corpi-e-la-stabilita-del-sistema-solare_%28Storia-della-Scienza%29/#:~:text=La%20formulazione%20del%20problema%20dei,il%20moto%20negli%20istanti%20successivi.. (accessed: 03.11.2022).

³Edward Lorenz. "Deterministic Nonperiodic Flow". In: *Journal of Atmospheric Sciences* 20.2 (1963), pp. 130–148.

di Claude Shannon, con la volontà di sviluppare una teoria generalizzata dei principi di organizzazione e controllo nei sistemi emersi durante le conferenze, pubblicherà un libro: *La cibernetica, controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina*; in cui definiva l'ambito di interesse e gli obiettivi della nuova disciplina inaugurando anche l'uso del nuovo termine da lui coniato. A seguito di questo libro che riscuoterà un importante successo, le conferenze presero il nome di "Cybernetics, Circular Causal, and Feedback Mechanism in Biological and Social Systems",⁴ riconoscendo Wiener come la principale figura di spicco della nuova scienza.

In particolare come evidenziato fino ad ora dalla sua natura multidisciplinare, la cibernetica non si interessa di individuare in cosa consistano questi sistemi, ma più che altro comprenderne il loro funzionamento.

Le fortunate premesse iniziali della cibernetica risiedevano in una convinzione da parte di questi scienziati provenienti dai differenti ambiti disciplinari, che esistesse uno "schema processuale" comune ad organismi viventi e macchine, rintracciato attraverso una ricerca uniforme garantita dall'utilizzo di un metodo "sintetico" e "comportamentale". L'aspetto meta-disciplinare del pensiero cibernetico, esplicito nella sua fondazione, godrà però di una fama più popolare che consegnerà in importanti realizzazioni tra l'inizio degli anni '60 e la metà del '70, grazie al contributo degli scienziati Heinz von Foerster, Margaret Mead, Gregory Bateson, e altri; proprio in quel periodo si compieranno ulteriori passi fondamentali che porteranno il pensiero sistemico verso un consolidamento in una scienza più concreta, uno dei casi più rilevanti in questo senso è il passaggio da "Cibernetica di primo ordine" a "Cibernetica di secondo ordine", anche chiamata come "la cibernetica dei sistemi di osservazione", questa distinzione si deve al fisico e filosofo Heinz Von Foerster⁵

La differenza fra cibernetica di primo e secondo ordine risiede principalmente nel

⁴Luca Fabbris e Alberto Giustiniano. *CFP18 cibernetica, sistemi, teorie, modelli*. URL: <https://philosophykitchen.com/2022/03/cfp18-cibernetica-sistemi-teorie-modelli/>. (accessed: 03.11.2022).

⁵Bernard Scott. "Second-order cybernetics: an historical introduction". In: *Kybernetes* 33.9.10 (2003), pp. 1365–1378. DOI: [doi:10.1108/03684920410556007](https://doi.org/10.1108/03684920410556007). URL: <https://sites.ufpe.br/moinhojuridico/wp-content/uploads/sites/49/2021/10/Ciber-2b-22-out.-second-order-cybernetcs.pdf>.

fatto, che mentre nel primo periodo lo studioso di cibernetica (di primo ordine) studiava un sistema da un punto di vista passivo, da quello dell'osservatore dei comportamenti del un sistema, senza tener conto della propria influenza nei casi di studio. Il cibernetico di secondo ordine invece, è consapevole della propria influenza all'interno del sistema, riconoscendo il sistema come un agente con cui interagire e riconoscendo esso stesso come agente nell'interazione col sistema, e di conseguenza proprio come spiega Heinz Von Foerster nei suoi scritti, di come la realtà per come la percepiamo possa esistere soltanto se si tiene conto del fatto che la sua rappresentazione è fortemente dipendente dall'esistenza di un ambiente che racchiude il sistema stesso,⁶ l'organizzazione ed eventuale disorganizzazione di nessun sistema può esistere se questo comportamento non viene studiato tenendo in considerazione l'ambiente che lo racchiude. A partire da queste importanti premesse e dalle conseguenze che la cibernetica ha avuto in tutti gli ambiti delle scienze, è doveroso notare che ha avuto un ruolo centrale nello sviluppo di molti studi scientifici e la nascita di nuovi ambiti come: l'intelligenza artificiale, la teoria del caos, la teoria della catastrofe, la teoria dei controlli, la teoria generale dei sistemi, la robotica, la psicologia, le scienze sociali, e così via.

1.2 Le cibernetiche nella musica

All'inizio degli anni '60 in seno alla nascita delle scienze complesse, l'uso di sistemi di feedback e la rilevanza dei circuiti informativi chiusi nelle strutture organizzate ha goduto di uno slancio popolare anche nel mondo della musica e più in generale dell'arte.

Tuttavia come vedremo, a parte casi popolari di deliberate dichiarazioni formali da parte degli artisti, non bisogna pensare ai lavori che andremo a citare come atti pionieristici che sanciscono una volta per tutte la nascita della cibernetica in musica, ma è più corretto pensare alle questioni sistemiche come ad una sensibilità

⁶Heinz Von Foerster. *Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition*. en. Vol. 2. 1. 2005. DOI: 10.29173/cmplct8737. URL: <https://journals.library.ualberta.ca/complicity/index.php/complicity/article/view/8737> (visited on 11/22/2022).

comune condivisa in un certo periodo da diversi autori provenienti da diverse parti del mondo, che sono stati influenzati e si sono influenzati a vicenda con le stesse idee per un interesse condiviso riguardo le teorie cibernetiche di Weiner e delle Macy Conferences.

In Europa nel '51, Herbert Eimert, Werner Meyer-Eppler e Robert Beyer di comune accordo con il direttore della NWDR, Hanns Hartmann, attrezzarono e crearono quello che divenne il primo studio per la Musica Elettronica.⁷ Questo divenne lo studio più influente al mondo durante gli anni '50 e '60, con ospiti alcuni dei più importanti compositori contemporanei provenienti da tutta Europa, come Franco Evangelisti, Karlheinz Stockhausen, György Ligeti, Roland Kayn, Herbert Brün, Cornelius Cardew, e molti altri. In quel periodo il lavoro di ricerca condotto da Werner-Meyer Eppler, scienziato, musicista, fra gli ideatori e direttori dello studio di Colonia e direttore dell'istituto di fonetica all'università di Bonn, pone una certa attenzione in quelle che furono le prime teorizzazioni della teoria dell'informazione e della cibernetica, che porteranno l'autore alla scrittura di importanti testi di ricerca. Fra le altre cose Werner-Meyer Eppler nel '50 escogita un uso particolare del magnetofono, mediante retroazione (*Feedback*) fra le testine di riproduzione e registrazione escogita una forma di *Tape Delay*.⁸ Dalle esperienze dello studio di Colonia ne usciranno molti compositori interessati alle teorie cibernetiche.

Un caso importante in questo scenario è quello del compositore Roland Kayn, Il progetto di musica cibernetica di Kayn ha ricevuto il suo impulso iniziale quando nel '53, ad allora giovane musicista e studente universitario, venne in contatto con il filosofo Max Bense professore all'Università Tecnica di Stoccarda. Subito dopo il suo primo incontro con Bense sempre nel '53, Kayn entrò in contatto con Herbert Eimert presso lo studio elettronico della Westdeutscher Rundfunk di Colonia. Roland Kayn era affascinato dal potenziale sonoro offerto dalle nuove tecnologie,

⁷Agostino Di Scipio. *Circuiti del Tempo Un percorso storico-critico nella creatività musicale elettroacustica e informatica*. it. N. 38. Lucca: Libreria Musicale Italiana, 2021. ISBN: 9788855430685.

⁸Di Scipio, *Circuiti del Tempo Un percorso storico-critico nella creatività musicale elettroacustica e informatica*.

ma trovava che l'estetica serialista dominante nello studio in quegli anni era per lui qualcosa di troppo restrittivo, esperienza che lo portò per i successivi dieci anni a concentrarsi principalmente sulla composizione strumentale e le applicazioni delle teorie cibernetiche in modo formale.⁹ Sempre in quel periodo, sostanzialmente diverso e altrettanto importante è il caso di Franco Evangelisti, che dopo essersi avvicinato alla musica elettronica anche lui sotto la guida e su invito di Herbert Eimert allo studio elettronico della Westdeutscher Rundfunk di Colonia nel '56, iniziò le sue ricerche che dopo un anno e mezzo di intenso lavoro lo portarono al completamento della sua forse più importante composizione elettronica, *Incontri di fasce sonore*, trasmessa da Radio Colonia nel '57. Nel '59, Evangelisti è nuovamente in Italia, dove fu tra i promotori della Settimana Internazionale di Nuova Musica a Palermo. L'anno seguente, assieme ad altri musicisti fondò l'Associazione Nuova Consonanza, con lo scopo di diffondere "la musica contemporanea italiana e straniera con concerti convegni ed eventi di vario tipo. Dall'associazione nacque più tardi l'omonimo Gruppo di improvvisazione che allora veniva presentato come "il primo ed unico gruppo formato da compositori-esecutori" e che permise ad Evangelisti di mettere in pratica le proprie teorie sull'improvvisazione, riguardo queste citerà più volte deliberatamente in interviste, scritti, e altre documentazioni, il suo approccio sistemico/cibernetico in quelle che saranno le esperienze con il Gruppo.

Nel '60 si trasferisce a Roma Roland Kayn da vincitore del Prix de Rome, dove dal '64 assieme ad Aldo Clementi e Franco Evangelisti prende parte al Gruppo di improvvisazione Nuova Consonanza del quale fece parte sino al '68, ed è in quel periodo che Kayn ispirato dalle teorie della cibernetica iniziò a sperimentare estensivamente con sistemi di autoregolazione basati su feedback loops, non più solo come modelli formali per composizioni strumentali ma anche come reti di generatori di segnale analogici.

Sempre negli anni '50 in Europa, uno dei primi artisti nella storia dell'arte ad evo-

⁹Thomas W. Patteson. "The Time of Roland Kayn's Cybernetic Music". In: (), pp. 1–11. URL: <https://kayn.nl/wp-content/uploads/2016/12/The-Time-of-Roland-Kayns-Cybernetic-Music-Thomas-Patteson.pdf>.

care l'uso della cibernetica nei propri lavori è stato Nicolas Schoeffer con il suo ciclo di lavori "spazio-dinamici", in acronimo CYSP - Cybernetic Spatiodynamic. In particolare Schoeffer ha creato la prima installazione ad implementare meccanismi di auto-regolazione, il CYSP-1¹⁰, capace di essere sensibile all'ambiente esterno e a se stesso grazie ad una serie di tecnologie offerte dalla compagnia Philips (fotocellule e microfoni), questa prima scultura spazio-dinamica, è dotata di totale autonomia di movimento (viaggio in tutte le direzioni a due velocità) e di rotazione assiale ed eccentrica (messa in moto delle sue 16 lastre policrome pivotanti), ed era capace di reagire sonoramente a questi stimoli riproducendo una serie di registrazioni composte dal compositore francese Pierre Henry, collaboratore di Pierre Schaeffer ed insieme a lui figura centrale nella nascita della Musique concrète. Questa scultura è celebrata come una prima e prima opera di carattere cibernetico che è entrata nel mondo dell'arte.

cambiando continente e passando dall'Europa ad osservare cosa stava accadendo in America in quegli anni, troveremo tanti altri rilevanti atti pioneristici, come ad esempio quelli che sono stati i lavori di Louis e Bebe Barron. Louis e Bebe Barron furono due compositori e pianisti che si interessarono alla musica elettronica sin dal periodo della sua origine. Intorno al '50 i due si trasferirono al Greewitch Village a New York dove furono attivi in collettivi di musica sperimentale collaborando con persone come John Cage ed altri. I Barron trasformarono la loro casa in una specie di studio di musica Elettronica dove scrivevano soundtracks per film sperimentali. Per Louis e Bebe il grande passo arrivò nel '56, quando i due si ritrovarono a scrivere la soundtrack per il film: *Forbidden Planet*, questo sarà il primo film mainstream di Hollywood ad utilizzare una soundtrack composta solamente ed interamente da elettronica. L'elettronica di *Forbidden Planet* è stata costituita a partire da dei circuiti appositamente creati da Louis e Bebe, i due deliberatamente ispirati dalle

¹⁰Dario Sanfilippo and Andrea Valle. "Feedback Systems: An Analytical Framework". In: *Computer Music Journal* 37.2 (2013), pp. 12-27. DOI: doi:10.1162/COMJa00176. URL: <https://direct.mit.edu/comj/article-abstract/37/2/12/94420/Feedback-Systems-An-Analytical-Framework?redirectedFrom=PDF>.

teorie cibernetiche di Wiener dichiareranno:¹¹

What we did was pretty elementary: we would attach resistors and capacitors to activate these circuits... negative and positive feedback was involved - Wiener talks about all that. The same conditions that would produce breakdowns and malfunctions in machines, made for some wonderful music. The circuits would have a "nervous breakdown" and afterwards they would be very relaxed, and it all came through in the sounds they generated.

I circuiti in retroazione erano destinati al corto circuito, e utilizzati appositamente come materiale per la generazione acustica di trame incise su nastro. Altri importanti compositori di quel periodo sono al lavoro su composizioni che sfruttano sistemi di Feedback, fra i più rilevanti: John Cage, David Tudor, Robert Ashley, Gordon Mumma e Steve Reich.¹²

Un secondo periodo costituito da un approccio sistemico più consapevole che inizia a tracciare la strada per un pensiero ecosistemico della composizione, in un certo senso si può affermare che inizi dal lavoro di Alvin Lucier, che nel '69 scriverà quello che sarà un brano emblematico per la cibernetica in musica *I'm sitting in a room*, è un altro brano importante per quelle che sono le logiche di interazione sistemiche fra uomo/macchina/ambiente che approfondiremo più avanti nel corso della tesi, e che proprio come nel passaggio da cibernetica di primo ordine a quella di secondo ordine di cui parla Heinz Von Foerster, viene sancita l'interazione sistemica dove il musicista l'ambiente e lo strumento divengono parti di un insieme complesso, il sistema stesso di *I'm sitting in a room* si osserva tramite l'ambiente nel corso della sua evoluzione, tracciando una storia di relazioni e interazioni con questo. Nel brano di Lucier, un performer recita in un microfono un testo che descrive il fenomeno che avverrà poco a poco, la voce recitante nel microfono viene registrata e poi riprodotta

¹¹Christina Dunbar-Hester. "Listening to Cybernetics: Music, Machines, and Nervous Systems, 1950-1980". en. In: *Science Technology e Human Values* 35.1 (2010), pp. 113-139. URL: <http://www.jstor.org/stable/27786196>.

¹²Sanfilippo and Valle, "Feedback Systems: An Analytical Framework".

da altoparlanti posti nella stanza, il suono della registrazione riprodotta da questi altoparlanti viene poi registrato nuovamente durante la riproduzione da un secondo supporto, e l'operazione viene ripetuta in un in una casualità circolare di volta in volta fino alla fine dove rimarranno solo i contributi provenienti dalle frequenze di risonanza della stanza, dalla voce e dalla catena elettroacustica, dando vita nel loro insieme ad un processo molto lento di Feedback positivo dove la natura non lineare del processo e degli agenti porterà di volta in volta ad un risultato sempre differente. Lucier racconta di essere stato originariamente ispirato a creare *I Am Sitting in a Room* dopo aver partecipato a una conferenza al MIT, in cui Amar Bose, imprenditore, ingegnere elettrico e tecnico del suono, descrisse come testava le caratteristiche degli altoparlanti che stava sviluppando, ri-diffondendo l'audio prodotto nella stanza e poi riprendendolo tramite i microfoni, in quella che è la stessa casualità circolare ripresa ed utilizzata artisticamente da Lucier.¹³ Dopo l'esperienza di Lucier, Nicolas Collins, formatosi nella tradizione compositiva sperimentale con Alvin Lucier, David Behrman e David Tudor, con i quali ha lavorato a stretto contatto, nel '74 compone il brano *Pea Soup* mentre è studente alla Wesleyan University. In *Pea Soup* una rete auto-stabilizzante di circuiti analogici (originariamente tre Countryman Phase Shifter) sposta il tono del feedback elettroacustico su una frequenza di risonanza diversa ogni volta che questo si inizia a costruire. Il suono familiare del fenomeno è sostituito da schemi instabili che danno vita ad un raga site-specific rispecchiando la personalità acustica della stanza.¹⁴ Anche in questo lavoro appare chiaro come una certa sensibilità nei confronti del fenomeno di Feedback si stia avvicinando ad una logica più vicina a quella della cibernetica di secondo ordine. Per citare un'ultima esperienza americana rilevante, c'è infine il caso della Neural Synthesis di David Tudor. David Tudor nel '89 incontrò il progettista e designer Forrest Warthman dopo uno show a Berkeley, che lo introdusse all'idea di utilizzare reti neurali analogiche per combinare tutta la sua complessa attività live-electronics in un unico

¹³Massachusetts Institute of Technology. *Alvin Lucier on "I am sitting in a room"*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=v9XJWBZBzq4>. (accessed: 04.11.2022).

¹⁴Nicolas Collins. "'Pea Soup' – A History". In: (September, 2011), pp. 1–23. URL: <http://www.nicolascollins.com/texts/peasouphistoryOLD.pdf>.

computer.¹⁵ Uno dei risultati è apprezzabile nei CD's "Neural Synthesis", di cui in uno sono presenti delle importanti note di copertina di Warthman:

This recording combines the art of music, the engineering of electronics, and the inspiration of biology. In it, David Tudor orchestrates electronic sound in ways analogous to our biological bodies' orchestration of consciousness... The neural-network chip forms the heart of the synthesizer. It consists of 64 non-linear amplifiers (the electronic neurons on the chip) with 10240 programmable connections. Any input signal can be connected to any neuron, the output of which can be fed back to any input via on-chip or off-chip paths, each with variable connection strength. The same floating-gate devices used in EEPROMs (electrically erasable, programmable, read-only memories) are used in an analog mode of operation to store the strengths of the connections. The synthesizer adds R-C (resistance-capacitance) tank circuits on feedback paths for 16 of the 64 neurons to control the frequencies of oscillation. The R-C circuits produce relaxation oscillations. Interconnecting many relaxation oscillators rapidly produces complex sounds. Global gain and bias signals on the chip control the relative amplitudes of neuron oscillations. Near the onset of oscillation the neurons are sensitive to inherent thermal noise produced by random motions of electron groups moving through the monolithic silicon lattice. This thermal noise adds unpredictability to the synthesizer's outputs, something David found especially appealing. The synthesizer's performance console controls the neural-network chip. R-C circuits, external feedback paths and output channels. The chip itself is not used to its full potential in this first synthesizer. It generates sound and routes signals but the role of learner, pattern-recognizer and responder is played by David, himself a vastly more complex neural network than the chip Neural Synthesis No.6-9 liner notes by

Forrest Warthman, Palo Alto 1995¹⁶

¹⁵Mathis Nitschke. *Analog Neural Synthesis*. URL: <https://mlure.art/analog-neural-synthesis/>. (accessed: 04.11.2022).

¹⁶<http://www.lovely.com/albumnotes/notes1602.html>.

Ad oggi svariati compositori a partire dalle trame delineate dalle scienze complesse e dai lavori citati, operano nell'ambito della musica elettronica con un approccio sistemico, fra questi molti sono italiani.

Ci sono casi particolarmente rilevanti come quello di Agostino Di Scipio, uno dei maggiori compositori con più contributi all'attivo, da prima con i suoi studi sul caos e sui sistemi complessi in modo formale ad inizio anni '90¹⁷, e poi verso metà anni '90 con l'inizio del lavoro sulla composizione ecosistemica con il suo ciclo di lavori - ecosistemico udibile, che come vedremo a seguito riprende quelle che sono le tematiche della cibernetica di secondo ordine dove il sistema si osserva tramite l'ambiente circostante. O dell'(ex)allievo di Di Scipio, Dario Sanfilippo, compositore e ricercatore con all'attivo recenti importanti pubblicazioni e lavori nell'ambito dei sistemi autonomi DSP in musica, tematiche che rimandano alle proposte che vanno dai Barron fino alla Neural Synthesis di Tudor, seppure in forme più primordiali nel caso di questi ultimi, così come Di Scipio nella sua sensibilità ecosistemica sembra rimandarci ai lavori pionieristici di Lucier e Collins.

C'è poi il caso di Michelangelo Lupone, che a sua volta è stato maestro di Agostino Di Scipio, che con i suoi lavori di Feedback sulla materia è arrivato durante il corso degli anni '90 allo sviluppo pionieristico di strumenti aumentati in Feedback, quale ad esempio il Feed-Drum, innovativo strumento elettroacustico a percussione. E ci sono poi anche altri compositori internazionalmente riconosciuti con all'attivo composizioni e ricerche rilevanti in lavori con il Feedback e i sistemi autonomi, come: Andrea Valle, Giuseppe Silvi, Simone Pappalardo.

Parlando delle questioni italiane e tornando all'origine delle questioni romane, nonostante la natura frammentaria e sottile della musica elettronica romana, in effetti è comunque possibile individuare e tracciare una sorta di collegamento che ci porta sin dalle prime suggestioni sulla cibernetica avute da Evangelisti con gli altri membri di Nuova Consonanza, fino ad oggi. Michelangelo Lupone ad esempio che abbiamo citato per i suoi lavori e per esser stato maestro di Agostino Di Scipio, studia dal '70

¹⁷Agostino Di Scipio. "Composition by exploration of non-linear dynamic systems". In: *ICMC Glasgow 1990 Proceedings*. C.S.C. University of Padova, 1990, pp. 324-327.

al '79, sotto la guida di Domenico Guaccero per la Composizione e Giorgio Nottoli per la Musica elettronica. Domenico Guaccero è a sua volta fra i fondatori, insieme ad Evangelisti ed altri compositori quali Aldo Clementi, Daniele Paris, Francesco Pennisi, dell'Associazione di Nuova Consonanza. Walter Branchi, noto anche lui per aver preso parte al Gruppo di Improvvisazione Nuova Consonanza, durante gli anni '80 darà vita a degli incontri internazionali su Musica complessità, che radunavano compositori e scienziati di tutto il mondo. Di Scipio e Lupone in questo scenario, si sono interessati alle questioni sul Feedback in contemporanea portando avanti il discorso in maniera indipendente intorno alla fine degli anni '80, Di Scipio nel 1989, scrive gli appunti a base di semplici funzioni iterate da cui nacque poi il suo brano *Fractus*, per viola e supporto digitale. Lupone dal 1988, fonda ed inizia con il Centro Ricerche Musicali il suo lavoro con team multidisciplinari di ricerca, con la collaborazione di persone come Lorenzo Seno direttore scientifico del CRM. Tutto questo mette in luce come le problematiche relative alla cibernetica e i sistemi complessi siano stato un argomento molto sentito e vivo nella prassi della composizione elettroacustica in tutto il mondo.

1.3 Il Feedback

Il Feedback, nella sua espressione inglese, unisce le due parole *Feed* che significa 'alimentare', e *Back* 'all'indietro'. Il primo a introdurre il concetto di Feedback nella letteratura scientifica è stato lo scienziato inglese James Clerk Maxwell, il quale nel 1868 pubblicò uno studio¹⁸. sui sistemi automatici in cui metteva in evidenza come essi fossero in grado di correggersi in maniera automatica proprio grazie al *ritorno di informazione*. Maxwell anticipò quel concetto che arriverà a maturazione solo molti anni dopo con la nascita della Cibernetica con Norbert Wiener, che diede il nome di Cibernetica al campo dei suoi studi proprio in onore del lavoro di Maxwell - dal greco *kybernetiké téchne* sta per 'arte del governare', a cui si collega il termine inglese *governor* dell'articolo di Maxwell. In italiano il significato del termine può essere

¹⁸Mr. J. C. Maxwell. "on Governors". In: (1868).

tradotto come ‘retro-alimentazione’ o ‘retro-iniezione’ che ne preservano in qualche modo il significato originale della lingua inglese, tuttavia in molti preferiscono conservare la parola inglese Feedback.

Nella teoria cibernetica, e in genere in tutte le discipline scientifiche che usano approcci di tipo sistemico, quando il Feedback ha un effetto risultante dall’azione di un sistema (meccanismo, circuito, organismo ecc.) che si riflette sul sistema stesso per variarne e correggerne opportunamente il funzionamento, questo si può chiamare Retroazione.

Esistono sostanzialmente due tipi di retroazione nel Feedback: *positiva* e *negativa*. Il Feedback è generalmente detto negativo quando agisce in modo che il sistema funzioni sempre allo stesso modo, entro margini controllati di tolleranza e convergendo verso un comportamento, viene invece detto positivo quando tende a mantenere il sistema in uno stato di continuo cambiamento. Tuttavia queste definizioni possono variare da caso a caso, e nel corso della tesi ritorneremo su questi temi riguardo le possibili proprietà del Feedback, affrontando queste di volta in volta nei casi specifici. Per anticipare da ora alcuni esempi: ci basti pensare che nel controllo di un sistema complesso come può essere quello del Feedback elettroacustico, in un modello dove si possono introdurre delle linearità tramite retroazione all’interno del ciclo di feedback, potrebbe voler dire costringere la complessità a dei comportamenti più prevedibili, puntando uno stato di convergenza verso l’equilibrio.

Un esempio conosciuto è quello dell’intonazione del fenomeno Larsen, che da un comportamento complesso della sorgente e del ricettore, crescendo verso la saturazione per autoscillazione giunge infine ad uno stato stazionario, di stabilità. Mentre introdurre delle non linearità nel sistema tramite la retroazione, al contrario, può voler dire portare il sistema verso comportamenti non più prevedibili, in divergenza dall’equilibrio dello stato stazionario, e in alcuni casi verso quella che viene chiamata la soglia del caos. Questi due tipi di comportamento possono essere ottenuti per l’appunto sia velocizzando che rallentando questi processi in maniera fortemente dipendente dal caso specifico. Un secondo esempio esemplare, è invece quello dei

filtri digitali audio, pensati come un valido strumento di contrasto o avallamento rispetto a questo tipo di comportamenti, dove se si allineano le fasi si creano dei poli, mentre se si disallineano si punta generalmente alla complessità del sistema. Riguardo i filtri digitali basti pensare anche agli algoritmi di Modellazione Fisica degli strumenti, come ad esempio quello famoso di Karplus-Strong. Di fatto più in generale, la storia delle tecnologie elettroacustiche ha da sempre incorporato il principio del Feedback sin dalle sue origini e da prima della nascita della Cibernetica. Possiamo pensare a tecnologie come il triodo, chiamato inizialmente valvola audion di Lee De Forest, o i circuiti di feedback negativo - negative feedback amplifier - di Harold Black¹⁹.

¹⁹H.S. Black. “Stabilized Feed-Back Amplifiers”. In: *ALEE. committee on communication* (1933).

2 Ecosistemi Udibili

Uno degli esiti musicali più importanti che ha portato con sé il paradigma della complessità, riguarda essenzialmente l'aver smesso di scrivere musica per strumenti interattivi con cui farla (e viceversa), ed esser passati invece al comporre le interazioni tramite gli strumenti.

Fra le altre cose, nell'insieme delle parole: Sistema Tonale, che sta a significare quell'insieme delle regole di organizzazione ed uso dei suoni maggiormente utilizzati per produrre musica nella tradizione musicale Occidentale, è frequente che passi in secondo piano la parola sistema, che assume invece un significato centrale nel contesto di questa tesi; difatti molti compositori non sono passati solamente al comporre le interazioni, ma anche al comporre i sistemi stessi con cui fare la propria musica. Come accennato nell'abstract, le interazioni che ho ritenuto importante affrontare all'interno dei sistemi dei compositori cibernetici sono di due tipi: di sistemi che interagiscono con l'ambiente circostante appartenente al mondo fisico, e di sistemi che interagiscono con il proprio ambiente nel mondo digitale, ma prima di entrare nel merito del primo caso qui, è doveroso spendere qualche parola su cosa si intenda per ambiente.

Nessun sistema è separabile e isolabile dall'ambiente circostante, a prescindere dal fatto che il suo spazio vitale, sia nel mondo fisico o digitale. Proprio come ha mostrato Heinz Von Foerster non si può parlare di auto-organizzazione se non ci si riferisce essenzialmente a un ambiente che racchiuda il sistema al suo interno. E nella pratica musicale, la sensibilità nel comporre le interazioni è spesso lontana dall'idea del voler interagire con una consapevolezza effettiva del puntare ai cambiamenti di stato all'interno di un sistema con cui si interagisce, e a maggior ragione viene trascurata la possibilità di interagire con sistemi che abbiano la capacità di auto-osservarsi non dipendendo più direttamente dal controllo dell'esecutore secondo delle modalità prettamente lineari, ma dall'ambiente, con la capacità di guardare al proprio stato interno per creare autonomamente le interazioni. In particolare, nei sistemi auto-osservanti quello che si manifesta quando un sistema entra in interazioni

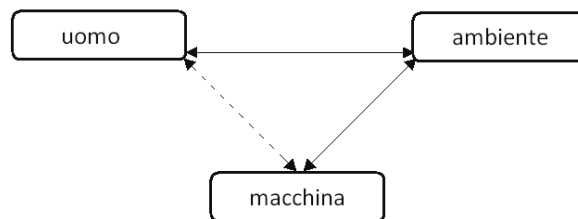
non distruttive con il proprio ambiente circostante, che coincide nella sostanza anche nel suo spazio vitale, è un Ecosistema.

In tal senso, i lavori del ciclo Ecosistemico Udibile di Agostino di Scipio, trovano fondamento a partire da fenomeni e relazioni che possono esistere e manifestarsi solamente nell'ambiente circostante da cui prende vita il sistema, che nel suo caso diventa proprio lo spazio acustico reale. Lavori come lo studio sul feedback, lo studio sul rumore di fondo, lo studio sulle risposte all'impulso, o lo studio sul silenzio, sono nella loro essenza dei sistemi che hanno come seme della loro morfogenesi un determinato comportamento appartenente allo spazio acustico reale, delimitato in questi studi da una stanza che ne racchiude al suo interno tutti gli agenti e le relazioni possibili, per costruirne una storia di relazioni dove il sistema si osserva attraverso lo spazio fisico, (ambiente) e si manifesta e vive solo attraverso di esso. In questo senso l'interprete, lo spazio, e gli ascoltatori, divengono essi stessi parte integrante del sistema, dove l'ascolto, diviene anche esso parte dell'insieme delle cose e delle relazioni che lo costituisce.

2.1 L'interazione Uomo-Macchina-Ambiente

Qual'è dunque l'esigenza alla base del comporre le interazioni invece che limitarsi al comporre musica per strumenti interattivi? Superare la classica relazione uomo-macchina dominante nella tradizione musicale, iniziando a pensare invece allo sconfinato universo delle nuove possibilità della complessità. Secondo Agostino Di Scipio, questo avviene in primo luogo grazie alla possibilità che la macchina possa rappresentarsi senza mediazione umana, e attraverso l'ambiente circostante,²⁰ e dunque poi alla possibilità di stabilire un flusso di relazioni macchina-ambiente. Consentendo in secondo luogo al musicista e performer la possibilità di potersi aprire ad un flusso di relazioni complesso fra uomo-macchina-ambiente dove le tre sono fortemente connesse e interdipendenti l'una dall'altra.

²⁰Agostino Di Scipio. "Polveri Sonore - Una prospettiva ecosistemica della composizione". it. In: *La Camera Verde* (2014). Publisher: La Camera Verde, 17–42 Pages. (Visited on 11/22/2022).



Interazione Uomo-Macchina-Ambiente

*la mossa decisiva è: passare da un lavoro che mira a usare mezzi interattivi per creare forme sonore desiderate ad un lavoro che mira a creare le interazioni desiderate e ad ascoltarne le tracce udibili. Nel secondo caso, si tratta di progettare, implementare, e rendere operativo un reticolo di componenti interconnesse il cui comportamento sonoro emergente si può chiamare musica.*²¹

La modalità con cui andrò a discutere in questo capitolo la composizione di interazioni ecosistemiche, è ponendo il focus su un lavoro di Agostino Di Scipio, l'Ecosistemico Udibile n.2, studio sul Feedback. Partendo dalla partitura e dai suoi scritti, ed implementando e analizzando il ruolo ed il compito dei singoli agenti all'interno del sistema che compongono nella loro totalità l'intero ecosistema del brano.

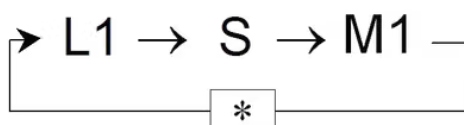
2.2 Il Meccanismo LAR

Il feedback elettroacustico (effetto Larsen), che abbiamo già detto esser stata una delle risorse centrali dei primi compositori cibernetici, è la condizione di partenza su cui Agostino Di Scipio opera per la costruzione degli Ecosistemi Udibili. Volendoci addentrare ora verso una spiegazione più tecnica del feedback elettroacustico, possiamo citare una definizione che Di Scipio ha esposto in un suo articolo pubblicato presso la rivista Online: ECHO dell' Orpheus Institute, in Ghent.²²

²¹Di Scipio, "Polveri Sonore - Una prospettiva ecosistemica della composizione".

²²Agostino Di Scipio. *A Relational Ontology of Feedback*. en. Jan. 2022. DOI: 10.47041/TKUL7223. URL: <https://echo.orpheusinstituut.be/article/a-relational-ontology-of-feedback> (visited on 11/22/2022).

A condenser microphone (M1) and a dynamic loudspeaker (L1) stand in the performance place (S), few or several meters apart, maybe not too far from walls (or curtains, or other larger surfaces). They are connected (through one or more amplification stages) to realize a very basic electroacoustic chain: $M1 \rightarrow L1 \rightarrow S$. There's no sound M1 should capture, though, no sound source save the minimal, barely audible turbulence of the background noise, in a situation of 'silence'. This 'sound-of-nothing' is amplified and heard through L1, whence it comes back in S. If amplification suffices, the L1 sound feeds back into M1 and the chain design closes onto itself, making a 'reinjection' circuit – a feedback loop. The amplitude level, the transductive technical features of M1 and L1, their relative distance, the distance from walls, etc. – all of that (and much more) sets the actual feedback loop gain. With not-too-high gain levels, what is engendered is an audible nuisance, a kind of 'halo': the sound reinjection decays more or less rapidly, in a kind of badly sounding, spectrally uneven reverb effect. With higher gain levels, the loop eventually enters a self-oscillatory regime, it may 'ring' or 'howl', as is often said. Because of the iterated reinjection, the barely audible but spectrally wide background noise accumulates in the loop and finally (quickly) yields an increasingly louder sustained sound of narrower spectrum – this is often heard as a peaking tone of definite pitch, or a tone cluster. That's the Larsen effect: a self-sustaining feedback resonance occasioned by a positive feedback loop (FB+) ('positive' here means greater than unit gain).

Schema $M1 \rightarrow L1 \rightarrow S$

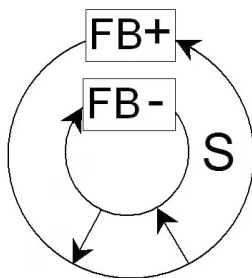
L'effetto Larsen: (dal nome del fisico Søren Absalon Larsen che per primo ne scoprì il principio), detto anche feedback elettroacustico, come abbiamo appena letto

è un fenomeno di retroiniezione che tende idealmente ad un'accumulazione infinita, che viene poi limitata in realtà dalla saturazione dei sistemi che la generano (relativi alla potenza massima, all'amplificazione, nonché alla sensibilità dei trasduttori e all'elasticità delle membrane). Che può anche essere oltre al microfono, un pick-up di uno strumento musicale elettrico, come una chitarra o un basso, o un trasduttore di altra natura... Esistono anche principi di Feedback acustico oltre che elettroacustico, come la risonanza acustica o la risonanza per simpatia, che sono i principi su cui si basa il funzionamento di quasi tutti gli strumenti musicali, ma doverose annotazioni a parte, non ne entrerò in questa sede nel merito del Feedback acustico ma di quello elettroacustico. Tornando dunque all'articolo di Agostino Di Scipio:

*In common sound engineering practice, audible feedback phenomena are a nuisance, a problem one should get rid of or substantially minimize. When direct level manipulation is not enough, one resorts to hard-limiting circuits, 'feedback killers' and alike devices... In a different attitude, one may instead consider feedback as a resource, a deliberately designed sound-making mechanism one can play with.*²³

per utilizzare il feedback come una risorsa, appare chiara la necessità di un intervento riguardo la sua crescita che porta alla saturazione dei sistemi, in tal senso una delle possibili soluzioni è quella di poter far calcolare al computer in tempo reale tramite diverse tecniche di *amplitude following* la stima dell'ampiezza del segnale in ingresso, ed utilizzare conseguentemente la *feature extraction* come segnale di controllo in retroazione negativa al sistema di Feedback elettroacustico. Questo meccanismo di controbilanciamento del guadagno del fenomeno è chiamato da Agostino Di Scipio col nome di LAR: *Audio Feedback with Self-regulated Gain*, e può essere implementato in DSP in diverse modalità e configurazioni, ognuna con le sue diverse caratteristiche ed esiti.

²³Di Scipio, *A Relational Ontology of Feedback*.



Schema del meccanismo LAR

Nella tradizione della computer music, ci sono in effetti diversi modi per realizzare un algoritmo di controbilanciamento del feedback in tempo reale. Alcuni di questi possono riguardare controbilanciamenti nel dominio della frequenza, con tecniche di filtraggio automatizzate (adattive) che hanno il compito di eliminare dallo spettro la presenza dell'autoscillazione prodotta dal Larsen *Larsen Suppressors*, o come nel nostro caso d'interesse possono riguardare controbilanciamenti in ampiezza automatizzati, che non permettano al Feedback di avere un guadagno troppo troppo elevato e giungere conseguentemente ad uno stato di saturazione del sistema. Algoritmi di *amplitude-following* possono essere implementati con la media *RMS*, con finestre variabili o fisse, filtri *Peakholder* che mantengano il valore di picco, o di altra natura.

Tratterò ora una parte più operativa, discutendo l'implementazione di alcune di queste tecniche nel linguaggio di programmazione FAUST (Grame), che è l'ambiente in cui ho scritto i codici di tutti i lavori trattati in questa tesi e le relative compilazioni, diagrammi e softwares.

2425

Il modo più semplice per mantenere l'effetto Larsen in uno stato stazionario, è attraverso un valore costante ricavato dalla crescita del segnale in ingresso che con-

²⁴FAUST (Grame) (Functional Audio Stream), è un linguaggio di programmazione specifico per il Digital Signal Processing sviluppato da Yann Orleary, Dominique Fober, e Stephane Letz nel 2002. Nello specifico, FAUST è un linguaggio di programmazione ad alto livello scritto in C++, che permette di tradurre delle istruzioni date e create appositamente per il digital signal processing (DSP), in un largo raggio di linguaggi di programmazione non specifici per il dominio dell'Audio Digitale.

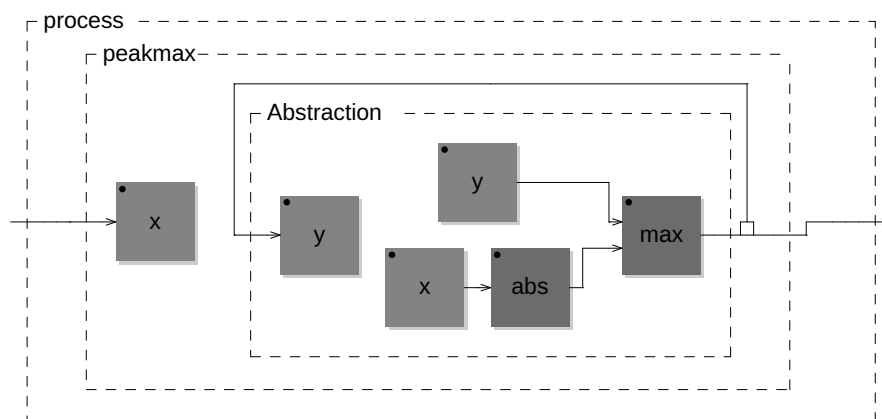
²⁵<https://faust.grame.fr/>.

trobilanci l'ampiezza del circuito di Feedback, come in figura del meccanismo LAR; la stima di questa costante avviene tramite un algoritmo di analisi. Il modo più semplice per implementare un algoritmo di analisi di questo tipo è attraverso un *Peakholder* che nella sua forma basilare consiste in una finestra di campioni idealmente infinita IIR *Infinite Impulse Response*, che ha il compito di confrontare il valore assoluto del campione in ingresso con il suo precedente, il maggiore fra i due nella comparazione viene mandato sia in uscita che in ingresso in retroiniezione alla funzione stessa di comparazione, in questo modo si sfrutta un principio di feedback per l'accumulazione del valore massimo, in un'analisi campione per campione.

```
// import faust standard library
import("stdfaust.lib");

// Peak Max with IIR filter and max comparison
peakmax = loop
  with{
    loop(x) = \(y).((y , abs(x)) : max) ~ _ ;
  };

process = _ : peakmax;
```



Algoritmo e Schema del *Peakholder* ad 1 campione di ritardo

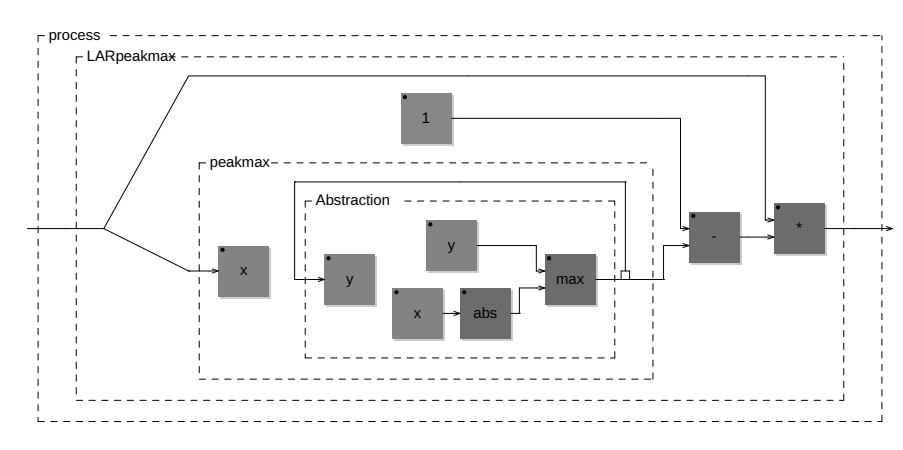
```

// import faust standard library
import("stdfaust.lib");

// LAR with Peak Max - IIR filter and max comparison
peakmax = loop
with{
  loop(x) = \(y).(y , abs(x)) : max)~_;
};

LARpeakmax = _ <: (_ * (1 - (_ : peakmax)));
process = _ : LARpeakmax;

```

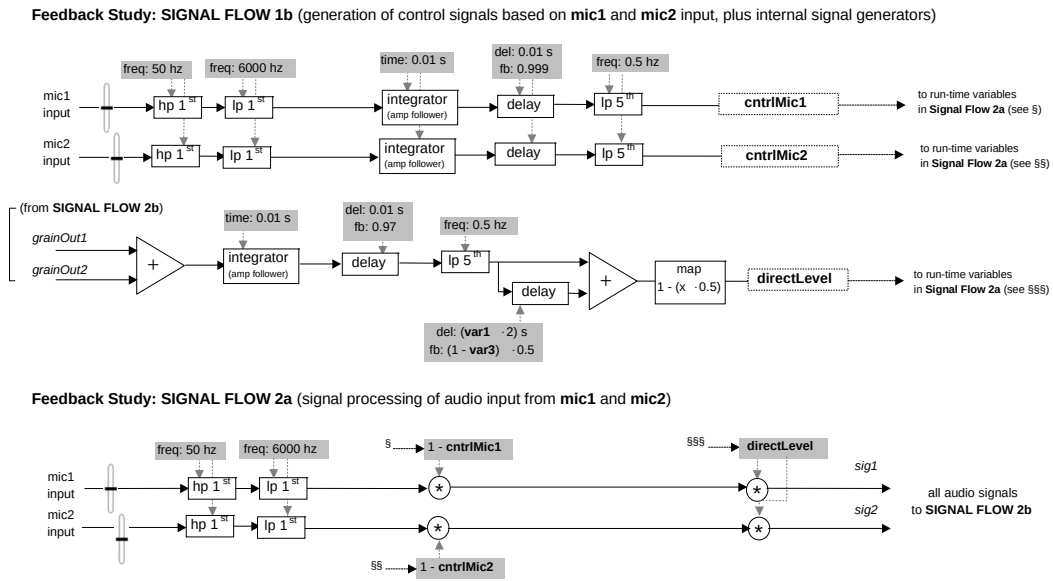


Algoritmo e Schema del LAR con *Peakholder* ad 1 campione di ritardo

Questo tipo di algoritmo presenta comunque alcuni problemi: non avendo una funzione di smoothing del segnale, si verificano problemi di segnali di differenza a banda molto larga che possono generare aliasing e contributi spuri che tendono a permanere nel segnale complessivo. Oltre a questo, variazioni del comportamento del Feedback sono dipendenti dalla grandezza della finestra di osservazione, da eventuali coefficienti di feedback inseriti nella retroazione del *Peakholder* e da altri tipi di implementazioni di tecniche *amplitude-following*. Per questi motivi si sceglie più frequentemente di utilizzare algoritmi adattivi, proprio come nel contesto del meccanismo LAR implementato nel Feedback Study, dove il comportamento adattivo dell'*amplitude-follower* è cruciale per la dinamica adattiva ed auto-regolatoria del

sistema.

Il meccanismo LAR è essenzialmente nel cuore della live performance del Feedback Study, senza di questo non sarebbe possibile creare una condizione favorevole per procedere alle conseguenti trasformazioni del suono, ed ad una condizione favorevole affinché il sistema possa osservarsi tramite l'ambiente circostante. In tal senso vale la pena procedere osservando da vicino come viene richiesto in partitura di implementare questo meccanismo.



Estratto dalla partitura di *Audible Ecosystemics n.2/ Feedback Study (2003)*

revisione del 2017 - Agostino Di Scipio

Come scritto in partitura, è da notare in prima istanza come il microfono serva sia da sorgente per l'alimentazione del Larsen che da canale che riceve l'informazione necessaria per il meccanismo auto-regolatorio, fin qui è tutto uguale rispetto allo Schema del meccanismo LAR. La sostanziale differenza consiste invece nell'aggiunta di un secondo microfono, quando viene introdotta questa condizione di disaccoppiamento si permette al meccanismo di essere più responsivo ai piccoli cambiamenti nell'ambiente e di rispondere diversamente agli stessi stimoli da diversi punti di osservazione del sistema. Nel SIGNAL FLOW 1b, due microfoni in ingresso (mic1 e mic2) vengono limitati in banda da un filtro Highpass ed un filtro Lowpass, rispettivamente fra 50 e 6000 Hz; dei due microfoni che escono dal cntrlMic1 e cntrlMic2

ne viene ricavato l'involuppo d'ampiezza tramite l'oggetto *integrator*, poi la curva di questo involuppo viene amplificata da un delay con Feedback, e ne viene estratta solamente la componente energetica presente fra i 0 e i 0.5Hz, limitandone il comportamento dell'oscillazione in quel range. Più in basso, nel SIGNAL FLOW 2a, i stessi microfoni (mic1 e mic2) sempre limitati in banda fra 50 e 6000 Hz, vengono attenuati in ampiezza dal segnale proveniente dal cntrlMic1 e cntrlMic2, realizzando nella sostanza una versione più sofisticata del controbilanciamento del meccanismo LAR. La parte restante: ovvero, la generazione del segnale directLevel e la conseguente attenuazione dei segnali audio in uscita (sig1 e sig2), consiste in un secondo controbilanciamento ricavato da un processo di granulazione attivo alla fine del sistema, finché il granulatore non produce segnale in output l'ampiezza dei segnali audio diretti in uscita dal sistema rimane inalterata.

L'involuppo d'ampiezza ricavato tramite l'oggetto *integrator*, in partitura viene richiesto come segue:

integrator = returns the average absolute value over a specific time frame (one may use RMS measures, instead, or other amplitude-following methods); output range is

$$[0, 1]$$

dove sostanzialmente, viene calcolato il valore assoluto di una specifica finestra temporale. Viene indicato all'esecutore di poter utilizzare diversi metodi per poter calcolare il valore, come ad esempio l'RMS, tuttavia da analisi dirette secondo l'implementazione del compositore del sistema sul linguaggio di programmazione proprietario KYMA, i filtri utilizzati risultano essere di tipo IIR, così da avere nella sostanza una risposta più lenta rispetto ad altre implementazioni come ad esempio quella del calcolo a media mobile. La risposta del filtro nell'implementazione originale è di tipo *tau* e l'involuppo è assoluto.

Nella loro interezza i meccanismi di cntrlMic1 e cntrlMic2, e la conseguente attenuazione del segnale diretto proveniente da mic1 e mic2 possono essere dunque implementati in Faust come segue:


```

// import faust standard library
import("stdfaust.lib");
// import audible ecosystemics objects library
import("aelibrary.lib");

LARmechanismAE2(mic1, mic2) = sig1, sig2
with{
  // from Signal Flow 1b
  cntrlMic(x) = x : HPButterworthN(1, 50) : LPButterworthN(1, 6000) :
    integrator(.01) : delayfb(.01, .995) : LPButterworthN(5, .5);

  cntrlMic1 = mic1 : cntrlMic;
  cntrlMic2 = mic2 : cntrlMic;

  // from Signal Flow 2a
  micIN1 = mic1 : HPButterworthN(1, 50) : LPButterworthN(1, 6000) *
    (1 - cntrlMic1);
  micIN2 = mic2 : HPButterworthN(1, 50) : LPButterworthN(1, 6000) *
    (1 - cntrlMic2);

  // in the full system this this is a secondary counterbalance
  directLevel = 1;
  sig1 = micIN1 * directLevel;
  sig2 = micIN2 * directLevel;
};

process = LARmechanismAE2;

```

Gli algoritmi degli oggetti richiamati in questa implementazione sono provenienti dalla libreria scritta per questo brano "aelibrary.lib" che è consultabile nel primo appendice. Questo codice che rappresenta il cuore del sistema, permette grazie al meccanismo adattivo una condizione favorevole per mantenere il Larsen in uno stato stazionario, consentendo al sistema di fatto una serie di nuove possibilità di elaborazione e trasformazione del suono.

2.3 Trasformazioni del suono

l'Ecosistemico Udibile n.2, studio sul Feedback, è costituito da due principali meccanismi di Feedback, uno nello spazio acustico reale, e uno interno al sistema.

Il suono proveniente dal meccanismo LAR appena discusso nella precedente sezione, passa per una serie di elaborazioni numeriche del segnale prima di essere restituito e diffuso dagli altoparlanti nello spazio acustico reale. Queste elaborazioni che vengono poi nuovamente intercettate dal microfono e riportate nel Sistema, consentono una continua e incessante trasformazione del suono, che permette di cambiarne la morfologia ad ogni istante di tempo e in modo continuo, permettendo al sistema di avere "vita propria" ascoltandosi tramite l'ambiente anche senza il contributo apportato da un esecutore.

Le elaborazioni del suono interne al sistema sono a loro volta di due tipologie, *sample read* e *granular sampling*.

L'implementazione di questi due oggetti viene richiesta in partitura come segue:

*sample write = write samples into a memory buffer, in cyclical fashion
(wrap-around)*

*sample read = read samples off the memory buffer, with controls over frequency
shift ratios and actual buffer segment being read*

*granular sampling = read sample sequences off subsequent buffer memory chunks,
and envelopes the signal chunk with a pseudo-Gaussian envelope curve; the
particular implementation should allow for time-stretching (slower memory pointer
increments at grain level), as well as for "grain density" controls and slight
random deviations ("jitter") on grain parameters; no frequency shift necessary*

dove *sample write* rappresenta una tabella (buffer o dispositivo di memoria) che viene riscritta in modo continuo da un puntatore alla memoria; ciclicamente, e in tutta la sua interezza. La grandezza di questa tabella è data da una delle quattro variabili definite in partitura utilizzate per inizializzare il sistema, *var1* che definito

in questo contesto sta ad indicare la grandezza della tabella in secondi. Le 4 variabili definite per inizializzare il sistema ad ogni performance sono le seguenti:

var1 = distance (in meters) between the two farthest removed loudspeakers on the left-right axis.

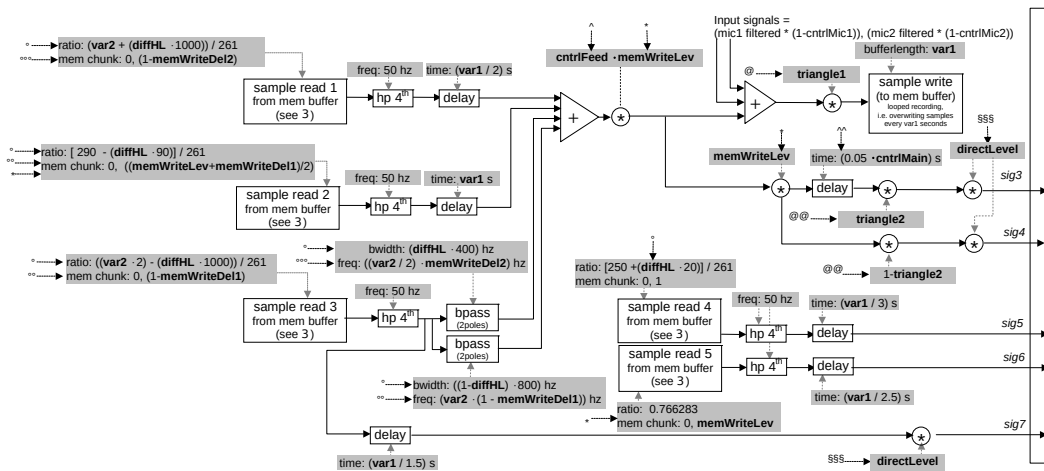
var2 = rough estimate of the center frequency in the spectrum of the room's background noise (spectral centroid): to evaluate at rehearsal time, in a situation of "silence".

var3 = subjective estimate of how the room reverberance, valued between 0 ("no reverb") and 1 ("very long reverb").

var4 = distance (in meters) between the two farthest removed loudspeakers on the front-rear axis.

queste 4 variabili hanno un ruolo molto importante, poiché non solo vanno a determinare la velocità del comportamento del sistema, ma ne vanno a determinare la sua sensibilità rispetto all'ambiente in cui viene eseguito, come ad esempio nel caso del *sample read* la velocità di lettura dalla tabella *sample write* e la porzione di tabella che ne viene letta.

I *sample read* sono 5 indicati in partitura nella configurazione che segue.



Estratto dalla partitura di *Audible Ecosystemics n.2/ Feedback Study (2003)*

revisione del 2017 - Agostino Di Scipio

Il suono del Larsen proveniente da due microfoni e stabilizzato con il meccanismo LAR come illustrato in precedenza, viene a sommarsi per poi venire moltiplicato per un oscillatore a bassa frequenza che ne modifica l'involuppo d'ampiezza. Il risultato di questa operazione viene scritto in memoria nella tabella *sample write* e viene letto dai 5 campionatori distribuiti In questa sezione del sistema.

I parametri esterni e tempo varianti che utilizza il campionatore sono: *ratio* e *mem chunk*, che corrispondono rispettivamente alla velocità di lettura e al frammento di buffer che viene letto dalla tabella *sample write*. A seguito di una conversazione con il compositore è risultato essere fondamentale che il campionatore aggiorni i valori di *ratio* ad ogni campione, permettendo modulazioni di frequenza derivate dal cambiamento delle velocità di lettura, che si riflettono in cambiamenti di frequenza del Larsen registrato nel *sample write*. i *ratio* vengono indicati in partitura con delle espressioni diverse per ognuno dei 5 *sample read*, ad esempio: *ratio: (var2 + (diffHL * 1000)) / 261*, dove

ratio value sets the sample-read rate as a function of var2 and the control signal diffHL: ratio = 1 causes no rate change, hence no frequency shift of the sampled signal; values major of 1 determine shifts to higher frequencies; values between 0 and 1 determine shifts to lower frequencies

e dove *diffHL* è un segnale di controllo variabile in un range fra 0 e 1, che a run time a microfoni chiusi parte da una costante di 0.5. La lettura del *ratio* è sensibile rispetto all'ambiente, poiché il valore di *diffHL* che ne determina le modulazioni di frequenza, viene ricavato da una stima della centroide spettrale nei segnali di controllo tramite una differenza fra filtri Highpass e Lowpass a cui viene passata come frequenza di taglio la variabile *var2*. Altrettanto sostanziale nel contribuire alle trasformazioni del Larsen è il comportamento del *mem chunk*, che deve permettere una lettura di frammenti di memoria che può andare dal silenzio: *mem chunk: 0*, 0 all'intera lunghezza del buffer *mem chunk: 0, 1*, che in questo caso a run time a microfoni chiusi. anche in questo caso la maggiorparte dei campionatori implementa

un *mem chunk* determinato dai segnali di controllo variabili in un range fra 0 e 1, che a run time e a microfoni chiusi partono da costanti distribuite di 0 e 1. Per questo motivo è molto importante che il comportamento del *mem chunk* possa tollerare soglie ai due estremi. In partitura altre importanti indicazioni sul campionatore che riguardano lettura e scrittura sono le seguenti:

all sample-read processes should include short fade-in and fade-out ramps when sampling pointers wrap around the buffer, to avoid discontinuities more discontinuities may occur because the buffer is being written as it is also being read: these can be avoided by various means of one's own design

In Faust non è possibile separare la scrittura e la lettura da un buffer, difatti esistono solo 2 tipi di oggetti per questo scopo: la primitiva *rdtable*, che può essere utilizzata per leggere una tabella di sola lettura (predefinita prima del compile time), e la primitiva *rwtable*, che può essere utilizzata per implementare una tabella di lettura/scrittura; quest'ultima prende in input un segnale che può essere scritto nella tabella utilizzando un indice di scrittura, e letto utilizzando un indice di lettura. Per implementare in Faust l'architettura richiesta in partitura si possono sincronizzare gli indici di scrittura con un unico segnale destinato alla scrittura utilizzato dai *sample read* e dai *granular sampling*, e impostare una grandezza comune, in questo caso di una costante *var1* in secondi, condivisa dai buffer in questione. In Faust la grandezza della tabella deve essere espressa in campioni, per ottenere una grandezza in secondi bisogna dunque moltiplicare il numero di secondi desiderati per la frequenza di campionamento, definita anche questa come costante (predefinita prima del compile time). Infine per completare le operazioni come richiesto in partitura si può sostituire l'oggetto *rwtable* con un send del segnale destinato ad andare in ingresso in feedback ai *sample read* e in feedforward ai *granular sampling*. A seguito una implementazione del campionatore come richiesto in partitura in Faust.

```

sampler(bufferLength, memChunk, ratio, x) = y
with {
  y = it.frwtable(3, L, .0, writePtr, x, readPtrLen) *
    trapWin(100) * zeroChunk
  with {
    L = bufferLength * SampleRate;
    // SR hard-coded: change this to match your samplerate
    writePtr = + (1') %(L) ~ _;
    readPtr = + (1' * (1 / max(ma.EPSILON, memChunk))
      * ratio) %(L) ~ _;
    readPtrLen = readPtr * memChunk;
    zeroChunk = (memChunk > ma.EPSILON);
    trapWin(fadeLenSamp) = readPtrLen - winLenSamp / 2 : abs /
      fadeLenSamp : min(1)
    with {
      winLenSamp = max(1, memChunk * L);
    };
  };
};
process = sampler(1, (hslider("chnk",0.5,0,1,.001)),
  (hslider("rati",1,0,2,.001)), os.osc(400));

```

3 Sistemi Autonomi

Nel capitolo precedente, attraverso la composizione e gli studi di Agostino Di Scipio nei suoi Ecosistemici Udibili, abbiamo potuto osservare cosa si intende e come viene organizzato un sistema con non linearità provenienti dal mondo fisico; un sistema aperto all'ambiente esterno in riferimento alla cibernetica di secondo ordine. Differentemente dall'approccio Ecosistemico, l'altro tipo di paradigma che ho trovato interessante studiare riguarda le particolari implementazioni di sistemi non lineari interamente programmati nel software, dove l'ambiente che racchiude il sistema al suo interno e le proprie relazioni fra gli agenti, è interamente costruito e costituito dal DSP. Ho voluto rintracciare questo tipo di lavoro nella composizione e gli studi di Dario Sanfilippo: specialista di sistemi di feedback, esecutore, compositore, i cui lavori manifestano principi di autopoiesi, evolvibilità, e di costruttivismo radicale nella progettazione di reti di feedback audio complesse che vengono implementate per performance dal vivo, destinate all'interazione uomo-macchina o di macchine autonome.

- Da Continuare -

4 La Composizione di RITI : un sistema caotico ibrido

- parlare del brano e della sua realizzazione + Codici Faust degli agenti e delle varie parti. Le analisi condotte e il contributo proveniente dai lavori di Agostino Di Scipio e Dario Sanfilippo. In coda al capitolo rimandare al codice completo in Appendice A e plot grafici di Faust in Appendice B - + Partitura dopo gli appendici (o appendice C)

- Da Continuare -

A First appendix

In questo appendice sono riportate tutte le Librerie scritte in Faust contenenti gli oggetti dei brani trattati nel corso della tesi.

A.1 aelibrary.lib

```
//-----
// AGOSTINO DI SCIPIO - AUDIBLE ECOSYSTEMICS 2A/B - LIBRARY
//-----

//----- UTILITIES -----
// limit function for library and system
limit(maxl,minl,x) = x : max(minl, min(maxl));
// see signal values
inspect(i, lower, upper) = _ <: _ ,
    vbargraph("sig_%2i [style:numerical]", lower, upper) : attach;
    //process = (os.osc(.01) : inspect(1, .1, -1, 1));
diffDebug(x) = an.abs_envelope_tau(1, (x-x')) * (SampleRate/2);

//----- DELAYS -----
delayfb(delSec,fb,x) = loop ~ _ : mem
with{
    loop(z) = ( z * fb + x) @(ba.sec2samp(delSec)-1) );
};

//----- SAMPLEREAD -----
sampler(bufferLength, memChunk, ratio, x) = y
with {
    y = it.frwtable(3, L, .0, writePtr, x, readPtrLen) *
        trapWin(100) * zeroChunk : fi.dcblocker
    with {
        L = bufferLength * SampleRate; // hard-coded: change to your SR
        writePtr = + (1') %(L) ~ _;
        readPtr = + (1' * (1 / max(ma.EPSILON, memChunk))) *
```

```

        ratio) %(L) ~ _;
readPtrLen = readPtr * memChunk;
zeroChunk = (memChunk > ma.EPSILON);
trapWin(fadeLenSamp) = readPtrLen - winLenSamp / 2 : abs /
    fadeLenSamp : min(1)
    with {
        winLenSamp = max(1, memChunk * L);
    };
};

};
// process = sampler(1, (hslider("chnk",0.5,0,1,.001)),
    // (hslider("rati",1,0,2,.001)), os.osc(400));

//----- INTEGRATOR ---
integrator(seconds, x) = an.abs_envelope_tau(
    limit(1000, .001, seconds), x);

//----- LOCALMAX ---
localMax(seconds, x) = loop ~ si.bus(4) : _ , ! , ! , !
with {
    loop(yState, timerState, peakState, timeInSamplesState) =
        y , timer , peak , timeInSamples
    with {
        timeInSamples = ba.if(reset + 1 - 1', seconds *
            ma.SR, timeInSamplesState);
        reset = timerState >= (timeInSamplesState - 1);
        timer = ba.if(reset, 1, timerState + 1);
        peak = max(abs(x), peakState * (1.0 - reset));
        y = ba.if(reset, peak', yState);
    };
};

//process = os.osc(.1245) : localMax(hslider("windowlocalM",
    -1, -1, 8, .001));
localmax(resetPeriod, x) = localMax(
    limit(1000, 0, resetPeriod), x);

```

```

//----- TRIANGLE ---
triangularFunc(x) = abs(ma.frac((x - .5)) * 2.0 - 1.0);
triangleWave(f) = triangularFunc(os.phasor(1,f));

//----- FILTERS ---
onePoleTPT(cf, x) = loop ~ _ : ! , si.bus(3)
with {
    g = tan(cf * ma.PI * (1/ma.SR));
    G = g / (1.0 + g);
    loop(s) = u , lp , hp , ap
    with {
        v = (x - s) * G;
        u = v + lp;
        lp = v + s;
        hp = x - lp;
        ap = lp - hp;
    };
};
LPTPT(cf, x) = onePoleTPT(limit(20000,ma.EPSILON,cf), x) : (_ , ! , !);
HPTPT(cf, x) = onePoleTPT(limit(20000,ma.EPSILON,cf), x) : (! , _ , !);
// TEST
// process = (-100, no.noise) : HPTPT;

SVFTPT(K, Q, CF, x) = circuitout :
    ! , ! , _ , _ , _ , _ , _ , _ , _ , _
with{
    g = tan(CF * ma.PI / ma.SR);
    R = 1.0 / (2.0 * Q);
    G1 = 1.0 / (1.0 + 2.0 * R * g + g * g);
    G2 = 2.0 * R + g;
    circuit(s1, s2) =
        u1 , u2 , lp , hp , bp , notch , apf , ubp , peak , bshelf
        with{
            hp = (x - s1 * G2 - s2) * G1;

```

```

        v1 = hp * g;
        bp = s1 + v1;
        v2 = bp * g;
        lp = s2 + v2;
        u1 = v1 + bp;
        u2 = v2 + lp;
        notch = x - ((2*R)*bp);
        apf = x - ((4*R)*bp);
        ubp = ((2*R)*bp);
        peak = lp -hp;
        bshelf = x + (((2*K)*R)*bp);

    };

    // choose the output from the SVF Filter (ex. bshelf)
    circuitout = circuit ~ si.bus(2);

};

// Outs = (lp , hp , bp, notch, apf, ubp, peak, bshelf)
// SVFTPT(K, Q, CF, x) = (Filter-K, Filter-Q, Frequency Cut)

// Filters Bank
LPSVF(Q, CF, x) = SVFTPT(0, Q,
    limit(20000,ma.EPSILON,CF), x) : _ , ! , ! , ! , ! , ! , ! , ! ;
HPSVF(Q, CF, x) = SVFTPT(0, Q,
    limit(20000,ma.EPSILON,CF), x) : ! , _ , ! , ! , ! , ! , ! , ! ;
//process = (-1, -10000, no.noise) <: LPSVF, HPSVF;
BPsvftpt(BW, CF, x) = SVFTPT(0 : ba.db2linear, ql, cfl,
    x ) : ! , ! , ! , ! , ! , ! , _ , ! , !
with{
    cfl = limit(20000,ma.EPSILON,CF);
    bwl = limit(20000,ma.EPSILON,BW);
    ql = cfl / bwl;
};

// TEST
//process = (1, 1000, no.noise) : BPsvftpt;

// Butterworth

```

```

butterworthQ(order, stage) = qFactor(order % 2)
with {
    qFactor(0) = 1.0 / (2.0 * cos(((2.0 * stage + 1) *
        (ma.PI / (order * 2.0)))));
    qFactor(1) = 1.0 / (2.0 * cos(((stage + 1) * (ma.PI / order))));
};

LPButterworthN(1, cf, x) = LPTPT(cf, x);
LPButterworthN(N, cf, x) = cascade(N % 2)
with {
    cascade(0) = x : seq(i, N / 2, LPSVF(butterworthQ(N, i), cf));
    cascade(1) = x : LPTPT(cf) : seq(i, (N - 1) / 2,
        LPSVF(butterworthQ(N, i), cf));
};

HPButterworthN(1, cf, x) = HPTPT(cf, x);
HPButterworthN(N, cf, x) = cascade(N % 2)
with {
    cascade(0) = x : seq(i, N / 2, HPSVF(butterworthQ(N, i), cf));
    cascade(1) = x : HPTPT(cf) : seq(i, (N - 1) /
        2, HPSVF(butterworthQ(N, i), cf));
};

//process = HPButterworthN(10, -1000, no.noise),
// LPButterworthN(10, -1000, no.noise);

//----- GRANULAR SAMPLING -----
grain(L, position, duration, x, trigger) = hann(phase) *
    buffer(readPtr, x)
with {
    maxLength = 1920000;
    length = L * ma.SR;
    hann(ph) = sin(ma.PI * ph) ^ 2.0;
    lineSegment = loop ~ si.bus(2) : _ , ! , _
    with {
        loop(yState, incrementState) = y , increment , ready
    }
}

```

```

    with {
        ready = ((yState == 0.0) | (yState == 1.0)) & trigger;
        y = ba.if(ready, increment, min(1.0, yState + increment));
        increment = ba.if(ready, ma.T /
            max(ma.T, duration), incrementState);
    };
};

phase = lineSegment : _ , !;
unlocking = lineSegment : ! , _;
lock(param) = ba.sAndH(unlocking, param);
grainPosition = lock(position);
grainDuration = lock(duration);
readPtr = grainPosition * length + phase * grainDuration * ma.SR;
buffer(readPtr, x) =
    it.frwtable(3, maxLength, .0, writePtr, x, readPtrWrapped)
with {
    writePtr = ba.period(length);
    readPtrWrapped = ma.modulo(readPtr, length);
};
};

// works for N >= 2
triggerArray(N, rate) = loop ~ si.bus(3) : (! , ! , _) <:
    par(i, N, == (i)) : par(i, N, \ (x).(x > x'))
with {
    loop(incrState, phState, counterState) = incr , ph , counter
    with {
        init = 1 - 1';
        trigger = (phState < phState') + init;
        incr = ba.if(trigger, rate * ma.T, incrState);
        ph = ma.frac(incr + phState);
        counter = (trigger + counterState) % N;
    };
};
};

```

```
grainN(voices, L, position, rate, duration, x) =
  triggerArray(voices, rate) :
    par(i, voices, grain(L, position, duration, x));

granular_sampling(var1, timeIndex, memWriteDel, cntrlLev, divDur, x) =
  grainN(8, var1, position, rate, duration, x) :> /(8)
with {
  rnd = no.noise;
  memPointerJitter = rnd * (1.0 - memWriteDel) * .01;
  position = timeIndex * (1.0 - ((1.0 - memWriteDel) * .01)) +
    memPointerJitter;
  density = 1.0 - cntrlLev;
  rate = 50 ^ (density * 2.0 - 1.0);
  grainDuration = .023 + (1.0 - memWriteDel) / divDur;
  duration = grainDuration + grainDuration * .1 * rnd;
};

//-----
```

B Second appendix

References

Alberto Giustiniano, Luca Fabbris e. *CFP18 cibernetica, sistemi, teorie, modelli*.

URL: <https://philosophykitchen.com/2022/03/cfp18-cibernetica-sistemi-teorie-modelli/>. (accessed: 03.11.2022).

Barrow-Green, June. *L'Ottocento: astronomia. Il problema dei tre corpi e la stabilità del Sistema solare*. URL: https://www.treccani.it/enciclopedia/l-ottocento-astronomia-il-problema-dei-tre-corpi-e-la-stabilita-del-sistema-solare_%28Storia-della-Scienza%29/#:~:text=La%20formulazione%20del%20problema%20dei,il%20moto%20negli%20istanti%20successivi.. (accessed: 03.11.2022).

Black, H.S. “Stabilized Feed-Back Amplifiers”. In: *ALEE. committee on communication* (1933).

Collins, Nicolas. “‘Pea Soup’ – A History”. In: (September, 2011), pp. 1–23. URL: <http://www.nicolascollins.com/texts/peasouphistoryOLD.pdf>.

Di Scipio, Agostino. *A Relational Ontology of Feedback*. en. Jan. 2022. DOI: 10.47041/TKUL7223. URL: <https://echo.orpheusinstituut.be/article/a-relational-ontology-of-feedback> (visited on 11/22/2022).

— *Circuiti del Tempo Un percorso storico-critico nella creatività musicale elettroacustica e informatica*. it. N. 38. Lucca: Libreria Musicale Italiana, 2021. ISBN: 9788855430685.

— “Composition by exploration of non-linear dynamic systems”. In: *ICMC Glasgow 1990 Proceedings*. C.S.C. University of Padova, 1990, pp. 324–327.

— “Polveri Sonore - Una prospettiva ecosistemica della composizione”. it. In: *La Camera Verde* (2014). Publisher: La Camera Verde, 17–42 Pages. (Visited on 11/22/2022).

Dunbar-Hester, Christina. “Listening to Cybernetics: Music, Machines, and Nervous Systems, 1950-1980”. en. In: *Science Technology e Human Values* 35.1 (2010), pp. 113–139. URL: <http://www.jstor.org/stable/27786196>.

- Lorenz, Edward. “Deterministic Nonperiodic Flow”. In: *Journal of Atmospheric Sciences* 20.2 (1963), pp. 130–148.
- Maxwell, Mr. J. C. “on Governors”. In: (1868).
- Nitschke, Mathis. *Analog Neural Synthesis*. URL: <https://mlure.art/analog-neural-synthesis/>. (accessed: 04.11.2022).
- Patteson, Thomas W. “The Time of Roland Kayn’s Cybernetic Music”. In: (), pp. 1–11. URL: <https://kayn.nl/wp-content/uploads/2016/12/The-Time-of-Roland-Kayns-Cybernetic-Music-Thomas-Patteson.pdf>.
- Ranzato, Sofia. “L’origine del mondo divino Una lettura di Esiodo”. ita. Thesis. Facoltà di Lettere e Filosofia C. d. L. S. in Scienze dell’Antichità, 2006/2007, p. 10.
- Sanfilippo, Dario and Andrea Valle. “Feedback Systems: An Analytical Framework”. In: *Computer Music Journal* 37.2 (2013), pp. 12–27. DOI: doi:10.1162/COMJa00176. URL: <https://direct.mit.edu/comj/article-abstract/37/2/12/94420/Feedback-Systems-An-Analytical-Framework?redirectedFrom=PDF>.
- Scott, Bernard. “Second-order cybernetics: an historical introduction”. In: *Kybernetes* 33.9.10 (2003), pp. 1365–1378. DOI: doi:10.1108/03684920410556007. URL: <https://sites.ufpe.br/moinhojuridico/wp-content/uploads/sites/49/2021/10/Ciber-2b-22-out.-second-order-cybernetcs.pdf>.
- Technology, Massachusetts Institute of. *Alvin Lucier on “I am sitting in a room”*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=v9XJWBZBzq4>. (accessed: 04.11.2022).
- Von Foerster, Heinz. *Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition*. en. Vol. 2. 1. 2005. DOI: 10.29173/cmplct8737. URL: <https://journals.library.ualberta.ca/complicity/index.php/complicity/article/view/8737> (visited on 11/22/2022).