

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Informatica, del Cinema e
Meccatronica

Laurea Magistrale in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione

Tesi di Laurea Magistrale

Singing Plants

Studio preliminare improntato alla realizzazione di una performance/installazione
sonora immersiva che comprenda l'utilizzo di sintetizzatori basati sulle
bioemissioni di vegetali.



Relatori:

prof. Marco Masoero
prof. Domenico Sciajno

Candidato:

Nicolò Zilocchi matr. 255272

Marzo/Aprile 2020

15 - 03 - 2020, Torino

Questo progetto di Tesi è stato portato a termine e discusso durante una fase di impensabile emergenza per il nostro paese, una situazione che mai avrei pensato potesse colpire ed essere così vicina alle nostre vite quando ho ideato questo lavoro a settembre. È mia intenzione, per questo motivo, dedicare questo lavoro a tutta la provincia di Piacenza, la mia terra di origine, che ha accompagnato la mia formazione di individuo e la mia crescita.

Il mio pensiero va, in particolare, alle persone che sono state colpite in maniera diretta o indiretta dal virus Covid-19. Amici e persone a me molto care sono state, ahimè, travolte da questo inaspettato ospite. Ascoltando i loro racconti mi è stato impossibile non provare un brivido empatico e non impormi un *autodiktat* nel ricordarmi, in qualche modo, in questo elaborato di tale serio contesto. Soprattutto per loro mi sento in dovere di scrivere queste poche righe.

Paul Auster in *Mr Vertigo* scriveva che "basta guardare qualcuno in faccia un po' di più, per avere la sensazione alla fine di guardarti in uno specchio". Nello specchio di questa situazione emergenziale per il territorio in cui sono cresciuto vedo la mia infanzia, la mia formazione, la mia famiglia, gli amici più stretti e tante altre cose. Insomma riscontro la mia totale solidità di individuo. Per questa ragione non posso essere emotivamente indifferente vedendo questa terra malata e in difficoltà.

I Baustelle nella canzone *Le rane*, invece, si chiedono "vivi ancora in provincia / ci pensi ogni tanto alle rane?" riferendosi alle rane cacciate negli stagni, in mancanza di intrattenimenti migliori, nella loro infanzia da provinciali.

La mia risposta è inequivocabilmente Sì. Soprattutto in questo periodo. L'ho odiata, amata, vissuta, esplorata, ma, ora come ora, questo piccolo pezzo di provincia emiliana, lo sento più vicino che mai.

Come recita un celebre proverbio dialettale della tradizione, nato per tenere lontano i cattivi presagi e le malattie, con l'avvento della primavera: *Sol de merz cusul el cul, e nom cusr etar!*

Spero che questo sole di Marzo ritorni veramente a portare ardente speranza e voglia di rialzarsi nei cuori delle persone che ho vicine e in tutti i cuori dei piacentini.

Le cose sono unite da legami invisibili. Non puoi cogliere un fiore senza turbare una
stella. *Galileo Galilei*

La tecnologia plasma la musica.
David Byrne

Oltre il monte // C'è un gran ponte // Una terra senza serra // Dove i frutti son di tutti
// Non lo sai?
Due Mondi, Lucio Battisti

Ringraziamenti

Il lavoro seguente ha impegnato gli ultimi mesi della mia vita fino all'ultimo secondo. Penso, a conclusione di tutto ciò, che anche le nostre vite siano assimilabili alla struttura di un albero o di un bosco vegetale, cioè intrinsecamente collegate e capaci di conferire linfa a tutte le altre parti. Fuori dalla metafora, credo che ogni persona attorno a me abbia partecipato, volente o nolente, a questo lavoro e devo a tutti loro l'essere arrivati fino a questo fondamentale punto.

Continuando la metafora, di poche righe più in su, volevo ringraziare le foglie e i rami più giovani, all'estremità dell'albero della mia vita. Questi sono simbolo della vita a Torino che ha riempito la mia esistenza degli ultimi sei anni. In particolare ci tengo a ringraziare il gruppo studio Btriaskrkk e ogni suo componente che ha portato leggerezza e momenti molto potenti nella mia vita universitaria. Una leggera brezza sollevata sulla chioma dell'albero.

Un grazie particolare a Paul Ito, ad E.M.I.G.L.I.O, a Tre Uomini e una Gamba, a Grizzly Mail, a Cards Against Humanity, al Joker (che tutti noi abbiamo visto), al Muretto Diegetico, allo Squash and Stretch, a Domino's Pizza (che deve velocizzarsi), alla vita vissuta a 0.25x e, anche, a 2x; al sito web di Cubetto, a Monica Hackathon, alla maschera di Jamie Foxx (che tengo come una reliquia a casa mia), all'andare a Cinemini's party in bicicletta, ad Otto, a Maxone, a Gerry Scotti che sprofonda nel bancone di Striscia la Notizia, ai tatuaggi dei Polaretti, alle pizzette Eurospin, alla reception del Robilant, al divanetto del Napoli, ad Harambe, a Sffiorivano le Viole di Rino Gaetano, a Corso San Maurizio 63 e ai MacBook Pro. Una enorme Cheer's Cup per tutte queste cose. Ecco un fulmine.

Allo stesso modo altri fondamentali rami della pianta che tengo a ringraziare sono il Gruppo Scout Torino 22, che mi ha accolto e ha accompagnato fin dal principio la mia vita a Torino e, in particolar modo, il Clan Rondini delle Vette, che mi ha regalato negli ultimi due anni momenti rilevanti di crescita personale.

Ringrazio poi l'ufficio intero di OndeQuadre che mi ha conosciuto in ben più di una collaborazione. Scendendo verso il tronco, volevo ringraziare allo stesso modo Matilde, Gaia, Emma, Anita, Fausto, Corrado e Leonardo che hanno reso stabile e proficuo il mio ambientarmi a Torino.

Ringrazio anche i miei relatori prof. Masoero e prof. Sciajno che hanno riposto fiducia in me e in questo lavoro, senza mai farmi mancare ascolto e aiuto, cercando di spronare la mia creatività e la mia curiosità nella giusta direzione.

Infine si arriva alla parte più importante dell'albero, ciò che lo collega al mondo circostante, che lo aiuta a mantenersi forte durante le avversità atmosferiche e che gli conferisce la

dose più grande di nutrimento: le radici. Sono nato in campagna, accerchiato dai campi di grano e di mais e mio padre mi ha sempre insegnato quanto è importante conferire nutrimento e acqua alle colture.

Infatti le mie radici sono, in primo luogo, i miei genitori che da sempre mi hanno spronato a diventare una persona solida, senza mai farmi mancare sostegno e vicinanza nei momenti di bisogno. La conclusione di questo percorso universitario lo devo molto a questo aiuto e a questa presenza che mi ha sempre supportato.

Allo stesso modo sono vere e proprie radici i miei amici di infanzia che conoscono al meglio ogni mia sfumatura. Il fatto di vivere distanti penso abbia reso molto più forte il legame che abbiamo costruito in anni di confronto ed esperienze. In particolar modo ci tengo a ringraziare Nicola, Luca, Davide, Giulia nonchè gruppo studio della biblioteca Passerini-Landi; Enrico che ha condiviso con me un indimenticabile viaggio sulla Via Francigena; Filippo e Francesco, altri amici di infanzia, fin dalla scuola materna.

Un grazie enorme anche a tutto il coro Perfetta Letizia di Pontenure che sempre mi tiene un posto per suonare e per farmi stare bene, al gruppo Scout Pontenure che è parte integrante della mia crescita e ai ragazzi dell'oratorio di Pontenure, con i quali ho condiviso una fetta fondamentale della mia vita.

Un grazie particolare anche a tutte le persone amiche e familiari che si sono dimostrate un validissimo strumento di confronto e di crescita: in particolar modo tutti i miei zii, cugini e parenti, i miei nonni da lassù, Paola, Eric e Carla, Valter, Norma, Giovanni, Federico, Cristina, Davide, Mimma, Alessandro e Corrado. Qualsiasi persona che mi ha supportato in questi mesi è entrata a far parte, in qualche modo di questo testo.

Poi devo un ringraziamento speciale ad un'altra fondamentale radice e pilastro della mia vita, cioè Elena. Un immenso grazie per il supporto che mi hai donato ogni mese, ogni giorno, ogni minuto e ogni secondo di questi ultimi tre anni. Questa tesi è in parte anche tua. Un grazie di cuore anche alla tua famiglia.

Grazie ancora a tutti, veramente tutti. L'albero della mia vita potrebbe essere alto come la torre di Babele se elencassi ognuno. Ogni persona incontrata durante il mio percorso universitario degli ultimi anni per me è stato un'importante e nuovo punto di vista da scoprire. Una contaminazione e un concime per il terreno sul quale poggiano le mie radici. Una crescita continua.

Chi mi conosce bene sa che uno dei miei miti d'infanzia è l'universo di Star Wars. Volevo chiudere questi lunghissimi ringraziamenti guardando da lontano questo albero della vita che ho costruito e continuo a veder crescere, vedendo nella sua linfa che tiene insieme tutte le diverse parti una sottospecie di -come la leggenda insegna- Forza.

Sommario

Le piante e la vita vegetale, in generale, hanno sempre vissuto sul nostro pianeta in parallelo alle vicende umane, quasi come testimoni silenziosi del corso della storia. Dalla maestosità del millenario albero alla piccola e umile pianta grassa sulle nostre scrivanie, in qualche modo i vegetali ci osservano ed entrano in relazione con noi.

Purtroppo le devastanti conseguenze del global warming, della deforestazione incontrollata e dell'inquinamento stanno mettendo a dura prova il convivere pacifico di questa relazione. Anche da questa necessità nasce l'esigenza personale di trovare una chiave diversa di lettura al convivere uomo-vegetale.

Valutando la differenza di potenziale presente sulla superficie di un vegetale, è possibile estrapolare un'emissione dalla pianta. Questo tipo di emissione è detto *bio-emissione* poichè è una sorta di metodo di ascolto della condizione presente del vegetale. Successivamente è possibile procedere alla *sonificazione* di tale segnale analogico e produrre un segnale MIDI che funge da segnale di controllo di un qualsiasi sintetizzatore.

Di fatto è possibile dare una voce alle piante, farle cantare, o ancora meglio, farle diventare una sorta di direttore di orchestra di un sintetizzatore. Al tempo stesso superficie di controllo di uno strumento musicale. E' per questa ragione che questo tipo di utilizzo artistico dei vegetali è stato chiamato *Singing Plants*.

Questo lavoro nasce dalla necessità di utilizzare tale metodo di sonificazione come parte integrante di una performance artistica che comprenda, fra i suoi temi portanti, la necessità di un approccio sostenibile al quotidiano e l'esplorazione di nuove forme di relazione uomo-pianta.

Nel Capitolo 1 saranno trattate le basi e i ragionamenti che hanno portato a voler progettare una performance che comprenda l'utilizzo di Singing Plants e saranno approfonditi i pilastri concettuali alla base di tale esibizione. In seguito nel Capitolo 2 sarà esposto il percorso storico delle ricerche scientifiche alla base di tale tecnologia e come la musica interferisce con il regno vegetale. Poi in 3 saranno valutate le diverse tecnologie, esistenti ad ora sul mercato, che trasformano in musica bio-emissioni delle piante. Successivamente è riportata l'esposizione delle ricerche e dei test effettuati per la progettazione della performance: in particolare nel capitolo 4 è esposta la parte di realizzazione hardware e nel capitolo 5 gli algoritmi e le logiche software utilizzati. Inoltre, è stato realizzato un breve studio acustico di un possibile ambiente dove eseguire tale performance nel capitolo 6. Infine, nell'appendice A è allegato un breve approfondimento sul protocollo di trasmissione MIDI e nell'appendice B una digressione su cenni di teoria musicale usati nell'implementazione dell'esibizione.

Indice

Ringraziamenti	III
Sommario	V
1 La Performance	1
1.1 Idea	1
1.2 Temi e Concetti	2
1.3 References	3
1.3.1 Herman Kolgen - Seismik (2014)	3
1.3.2 Brian Eno e David Byrne - My Life in the Bush Of Ghosts (1981)	5
1.3.3 John Cage	7
1.3.4 Howard Phillips Lovecraft	8
2 La strada verso le Singing Plants	11
2.1 Cleve Backster e la Percezione Primaria	11
2.2 Sauvign, Byrd e i bio-feedback	13
2.3 Musica per le piante	14
2.4 Tecnologie che utilizzano gli effetti benefici della musica sui vegetali	17
2.5 Sonificazione applicata a vegetali	19
3 Stato dell'Arte	21
3.1 Midi Sprout	21
3.1.1 Principi di funzionamento	23
3.1.2 Algoritmo e software	25
3.1.3 Filosofia di Midi Sprout	29
3.2 Music for Plants	29
3.2.1 Damanhur	29
3.2.2 Principi di Funzionamento	30
3.2.3 Filosofia di Music for Plants	31
3.3 Plants Play	31
3.3.1 Principi di funzionamento	32
3.3.2 Algoritmo e Software App	32
3.3.3 Filosofia di Plants Play	33
3.4 Artisti che utilizzano le piante	33

3.5	Possibilità per Singing Plants	34
4	L'Interfaccia Hardware	36
4.1	Elettrochimica degli elettrodi	36
4.1.1	Elettrodi Polarizzabili e Non Polarizzabili	39
4.1.2	Modello Elettrico	39
4.2	Elettrodi e Moduli in commercio	40
4.2.1	Elettrodi di tipo ECG	40
4.2.2	Elettrodi TENS	42
4.2.3	Morsetti a Coccodrillo	43
4.2.4	Confronto fra diversi tipi di elettrodi	43
4.3	Sensori utilizzati	45
4.3.1	DHT11	45
4.3.2	Soil Moisture	46
4.3.3	Fotoresistenza LDR-GL5516	47
4.4	Circuito e componenti	48
4.4.1	Oscillatore NE555	49
4.4.2	Filtraggio del segnale	53
4.4.3	ATMega 328p	54
4.4.4	Gestione degli Interrupt esterni	55
4.5	Prototipazione dell'interfaccia	56
5	Software	60
5.1	Algoritmo implementato	60
5.2	Ambiente di sviluppo	63
5.2.1	Arduino IDE 1.8.10	63
5.2.2	Ableton Live Suite 10.1.1	64
5.2.3	Max 8	66
5.2.4	Hairless MIDI Serial 0.5	67
5.3	Logica del codice	68
5.4	Gestione dei segnali ricevuti dalla pianta	78
5.5	Ricezione del Segnale MIDI su seriale	79
5.6	Ableton Live e MAX/MSP	81
5.6.1	Come utilizzare il segnale MIDI?	81
5.6.2	Utilizzo di Ableton Live Suite	82
5.6.3	Utilizzo di Max/MSP	83
5.7	Sintetizzatori e processori di segnale utilizzati	84
5.7.1	cycle~	84
5.7.2	simpleFM~	85
5.7.3	Ring Modulator	86
5.7.4	reson~	87
5.7.5	Granular	88
5.7.6	Spat5~	89
5.7.7	Sampler	90

5.7.8	Jitter	91
5.7.9	Korg MS-20 mini	92
5.8	Patch definitiva in Max/MSP	93
5.8.1	Samples utilizzati	95
5.9	Considerazioni sul Mixing	96
5.9.1	Elettrodi	97
5.9.2	Suolo	97
5.9.3	Panning	97
5.9.4	Riverbero totale	98
6	Il Teatro Serra	99
6.1	Storia e stato attuale	99
6.2	Studio acustico	102
6.2.1	Casi storici di immersività ambientale	102
6.2.2	Pianta del Teatro Serra	104
6.2.3	Riverberazione	107
6.2.4	Le vetrate e l'immersività	108
6.2.5	Simulazioni binaurali con EVERTims	110
6.2.6	Test eseguiti sul posto	113
7	Conclusioni	120
7.1	Miglioramenti e strade di ricerca per il futuro	121
A	Il protocollo MIDI	123
A.1	Cavi MIDI e porte di collegamento	124
A.2	Messaggi MIDI	125
A.2.1	Messaggi di Canale	126
A.2.2	Messaggi di sistema	127
A.2.3	Messaggi di sistema esclusivo	127
B	Cenni musicali	129
B.1	Gli armonici naturali e il sistema temperato	129
B.2	Scale e modi	133
B.3	Musica modale	134
B.3.1	L'esempio della Scala Indiana	135
B.4	L'avvento della dodecafonia e la scala cromatica	136
B.5	Scale e modi scelti	137
B.5.1	Scala cromatica	137
B.5.2	Scala indiana	138
B.5.3	Scala Ungherese	138
B.5.4	Ultrafrigio	138
B.5.5	Ionico Aumentato diesis2 diesis4	139
B.5.6	Orientale	139
B.5.7	Lidio diesis2diesis6	140

Elenco delle figure

1.1	Herman Kolgen.	4
1.2	Seismik (2014).	5
1.3	La copertina dell'album.	6
1.4	John Cage.	8
1.5	Howard Phillips Lovecraft.	8
2.1	Cleve Backster di fronte al suo Lie Detector.	12
2.2	La copertina dell'album Plantasia di Mont Garson.	15
2.3	Dorothy Retallack alle prese con esperimenti sulle piante.	17
2.4	Lo spartito prodotto da Joel Sternheimer per il Cytochrome C.	19
2.5	Spartito per Chalcone Synthase.	19
3.1	Dati MIDI raccolti sul <i>Philodendron</i>	22
3.2	Parte del segnale raccolto sulla superficie della pianta.	22
3.3	Elettrodi TENS utilizzati da Midi Sprout.	23
3.4	Schema di Midi Sprout	25
3.5	Plants Play.	32
3.6	Prototipo del dispositivo.	32
3.7	Mileece Petre nel suo laboratorio.	34
4.1	Schema di un elettrodo generico.	38
4.2	Impedenza equivalente di un elettrodo.	39
4.3	Flowchart semplificato del processo totale.	40
4.4	Modulo 8232 e i suoi tre elettrodi.	40
4.5	Schema del circuito.	41
4.6	Esempio di una cattura del Segnale analogico con AD8232.	42
4.7	Elettrodi TENS su pianta.	42
4.8	Morsetti a coccodrillo.	43
4.9	Modulo DHT11.	45
4.10	Modulo Soil Moisture.	47
4.11	Fotoresistenza LDR-GL5516.	47
4.12	Schema di funzionamento di una fotoresistenza.	48
4.13	Schema del circuito realizzato.	49
4.14	Schema dell'integrato NE555.	50

4.15	Configurazione astabile realizzata.	51
4.16	Output di NE555 in modalità astabile.	52
4.17	I pin dell'ATMega328p e la corrispondenza con Arduino.	55
4.18	Tipi diversi di Interrupt.	56
4.19	Prima versione del prototipo.	57
4.20	Seconda versione del prototipo.	57
4.21	Effetti ottenibili con lightshow dei LED.	58
4.22	Versione finale del prototipo.	59
5.1	Flowchart dell'algoritmo implementato.	61
5.2	Arduino IDE.	64
5.3	Interfaccia di Ableton Live in modalità Live.	66
5.4	Una patch di Max 8.	67
5.5	Interfaccia di Hairless MIDI.	68
5.6	Semplificazione del flowchart totale del codice.	69
5.7	Segnale digitale rilevato con e senza elettrodi.	79
5.8	Segnale rilevato con e senza tocco umano.	79
5.9	Driver Bus attivo in MIDI Studio.	80
5.10	MIDI Chain implementata.	81
5.11	Strumento creato con Max For Live.	83
5.12	Oscilloscopio e spettrogramma applicati all'oggetto cycle~.	84
5.13	Patch di simpleFM~.	85
5.14	Patch del Ring Modulator standard.	86
5.15	Patch di esempio nell'helper di Max per il filtro reson~.	87
5.16	L'implementazione di una semplice sintesi granulare con Max.	88
5.17	Interfaccia di Spat.	89
5.18	Sampler realizzato.	90
5.19	Patch realizzata con Jitter.	91
5.20	Il Korg MS-20 mini.	92
5.21	Patch definitiva in Max/MSP/Jitter.	94
5.22	Modalità di presentazione.	95
6.1	L'attuale Teatro Serra a Pontenure(PC).	100
6.2	Interno del teatro Serra attuale.	101
6.3	Una delle due ali laterali.	101
6.4	Sezioni laterali del Teatro Serra.	105
6.5	Sezioni frontali del Teatro Serra.	106
6.6	Coefficienti di assorbimento acustici per alcuni materiali selezionati.	109
6.7	Primo render dell'interno del Teatro Serra.	111
6.8	Render dell'esterno del Teatro Serra.	111
6.9	Prima simulazione con EVERTims.	112
6.10	Seconda simulazione con EVERTims.	113
6.11	Visualizzazione delle sweep su Adobe Audition (speakers al centro).	115
6.12	Impulso: esempio 1.	116

6.13	Impulso: esempio 2.	117
6.14	Impulso: esempio 3.	118
6.15	Toni: esempio 1.	119
A.1	Pin MIDI.	124
A.2	Esempio di MIDI daisy Chain.	125
A.3	Sintesi dei Messaggi MIDI possibili in generale.	128
B.1	Costruzione di una scala pitagorica.	130
B.2	Costruzione di una scala naturale.	131
B.3	Diversi tipi di scale.	132
B.4	La scala cromatica.	137
B.5	Raga Todi Thaat.	138
B.6	Scala ungherese.	138
B.7	Modo Ultrafrigio.	139
B.8	Modo Ionico Aumentato diesis2diesis4.	139
B.9	Modo Orientale.	140
B.10	Modo Lidio diesis2diesis6.	140

Elenco delle tabelle

4.1	Grandezze di operatività del modulo AD8232 [30]	41
4.2	Analisi di Vantaggi e Svantaggi per ogni tipo di elettrodo affrontato.	44
4.3	Specifiche modulo KY015.	46
4.4	Tabella verità NE555	50
4.5	Grandezze caratteristiche di un NE555 in modalità astabile.	52
4.6	Grandezze calcolate per il circuito costruito.	52
4.7	Specifiche dell'ATMega 328p.	55
6.1	Risultati del calcolo del T_{60}	108
A.1	Esempio di un messaggio MIDI a 3 byte.	126
B.1	Gradi della scala diatonica.	132
B.2	Caratterizzazione dei diversi modi musicali della scala maggiore diatonica.	134
B.3	Corrispondenza fra sistema occidentale e sistema indiano.	135
B.4	Alcuni fra i raga e i thaat indiani più utilizzati e le loro equivalenze	136

Listings

3.1	Lo sketch SampleAnalysis.ino	25
3.2	MIDIMessage structure	27
3.3	Lo sketch main.	27
5.1	Funzioni setup() e loop().	69
5.2	Funzione checkKnob().	70
5.3	Funzione sample().	71
5.4	Funzione checkDelta().	71
5.5	Funzione analyzeSample().	73
5.6	Scala semi-cromatica.	76
5.7	Funzione setNote().	76
5.8	Funzione midiSerial().	77

Capitolo 1

La Performance

Da un punto di vista storico i primi organismi monocellulari cominciarono ad effettuare la fotosintesi circa 3,5 miliardi di anni fa con un anticipo consistente rispetto alla comparsa dei primati. Lo stampo evolutivo fornì questi organismi della capacità di trasformare l'energia proveniente dal Sole in energia chimica. Circa 430 milioni di anni fa, da un gruppo di briofite (a cui appartengono i muschi) dirette discendenti delle alghe ancestrali, si staccarono le prime piante dotate di un sistema vascolare (tracheofite). Da allora i vegetali abitano con gli esseri viventi animali il pianeta Terra.

La mancanza di un sistema nervoso, i tempi incredibilmente dilatati di vita e altri fattori biologici rendono tuttavia la comunicazione fra queste diverse specie molto difficoltosa. La relazione uomo-vegetale, inoltre, è stata seriamente incrinata e messa in discussione dallo sfruttamento in ottica industriale del primo a scapito del secondo. In aggiunta, il diffuso sentimento antropocentrico del quale siamo protagonisti, che ci vede come al centro dell'intera natura, rende complicata la comprensione di forme di vita differenti.

Queste riflessioni, in particolare, hanno contribuito a porre le fondamenta per l'ideazione consapevole dell'esibizione. In questo primo capitolo saranno approfondite le idee alla base di tutto lo studio e le tematiche che si vorrebbero evidenziare con la performance.

1.1 Idea

L'idea cardine di tutta la performance è esplorare una nuova forma di comunicazione e di relazione fra uomo e vegetale che abbia come punto di incontro fondamentale il linguaggio musicale. Come esposto nel Capitolo 2 la musica ha un effetto consistente anche sulla crescita e sulle funzioni biologiche vegetali. Inoltre, come ben noto, è una delle espressioni artistiche umane più considerate e studiate.

Le difficoltà comunicative nel relazionarsi con un mondo "altro" rispetto al nostro nascono nelle barriere create dall'incapacità di comprendere ed esprimere un linguaggio, se così si può chiamare, che non ci appartiene e che non possiamo conoscere. Fin dal *Tractatus Logico-philosophicus* di Ludwig Wittgenstein si è dimostrato palese come il confine linguistico di un particolare mondo sia tracciato dal vivere in esso e dai fatti che accadono internamente ad esso. "Il mondo è così come accade" e insieme "Ciò che accade, il fatto,

è il sussistere di stati di cose" [38]. Non possiamo comprendere il mondo di un vegetale perchè non viviamo nell'esistere concreto di un vegetale. Fuori da questi confini c'è, quello che il razionalissimo Wittgenstein chiama il mistico, l'inferenza, il non-certo. Secondo il filosofo tedesco l'esperienza umana non può avere la presunzione di esprimere con il proprio linguaggio ciò che abita questa dimensione: nella celeberrima proposizione 8 afferma che "Su ciò di cui non si può parlare, si deve tacere". [38]

Tuttavia la musica pare essere il punto di contatto più fedele fra i due mondi: sortisce effetti benefici sia sui vegetali che sugli esseri viventi. Potrebbe di fatto essere una possibile forma di comunicazione e di relazione. Questa è l'idea di base che stimola la ricerca di Singing Plants.

1.2 Temi e Concetti

Le tematiche ed i concetti di cui ci si vuole occupare sono molteplici e multidisciplinari. L'idea alla base, infatti, permette diverse contaminazioni di diversi ambiti.

Uno dei fattori chiave di tutte le sonificazioni è il conferire un senso profondo ad ogni input raccolto, cioè ad ogni sensore che si vuole utilizzare. In particolare, come vedremo nel capitolo 4, sono stati utilizzati degli elettrodi, un sensore di temperatura/umidità relativa, un sensore di umidità del suolo e una fotoresistenza, che misura le variazioni di luminosità ambientale.

Inizialmente, dunque, è necessario specificare che significato si vuol dare a ciascuna delle parti in gioco a livello hardware per aver maggiore consapevolezza nella fase di creazione e sviluppo.

Gli elettrodi: la voce della pianta

Gli elettrodi, che si pongono sulla superficie delle foglie, rappresentano la "voce della pianta", il suo canto e il suo sibilo. È un canto non rappresentabile facilmente dalle armonie e dai costrutti appartenenti agli esseri umani, poiché non conosciuto. Proprio perché non conosciuto, esotico, distante assomiglia ad un "canto delle sirene", una voce ammaliante, un sibilo costante, un sospiro profondo e continuo. Un vociferare babelico, una lingua che è l'insieme di tutte le lingue. Una sfumatura che rappresenta l'ignoto. Questo ignoto è rappresentato musicalmente nella performance con modi e scale, soprattutto utilizzati nel jazz: per esempio il lidio, il superfrigio, orientale ecc.

La voce della pianta è una sorta di campana tibetana che, suonata a certe frequenze secondo la filosofia buddista, ha effetti sull'emozionalità umana.

Il tempo nel quale alberga la pianta è incredibilmente dilatato biologicamente, è un tempo di stabilità, di attesa, di calma e di fermezza. Tuttavia c'è anche della femminilità, della delicatezza e della sensualità, se così si può dire, nella realtà di una pianta da appartamento come quelle che in esame in Singing Plants.

Temperatura, umidità e luce: l'effetto ambientale

I sensori di temperatura/umidità e di luce, inseriti nella performance, come vedremo nel Capitolo 4, misurano grandezze che hanno a che fare con l'ambiente circostante. Solitamente grandi variazioni di questi elementi sono causate da un intervento artificiale umano (apertura di una finestra, accensione della luce ecc.) oppure da un cambio generale dell'ambiente in cui si sviluppa l'esibizione. Sono perciò grandezze soggette soltanto a cambiamenti repentini. Uno "squarcio" improvviso nel flusso generale, quando sussiste una modificazione consistente. Per queste caratteristiche è interessante valutare gli stimoli provenienti da questi sensori integralmente e farli subentrare nella performance soltanto quando viene introdotto un cambiamento consistente nell'ecosistema performativo.

Il suolo come connessione

Il suolo è ciò che connette il mondo vegetale e il mondo umano. E' parte della Terra, di Gaia. E' il ponte che mette in relazione i due mondi. Ciò che co-abitiamo e che utilizziamo in differenti modi. Per questa ragione è una presenza ambigua. Le nostre co-abitazioni e relazioni, infatti, non sono semplici: le barriere comunicative fra i mondi confondono e rendono ambivalente l'occupare il suolo dei due mondi. Il suolo è viscerale, compatto, un'inquietante presenza che rappresenta questo tipo di relazione.

L'ignoto

L'ignoto è il relazionarsi con un mondo più antico di noi. Nel caso di Singing Plants si tratta del mondo vegetale che risiede su questo pianeta da ben prima degli esseri umani. E' stato testimone silenzioso della nostra inevitabile espansione e ha osservato, anche nella piccola pianta che abbiamo sopra i nostri tavoli, appare fermo, in attesa immobile. Il mondo vegetale, inoltre, nell'era dell'antropocentrismo sfrenato, sembra essere assolutamente alieno ed esotico.

1.3 References

Insieme alle tematiche appena sviluppate, il lavoro di ideazione della performance è stato suggestionato da numerosi contributi di artisti già esistenti ed operanti in svariati settori.

1.3.1 Herman Kolgen - Seismik (2014)

In ambito di Sonic Interaction Design, cioè di sonificazione tramite interfacce di grandezze fisiche rilevate tramite sensori, uno degli artisti che maggiormente ha lavorato sulla trasformazione in suono di segnali provenienti dal mondo naturale è Herman Kolgen. [25] Acclamato artista canadese con più di tre decenni di esperienza negli ambiti del sound design e della progettazione di interfacce di sonificazione, ha lavorato in svariati settori in modo multidisciplinare. Si definisce uno "sculture audio-cinetico" : tramite il materiale

grezzo ricavato dai sensori riesce a conferire un nuovo significato alla relazione fra suono e immagine. Kolgen si è occupato di produrre installazioni, opere, video, film, performance e sculture sonore. Ha sempre lavorato in un clima di costante ricerca ed esplorazione, appoggiandosi a supporti crossmediali, per congiungere un nuovo linguaggio con una nuova estetica performativa.



Figura 1.1: Herman Kolgen.

Seismik (2014) rappresenta la perfetta sintesi delle concezioni artistiche di Herman Kolgen. Dal 2008 Herman Kolgen ha inaugurato un percorso individuale d'interrogazione radicale dei sistemi audiovisivi. Il suo lavoro è caratterizzato da un approccio "radiografico" alla materia sonora e visuale, in cui le dimensioni dell'invisibile e dell'inudibile prendono forma manifestandosi alla percezione dello spettatore. Attratto dalla dimensione organica, Herman Kolgen è ispirato dalla tensione interna che abita la tras-formazione della materia. *Seismik* rappresenta il culmine di questo tipo di percorso.

L'opera si ispira ai fenomeni geodetici, ai binari di attrito, ai terremoti fossili e al modello geologico. Usando i dati sismici in tempo reale misurati in posti diversi del mondo da San Paolo alla Cina, Kolgen mette in scena una monumentale opera audiovisiva. Ogni vibrazione catturata dai sismografi viene trasformata da un algoritmo in suono in tempo reale. L'opera punta a far riflettere sul nostro rapporto con la materia e con l'insondabile. Quando entriamo nello spazio-tempo all'interno della materia invisibile, tutta la nostra percezione cambia, cerchiamo un nuovo punto di vista dal quale guardare le cose. Quando tutto si immobilizza e ci avviciniamo alla più piccola particella di materia, ci rendiamo conto che anche questo, nonostante tutto, si muove costantemente e cerca un rapporto dinamico con l'ambiente circostante. *Seismik* suggestiona *Singing Plants* per il particolare rapporto che crea fra dati raccolti dal mondo naturale e resa sonificata. Le vibrazioni misurate dal sismografo vengono trasmesse in modo viscerale allo spettatore che, per la prima volta, può rendersi conto, nelle proprie orecchie e sulla propria pelle, di quanto ignoto si nasconda nella materia.

Kolgen si avvale di un'applicazione programmata in OpenFrameworks per connettersi in

real time con i dati sismici e del protocollo OSC per collegare l'audio e il video al suo kit Modulare. Non è tanto distante dal concetto di relazione fra uomo e vegetale che si vorrebbe far passare con *Singing Plants*. Questo ignoto, nel nostro caso, è la metodologia di comunicazione fra mondo della pianta e mondo degli esseri umani. La trasformazione dei feedback raccolti serve a concretizzare e rendere tangibile questa parte di materia che pensiamo di conoscere, che in realtà ci sfugge.

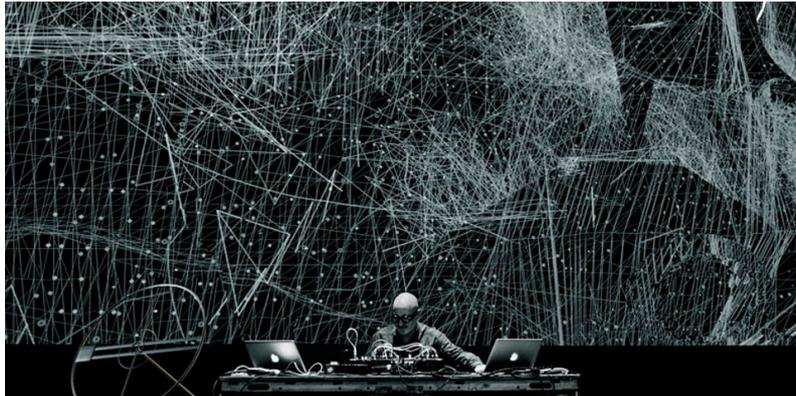


Figura 1.2: *Seismik* (2014).

1.3.2 Brian Eno e David Byrne - *My Life in the Bush Of Ghosts* (1981)

Dal punto di vista musicale, questo album contiene l'estrema sintesi delle concezioni musicali di due influenze importantissime dal punto di vista creativo.

A detta della critica, è uno dei frutti più maturi della musica analogica che si avviava a diventare elettronica e digitale. Allo stesso tempo è l'apripista ad una nuova concezione di musica pop, prima decostruita e poi ricostruita sulla base di concetti assolutamente nuovi e inaspettati. I due co-autori la musica popolare la conoscevano fino in fondo, Byrne l'aveva rivoluzionata con i *Talking Heads*, mentre Brian Eno l'aveva esplorata nel suo percorso da bassista per i *Roxy Music* e stava cominciando a porre i pilastri della musica *ambient*. L'album è il massimo sforzo raggiungibile e raggiunto dall'unione di due menti colte, sfavillanti di intelligenza, innamorate dei suoni del mondo, che giocano con concetti, ritmi e armonie trattati e decostruiti. Non c'è né armonia né disarmonia: tutto si mischia e si confonde in una tela di connessioni e libere associazioni.

Si tratta di un album che ruota attorno al concetto di etnico, di esotico, ancora una volta di ignoto. Allo stesso tempo solleva domande sulla manipolazione portata dall'imperialismo culturale occidentale sulle culture altre.

Il processo creativo è stato lungo ed articolato. I due artisti campionarono tracce vocali da frammenti di trasmissioni radiofoniche, anticipando e introducendo la tecnica del *sampling*, insieme a musica mediorientale. Successivamente li misero in contrapposizione con la mente percussiva e ripetitiva *funk*, progettata per far scaturire una danza in chi ascolta. I campionamenti scelti dai due riflettevano certe bizzarre espressioni della *Deep America*,

ovvero trasmissioni radio e tv a base di politica e religione, che trasmettevano talvolta un entusiasmo quasi mistico e un senso del ritmo impensabile; oscuri predicatori, rissosi oratori ed evangelisti dalla voce squillante furono pazientemente registrati e si pensò di usarli come voci narranti del nuovo mondo, decontestualizzati e scansionati come fonte timbrica e ritmica. Attorno a questi e ad accurate selezioni vocali da dischi africani e mediorientali, si realizzarono musiche che fossero una colonna sonora talvolta consonante, talaltra complementare, se non addirittura in forte contrasto con la leading voice.

Il termine voce guida non è usato a caso: si parla infatti del centro del complesso discorso intrapreso dai due, che sin da subito vollero dare una connotazione precisa al progetto decidendo di non usare il loro canto; infatti l'ascoltatore associa a quelle voci utilizzate determinate caratteristiche proprie di un ambiente sociale preciso, sono input ben conosciuti e metabolizzati. In questo caso avviene uno stravolgimento, una presa di distanza da quelle parole cantate, salmodiate, urlate, declamate, presentate in tutto il loro splendore di registrazioni sul campo, con tanto di fruscii, distorsioni e quant'altro, voci introdotte in altri contesti che ne azzerano il significato e costringono a ripensarle, a considerarle per altri aspetti; è ciò che accade in questo disco.

Lo spirito delle scelte creative e musicali è sintetizzato nel titolo dell'album: "La mia vita nel bosco degli spettri" è il nome di una novella degli anni 50 dello scrittore sudafricano Amos Tutuola, che smembrava e ricomponeva in una sorta di slang estatico la lingua per meglio descrivere le peripezie di un bambino in un bosco abitato da oscure presenze. Le suggestioni che questo album trasmette a *Singing Plants* riguardano, oltre il già citato fascino per l'ignoto e la volontà di rappresentare il non rappresentabile, il percorso di scelta dei *samples*, le scelte creative disarmoniche e la capacità di portare con l'avanguardia contenuti filosofici al grande pubblico.

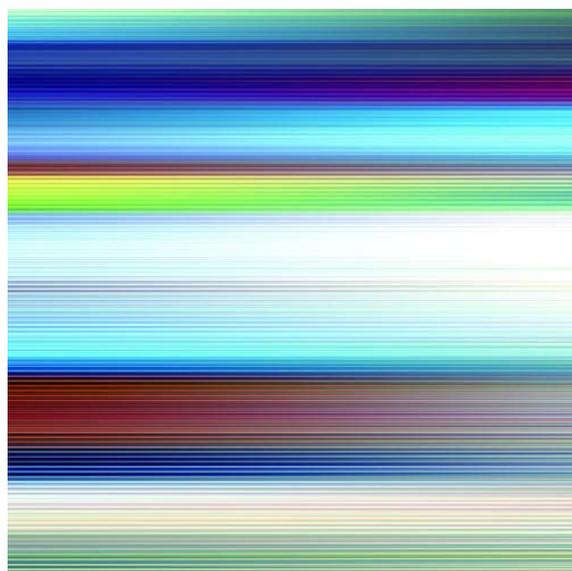


Figura 1.3: La copertina dell'album.

1.3.3 John Cage

John Cage è, a detta di molti, uno dei compositori più rivoluzionari che la seconda metà del XX secolo abbia conosciuto. Le ricerche artistiche portate avanti nel campo della musica aleatoria, sull'inesistenza di un silenzio totale, sulla decostruzione della figura del compositore sono state e sono ancora di ispirazione per la musica, trasversalmente a tutti i generi.

Nato nel 1912, a Los Angeles, allievo di Schoenberg, collezionista di strumenti e appassionato ricercatore di nuovi timbri, ideatore della tecnica del pianoforte preparato, sostenitore della musica aleatoria, ha avuto una grandissima influenza sui musicisti d'avanguardia delle ultime generazioni, autore di varie opere che hanno titoli tranquilli come *Variation II*, *Concerto per piano*, *Fontana Mix* [12].

Le ricerche musicali che più influenzano *Singing Plants* sono principalmente quelle che riguardano l'inconsistenza del concetto di silenzio. Al tempo stesso il mistero e l'ignoto che sussistono nella dimensione di mancanza di stimolo sonoro/musicale. Cage strinse forti legami con la cultura dell'estremo oriente e le pratiche zen attraverso gli insegnamenti del maestro Daisetsu Teitaro Suzuki, utilizzando anche l'I-Ching, il libro cinese dei cambiamenti, di cui si servì per fare delle scelte compositive e creative senza l'intervento della sua volontà di compositore, in modo aleatorio e senza l'intenzione. È un metodo per organizzare il caso, per controllare l'imprevedibile. Allo stesso tempo si rivolge all'alea come tecnica compositiva. Lo Zen per Cage diventa un'impostazione filosofica con cui ridiscutere il concetto di musica. La musica viene considerata l'affermarsi della vita, un modo per vivere a pieno la nostra vita. Il concetto fondamentale è la mancanza di fini, di scopi, di intenzioni: bisogna meditare sul vuoto, sull'ignoto e sul silenzio.

Uno dei pilastri filosofici di John Cage è la convinzione che la musica è natura, non è imitazione della natura. L'artista non ha controllo, non riesce ad organizzare e a dominare la natura, ma può ascoltarla. L'uomo ha un ruolo di mediazione, non è né l'esecutore né il creatore della musica, è egli stesso una forma di liberazione del suono. *Singing Plants* cerca di fare suo questo fondamentale principio: l'uomo non impone suoni e costrutti sulle piante, nonostante a volte sia impossibile farne a meno, ma libera suoni da esse, cercando di rappresentare fedelmente nell'algoritmo la natura dei bio-feedback.

Imprescindibile anche il concetto di silenzio su cui Cage ha modo di riflettere durante un'esperienza in camera anecoica all'Università di Harvard. Il compositore entrò in quel luogo aspettandosi di ritrovare il silenzio assoluto, in realtà si accorse che poteva ascoltare molto meglio il rumore del proprio battito cardiaco o la propria respirazione. Si accorse dell'inconsistenza della realtà del silenzio e la consapevolezza dell'impossibilità del silenzio assoluto. Il silenzio non è la mancanza totale di stimolo sonoro, ma il mezzo per la musica di esplorazione dell'ignoto, del non conosciuto, è attesa, ascolto, preparazione.

4'33" è l'opera di Cage più conosciuta e riprodotta. È un componimento pensato per qualsiasi strumento. L'opera consiste nel non suonare lo strumento. Per la prima volta nella musica mondiale non è lo strumento a base della composizione, ma l'ambiente che lo circonda. Cage vuole condurre all'ascolto dell'ambiente in cui si esiste, al totale ascolto del mondo in cui siamo immersi. È un'apertura totale nei confronti del sonoro. Una rivoluzione estetica: è la dimostrazione che ogni suono può essere musica.

Come scrive Umberto Eco, riferendosi proprio a John Cage: "Tutto è degno di un'attenzione gioiosa: anche un rumore. Ma il punto è qui, all'origine di questa estetica c'è un'etica. È il buddismo Zen che ci insegna a rivalutare ogni momento vitale, anche la pausa innaturale, la lentezza con cui si compie un'azione (si versa il tè, si tende l'arco), il pugno di sabbia fatto colare tra le mani, l'asperità di un sasso raccolto a caso, il fluire dell'acqua"[12]. Tutte le considerazioni qui sintetizzate hanno influenzato la creazione artistica di Singing Plants.

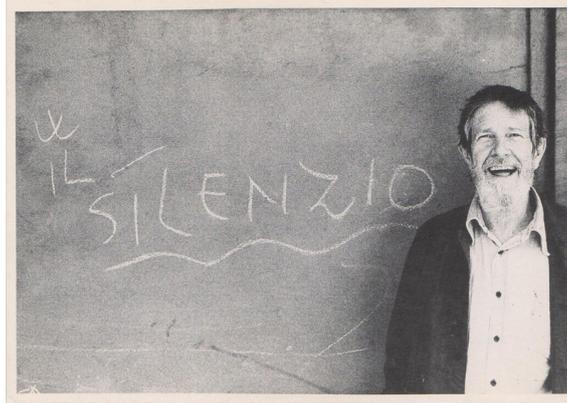


Figura 1.4: John Cage.

1.3.4 Howard Phillips Lovecraft



Figura 1.5: Howard Phillips Lovecraft.

Una parola che ritorna spesso in queste references è ignoto, mistero. La comunicazione fra uomo e pianta è a certi tratti insondabile e molto spesso sporcata dai nostri costrutti

antropocentrici. Uno scrittore in particolare ha esplorato, prima di tutti, la dimensione che sta al di là delle nostre certezze e delle nostre comfort zone. È una particolare suggestione che ha influenzato il modo di creare e di intendere *Singing Plants*, un invito ad accettare l'incertezza di cosa possiamo trovare al di là delle barriere di ciò che pensiamo essere la verità assoluta.

Howard Phillips Lovecraft, meglio conosciuto con l'acronimo HPL, è uno dei capisaldi della letteratura fantastica, horror e fantascientifica. "La letteratura del fantastico in senso lato può suddividersi in prima e dopo Howard Phillips Lovecraft" [22].

La filosofia che si può estrarre dai numerosi lavori di Lovecraft ha alcuni capisaldi che hanno suggestionato la creazione artistica di *Singing Plants*:

- la dimensione dell'ignoto: per HPL la paura è ciò che lega tutti gli esseri viventi sulla Terra, prede e predatori. La paura con più effetti sulla nostra psiche è quella per l'ignoto. Lovecraft ripudia il principio di causa ed effetto classico della narrazione fino a quel momento (persino di Edgar Allan Poe, sua grande fonte) e lo sostituisce con la mancanza totale conoscenza sia della causa che dell'effetto. L'ignoto è oblio, è ciò che esiste al di fuori dell'umano, è l'incomprensibile. Dare una causa all'ignoto sarebbe come assegnargli un costrutto totalmente umano e artificiale, ma in quel caso lo si negherebbe ontologicamente. I protagonisti delle opere di HPL non sanno mai con cosa hanno a che fare: nulla viene detto e tutto è possibile, è la mente che riempie gli spazi vuoti e crea il sentimento di paura e paralisi. La casualità perfetta non esiste per HPL, gli effetti sono causati dal caos.
- I limiti della conoscenza umana: HPL vive in un'epoca dove tutte le conoscenze che erano date per certe stavano vacillando. L'avvento della relatività e del principio di indeterminazione stavano aprendo la porta al non certo. Il sistema stabile quasi feudale era appena stato sostituito dall'incerto capitalismo. Questi elementi portano Lovecraft a riflettere sulla limitatezza della vita umana. Tutto ciò che noi diamo per certo in realtà potrebbe non esserlo, la realtà è instabile e nessuno è più vero degli altri. Lovecraft cita spesso le geometrie non euclidee capaci di creare mondi dove i triangoli hanno geometrie impossibili e dove il tempo assume un'altra interpretazione. In sintesi il mondo che noi immaginiamo non è l'unico possibile. HPL ritiene che l'essere umano è fortunato ad essere limitato e ad "ignorare" cosa c'è oltre l'abisso ignoto poichè se dovessimo oltrepassare determinate barriere saremmo distrutti dall'oscurità insensata che troveremmo. Lovecraft è un estremo scettico rispetto all'esperienza di conoscenza della realtà, tutto è messo in discussione.
- comunicare l'incomunicabile: HPL è un maestro di questo tipo di dinamica letteraria. Per esempio nel racconto *Il colore venuto dallo spazio* egli racconta del rinvenimento di un meteorite "di un colore che non apparteneva a nessuna frequenza dello spettro conosciuto" [22]. Cercando di visualizzare questo tipo di colore nelle nostre menti ci rendiamo conto di quanto sia impossibile farlo. Lovecraft ci vuole fare riflettere con questo escamotage sul senso di chiusura e finitezza dei nostri percorsi logici: siamo chiusi infatti nei nostri limiti immaginativi e di linguaggio. La sola idea di pensare un semplice colore venuto dallo spazio, altro rispetto allo spettro a cui siamo abituati

ci spaventa; il confrontarsi con l'ignoto ci destabilizza. Affidarsi ai cinque sensi non è più abbastanza

Inoltre i dialoghi in HPL sono artificiosi, il più delle volte insensati. I protagonisti si interfacciano con parole o sconclusionate oppure estremamente innaturali. I dialoghi umani sono insufficienti a descrivere l'incomunicabile, è un'esperienza oltresensoriale. L'occhi e la vista non bastano: Lovecraft dedica al senso olfattivo gran parte delle sue descrizioni.

- I Grandi Antichi: HPL mette a dura prova l'antropocentrismo al quale l'uomo era sempre stato abituato negli ultimi secoli. Nel suo universo narrativo si immagina la presenza di entità cosmiche che hanno, da ben prima dell'uomo, tessuto la tela della storia del mondo. Sono creature extraterrestri dall'immenso potere, spesso di dimensioni colossali. Queste entità sembrano avere una forma fisica, ma essendo forme di vita provenienti da altre dimensioni spazio-temporali non sono composti dalla materia a noi conosciuta. Secondo l'autore i Grandi Antichi stanno intenzionalmente riposando, come fossero animali in letargo, in attesa del ciclo cosmico adatto per risvegliarsi. Ciò significherebbe che queste creature, sotto la spinta di forze universali, periodicamente cadono in uno stato di morte apparente. "La Loro mano è nelle vostre gole, eppure voi Loro non vedete" [22]. Ancora una volta ritorna il caposaldo dell'altro rispetto a noi, dell'ignoto cosmico. Che in questo caso è una presenza inquietante e malevola. L'intero "pantheon" ideato dall'universo narrativo lovecraftiano è ricontrabile principalmente nei racconti appartenenti al *Ciclo di Chtulu*.

Questi elementi hanno condizionato l'ideazione di *Singing Plants*. Al contrario del pessimismo certo di HPL, nel caso della performance in questione il contributo è maggiormente ambiguo. L'ignoto è sempre il relazionarsi con un mondo altro da noi, il mondo vegetale, con il quale non ci è possibile comunicare secondo i costrutti linguistici a cui siamo abituati. Il nostro linguaggio, persino musicale, ha difficoltà ad esprimere la relazione uomo-pianta. Musicalmente c'è la volontà di trasmettere l'incomunicabile, cercando di liberarlo da concezioni umane (come per esempio la logicità della scala maggiore) tramite un'operazione di randomizzazione nell'algoritmo. Il mondo vegetale tuttavia, a differenza del pensiero lovecraftiano, non è malevolo a priori. È un osservatore silenzioso delle vittorie e dei drammi dell'essere umano, uno scrutatore coesistente che tocca lo stesso nostro suolo. L'ignoto, soprattutto nella progettazione della performance, è il capire come relazionarsi e come rappresentare tale sistema. Inoltre, come già detto, i vegetali occupano questo pianeta da ben prima di noi, come gli Antichi lovecraftiani e, nel loro perenne stato vegetativo, vivono una vita con tempistiche e fattori assolutamente "alieni" alle concezioni a cui siamo più abituati.

Capitolo 2

La strada verso le Singing Plants

Il rilevare le bio-emissioni presenti sulle piante non è un ambito completamente nuovo. Alcune realtà portano avanti ricerche in questo campo da diversi anni ormai. E' necessario, infatti, ripercorrere la storia dei pionieri di questo tipo di tecnologia per comprendere la natura degli apparati e del percorso tecnologico delle ricerche sul *bio-feedback*.

2.1 Cleve Backster e la Percezione Primaria

Le ricerche che riguardano il produrre suoni utilizzando le bio-emissioni delle piante affondano le loro radici negli anni '70 quando una serie di ricercatori, spinti dal contemporaneo crescente interesse per le tematiche ambientali, cercò di trovare un modo di dimostrare che le piante sono considerabili esseri dotati di una loro autonomia e pensiero.

Delle scoperte di questi pionieri e sperimentatori se ne può trovare traccia concreta nel documentario *The Secret Life of Plants* del 1978, con le musiche di Stevie Wonder. Il documento raccoglie una notevole serie di testimonianze di ricerche effettuate nel campo dei vegetali.

Una figura molto discussa in ambito scientifico, che contribuì in modo assolutamente significativo all'avviarsi di tali ricerche, fu quella di Cleve Backster. Ex dipendente CIA, era colui che si occupava di gestire i macchinari addetti a stabilire se un individuo stava mentendo o meno, anche detti poligrafi o macchine della verità.

Questo tipo di supporti erano basati sulla cosiddetta *Galvanic Skin Response* (GSR). Il principio poneva le sue radici nella misurazione, tramite calcoli di resistenza basati su *ponte di Wheatstone*, delle variazioni di umidità sulla pelle umana; infatti in determinate condizioni di stress, in particolar modo quando si mente senza essere allenati al controllo, si possono misurare delle variazioni fisiologiche nell'individuo: per esempio sudorazione e battito cardiaco aumentano. I galvanometri misurano, in particolar modo, l'attività delle ghiandole sudorifere sottocutanee, per mezzo di due elettrodi posizionati solitamente dove esiste maggiore concentrazione delle stesse (per esempio sull'indice e sul medio della mano). La variazione di una corrente a basso voltaggio applicata tra i due elettrodi è utilizzata come misura dell'*attività elettrodermica* (EDA).

Nel 1966, grazie a questo tipo di tecnologia, Backster diede il via a una controversia tuttora

irrisolta. Gli venne l'idea, fino all'ora non esplorata, di legare una pianta domestica a una macchina della verità, e rimase allibito nel vedere che la pianta emetteva segnali emotivi molto simili a quelli degli uomini. Backster non si fermò a questo e allestì una serie di esperimenti assolutamente rivoluzionari.

Seguendo le spiegazioni scientifiche legate al galvanometro del quale era esperto, si aspettava di rilevare un trend positivo nell'aumento di resistenza nel momento in cui la macchina sarebbe stata collegata alla pianta. In realtà rilevò un trend negativo in tutti i casi. Questo significava che la spiegazione non potesse semplicemente relegarsi al semplice aumento di resistenza fra gli elettrodi. Per citarne alcuni, il suo *Lie Detector* indicava reazioni positive quando le piante venivano annaffiate, allo stesso tempo la reazione era negativa se alle piante veniva avvicinato un fiammifero. Ulteriori esperimenti mostravano che le piante soffrivano se nelle loro immediate vicinanze veniva fatto del male a qualche essere vivente. Molto celebre, in questo caso, è l'esperimento dove lo stesso Backster taglia una lattuga di fronte ad una pianta che risponde con un segnale negativo. Un ulteriore test sembrò addirittura indicare che i vegetali riconoscevano chi aveva distrutto precedentemente una pianta nella stessa stanza.



Figura 2.1: Cleve Backster di fronte al suo Lie Detector.

Backster, dopo due anni, decise di pubblicare i risultati conseguiti nei continui esperimenti in un saggio sull'*International Journal of Parapsichology* intitolato *Evidence of Primimary Perception in Plant Life*. L'argomento fu ripreso successivamente nel best-seller di Peter Tompkin e Christopher Bird *The Secret Life of Plants* (Vita segreta delle piante) del 1973, base di quello che diventerà il documentario precedentemente citato.

In questo saggio Backster intendeva dimostrare che "esiste una percezione primitiva, tuttora indefinita, nella vita vegetale, che la fine della vita animale può servire come stimolo alla lontana per dimostrare questa capacità di percezione e che tale possibilità di percezione nelle piante dimostra di funzionare indipendentemente dall'interessamento umano." [6] Backster chiamava *Percezione Primitiva* o *Primaria* la capacità delle piante di anticipare le emozioni umane. Sosteneva che ci fosse in loro la capacità innata di empatizzare con l'essere umano, una specie di percezione extrasensoriale, così profonda da coinvolgerne i tessuti e persino le cellule. Questo tipo di convinzione era confermata, secondo Backster da un set di esperimenti che eseguì poco prima della pubblicazione: utilizzando tre diversi esemplari di *Philodendron cordatum*, collegati ad altrettanti galvanometri, più uno

collegato ad un resistore fisso per evidenziare le possibili variazioni in tensione dovute a disturbi o discontinuità in erogazione di corrente, notò che le piante reagivano fortemente e in sincronia all'uccisione di gamberetti di fiume fatti cadere in acqua bollente. Per evitare di falsare l'esperimento con la sua presenza Backster ideò un congegno automatico che sganciava gli animali nell'acqua in tempi casuali. Per avere maggiore sicurezza installò due pentole, una con acqua bollente e una con acqua a temperatura ambiente. I gamberi venivano lasciati cadere in modo casuale in una delle due pentole. Di fatto rilevò che le piante rispondevano con picchi sul galvanometro soltanto nel caso in cui i gamberetti cadevano nell'acqua bollente. [8]

Tali risultati, ripetuti numerose volte, fecero ipotizzare a Cleve Backster il fenomeno della percezione primaria.

Tuttavia il mondo scientifico maggiormente razionale si dimostrò scettico sulle ricerche di Backster, infatti molti sostenevano che la sua logica e metodologia di ricerca fosse errata e che di fatto le piante rispondessero soltanto alla quantità di anidride carbonica presente nell'aria. La teoria di Backster, infatti, non trovò mai conferma da parte della scienza ufficiale, un destino comune a quasi tutte le "scoperte" parapsicologiche: alcuni sostennero che i poligrafi reagissero, semplicemente, all'accumulo di elettricità statica nella stanza e altri, più pittorescamente, azzardarono che Backster fosse dotato di telecinesi.

La stampa, che inizialmente aveva ignorato il saggio di Backster, scoprì con entusiasmo tali ricerche quando "nel febbraio del 1969 National Wildlife pubblicò un articolo a sensazione che attirò l'interesse mondiale al punto da far sì che le segretarie e le casalinghe si mettessero a parlare delle loro piante"[8] Le sue scoperte condivisibili o meno, tuttavia, fecero parlare e aprirono le porte a un intero ambito di ricerca che approfondisce le interazioni e le relazioni fra l'uomo e la pianta. Molti curiosi, come ad esempio alcuni scienziati della comunità Damanhur come vedremo più avanti nel progetto *Music for Plants*, cominciarono a chiedersi se ci fosse un modo per trasformare il segnale catturato sulle foglie della pianta da Backster in un algoritmo per produrre un'armonia musicale. Anche *MIDI Sprout* ammette fra le sue forme di ispirazione l'influenza degli esperimenti di Cleve Backster.

2.2 Sauvin, Byrd e i bio-feedback

Il primo, dopo Backster, a rilevare interessanti risultati nell'ambito della comunicazione fra umani e piante è Pierre Paul Sauvin, un tecnico elettronico di West Patterson, nel New Jersey. Ascoltando alla radio un'intervista allo stesso Backster ne fu illuminato a tal punto da ideare un intero apparato di verifica in merito all'empatia della pianta.

L'esperimento prevedeva un trenino elettrico che poteva andare solamente avanti e indietro. Se arrivava a destinazione attivava un pulsante che produceva una scossa leggera, ma avvertibile sul corpo dello stesso Sauvin. Alla pianta era data la possibilità con il suo bio-potenziale galvanico di cambiare la direzione del treno e di farlo tornare indietro. Le prime volte arrivarono scosse a Sauvin. Appena, tuttavia, il philodendron attaccato al galvanometro captava la reazione emotiva di Sauvin, che si aspettava la scossa, mandava un picco al galvanometro e faceva tornare il trenino alla sua partenza. Era come se, in

qualche modo, la pianta prevedesse il dolore del soggetto e cercasse di evitarlo.

Negli anni successivi Sauvin mise a punto un apparato con precisione maggiore rispetto a quello di Backster, eliminando un considerevole numero di rumori elettronici. Grazie a questo tipo di supporto elettronico, Sauvin mise a punto un sistema per cui era data la possibilità alla pianta di aprire la porta di un garage di una casa. La pianta, di fatto, apriva, con i soliti picchi galvanometrici, soltanto all'individuo a cui era abituata.

Un altro importante contributo fu quello di Eldon Byrd, un analista delle operazioni del Reparto Progettazioni e Analisi avanzate presso il Naval Ordnance Laboratory di Silver Spring. Byrd, al pari di Backster, aveva scoperto che il solo pensare di danneggiare la foglia di una pianta, provocava un balzo dell'ago del poligrafo.

Byrd credeva che l'effetto galvanometrico prodotto da una pianta non fosse causato dalla resistenza elettrica nella foglia, ma da un cambiamento di biopotenziale nelle cellule dalla membrana esterna a quella interna, come era stato scoperto dallo svedese L. Karlsson [19]. Tale ricerche avevano evidenziato come un gruppo di cellule può cambiare polarità, benchè non si conosca l'energia precisa con la quale avviene tale polarizzazione. Secondo Byrd la variazione di voltaggio che si misurava nelle cellule e il conseguente cambiamento di potenziale era causato dal meccanismo della coscienza.

In continuità con le ricerche di Backster, egli scoprì che "le piante tendevano a sentirsi male, per un'eccessiva tensione, cessando improvvisamente di reagire anche agli stimoli più basilari, come luce e calore" [8]. Questo tipo di reazione era una sorta di blackout emotivo simile ad uno svenimento nell'essere umano. Le piante dunque, sottoposte a stress, annullavano ogni tipo di bio-feedback. Per esempio, Byrd poté dimostrare alla televisione la reazione negativa di una pianta di fronte a lui che scuoteva uno scatolino contenente un ragno, cioè un essere vivente, con un ritardo di un secondo appena. Tale tipo di reazione sulla pianta continuava fino ad un minuto. Una forte reazione fu registrata anche quando egli tagliò una foglia da un'altra pianta.

2.3 Musica per le piante

La copertina del bizzarro album *Plantasia* di Mont Garson presentava un'illustrazione con due persone che stringevano a sé una pianta d'appartamento ed esso veniva fornito al pubblico con un opuscolo gratuito: su tale supporto veniva descritto come le piante avrebbero giovato nella loro crescita biologica di un ascolto continuato dell'album. Personaggio assolutamente eclettico ed eccentrico, si era occupato della composizione delle musiche di accompagnamento all'atterraggio dell'Apollo 11 sulla Luna per la televisione americana. Dovevi suonare la "musica calda della Terra" alle piante "per aiutarle nella loro crescita". Garson, pupillo di Robert Moog, l'inventore del celebre sintetizzatore Moog, compose tutto l'album avvalendosi di questo strumento futuristico per i tempi.

Garson aveva una formazione prettamente creativa e non si era di certo fermato ad approfondire il discorso di come la musica influenzasse la vita di una pianta. Tuttavia l'argomento non era nuovo alla scienza che negli anni precedenti aveva prodotto una serie di esperimenti volti a stabilire quali contenuti armonici e quali stili musicali influissero di più nel

vivere sano di un vegetale.

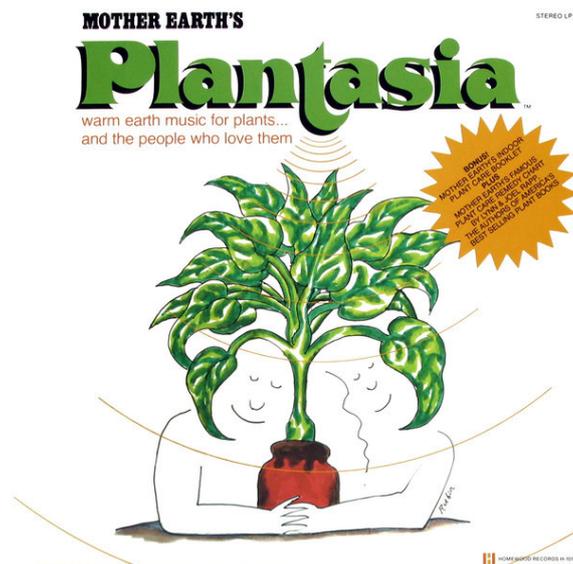


Figura 2.2: La copertina dell'album Plantasia di Mont Garson.

L'idea che la musica possa in qualche modo interferire con i vegetali nasce direttamente nell'antichità, in particolar modo nella religione induista. La musica era vista come un ponte fra la natura fisica e la natura spirituale, cioè un legame con il mondo degli dei.

Un primo approccio scientifico alla vita armonica delle piante si ebbe nel 1960 in una piccola comunità agricola nell'Illinois a Normal. Il botanico e ricercatore agrario George E. Smith, intenzionato a scoprire il legame fra musica e crescita vegetale, coltivò granturco e soia in due serre assolutamente identiche, tenute esattamente allo stesso grado di temperatura e umidità. In una serra installò un giradischi che suonava la *Rapsodia in Blu* di George Gershwin per ventiquattro ore consecutive. Nell'altra le condizioni rimasero quelle standard. I risultati riferirono che le piante nella serra con la musica germogliarono più in fretta di quelle rimaste in ambiente silenzioso. Ripeté l'esperimento più volte e ottenne sempre lo stesso tipo di risultato.

Gli esperimenti che diedero risultati più consistenti furono quelli iniziati da Dorothy Retallack [27] nel 1968 a Denver. Ella era venuta a conoscenza degli studi di Smith e aveva scelto di occuparsi degli effetti della musica sulle piante nel suo lavoro di tesi in Biologia. L'università le mise a disposizione una serie di piante differenti e tre celle biotroniche ambientali Mark III che permettevano una regolazione esatta di luce, umidità e temperatura. Lo scopo dell'esperimento era stabilire con esattezza quali note musicali, e di conseguenza quale contenuto armonico, influenzasse di più la crescita e la sopravvivenza degli esemplari. La dottoressa Retalack assegnò una cella ad un gruppo di vegetali detti "di controllo" poichè dovevano garantire le condizioni standard per paragone, la seconda ad un gruppo sottoposto alla nota Fa per otto ore al giorno e nella terza un altro gruppo con la

nota Fa solo per tre ore. Le piante erano irrorate con lo stesso dosaggio di acqua e con le stesse condizioni di umidità e temperatura. I risultati evidenziarono che nella seconda cella, quindi con un'esposizione prolungata, le piante erano completamente morte dopo due settimane; nella terza cella si riscontrarono piante molto più floride rispetto a quelle lasciate in condizioni standard nella prima cella.

I risultati crearono parecchie perplessità nei ricercatori e decisero di andare più a fondo. Non avevano idea di quale fosse la causa intrinseca di reazioni così disparate. Due studenti di biologia, stimolati dalle ricerche della Retallack, decisero di effettuare un esperimento con lo scopo di stabilire quale genere musicale stimolasse maggiormente la crescita vegetale. L'esperienza durò otto settimane e la specie scelta fu il melopopone, una sorta di zuccina proveniente da coltivazioni orientali. Nelle celle furono trasmesse stazioni radio di generi differenti: in una passava musica prevalentemente rock, nell'altra brani di Beethoven, Brahms, Schubert e altri artisti classici. In quest'ultima stazione i mellopiani crebbero in direzione delle radio a transistor, nell'altra, invece, si allontanarono dalla radio e cercarono perfino di arrampicarsi sulla gabbia di vetro.

Colpita dal successo di questa esperienza la stessa Retallack volle portare avanti una serie di prove analoghe nel 1969 con mais varietà *saccharata*, melopoponi, petunie, zinie e calendule e registrò il medesimo risultato. La musica rock, produceva sulle prime, una crescita abnorme delle piante in altezza che generavano foglie piccolissime, oppure ne arrestava la crescita. Inoltre fu evidenziato che le piante sottoposte a rock avevano un consumo di acqua del suolo molto più accentuato. [8]

Successivamente si volle tentare un ulteriore genere musicale e cioè l'*acid rock*, un tipo di musica particolarmente aspra e a percussione che subordina l'armonia al volume e al tempo. Tutte le piante coinvolte si piegarono in direzione opposta rispetto agli altoparlanti. Allora si provò a rigirare i vasi di 180° per valutare se non fosse una casualità di crescita, ma le piante invertirono ancora una volta la direzione in modo opposto all'amplificatore. La dottoressa Retallack pensò fosse a causa dell'elemento ritmico martellante e denso di bassi, caratteristico di tale musica, che causava una vibrazione continua nelle piante. A quel punto, facendo un'accurata selezione del noto motivo spagnolo *La Paloma*, ne fece ascoltare alle piante due diversi arrangiamenti: il primo eseguito con tamburi d'acciaio e il secondo con strumenti a corde come violini. Si evidenziò che le piante si inclinarono di 15° nella direzione della fonte della musica nel caso dei violini. Al contrario, nel caso delle percussioni, le piante si allontanarono di circa 10°.

Gli esperimenti continuarono negli anni successivi e la Retallack raccolse una quantità stratosferica di riscontri sulle armonie che stimolavano una crescita positiva nei vegetali. Fra gli altri scopri feedback positivi per la musica di Bach, per il sitar di Ravi Shankar e per la musica maggiormente armonica. Tutte queste considerazioni le fecero supporre che i vegetali potessero essere più stimolati da melodie poco dissonanti, regolari e classiche. Tuttavia quando la studiosa provò a sottoporre i soggetti a musica di neo-classicisti e avanguardisti, comprensivi di dodici tonalità e di numerose dissonanze, non evidenziò distorsioni nella crescita della pianta. Questo le fece intuire che la spiegazione doveva essere maggiormente complessa di un semplice fatto armonico.

Le spiegazioni più accreditate del fenomeno sono da riferire a fattori atomici. Nonostante le piante non siano dotate di organi di senso che permettano l'ascolto reale della musica,

come negli esseri umani, è possibile che possano essere influenzate a livello cellulare. Nel 1967 un professore di chimica all'Università Johns Hopkins pubblica *The Symphony of Life* [3]. In questa pubblicazione sostiene fermamente l'idea che nell'atomo ci siano toni acuti dozzine di volte più alti dei toni più elevati di un violino. Chiama questo tipo di frequenze "la musica del nucleo atomico". Hopkins lega i fenomeni di variazione nella crescita vegetale a modificazioni e interferenze fra questo tipo di frequenze. Resta il fatto che fino ad oggi le scoperte sugli effetti benefici della musica sui vegetali sono alla base di numerose tecnologie e tecniche agronomiche.



Figura 2.3: Dorothy Retallack alle prese con esperimenti sulle piante.

2.4 Tecnologie che utilizzano gli effetti benefici della musica sui vegetali

La spiegazione più plausibile dei fenomeni precedentemente elencati è da ricercare nel protoplasma. Il Protoplasma è la materia che indica il complesso di sostanze contenute nella cellula che sono circondate dalla membrana cellulare in tutti gli animali e i vegetali. Tale sostanza è in uno stato di movimento perpetuo. Le vibrazioni sonore raccolte dalla pianta potrebbero accelerare il movimento protoplasmatico nelle cellule. Questa stimolazione potrebbe quindi influenzare il sistema totale e migliorare le prestazioni, come ad esempio la produzione di sostanze nutrienti che sviluppano una pianta forte e migliore. Allo stesso tempo la pianta è portata nella sua crescita ad adattarsi alla forma di resistenza e sopravvivenza migliore, perciò risponderebbe a tale stimolo positivo rivolgendosi e direzionandosi maggiormente nella sua crescita verso la causa delle vibrazioni.

Il metabolismo nelle piante è, dunque, incredibilmente influenzato dalle vibrazioni e dalle frequenze musicali. Le ricerche più moderne sull'argomento si basano sul lungo lavoro scientifico di Joel Sternheimer, riuscito dopo 40 anni di studi e ricerche ad interagire attraverso le frequenze musicali nella formazione degli organismi. La chiave di volta di questa ricerca è denominata "Protéodie" o "musica delle proteine". Nel 1992, Sternheimer riesce a mettere a punto una tecnica per stimolare o inibire la sintesi di una proteina al centro della cellula vivente, riproducendo una serie di poche note codificate in melodia, le cui frequenze, ritmi e timbri sono dedotte dalla struttura della proteina scelta. In parole semplici, ad ogni proteina corrisponde una melodia particolare e definita, costruita a partire dalle onde emesse dagli amminoacidi che la compongono. [11]

Sternheimer ha evidenziato come pomodori esposti a certe frequenze crescano con velocità più che doppia rispetto alle condizioni standard del gruppo di controllo. Il tasso di crescita in termini di altezza e biomassa è aumentato rispettivamente di 20 % e 72 % se trattati con musica classica, ovvero musica suonata su strumenti musicali indiani come flauto, violino e harmonium. Un effetto positivo simile è stato osservato nelle colture in campo - come l'incremento generale delle dimensioni nell'intervallo dal 25% al 60% rispetto ad altre colture regionali. Inoltre fiori come Petunie e Calendule sono state osservati fiorire due settimane prima dell'orario previsto quando esposte al ritmo del *bharatnatyam*, un antico stile di danza indiana. [18]

Dan Carlson negli Stati Uniti sviluppò la tecnica "Sonic Bloom", che si avvale dell'uso di suoni acuti simili al cinguettio degli uccelli e dell'applicazione di un nutriente fogliare organico. I suoni stimolano notevolmente l'apertura degli stomi, favorendo così il massimo assorbimento del nutriente fogliare. Il suono, oltre a una più ampia apertura degli stomi, stimola il movimento interno delle cellule o della corrente intracellulare chiamata "cyclose". Questa tecnica utilizza una determinata oscillazione di frequenza sonora compresa tra 3 e 5000 Hz emessa da un particolare altoparlante. "Sonic Bloom" può aumentare di oltre il 50% l'assorbimento del nutrimento per via fogliare, migliorare il metabolismo e lo sviluppo generale delle piante, con notevoli rendimenti e qualità dei prodotti agricoli. [11]

Le ricerche di Joel Sternheimer continuarono nel corso degli anni e arrivò a produrre spartiti musicali basandosi sulle strutture proteiche. Secondo Sternheimer utilizzando questo tipo di partitura era possibile causare un effetto a livello biologico. La tecnologia venne messa sotto brevetto americano nel 2002. [32] In questo documento viene spiegato ogni accorgimento creativo a livello di frequenza, pitch e intensità per causare la reazione più benefica sui vegetali. Inoltre si danno suggerimenti per quanto riguarda il fattore melodico e di durata dell'arrangiamento. Il brevetto prevede cinque diversi esempi di proteine differenti e come affrontarle a livello di propagazione sonora. Uno fra questi è la codificazione in partitura della proteina umana *Cytochrome C* che presenta una struttura regolare dall'inizio alla fine. Il periodo musicale viene calcolato sulla base di tecniche di autocorrelazione e di contorno melodico. I picchi nell'autocorrelazione per esempio producono la frequenza fondamentale da utilizzare e i suoi armonici. Lo stesso tipo di ragionamento viene proposto nell'analisi dell'enzima *Chalcone synthase*, responsabile della pigmentazione della specie vegetale *Petunia hybrida*. [32]

Tali ricerche testimoniano come sia effettivamente possibile produrre un effetto benefico

utilizzando determinati accorgimenti musicali sulle piante in modo da stimolarne la crescita e il benessere generale.

Cytochrome C

One before last protein of human respiratory chain Complete sequence

G D V E K G K K I F I M K C S Q C H T V E K G G
K H K T G P N L H G L F G R K T G Q A P G Y S Y T A A N K N K G
I I W G E D T L M E Y L E N P K K Y I P G T K M
I F V C I K K K E E R A D L I A Y L K K A T N E

Figura 2.4: Lo spartito prodotto da Joel Sternheimer per il Cytochrome C.

Chalcone synthase

Pigmentation enzyme of *Petunia hybrida* flowers IN INHIBITION Reginald

M V T V E E Y R K A Q R A E G P A T V M
A I G T A T P T N C V D Q S T Y P D Y Y

Figura 2.5: Spartito per Chalcone Synthase.

2.5 Sonificazione applicata a vegetali

Un ultimo gradino fondamentale, che è necessario aggiungere alla storiografia, è l'utilizzo di tecnologie di sonificazione sui vegetali da un lato per produrre effetti benefici su di loro e dall'altro per rappresentare le loro condizioni intrinseche.

La parola *Sonificazione* ha avuto numerose definizioni nella storia, ma la più fedele è quella prodotta da David Worrall nel suo elaborato di tesi in Filosofia. Egli sostiene che la sonificazione è il processo che produce una "rappresentazione acustica di dati per la creazione di relazioni da parte di un ascoltatore, allo scopo di accrescere la conoscenza sulla sorgente da cui i dati sono stati raccolti" [40]. Ogni processo di sonificazione mira alla produzione di un *auditory display* che rappresenti attraverso un segnale audio le caratteristiche che stiamo misurando.

Gli esperimenti di sonificazione hanno avuto dei precursori nella musica contemporanea. Per citarne qualcuno John Cage, di cui abbiamo discusso nel capitolo 1, con le opere *Atlas Eclipticalis* e *Etudes Astrales*, compone musiche ricavandole dalla mappatura delle stelle,

mentre Charles Dodge nell'opera *The earth's magnetic field* invece trasforma i suoni degli agenti atmosferici agenti sul nostro pianeta in suoni meccanici. L'interesse contemporaneo per questo tipo di disciplina è relativamente giovane, ma è sempre più in fase di sviluppo poichè può tradurre le variazioni di dati molto spesso incomprensibili in un segnale audio che rappresenta un feedback più immediato e comprensibile a tutti. Per esempio questa tecnologia è stata applicata alle simulazioni del Bosone di Higgs, cercando di produrre, mediante l'impiego di più computer in parallelo, un suono dalla misteriosa particella.

Questo tipo di approccio alla scienza è stato già applicato agli studi sulla vita vegetale. Uno degli utilizzi più famosi si riscontra nel 2006 in *sLowlife*. *sLowlife* è una mostra che cerca di produrre segnali sonori rispetto alla biologia delle piante. È stata installata presso lo United States Botanic Garden . La premessa dell'installazione è che i cambiamenti nella vita delle piante avvengono troppo lentamente rispetto al mondo umano. La mostra presenta video time-lapse della crescita delle piante, alcuni a livello microscopico. Accelerando la rappresentazione dei processi di crescita delle piante, noi umani, distratti dal mondo in rapida evoluzione e multitasking, possiamo sviluppare un apprezzamento per loro [16].

Il sonoro di accompagnamento al percorso dell'installazione è stato prodotto proprio a partire dalla vita vegetale, sonificando i segnali raccolti e cercando di interpretarli tramite un flusso ritmico e lento e riflessivo. In questo modo si voleva favorire ancora di più l'immedesimazione fra pianta ed essere umano.

Un ulteriore sviluppo delle tecnologie di sonificazione applicate alle piante è *BOTSOT*, sigla che sta per *Botanical Sonification Toolbox* . Si tratta di un insieme di strumenti sonori generativi progettati per sintetizzare le caratteristiche fisiche di una vasta gamma di specie vegetali. La musica sotto forma di ritmi e melodie viene generata attraverso questi tools. La sonificazione avviene in modo univoco utilizzando dati curati per rappresentare in modo significativo qualsiasi dato da qualsiasi pianta. Gli strumenti funzionano come strumenti generativi standalone o in congiunzione con altri strumenti, che possiedono la capacità di comunicare fedelmente un feedback sonoro rispetto ai dati forniti. *BOTSOT* è realizzato in MAX/MSP e si avvale di un database contenente i dati ricavati da diverse forme vegetali. L'interfaccia utente grafica viene utilizzata per rivelare i contenuti sonificati e generati dall'utente. Tali rappresentazioni sonore estendono la conoscenza e la comprensione della vita botanica, un mondo che è spesso completamente accessibile solo agli scienziati.

Appare chiaro come il suono sia un potente mezzo di espressione rispetto alla nostra curiosità di comprensione del mondo vegetale. Tutti questi elementi sono di ispirazione per *Singing Plants*.

Capitolo 3

Stato dell'Arte

Alcune realtà portano avanti ricerche in questo campo da diversi anni ormai. I due studi più rilevanti che sono stati inseriti nella trattazione sono *MIDI Sprout*, *Music for Plants* e *Plants Play*. Allo stesso tempo, alcuni artisti si sono interessati a questo tipo di approccio creativo e hanno utilizzato vegetali nelle loro composizioni. È stato dedicato un paragrafo anche ai loro percorsi creativi.

3.1 Midi Sprout

Midi Sprout è il principale leader di mercato in ambito di musica costruita attraverso le piante. L'idea nasce nel 2012 quando un collettivo di artisti guidato da Joe Petrucci, un compositore di musica elettronica, e l'amico Alex Tyson si riuniscono attorno all'etichetta *Data Garden*. Fra i pilastri fondanti di questa etichetta c'è il desiderio di creare una realtà discografica a impatto zero sull'ambiente circostante. Data Garden pubblicava i suoi dischi sotto forma di codici di download stampati su carta incorporata insieme a semi di fiori. I fondatori, che avevano speso diverso tempo ad occuparsi di advocacy ambientali, erano interessati ad esplorare nuove frontiere di relazioni fra musica elettronica e pianeta.

Questo interesse per la natura, l'arte e la tecnologia porta i fondatori ad approfondire i crossover fra i diversi ambiti: inizialmente viene creato un blog in cui sono presenti artisti che hanno aiutato gli alberi a disegnare attaccando penne ai loro rami, insieme ai racconti di festival musicali e artistici all'aperto che hanno portato migliaia di persone a entrare in contatto con la natura più concreta.

La fama di Data Garden cresce in pochissimo tempo e presto arriva la richiesta di organizzare un'esperienza performativa al *Philadelphia Museum of Art*. La sfida è ardua, ma è in questo contesto che a John e Alex viene l'idea di costruire un'interfaccia che colleghi piante e possibilità di una restituzione musicale.

Furono ispirati principalmente da due personaggi in particolare. In primo luogo, dagli esperimenti dell'interrogatore dell'FBI Cleve Backster. Dall'altra parte, maggiormente creativa, furono stimolati dalla passione per il pioniere musicale Brian Eno e alla sue ricerche in merito di *composizione algoritmica* per creare rilassante *ambient music*.

Al nucleo iniziale di Data Garden si unì Sam Cusumano, un ingegnere elettronico che si

occupò della trasformazione del segnale analogico sulla pianta in un segnale di controllo MIDI.

I primi esperimenti furono eseguiti su una pianta di *philodendron*. I dati raccolti su questo primo esemplare erano incredibilmente densi e complessi. Sam aveva programmato il sistema per rispondere alle variazioni capacitive sulla superficie della pianta. La velocità con cui tali dati arrivavano alla DAW controllava i knobs e i faders di un sintetizzatore di suono.

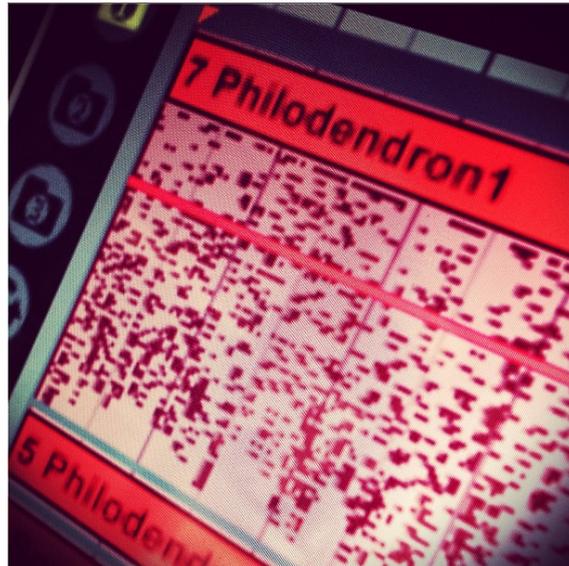


Figura 3.1: Dati MIDI raccolti sul *Philodendron*

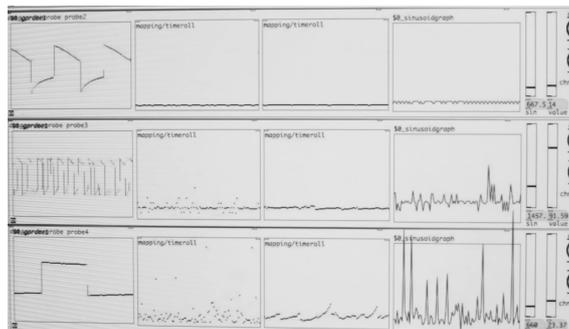


Figura 3.2: Parte del segnale raccolto sulla superficie della pianta.

La parte musicale fu perfezionata dallo stesso Joe Patitucci: corresse il pitch degli strumenti virtuali in chiave di Do, in modo che la musica fosse maggiormente armoniosa. Creò parametri per la velocità con cui gli strumenti potevano essere suonati per fornire una risoluzione sia musicale che vicina al tempo reale.

Fu questo tipo di interfaccia che Data Garden scelse per l'esibizione al Philadelphia Museum of Art: l'esibizione prese il nome di *Data Garden Quartet*.

Lo stesso Joe racconta che gli effetti sui visitatori dell'installazione furono molteplici e stravaganti: "Cosa sta succedendo in questo scambio apparentemente significativo tra umani e piante che stiamo ascoltando nella musica? Il fatto è che non lo sappiamo. Abbiamo sperimentato correlazioni tra i cambiamenti nella musica delle piante in sincronia con pensieri, sentimenti, azioni e intenzioni. Notiamo che ci sentiamo meglio dopo aver trascorso del tempo con le piante musicali, ma non sappiamo esattamente perché. Come artisti più che scienziati, riteniamo di poter servire al meglio nel favorire la comprensione della coscienza vegetale attraverso la condivisione di questa esperienza con le persone. Lasciamo le spiegazioni agli scienziati, o forse a te, se sei così ispirato."

Il tipo di feedback raccolti durante l'esibizione convince Data Garden e il team di sviluppatori a mettere in commercio l'interfaccia sotto il nome di *Midi Sprout*. Di fatto la logica dei circuiti è esattamente la stessa dell'esibizione.

3.1.1 Principi di funzionamento

Ogni Midi Sprout ha due elettrodi che misurano le micro-correnti che si verificano sulla superficie intera della pianta. Quando lo stesso tipo di funzionamento è applicato ad un essere umano si parla di *Galvanic Skin Response* (GSR) che non è altro che la base scientifica secondo la quale funzionava il *Lie Detector* di Cleve Backster. Tali variazioni dovrebbero dare un segnale dello stato emotivo corrente di una persona e quindi segnalare se sta mentendo o se sta dicendo la verità.

Successivamente il segnale viene convertito dall'algoritmo interno alla Midi Sprout in un segnale MIDI che può fungere da controllo per una qualsiasi DAW come Ableton Live o Logic Pro X.

La versione corrente di Midi Sprout è un prototipo completamente funzionante. Dispone di un uscita sul Channel 1 del protocollo MIDI con una polifonia a 8 note, accompagnata dal numero di controllo 70.

Il software è open-source e le specifiche tecniche e i componenti utilizzati sono forniti dallo stesso Sam Cusumano sul suo repository di github. [9]



Figura 3.3: Elettrodi TENS utilizzati da Midi Sprout.

Le parti utilizzate, in particolare, sono:

1. ATMEGA 328P preProgrammed with the MIDI Sprout software
2. LMC555 Timer
3. 10k Potentiometer w/ Switch
4. 47uF Electrolytic Capacitor
5. 0.1uF Capacitor (yellow) x20
6. 0.0042uF Capacitor (blue)
7. 100k Resistor (Brown Black Yellow)
8. 220 ohm Resistors x 7 (Red Red Purple)
9. 16 Mhz Oscillator
10. LEDs (2 Red, Yellow, Green, Blue, White)
11. MIDI 5 pin Connector
12. MIDI Sprout Circuit Board
13. Snap Electrode Leads
14. Snap Electrode Pad Pairs x 3
15. Battery Pack w/ Header(3 AA)
16. Power Header
17. 0.1uF Capacitor
18. 3.9k Resistor

In figura lo schema del circuito implementato in Midi Sprout. Appare evidente l'utilizzo dell'ATMEGA 328P e la struttura molto simile a quella riscontrabile in un integrato arduino. L'utilizzo di opportune resistenze di riferimento permette di avere maggiore precisione rispetto ai voltaggi di input e di evitare errori di GND. Come già detto, il circuito di input dagli elettrodi (in figura in alto a destra) è basato su quello del galvanometro GSR, già utilizzato da Backster nel suo Lie Detector.

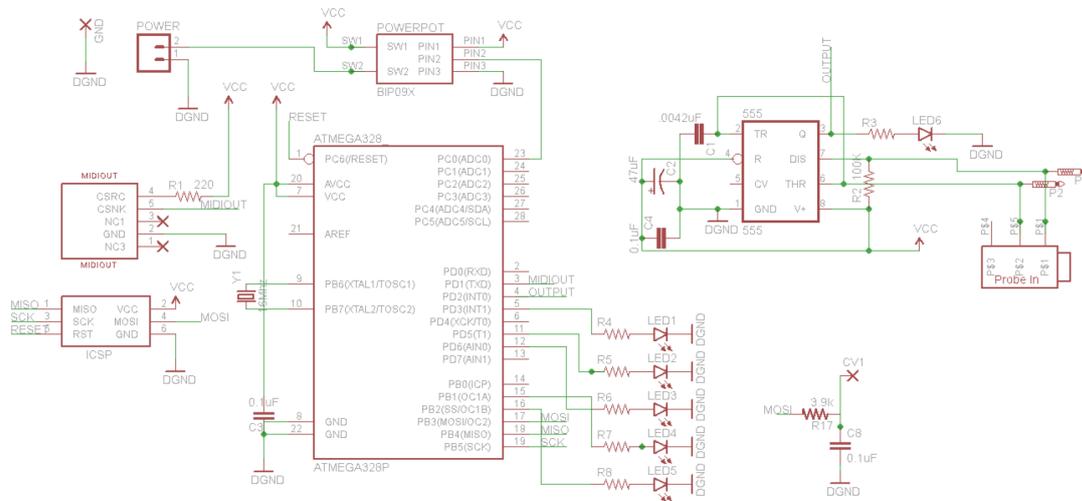


Figura 3.4: Schema di Midi Sprout

3.1.2 Algoritmo e software

L'algoritmo software, invece, è scritto in Arduino. Nello sketch *Sample Analysis.ino* si ottiene l'analisi del segnale campionato. La raccolta del segnale avviene attraverso un oscillatore settato in maniera astabile. Questo principio di funzionamento viene approfondito nel capitolo 4. Tale funzione prevede un campionamento in samples del segnale totale che arriva dagli elettrodi. Ogni sample viene analizzato attraverso la deviazione standard rispetto alla media energetica e vengono memorizzati il minimo e il massimo per ogni intervallo di campionamento. Le variazioni misurate vanno a modificare durata, pitch e massimo intervallo musicale suonabile da un sintetizzatore controllato MIDI.

```

1 void sample()
2 {
3   if(index < samplesize) {
4     samples[index] = micros() - microseconds;
5     microseconds = samples[index] + microseconds;
6
7     index += 1;
8   }
9 }
10
11
12
13 void analyzeSample()
14 {
15

```

```
16 unsigned long averg = 0;
17 unsigned long maxim = 0;
18 unsigned long minim = 100000;
19 float stdevi = 0;
20 unsigned long delta = 0;
21 byte change = 0;
22
23 if (index == samplesize) { //array is full
24     unsigned long sampanalysis[analyssize];
25     for (byte i=0; i<analyssize; i++){
26
27         sampanalysis[i] = samples[i+1];
28         //manual calculation
29         if(sampanalysis[i] > maxim) { maxim = sampanalysis[i]; }
30         if(sampanalysis[i] < minim) { minim = sampanalysis[i]; }
31         averg += sampanalysis[i];
32         stdevi += sampanalysis[i] * sampanalysis[i];
33     }
34
35
36     averg = averg/analyssize;
37     stdevi = sqrt(stdevi / analyssize - averg * averg); //calculate
        stdevu
38     if (stdevi < 1) { stdevi = 1.0; } //min stdevi of 1
39     delta = maxim - minim;
40
41
42     if (delta > (stdevi * threshold)){
43         change = 1;
44     }
45
46
47     if(change){
48         int dur = 150+(map(delta%127,1,127,100,2500)); //length of
            note
49         int ramp = 3 + (dur%100) ;
50         int notechannel = random(1,5);
51
52         //set scaling, root key, note
53         int setnote = map(averg%127,1,127,noteMin,noteMax);
54         setnote = scaleNote(setnote, scaleSelect, root);
55
56         if(QY8) { setNote(setnote, 100, dur, notechannel); }
57         else { setNote(setnote, 100, dur, channel); }
58
59
60         setControl(controlNumber, controlMessage.value, delta%127,
            ramp);
61     }
```

```

62
63     index = 0;
64 }
65 }
```

Listing 3.1: Lo sketch SampleAnalysis.ino

Successivamente i dati raccolti durante l’analisi dei campioni vengono processati dallo sketch MIDIPsychogalv.ino che è il vero e proprio main dell’algoritmo.

Qui vengono definite le scale musicali secondo 5 diversi modi (Maggiore, Diatonica Minore, Indiano, Minore, Cromatica) e la polifonia possibile, fissata a cinque note per barriere computazionali. La seriale viene avviata a 31250 baudrate e per la lettura dei campioni si prospetta un Interrupt di tipo RISING, cioè sul fronte di salita. Questo ultimo accorgimento è pensato per evitare di effettuare campionamenti durante la fase di setup e di controllo stato, che potrebbero influenzare i voltaggi. A questo punto nella funzione loop() vengono chiamate le diverse funzioni di controllo create: checkKnob() è adibita al controllo del valore del potenziometro che funge da threshold per l’analisi in campioni. Di fatto si permette la modificazione della sensibilità totale dell’apparecchio in modo proporzionale alle variazioni di segnale sulla pianta. La funzione checkControl(), invece, serve per assicurarsi che la transizione alla fase di lettura arrivi in modo graduale. I microvoltaggi raccolti sulla superficie della pianta vengono trasformati in strutture di tipo MIDI message del tipo seguente.

```

1 int noteIndex = 0;
2 MIDIMessage controlMessage;
3
4
5 void setup()
6 {
7     pinMode(knobPin, INPUT);
8     randomSeed(analogRead(0));
```

Listing 3.2: MIDIMessage structure

Questi messaggi di controllo vengono mandati in output sul pin MIDI Out dalla funzione MIDISerial(). E’ previsto un sistema di LED per evidenziare lo stato dell’apparecchio. Si allega il codice intero dello sketch main.

```

1 const byte knobPin = A0;
2
3 const byte samplesize = 10;
4 const byte analysize = samplesize - 1;
5
6 const byte polyphony = 5;
7 byte channel = 1;
8 int noteMin = 36; //C2 - keyboard note minimum
9 int noteMax = 96; //C7 - keyboard note maximum
10 byte QY8 = 0;
```

```
11 byte controlNumber = 80;
12 byte controlVoltage = 1;
13 long batteryLimit = 3000;
14 byte checkBat = 1;
15
16 volatile unsigned long microseconds;
17 volatile byte index = 0;
18 volatile unsigned long samples[samplesize];
19
20 float threshold = 2.3;
21 float threshMin = 1.61;
22 float threshMax = 3.71;
23 float knobMin = 1;
24 float knobMax = 1023;
25
26 unsigned long previousMillis = 0;
27 unsigned long currentMillis = 1;
28 unsigned long batteryCheck = 0; //battery check delay timer
29
30 #define LED_NUM 6
31 LEDFader leds[LED_NUM] = { // 6 LEDs (perhaps 2 RGB LEDs)
32     LEDFader(3),
33     LEDFader(5),
34     LEDFader(6),
35     LEDFader(9),
36     LEDFader(10),
37     LEDFader(11) //Control Voltage output or controlledLED
38 };
39 int ledNums[LED_NUM] = {3,5,6,9,10,11};
40 byte controlledLED = 5;
41 byte noteLEDs = 1;
42
43 typedef struct _MIDImessage {
44     unsigned int type;
45     int value;
46     int velocity;
47     long duration;
48     long period;
49     int channel;
50 }
51 MIDImessage;
52 MIDImessage noteArray[polyphony];
53 int noteIndex = 0;
54 MIDImessage controlMessage;
55
56
57 void setup()
58 {
59     pinMode(knobPin, INPUT);
```

```
60  randomSeed(analogRead(0));
61  Serial.begin(31250); //initialize at MIDI rate
62  controlMessage.value = 0;
63
64  checkBattery();
65  if(noteLEDs) bootLightshow();
66  attachInterrupt(interruptPin, sample, RISING);
67
68 }
69
70 void loop()
71 {
72  currentMillis = millis(); //manage time
73  checkBattery();
74  checkKnob(); //check knob value
75  if(index >= samplesize) { analyzeSample(); }
76  checkNote();
77  checkControl();
78
79  checkLED();
80  previousMillis = currentMillis; //manage time
81 }
```

Listing 3.3: Lo sketch main.

3.1.3 Filosofia di Midi Sprout

La base della filosofia di Midi Sprout è la relazione uomo-pianta. La pianta suona, ma l'interazione con il tocco umano è assolutamente fondamentale e parte del concept. La resa musicale è sempre dipendente da sintetizzatori software controllati tramite protocollo MIDI. L'interfaccia di fatto si occupa soltanto di tradurre il segnale analogico in volt letto sulla superficie della pianta in un'uscita MIDI OUT che possiamo collegare ai più svariati sintetizzatori di suono.

Midi Sprout è, inoltre, pensata da musicisti per un uso creativo e performativo: la pianta viene considerata come parte dell'ensemble.

3.2 Music for Plants

Music for Plants ha, invece, una storia per certi versi molto differente a quella di Midi Sprout. Una storia molto più longeva legata indissolubilmente alla filosofia e al pensiero della comunità in cui è stata prodotta.

3.2.1 Damanhur

La comunità Damanhur è una realtà presente da ormai 50 anni in Valchiussella, una valle fra Aosta e Ivrea. In particolare la quasi totalità della comune risiede nel comune di Vi-dracco.

Fu fondata nel 1975 da Oberto Airaudi. Il pilastro fondamentale della concezione damanhuriana dell'esistenza è la filosofia che vede l'essere umano come portatore di una scintilla divina, della quale prendere consapevolezza attraverso la meditazione su di sé e sulla sacralità dell'universo.

Discende principalmente dal *centro Horus*, luogo di studio e diffusione delle principali discipline parapsicologiche, fondato a Torino da Airaudi nel 1975. Da questo progetto iniziale successivamente nacque il desiderio di fondare una comune in un luogo preciso. Dal 1977 iniziarono i lavori per edificare la cosiddetta "città della luce", nome ripreso da un'antica città egizia "dedicata al dio Horus". Conclusi i lavori, nel 1980 i residenti erano una ventina di persone; la comunità si dotò presto di una "costituzione", creando un sistema politico e sociale molto rigido e venne istituito anche un governo con a capo Airaudi con cinque "ministri".

Assolutamente in primo piano nell'incredibile varietà di campi esplorati da Damanhur c'è la relazione uomo e vegetale. In questo tipo di riflessione si inserisce lo sviluppo da parte degli scienziati damanhuriani, già da fine anni '70, di un apparato per tradurre il segnale elettromagnetico della superficie delle foglie e delle radici in suoni. La base di questa ricerca è la necessità di ricollegare il mondo vegetale a quello umano. Secondo la filosofia Damanhur, infatti, questo tipo di rapporto è stato notevolmente sottovalutato nell'ultimo secolo.

Le prime sperimentazioni comprendevano diversi tipi di esperienze, volte a dimostrare che la pianta potesse prendere decisioni in base al suo stato e agli stimoli esterni. Per esempio ad una pianta fu data la possibilità di muovere un carrello collegato alla misurazione di micro-tensione che essa aveva sulla propria superficie. Si evidenziò come la pianta muovesse il carrello in zone di luce quando necessitava di luce e in zone di ombra quando aveva bisogno di acqua. Un'altra esperienza rilevante fu quella che coinvolgeva una pianta a cui era stata data la possibilità di aprire una serratura della porta di una casa, sempre collegata alle bio-emissioni sulle foglie e nel terreno. Si constatò come la pianta aprisse soltanto in presenza del proprietario a cui era abituata e addestrata.

Negli ultimi anni queste riflessioni si sono concretizzate nell'apparato di Music for Plants, ora presente a Vidracco nel factory di Damanhur Crea sotto Solerà, la sotto-sezione che si occupa di fornire apparati energetici alternativi.

3.2.2 Principi di Funzionamento

Il funzionamento di Music for Plants non è poi così diverso da quello di MIDI Sprout. Si rileva un ΔV con due elettrodi posti in zone precise della pianta, solitamente un elettrodo di GND al suolo e un ulteriore elettrodo sulla foglia e si utilizzano i picchi di tale differenza di potenziale per produrre segnali di controllo MIDI. Il campionamento utilizzato è molto lento (<4800 baudrate) poichè i tempi vegetali sono nettamente lenti.

I segnali di controllo finiscono in un sintetizzatore hardware molto semplice. *Bamboo* è il nome dell'interfaccia che realizza questo processo. E' completamente portatile, funziona a batteria e, a differenza di MIDI Sprout, ha un altoparlante integrato che permette la riproduzione diretta del suono. All'utente è permesso di variare scala musicale, frequenza fondamentale, riverbero, chorus e strumenti utilizzati (su una Bank di 12 presets).

3.2.3 Filosofia di Music for Plants

Music for Plants concentra maggiormente i suoi sforzi sul divulgare l’apparato ideologico su cui si regge l’intera comunità Damanhur. Di conseguenza l’intero progetto di Music for Plants è pensato per consapevolizzare sulle potenzialità del mondo vegetale.

Damanhur ritiene che tale mondo abbia un tempo completamente diverso da quello degli umani. Tutto è maggiormente dilatato viste le diverse prospettive di vita di una pianta. Inoltre alcuni eco-sistemi, come il bosco o la foresta, sono pensati come un intero e intricato organismo pensante, composto da molti più individui che interscambiano i propri stimoli. Le piante dunque comunicano con l’essere umano con un sistema completamente diverso rispetto a quello del semplice parlato, al quale noi tutti siamo maggiormente abituati.

L’intero progetto è concentrato sull’essere intelligenza della pianta, concepita come essere pensante anche se non dotato di un sistema nervoso.

L’intero approccio didattico e allo stesso tempo educativo rispetto al rapporto uomo e pianta vede numerosi svariati utilizzi. A differenza di MIDI Sprout, Music for Plants vede l’utilizzo musicale come uno dei tanti diversi utilizzi. Anzi la loro concezione è più rispecchiata nell’utilizzo casalingo e quotidiano dell’interfaccia e nel lasciare la pianta il più possibile libera da interferenze esterne. Il tocco e l’interazione concreta con l’umano sono preferibilmente evitate poichè viste come una perturbazione del segnale elettromagnetico prodotto dalla pianta.

La relazione insomma va vissuta come affettiva e la pianta trattata a tutti gli effetti come vivente e senziente. Inoltre è necessario sottoporre la pianta ad un addestramento paziente e mirato. Visti i tempi lunghi del mondo vegetale è necessario un allenamento costante e quotidiano della pianta all’abitudine di suonare.

3.3 Plants Play

Plants Play [36] è un’ulteriore esperienza che ha prodotto un device in grado di riprodurre musica attraverso le bio-emissioni delle piante. Nasce principalmente da un’idea degli italiani Edoardo Taori e Federica Zizzari per dare la possibilità a più persone possibili di vivere l’esperienza della musica delle piante in maniera semplice ed intuitiva. Per anni hanno viaggiato nel mondo alla ricerca di alberi e piante straordinarie per convertire le loro variazioni elettriche in musica con lo scopo di sensibilizzare l’essere umano al rispetto della natura. Alcune delle loro esperienze di viaggio sono raccontate nel libro dal titolo “Viaggiando nel canto degli Alberi” che parla del viaggio nell’India del nord e nel Nepal alla ricerca degli alberi ritenuti sacri dalle popolazioni di quei luoghi e nel documentario “L’albero del Drago ed il respiro della Laurisilva” girato alle Isole Canarie nel 2016.

Nel 2017 Edoardo e Federica formano un Team di esperti per realizzare Plants Play e dare la possibilità a più persone possibili di vivere l’esperienza straordinaria della musica delle piante.

La particolarità del loro sistema è che è completamente portatile e indossabile. Il design dell’oggetto, infatti, riflette quello di un gioiello da indossare al collo ed, essendo a batteria, è possibile utilizzarlo dovunque si voglia.



Figura 3.5: Plants Play.

3.3.1 Principi di funzionamento

Il dispositivo si avvale, come Midi Sprout, di un circuito GSR e utilizza i biofeedback per la rilevazione dei segnali elettrici sulla superficie della pianta. La durata della batteria arriva fino a 20 ore ed ricaricabile con cavo micro usb in dotazione. Il device si interfaccia con un App mobile e si collega tramite protocollo Bluetooth senza fili. Il contenitore è realizzato in legno di Larice con elevata sostenibilità ambientale. Viene fornita inoltre la possibilità di un utilizzo avanzato per professionisti, con l'utilizzo del cavo MIDI accessorio.

Le dimensioni, come già detto, sono pensate per il trasporto al collo e lo stesso circuito integrato ha grandezze molto ridotte e logiche hardware molto semplici.

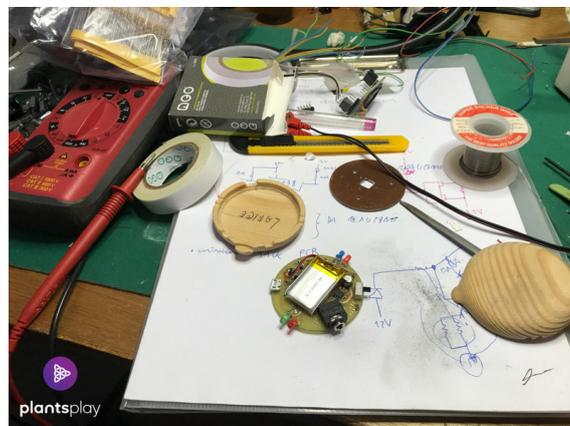


Figura 3.6: Prototipo del dispositivo.

3.3.2 Algoritmo e Software App

Il cuore dell'algoritmo di Plants Play è l'App mobile che si occupa del calcolo algoritmico degli stimoli raccolti sulla pianta.

Il processore centrale ad ogni variazione di impedenza della pianta assegna una nota con un'intensità differente, proporzionale al cambiamento misurato. Il valore in frequenza della nota viene assegnato in base ad un'analisi gaussiana del segnale tramite un algoritmo statistico che converte l'impedenza elettrica in note nel tempo a seconda della sensibilità indicata dall'utente attraverso l'applicazione. Il valore intensità della nota è collegata al parametro "rampa", ovvero quanto l'impedenza elettrica della pianta varia velocemente in un determinato periodo di tempo. La polifonia può arrivare ad un massimo di 5 note in contemporanea.

L'applicazione offre la possibilità di ascoltare la musica generata dal vivo, registrarla e condividerla sui social network. Inoltre è fornita una personalizzazione del sound design con cui la pianta genera musica: per esempio nella scelta dello strumento musicale, della scala di riferimento, degli effetti audio come delay, reverb, chorus, envelope, detuning, velocity e nell'accordatura di base a 432, 440 hz o ad altre accordature a scelta. L'App fornisce inoltre anche un grafico in real time per monitorare l'attività elettrica e per capire cosa sta influenzando la pianta.

3.3.3 Filosofia di Plants Play

Plants Play nasce dall'esigenza di costruire una tecnologia che permetta un rapporto sano con il mondo circostante. Soprattutto vuole occuparsi di stimolare la riscoperta della relazione uomo-vegetale: in fondatori pensano che "nella società moderna è più difficile avere un contatto profondo con la natura rispetto al passato. I ritmi di vita e l'uso sbagliato della troppa tecnologia a nostra disposizione aumenta il senso di separazione che percepiamo tra noi e la natura." [36]

Inoltre ritengono che la maggior parte degli individui posseda una percezione distorta rispetto al mondo vegetale e non abbia la reale percezione dell'intelligenza che possiedono le piante e non sia consapevole dei reali benefici che si possono avere se si costruisce un contatto profondo e cosciente con esse, anche se si vive immersi nei ritmi della vita moderna.

Un altro caposaldo di Plants Play è la portabilità, cioè la necessità di portare ovunque e con noi, come se fosse un gioiello, questo tipo di tecnologia.

3.4 Artisti che utilizzano le piante

La realtà dei bio-feedback sonificati dalla superficie vegetale ha colpito numerosi artisti che hanno provato a integrarle nelle loro opere come strumento principale o suppletivo. *Mileece Petre*, per esempio, è una giovane sonic artist inglese che, dopo aver sperimentato fino in fondo la composizione algoritmica e software dedicati a programmazione musicale in real-time come *Super Collider*, da qualche anno si sta dedicando ad esplorare le relazioni fra ambiente e musica. Oltre a comporre e ideare la parte sonora si occupa di costruire ambienti favorevoli a questo tipo di musica. Nel 2015, in particolare, porta in scena l'installazione *Sonic Garden* usando il segnale presente sulla superficie delle piante

come segnale di controllo MIDI. L'installazione era completamente interattiva e il pubblico poteva interagire e toccare le piante, sentendosi completamente parte della performance sonora. Mileece chiama la sua arte *aesthetic sonification* poiché la vive come un modo per tradurre dati sonori in una rappresentazione comprensibile a tutti e non solo agli esperti del settore. Le micro-correnti rilevate sulla superficie della pianta sono immesse in quello che lei ha chiamato *EBG (elettro-botani-grafico)*, proprio come un *EEG (elettro-encefalogramma)* misura l'attività cerebrale nell'uomo. Questo amplifica le bio-emissioni, quindi le digitalizza in codice binario. I segnali risultanti vengono inviati al software personalizzato di *PiP*. Scritto in Super Collider, un linguaggio informatico orientato agli oggetti, il software contiene l'elaborazione della dinamica del segnale e moduli di sintesi codificati. I segnali delle piante vengono elaborati e, quando una pianta attiva il proprio synth, tutte le altre piante controllano il suono di quel determinato synth. Pertanto, il pubblico è immerso in un paesaggio sonoro multicanale, armonico e bio-generato che risponde all'interazione pianta-uomo.

Nel 2017 viene fondato a Parigi il *Festival Internazionale della Musica delle Piante*. La prima edizione viene organizzata nello stesso anno nella suggestiva cornice del *ParcFloral*. Ad artisti tra i più svariati come Roman Kawasaki (al piano), Simone Vitale (alla chitarra) e un piccolo complesso jazz vengono affiancate le piante, dotate di un'interfaccia Music for Plants, come effettivi esecutori del pezzo.



Figura 3.7: Mileece Petre nel suo laboratorio.

3.5 Possibilità per Singing Plants

La realizzazione di Singing Plants vuole anche conferire un valore aggiunto a ciò che già esiste sul mercato.

In sintesi ci si è accorti che sia MIDISprout che Music for Plants che Plants Play hanno un approccio basato su un mono-sensore. In tutti e tre i casi, malgrado gli algoritmi di raccolta e l'hardware subiscano delle modificazioni, si è evidenziato come il bio-feedback venga raccolto attraverso due elettrodi. L'algoritmo riceve in ingresso solo questo tipo di dato dalla pianta e nessun altro. I dispositivi poi differiscono per grandezza, per contesto

di utilizzo e per pilastri di base.

Appare immediatamente interessante sviluppare un ulteriore passo avanti rispetto a ciò che già si può ritrovare sul mercato. L'idea di Singing Plants è sviluppare un approccio pluri-sensore che non si fermi al solo bio-potenziale misurato dagli elettrodi sul vegetale. Sarebbe infatti interessante incrociare i dati di più sensori che in qualche modo influenzano la vita totale della pianta. È noto, infatti, che l'ambiente circostante ha un certo effetto sulla vita dei vegetali: si pensi ad esempio alla scomparsa della fonte luminosa oppure alla mancanza di acqua nel suolo.

L'analisi dello stato dell'arte porta Singing Plants a rivolgere le sue ricerche sullo sviluppo di un prototipo di una vera e propria stazione di monitoraggio della pianta che comprenda per esempio sensori di luce, di umidità del suolo e di temperatura. Sonificando e incrociando i dati prodotti da questi sensori è possibile, infatti, ricavare una melodia che sia esemplificativa della situazione della pianta inserita in un certo ambiente. Un tale dispositivo non esiste ancora sul mercato.

L'obiettivo di questa ricerca è dunque realizzare un prototipo che possa aprire la strada ad un apparato che realizzi questo concetto, partendo perciò da ciò che già è disponibile open-source.

Capitolo 4

L'Interfaccia Hardware

La progettazione e realizzazione hardware è la sfida più ardua per questo genere di interfaccia. Il cuore alla base del lavoro dell'algoritmo, che verrà affrontato nel Capitolo 5, è il rilevamento di microcorrenti sulla superficie della pianta. Tuttavia è necessario assicurarsi che il segnale non sia influenzato in modo irreparabile da interferenze esterne come rumore termico o di tipo elettromagnetico. A causa dell'alto tasso di randomicità, infatti, il segnale raccolto sulle piante è assimilabile a noise. Tale fattore può causare imprecisioni e confusione in ciò che è informazione e ciò che non la è.

La base dell'algoritmo è, infatti, il segnale analogico raccolto dagli elettrodi. Tuttavia, utilizzando un integrato come Arduino Uno, è necessario scontrarsi con barriere computazionali e, soprattutto, con interferenze di alimentazione. Di base è necessario costruire campionamenti e filtraggi opportuni per garantire un segnale il più possibile pulito e significativo a livello di informazione.

È necessario, dunque, fare una riflessione profonda e numerosi test esperienziali in merito a questo tipo di tematiche.

4.1 Elettrochimica degli elettrodi

A livello hardware è importante tenere conto dei principi fisici e chimici di funzionamento degli elettrodi Ag/AgCl, il tipo più diffuso in commercio. A tal scopo seguono una serie di cenni sull'elettrochimica che permette il funzionamento di questi apparati.

La storia dell'elettrofisiologia pone le sue basi nelle ricerche del medico anatomista bolognese Luigi Galvani. Nella sua opera più famosa, il *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* [2], racconta:

” Dissecai una rana, la collocai sopra una tavola sulla quale c'era una macchina elettrica, dal cui conduttore era completamente separata e collocata a non breve distanza, mentre uno dei miei assistenti toccava per caso leggermente con la punta di uno scalpello gli interni nervi crurali di questa rana, ad un tratto, furono visti contrarsi tutti i muscoli degli arti come se fossero stati presi dalle piú vementi convulsioni tossiche. Ad un altro dei miei assistenti che mi era piú vicino, mentre stavo tentando altre nuove esperienze elettriche,

perve di avvertire che il fenomeno succedesse proprio quando si faceva scoccare una scintilla dal conduttore della macchina. Ammirato dalle novità della cosa, subito avvertì me. [...] Mi accese subito un incredibile desiderio di ripetere l'esperienza e di portare alla luce ciò che di occulto c'era ancora nel fenomeno ”

Galvani continuò a ripetere l'esperienza e rilevò che ogni volta che dalla macchina scocava una scintilla, i nervi della rana, toccati con un conduttore, si contraevano e che gli stessi risultati si ottenevano con diversi tipi di animali, sia a sangue freddo che a sangue caldo. C'era, dunque, una misurazione di elettricità con caratteristiche del tutto diverse da quelle conosciute fino a quel momento.

Galvani concluse che, in analogia alla scarica di un condensatore, da un lato vi sono le armature, che nel nostrocaso sono il nervo lombare ed il muscolo della rana, l'arco di scarica è il metallo conduttore che ha la proprietà di trasferire il fluido elettrico da un'armatura all'altra, provocando la contrazione del muscolo. In questo senso si parla di elettricità animale: è l'animale che fornisce il fluido elettrico che agisce in modo fisiologico.

Tuttavia il già citato Galvanometro, che prende il nome proprio da Galvani e che è la base degli esperimenti di Cleve Backster trattati nel Capitolo 2, fu inventato da Leopoldo Nobili nel 1825. Le prime applicazioni pratiche tuttavia si devono a Lord Kelvin. Di fatto lo strumento perfezionato si basava sulla traduzione di variazione di energia elettrica in movimento magnetico.

Nel corso dei secoli successivi le applicazioni pratiche di tale strumento coprono diversi settori. Per citarne alcuni è la tecnologia alla base dell'elettrocardiogramma, delle macchine della verità e negli amperometri ad altissima sensibilità.

Le altre componenti fondamentali di tali applicazioni sono gli elettrodi, cioè il metodo di raccolta del segnale che si vuole osservare.

Gli elettrodi sono assimilabili a semicelle elettrochimiche. Per la loro costruzione ci si basa su principi di ossido-riduzione e sull'equazione di Nernst:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left[\frac{\prod(\alpha_{i,ox}^{V_{ox}})}{\prod(\alpha_{i,red}^{V_{red}})} \right]$$

dove R è la costante universale dei gas, uguale a 8.314472 J K⁻¹ mol⁻¹, T è la temperatura assoluta in K, α_{Red} è l'attività chimica della specie i-esima in forma ridotta, ovvero a destra della freccia nella semi-reazione di riduzione, α_{Ox} è l'attività chimica della specie i-esima in forma ossidata, ovvero a sinistra della freccia nella semi-reazione di riduzione, V_{red} e V_{ox} sono i loro coefficienti stechiometrici, n è il numero di elettroni trasferiti nella semireazione, F è la costante di Faraday, uguale a 96485,309 C mol⁻¹.

Gli elettrodi in generale si basano dunque sullo scambio elettrolitico fra un ossidante e un riducente.

E^0 rappresenta il Potenziale standard dell'elettrodo (potenziale standard di riduzione) ed è una grandezza di fondamentale importanza in elettrochimica. Da indicazioni rispetto al potenziale assunto da un elettrodo in esame, in condizioni di temperatura e pressione standard (25 °C e 1 atm), con attività unitaria delle specie redox, riferito all'elettrodo

standard a idrogeno.

Come già detto un elettrodo è assimilabile ad una semicella elettrolitica:

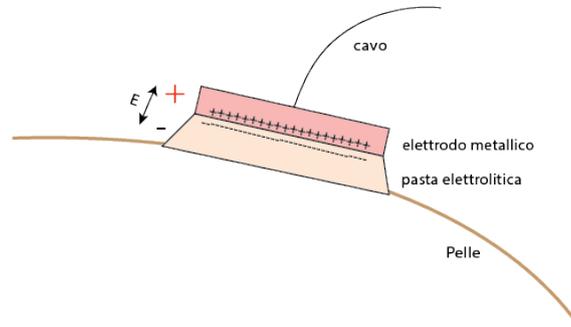


Figura 4.1: Schema di un elettrodo generico.

Quando un elettrodo metallico viene posto in contatto con un elettrolita, che nel nostro caso è rappresentato dai tessuti del corpo, fluidi corporei o gel per elettrodi, avviene un passaggio di corrente. Quando si ha passaggio di corrente si determina una sovratensione. La sovratensione è definita come la differenza tra il potenziale di elettrodo attuale e quello di equilibrio. Per potenziale di elettrodo si intende la differenza di potenziale tra elettrodo e soluzione.

Gli elettrodi si dividono in specie a seconda della loro composizione:

1. **Prima specie:** formati da un metallo immerso in una soluzione contenente gli ioni dello stesso metallo.
2. **Seconda specie:** formati da un metallo ricoperto dal suo sale poco solubile e in soluzione sono presenti gli anioni del sale poco solubile (ad esempio, metallo Ag (argento), sale AgCl (cloruro d'argento), soluzione anioni Cl⁻).
3. **Terza specie:** vengono anche detti elettrodi redox e sono caratterizzati dalla presenza di un metallo inerte inserito in una soluzione che contiene sia la forma ossidata sia la forma ridotta dell'elemento in questione (ad esempio metallo Pt (platino), soluzione di Fe³⁺ e Fe²⁺).
4. **Quarta specie, o elettrodi a gas:** formati da un filo di platino che termina in una lamina di platino platinato (platino ricoperto da un deposito di platino spugnoso che assorbe idrogeno molecolare e aumenta la superficie specifica) inserita in una soluzione di ioni H⁺ ad attività unitaria, e a contatto con idrogeno gassoso alla pressione di 1 atmosfera. Come funzionamento sono assimilabili a un elettrodo di prima specie.

In generale gli elettrodi più utilizzati sono quelli di tipo Ag/AgCl classificati come di seconda specie. Il loro diffuso utilizzo è motivato dalla facilità di realizzazione, dalla riproducibilità e dall'affidabilità di rilevamento del segnale. La Semicella a cloruro di argento è

costituita da argento, ricoperto da cloruro di argento e immerso in una soluzione contenente Cl^- . È composto da puro argento (oppure platino ricoperto di argento) con uno strato poroso di cloruro di argento sulla superficie. È reversibile rispetto agli ioni cloro.

4.1.1 Elettrodi Polarizzabili e Non Polarizzabili

Un'ulteriore e fondamentale classificazione di tipo per gli elettrodi è la distinzione in elettrodi polarizzabili e non polarizzabili:

- Un elettrodo si dice **polarizzabile** se la differenza di potenziale tra elettrodo e soluzione dipende solamente dalla struttura dell'interfaccia. Non dipende dall'azione di potenziali esterni. Ad esempio connettendo un generatore di tensione di qualsiasi valore, la differenza di potenziale all'interfaccia non varia.
- Al contrario un elettrodo si dice **non polarizzabile** se la differenza di potenziale tra elettrodo e soluzione non dipende dalla struttura dell'interfaccia, ma può essere arbitrariamente condizionata dall'esterno. Ad esempio la differenza di potenziale all'interfaccia varia per qualunque potenziale applicato dall'esterno. [34]

4.1.2 Modello Elettrico

L'impedenza equivalente di un elettrodo è schematizzabile secondo la figura seguente:

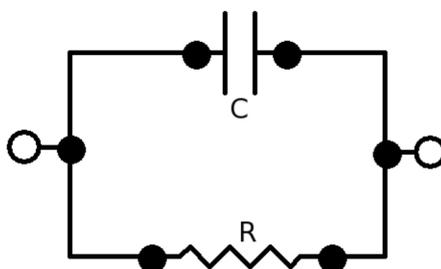


Figura 4.2: Impedenza equivalente di un elettrodo.

Di fatto nello schema ideale si osserva la presenza di un condensatore e di una resistenza in parallelo.

L'impedenza influenza in modo fondamentale la qualità del segnale rilevato dall'elettrodo. Per un elettrodo non polarizzabile ideale avremo $R \rightarrow 0$. Per un elettrodo polarizzabile ideale $R \rightarrow \infty$. Nei casi reali avremo sempre delle situazioni intermedie. [34] L'impedenza dell'elettrodo è data dal rapporto tra la caduta di tensione tra metallo e fase liquida (potenziale di elettrodo) e la corrispondente corrente che attraversa l'elettrodo:

$$Z(t) = \frac{V(t)}{I(t)}$$

Più in generale, tramite le equazioni elettrochimiche si ottiene l'andamento della corrente che attraversa l'elettrodo in funzione della sovratensione, ovvero della differenza tra potenziale applicato e potenziale di equilibrio. Il potenziale di equilibrio viene calcolato tramite l'equazione di Nernst.

4.2 Elettrodi e Moduli in commercio

La scelta degli elettrodi è il mattoncino base per iniziare la costruzione dell'apparato. Infatti, tali elementi sono responsabili della cattura del segnale analogico, fondamentale per il funzionamento dell'algoritmo.

L'intero processo è semplificabile, in prima battuta, nel seguente grafico:

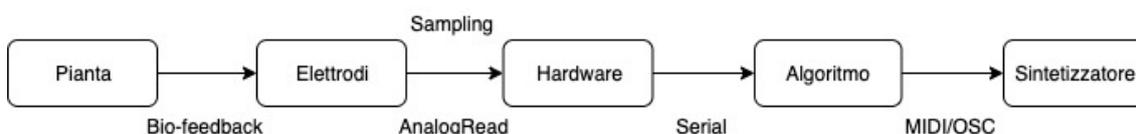


Figura 4.3: Flowchart semplificato del processo totale.

La base quindi della raccolta del segnale sulla pianta risiede nella scelta di buoni elettrodi. Sul commercio sono rintracciabili numerosi elettrodi delle più svariate tipologie. È necessario, quindi, fare valutazioni qualitative rispetto al tipo di elettrodi da utilizzare.

4.2.1 Elettrodi di tipo ECG

La prima tipologia di elettrodi che è stata presa in considerazione è quella fornita con il modulo AD8232 ECG, compatibile con Arduino. Tale modulo implementa un rilevatore di battito cardiaco umano a 3 derivazioni. Questa terminologia indica il numero di punti in cui viene rilevata la variazione di potenziale e, di conseguenza, il numero degli elettrodi.

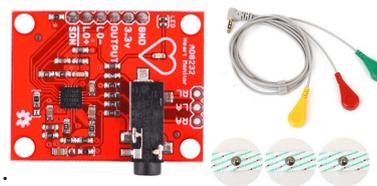
Il modulo basa il suo flusso di lavoro sulla catena di operazioni classica di un Elettrocardiogramma (ECG).

Gli elettrodi sono Ag/AgCl di seconda specie, cioè composti da un gel elettrolita conduttivo e un rivestimento ottenuto ricoprendo un sottile strato di argento su substrati di plastica. Lo strato esterno di argento viene convertito in cloruro d'argento.

Questo tipo di interfaccia ha tre derivazioni, cioè tre punti di calcolo del battito cardiaco. La teoria delle derivazioni di un ECG prevede fino ad un massimo di 12 derivazioni, più sono più il calcolo acquista maggiore precisione. Di conseguenza questo modulo ha un fattore di errore abbastanza elevato. Nella tabella 4.1 sono raccolte le principali grandezze di specifica:

Il modulo AD8232, come si può riscontrare nel diagramma 4.5, è dotato di componenti di processazione del segnale che rinviene sugli elettrodi. Al suo interno troviamo:

Figura 4.4: Modulo 8232 e i suoi tre elettrodi.



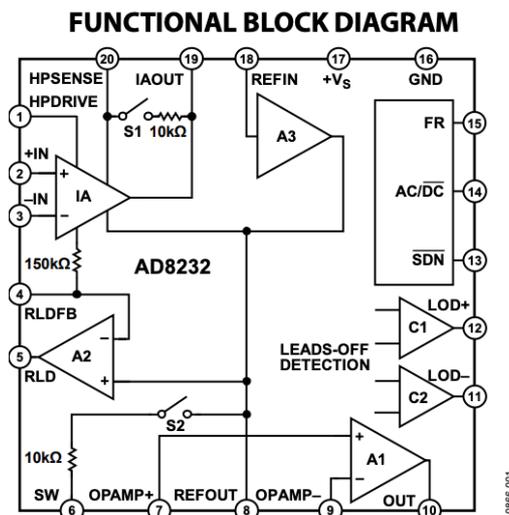


Figure 1.

Figura 4.5: Schema del circuito.

Parametro	Valore
Tensione di soglia	3.6 V
Massima Tensione, su ogni pin	+Vs + 0.3 V
Minima Tensione, su ogni pin	0.3 V
Intervallo operativo di Temperatura	40°C to +85°C

Tabella 4.1: Grandezze di operatività del modulo AD8232 [30]

- Filtro passa basso a 3 poli con gain aggiustabile: per eliminare il rumore di alimentazione
- Filtro passa alto a 2 poli con gain aggiustabile: per eliminare artefatti da movimento e potenziale semicellulare dell'elettrodo.

Tuttavia il modulo AD8232 risulta tarato su biopotenziali più elevati rispetto a quelli che si intendono misurare sui vegetali. Infatti, il segnale di battito cardiaco causa variazioni e picchi molto maggiori rispetto alle modificazioni registrabili sulla superficie di una pianta. Gli elettrodi forniti, in aggiunta, hanno un approccio usa e getta che, nel caso dell'utilizzo sui vegetali potrebbe comportare danneggiamenti subito dopo pochi utilizzi. Questo risulta essere il suo principale limite di utilizzo nell'applicazione in esame. Inoltre la logica hardware passabanda a due filtri causa dei tagli netti sul segnale analogico rilevato sulla superficie della pianta. Come si può osservare in figura 4.10 il segnale appare appiattito ai suoi estremi a causa del filtraggio tarato sui potenziali di battito cardiaco rilevabili in ogni derivazione rispetto al sistema epidermide-derma.

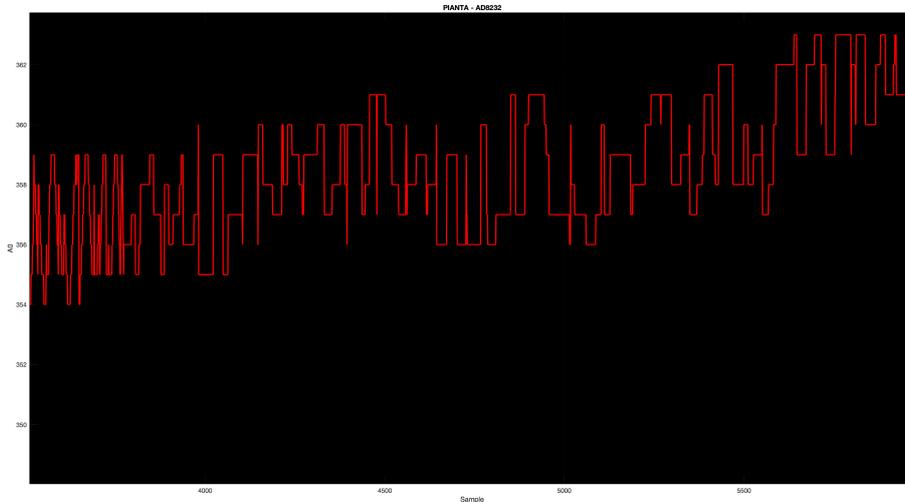


Figura 4.6: Esempio di una cattura del Segnale analogico con AD8232.

4.2.2 Elettrodi TENS

Un ulteriore tipo di elettrodi presi in esame per l'interfaccia sono quelli utilizzati negli apparati che realizzano la tecnologia Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation, abbreviata in TENS. Lo scopo di queste macchine è utilizzare l'elettrostimolazione muscolare per portare effetti benefici nel trattamento di stati dolorosi e traumi al muscolo. MIDISprout, apparato affrontato nel capitolo 3, realizza la raccolta dati in ingresso al galvanometro con questo tipo di elettrodi. Sono elettrodi di seconda specie di tipo Ag/AgCl, non molto diversi da quelli utilizzati per l'ECG dal modulo AD8232. Tuttavia il loro punto di forza è la resistenza costruttiva. Infatti, essendo pensati per un riutilizzo su pelle mediante elettrostimolatori TENS, è possibile rimuovere e spostare gli elettrodi, senza danneggiarli irreversibilmente. Il cavo usato per il loro collegamento è un semplice cavo in DC con uscita jack 3.5mm. Il punto di debolezza è la mancanza sul mercato di un modulo integrato tarato sulla lettura di questo tipo di interfacce. Di fatto per l'utilizzo sulle piante, è necessario, come in MIDISprout, procedere alla costruzione hardware diretta del circuito di filtraggio e del galvanometro.



Figura 4.7: Elettrodi TENS su pianta.

4.2.3 Morsetti a Coccodrillo

La variazione di potenziale fra più punti di una pianta può essere rilevata mediante l'utilizzo e l'applicazione di più morsetti a coccodrillo sulla medesima. Una volta scelto un riferimento di GND e una volta regolati gli opportuni punti di applicazione è possibile via software procedere al calcolo dei bio-potenziali. Tuttavia l'applicazione di questo tipo di elettrodi, notevolmente economici, possiede diverse criticità per l'applicazione su foglie vegetali. Infatti, l'applicazione di un morsetto potrebbe danneggiare i tessuti e le fibre vegetali quindi è fortemente sconsigliata. Dall'altra parte bisognerebbe procedere via hardware al filtraggio e via software al calcolo del biopotenziale, essendo ogni morsetto indipendente dagli altri.



Figura 4.8: Morsetti a coccodrillo.

4.2.4 Confronto fra diversi tipi di elettrodi

Nella tabella 4.2 sono sintetizzate le considerazioni effettuate per l'utilizzo su vegetale dei diversi tipi di elettrodi. Appare chiaro che la soluzione più affrontabile per il tipo di applicazione in questione è quella, non a caso, intrapresa da MIDISprout e cioè gli elettrodi TENS. Questa scelta implica la costruzione hardware di un galvanometro digitale e di un apparato di lettura del segnale analogico degli elettrodi che soddisfi anche il filtraggio di rumore indesiderato. Le soluzioni che implicano l'utilizzo di elettrodi ECG sono scartabili per la taratura su bio-potenziale umano sul quale è progettato il modulo di lettura, mentre i morsetti a coccodrillo non sono ottimali a causa della possibilità di danneggiare foglie e fibre vegetali.

Elettrodi/Moduli	Vantaggi	Svantaggi
	<ul style="list-style-type: none"> • Economico • Presenza del circuito integrato che realizza già filtraggio del segnale (LP e HP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Logica passabanda dei due filtri taglia il segnale in modo consistente • Tarato su biopotenziali umani che differiscono da quelli vegetali • L'integrato inserisce rumore ulteriore nel processo di lettura analogica • Scarsa qualità degli elettrodi usa e getta
	<ul style="list-style-type: none"> • Economico • Elettrodi resistenti utilizzabili più volte • Non tarati espressamente per leggere un biopotenziale umano 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessità di costruire l'hardware di filtraggio e lettura del segnale
	<ul style="list-style-type: none"> • Molto Economici • Utilizzabili più volte 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessità di costruire l'hardware di filtraggio e lettura del segnale • Possono danneggiare i tessuti vegetali, visto il meccanismo "a morso" • Necessità di sviluppare un calcolo del biopotenziale funzionale via software

Tabella 4.2: Analisi di Vantaggi e Svantaggi per ogni tipo di elettrodo affrontato.

4.3 Sensori utilizzati

L'analisi dello stato dell'arte nel Capitolo 3 ha presentato un panorama di apparati piuttosto ampio. Per quanto riguarda la parte hardware queste esperienze hanno approfondito il metodo migliore di misurazione del biopotenziale tramite elettrodi sulle foglie della pianta. Infatti l'algoritmo successivamente semplicemente compie un calcolo per poi produrre un output MIDI su un'unica grandezza e cioè il bio-feedback del vegetale.

L'interfaccia che si intende sviluppare vuole aggiungere ulteriori grandezze di dipendenza all'algoritmo per restituire una più fedele condizione totale della pianta che si sta collegando. In termini pratici, per esempio, si può inserire nel circuito una misurazione della temperatura o dell'umidità del suolo e determinare variazioni nel segnale di controllo MIDI in uscita.

Per fare ciò è necessario inserire dei sensori nel circuito totale. Per monitorare la situazione presente della pianta oltre agli elettrodi ci si può appoggiare a tre diversi sensori:

- Sensore DHT11 per temperatura e umidità relativa
- Fotoresistenza per misurare le variazioni di luce
- Sensore SoilMoisture per misurare le variazioni nell'umidità del suolo

4.3.1 DHT11

Il DHT11 è un sensore digitale di umidità e temperatura dell'aria costituito da una parte resistiva che si occupa della rilevazione dell'umidità e da un termistore che rileva la temperatura, queste due parti sono gestite da un microcontrollore che è parte integrante del sensore. Il DHT 11 viene pre-calibrato in fabbrica e i dati di calibrazione vengono memorizzati all'interno di una memoria di sola lettura (OPT Memory).

I suoi punti di forza sono le dimensioni ridotte, il costo ridotto e la capacità di trasmettere il segnale su cavo ad un massimo di 20 metri di distanza.

È consigliabile inserire una resistenza di pull-up da 4,7 K Ω sulla linea dati (pin 2). In commercio si ritrova anche montato sul modulo KY-015 che già integra la resistenza di pull-up (di 1K Ω) e ha soltanto i 2 pin di alimentazione e GND e un output generale.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le specifiche del modulo KY015:

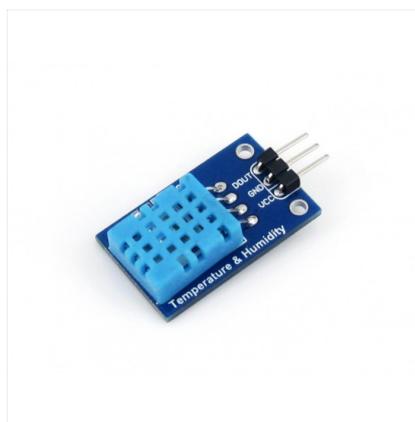


Figura 4.9: Modulo DHT11.

Parametro	Valore
Tensione Operativa	3.3 - 5 V
Range di misura Umidità Relativa	20% to 90% RH
Range di misura Temperatura	0°C to 50°C [32°F to 122°F]
Incertezza su Umidità Relativa	±5% RH
Incertezza su Temperatura	±2°C
Risoluzione Umidità Relativa	1% RH
Risoluzione Temperatura	1°C
Massima distanza di trasmissione	20m

Tabella 4.3: Specifiche modulo KY015.

Le specifiche appaiono essere abbastanza performanti per un applicazione che non richiede troppa precisione come quella su vegetale in questione. Per applicazioni meteorologiche è opportuno utilizzare un sensore più preciso.

L'umidità relativa indica la quantità di vapore acqueo nell'aria rispetto al punto di saturazione del vapore acqueo. Al punto di saturazione, il vapore acqueo inizia a condensare e si accumula sulle superfici che formano la rugiada. La formula per calcolare l'umidità relativa è la seguente:

$$RH = \left(\frac{\rho_w}{\rho_s} \right) * 100\%$$

Il calcolo dell'umidità relativa nel sensore DHT11 viene effettuato attraverso una misurazione della resistenza elettrica tra due elettrodi. Il componente di rilevamento dell'umidità è un substrato di contenimento dell'umidità, con elettrodi applicati sulla superficie. Quando il vapore acqueo viene assorbito dal substrato, gli ioni vengono rilasciati dal substrato e quindi aumenta la conduttività tra gli elettrodi. Il cambiamento di resistenza tra i due elettrodi è proporzionale all'umidità relativa. Un'umidità relativa più elevata diminuisce la resistenza tra gli elettrodi, mentre l'umidità relativa più bassa aumenta la resistenza tra gli elettrodi.

La temperatura, invece, viene misurata con un termistore NTC composto da un materiale semiconduttore che, in risposta a una piccola variazione della temperatura, mostra un'ampia variazione resistiva.

4.3.2 Soil Moisture

Una misurazione ulteriore che ha senso fare su di un vegetale è il rilevamento dell'umidità del suolo che varia a seconda di quando è bagnato e di quanto le radici assorbono i liquidi. Un sensore che realizza questo tipo di misurazione è il modulo Soil Moisture.

Compatibile con Arduino, il modulo del sensore è costruito attorno al comparatore LM393 e fornisce un'uscita digitale con un livello LOW quando il terreno è asciutto (determinato da un valore di soglia prestabilito). In alternativa è possibile rilevare direttamente l'output analogico tramite un `analogRead()` da Arduino.

L'output del sensore varia a seconda del cambiamento resistivo nel suolo.

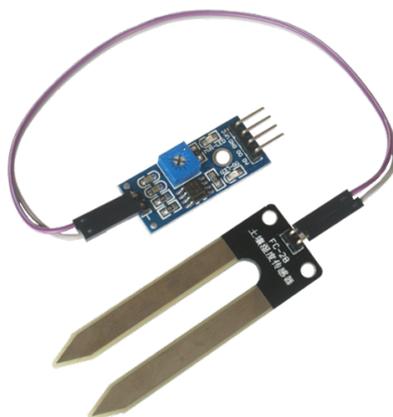


Figura 4.10: Modulo Soil Moisture.

4.3.3 Fotoresistenza LDR-GL5516

Le indicazioni sulla quantità di luce incidente sulla pianta vengono raccolte per semplicità computazionale con una fotoresistenza come in figura 4.11. Questi sensori si basano su una proprietà particolare dei semi-conduttori. Il fenomeno riguarda in particolar modo le bande di energia. In particolare, la banda di valenza e la banda di conduzione sono quelle maggiormente legate alle proprietà elettriche dei materiali. Finchè gli elettroni occupano la banda di valenza, la conducibilità elettrica del materiale è praticamente nulla. Affinchè si verifichi un passaggio di corrente, occorre che si rendano disponibili delle cariche libere di muoversi: tali cariche si liberano ad esempio per effetto di radiazioni luminose, ovvero quando i fotoni provocano la rottura dei legami elettrone-lacuna, fornendo agli elettroni la quantità di energia necessaria a farli spostare nella banda di conduzione. Tali elettroni permettono il passaggio di corrente elettrica, cui contribuisce il movimento in senso opposto delle "lacune", cioè dei posti lasciati vuoti dagli elettroni che si sono spostati ad atomi vicini. Il fenomeno in questione viene detto effetto fotoconduttivo, e si manifesta con una conducibilità elettrica che aumenta con l'aumentare della radiazione luminosa che investe il materiale.

Le fotoresistenze in questione sono costituite dunque da un materiale semiconduttore come il solfuro di cadmio, depositato su un supporto isolante. Le variazioni di conduttività

Figura 4.11: Fotoresistenza LDR-GL5516.



vengono rilevate tramite due aree di materiale altamente conduttivo, applicate al di sopra del semiconduttore, e facenti capo a due terminali di output. Lo schema di funzionamento di una fotoresistenza generica è sintetizzato in figura 4.12.

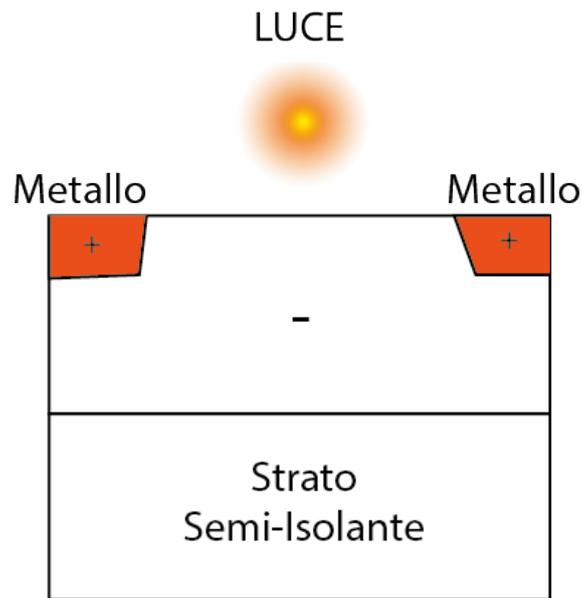


Figura 4.12: Schema di funzionamento di una fotoresistenza.

4.4 Circuito e componenti

La scelta degli elettrodi di tipo TENS implica la progettazione di un prototipo di circuito che realizzi il filtraggio e la cattura del segnale dagli elettrodi.

Il circuito realizzato è quello schematizzato in figura 4.14:

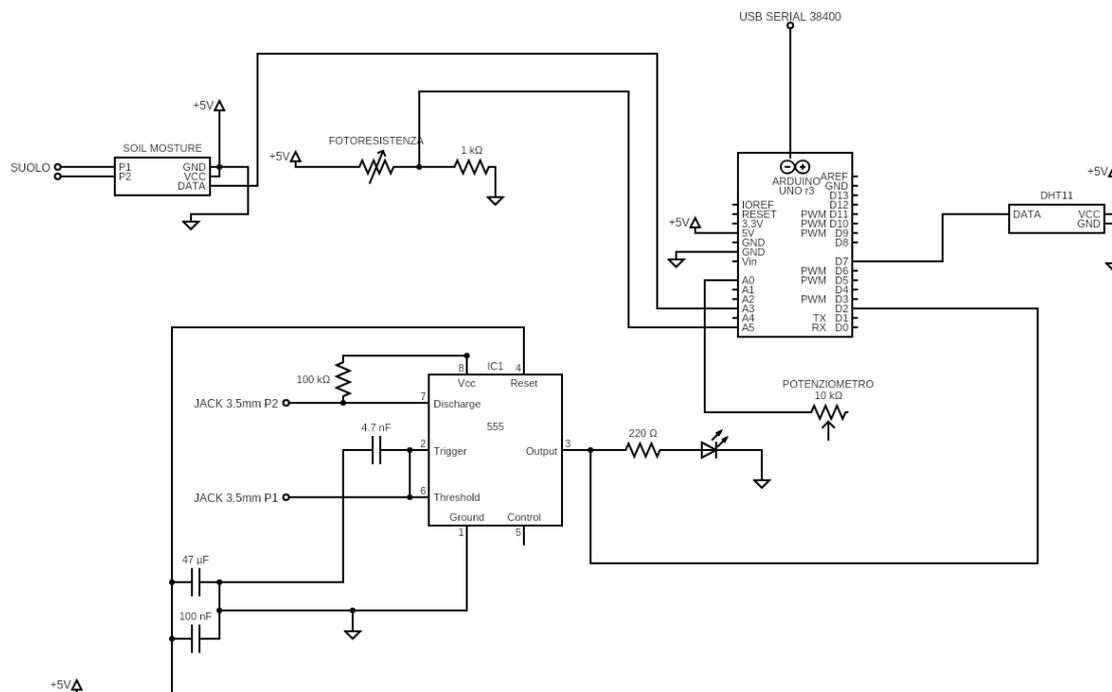


Figura 4.13: Schema del circuito realizzato.

L'idea di base è quella open-source utilizzata da MIDISprout [9], tuttavia sono state aggiunte alcune integrazioni. È opportuno analizzare ora uno per volta ciascun componente del circuito totale.

4.4.1 Oscillatore NE555

Si tratta di un integrato costruito per realizzare dispositivi astabili e monostabili. Il circuito interno di questo integrato è formato da 23 transistori, 2 diodi e 16 resistori che compongono, oltre ad un partitore per ottenere le tensioni di riferimento, due comparatori, un latch SR e uno stadio di potenza per pilotare il carico.

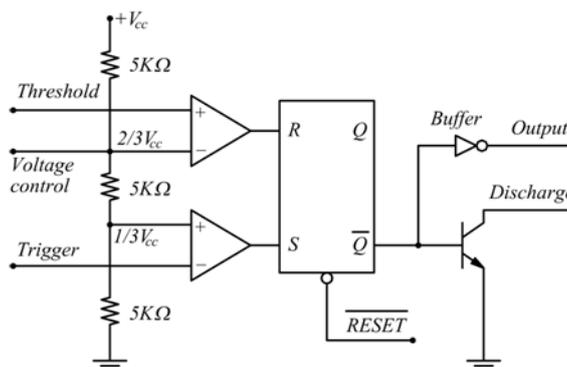


Figura 4.14: Schema dell'integrato NE555.

A seconda della configurazione hardware, realizza diversi compiti. Può essere utilizzato come Multivibratore monostabile, quindi come timer, come astabile, cioè un oscillatore, e come bistabile/flip-flop permettendo la realizzazione di numerosissime applicazioni diverse. La tabella di verità dell'integrato si presenta così:

Soglia	Trigger	Reset	Output	Scarica
X	X	Basso	Basso	ON
$>2/3 (V_{cc})$	$>1/3(V_{cc})$	Alto	Basso	ON
$<2/3 (V_{cc})$	$<1/3(V_{cc})$	Alto	STABILE	STABILE
X	$<1/3 (V_{cc})$	Alto	Alto	OFF

Tabella 4.4: Tabella verità NE555

I comparatori presentano in uscita un livello di tensione alto quando la tensione sull'ingresso positivo (non invertente) è maggiore di quella sull'ingresso negativo (invertente); negativo in caso contrario. Quando la tensione all'ingresso di threshold supera i $2/3(V_{cc})$ l'uscita del comparatore corrispondente e quindi l'ingresso R del latch passa dal livello basso a quello alto, portando alta così l'uscita facendo condurre il transistor. Se invece la tensione all'ingresso del trigger scende al di sotto di i $1/3(V_{cc})$ l'uscita del comparatore di trigger si porta alta. L'uscita diventa bassa e il transistor si interdice.

Come già detto sussistono modi diversi di utilizzare l'integrato NE555, nel nostro caso viene trattato come un oscillatore e cioè configurato come dispositivo astabile.

La configurazione è realizzata, come si può vedere dallo schema in figura 4.15, tramite una resistenza da $100\text{ k}\Omega$ fra il pin Discharge e il pin Vcc e un condensatore da $42\text{ }\mu\text{F}$ fra il pin di Trigger e il GND. L'ulteriore resistenza richiesta dalla configurazione astabile è quella misurata sulla superficie della pianta, è variabile ed restituita dalla differenza misurata fra i due input jack 3.5mm. Uno è collegato con il riferimento di GND e l'altro misura il biopotenziale restituito dagli elettrodi. Gli ulteriori condensatori presenti realizzano il circuito di filtraggio che analizzeremo separatamente.

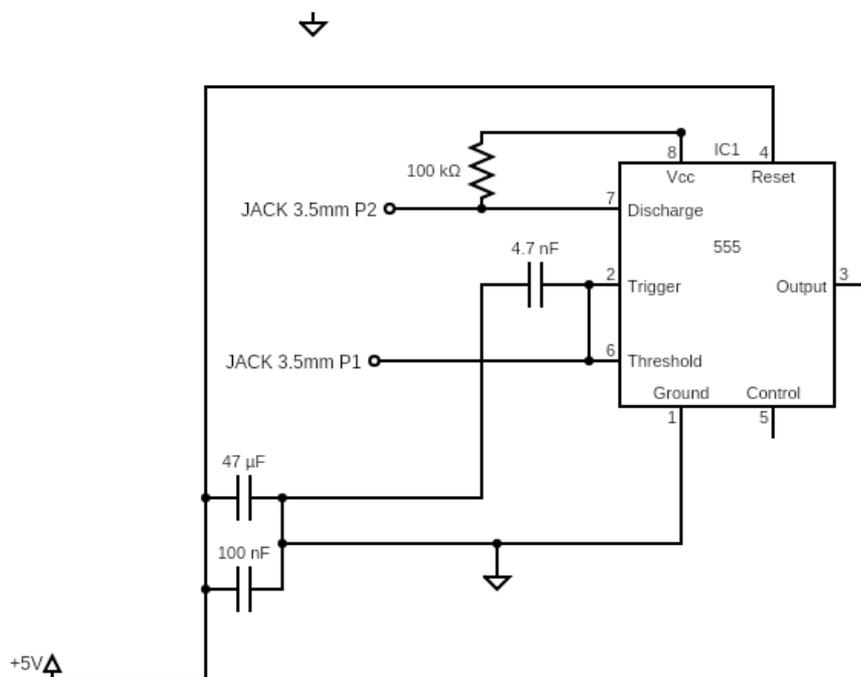


Figura 4.15: Configurazione astabile realizzata.

La resistenza $R1$ assume il valore di $100\text{ k}\Omega$, mentre la resistenza $R2$ prevista dalla configurazione astabile assume valore variabile a seconda del potenziale rilevato dagli elettrodi. Il condensatore C ha valore $42\mu\text{F}$. Quando si dà alimentazione al circuito i piedini 2 e 6 sono a potenziale 0 se il condensatore C è inizialmente scarico. Il condensatore tende a caricarsi alla tensione V_{cc} attraverso le due resistenze del circuito astabile con costante di tempo $(R1 + R2) * C$. Quando il condensatore raggiunge il potenziale $1/3V_{cc}$ il comparatore di trigger commuta. In tal caso, com'è noto, lo stato del Flip-Flop non varia e il condensatore continua a caricarsi. Raggiunto il valore $2/3V_{cc}$ commuta anche il comparatore di threshold e all'uscita si ha $S=0$ ed $R=1$. Lo stato del FF resta immutato finché la tensione del condensatore resta nell'intervallo $1/3V_{cc} - 2/3V_{cc}$ in quanto si verifica $S=R=0$.

In conclusione la differenza di potenziale del condensatore oscilla tra $1/3V_{cc}$ e $2/3V_{cc}$ e l'uscita tra 0 e V_{CC} , secondo lo schema seguente:

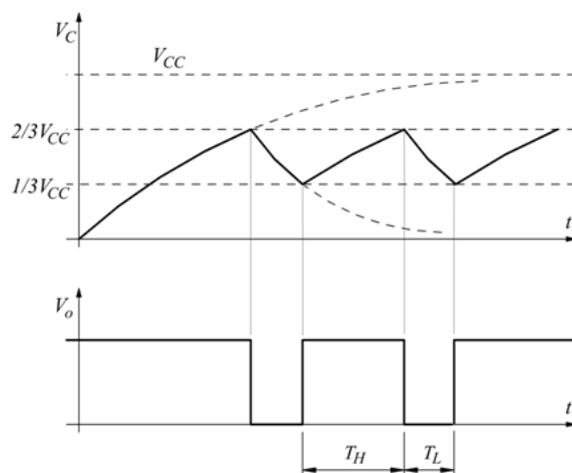


Figura 4.16: Output di NE555 in modalità astabile.

Il periodo di tempo (T) dell'onda quadra è il tempo per un ciclo completo, ma spesso è meglio considerare la frequenza (f) che è il numero di cicli al secondo. Le formule legate al funzionamento astabile dell'integrato NE555 sono riportate in tabella 4.5.

Grandezza	Formola	Unità
Tempo Livello Alto (T_1)	$0.693(R_1 + R_2)C_1$	secondi (s)
Tempo Livello Basso (T_2)	$0.693 * R_2 * C_1$	secondi (s)
Periodo (T)	$0.693(R_1 + 2R_2)C_1$	secondi (s)
Frequenza	$1.44/(R_1 + 2R_2)C_1$	Hertz (Hz)
Duty Cycle	$(T_1/T)100$	Percentuale (%)

Tabella 4.5: Grandezze caratteristiche di un NE555 in modalità astabile.

Sostituendo con i valori del circuito:

- $R_1 = 100k\Omega$
- $C = 4,7nF$
- R_2 è variabile, come già detto, quindi può essere lasciata indicata

si ritrova che:

Grandezza	Formola	Unità
Tempo Livello Alto (T_1)	$3,26 * 10^{-1} + (3,26 * 10^{-9})R_2$	millisecondi (ms)
Tempo Livello Basso (T_2)	$(3,26 * 10^{-9})R_2$	millisecondi (ms)
Periodo (T)	$3,26 * 10^{-1} + (6,52 * 10^{-9})R_2$	millisecondi (ms)

Tabella 4.6: Grandezze calcolate per il circuito costruito.

Il periodo totale e la persistenza in ogni stato sono molto veloci. La scelta di utilizzare un condensatore da 4,7 nF, come già detto, serve per produrre tale effetto. Se si necessita di rallentare il processo è possibile aumentare la capacità del condensatore fra il pin 2 e il GND.

Si noti che i tempi dipendono volutamente dalla resistenza incognita R2, misurata sulla superficie della pianta. Questo stratagemma permette, introducendo un Interrupt di tipo RISING sul pin di lettura dell'ATMEGA 328p, di sfruttare la lettura del galvanometro digitale mettendola in relazione con le variazioni che avvengono sul vegetale.

Di fatto l'integrato NE555 viene utilizzato come un oscillatore. Nel nostro caso le variazioni sono pilotate dalle modificazioni di bio-potenziale rilevate sulla superficie della pianta.

4.4.2 Filtraggio del segnale

Come già detto in precedenza per avere un segnale in ingresso il più affidabile possibile è necessario realizzare un metodo di filtraggio hardware che elimini rumore di alimentazione e altre possibili interferenze esterne. Il circuito del galvanometro, infatti, deve garantire la massima stabilità ed evitare l'innescarsi di fenomeni oscillatori dovuti al rumore di alimentazione. Per fare ciò si è utilizzata una coppia di *condensatori di disaccoppiamento*. La logica di base è realizzare un filtro passa-alto che impedisca a rumori indesiderati di varia natura di sporcare il segnale che innesca l'oscillatore NE555.

La teoria dei condensatori di disaccoppiamento prevede che questi apparati funzionino in modo simile ad un filtro passa-alto, caratterizzato da una certa frequenza di taglio al di sotto della quale il filtro opera un'attenuazione di 20 dB per ogni decade di frequenza. La capacità di questi condensatori viene calcolata in modo da garantire che tutta la banda di frequenze del segnale di interesse sia trasferita senza attenuazione.

La frequenza di taglio F_c può essere calcolata tramite la formula:

$$F_c = \frac{1}{2\pi R_i C_i}$$

La frequenza sopra la quale il filtro opera risulta essere inversamente proporzionale alla capacità dei condensatori inseriti. R_i non è altro che la somma dei resistori in parallelo ai condensatori inseriti, caratteristici del filtro RC passa-alto ideale.

Di conseguenza la capacità opportuna del condensatore di disaccoppiamento risulta essere:

$$C_c \geq \frac{1}{2\pi R_i F_c}$$

Nel circuito in figura 4.14 sono stati inseriti due condensatori di disaccoppiamento. Il primo con capacità pari a 0.1 μ F risulta implementare una disaccoppiamento di alta frequenza che rimuove il rumore nelle linee di tensione; il secondo, allo stesso tempo, realizza un filtraggio del rumore a bassissime frequenze, cancellando increspature e abbassamenti nella tensione all'ingresso del NE555, evitando l'innescarsi di oscillazioni indesiderate.

Un condensatore, infatti, risulta ridurre la sua reattanza capacitiva all'aumentare della sua frequenza secondo la relazione:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

Questa proprietà viene utilizzata nelle configurazioni di disaccoppiamento. Facendo riferimento alla massa come punto comune di ritorno delle correnti che circolano nei vari circuiti, lo scopo del condensatore è quello di bypassare a massa queste componenti a frequenza elevata.

Ogni volta che l'uscita del NE555 cambia stato assorbe un enorme impulso di corrente dall'alimentazione. Pertanto è necessario disporre di più di un condensatore di disaccoppiamento. I due in parallelo risultano avere un effetto sinergico: il condensatore più piccolo (con induttanza in serie generalmente molto bassa) fornisce una piccola corrente molto velocemente. Nel frattempo il condensatore più grande (con induttanza maggiore) impiega più tempo per entrare in azione. Il contrario si verifica quando si interrompe l'assorbimento di corrente del carico.

L'eliminazione delle correnti parassite in alimentazione al NE555 spiega la scelta di inserire nel circuito una coppia di condensatori in parallelo.

I due condensatori inseriti hanno lo scopo, come già detto, di realizzare un bypass a massa per le possibili correnti parassite. Il condensatore con capacità $0.1 \mu\text{F}$ costituisce una via di passaggio delle componenti a frequenza elevata presenti sulle linee di alimentazione e che costituiscono una parte essenziale del disturbo, dato che la sua impedenza si riduce all'aumentare della frequenza. Facendo riferimento alla massa come punto comune di ritorno delle correnti che circolano nei vari circuiti, lo scopo del condensatore è quello di cortocircuitare a massa queste componenti a frequenza elevata.

Allo stesso tempo il condensatore con capacità maggiore di $47 \mu\text{F}$, realizza lo stesso principio di filtraggio a frequenze più basse che potrebbero innescare oscillazioni indesiderate ai pin dell'integrato.

Appare evidente come il filtraggio non avvenga con una costruzione diretta di un filtro vero e proprio, ma bypassando a massa eventuali fonti di rumore. La logica dei due condensatori agisce, dunque, in modo simile ad un filtro passa-alto. E' preferibile, infatti, impiegare più condensatori in parallelo piuttosto che un unico grosso elemento: il parallelo riduce le componenti parassite ESR/ESL mentre si aumenta la capacità di corrente di ripple.

4.4.3 ATMega 328p

Il microcontrollore addetto alla processazione del segnale è l'ATMega 328p, meglio conosciuto come l'integrato utilizzato in Arduino UNO.

La prima cosa da tenere a mente quando si utilizza questo integrato nell'ambiente di sviluppo di Arduino IDE è la corrispondenza invertita fra i Pin. Infatti i pin sono disposti in modo speculare rispetto a come li si ritrovano sulla scheda Arduino UNO. I Pin sono disposti come nella figura seguente:

ATMega328P and Arduino Uno Pin Mapping

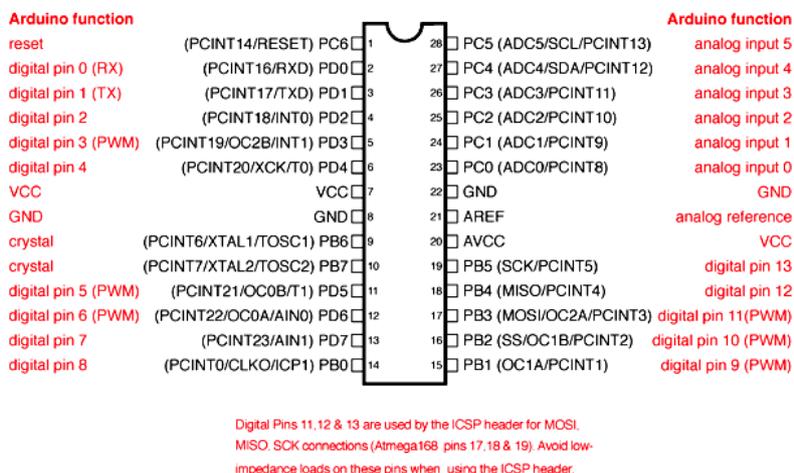


Figura 4.17: I pin dell'ATMega328p e la corrispondenza con Arduino.

All'ATMega arrivano i dati dei tre diversi sensori, del galvanometro e del potenziometro di sensibilità. Il microcontrollore a questo punto realizza l'algoritmo che verrà trattato nel Capitolo 5.

L'integrato in questione è un microcontrollore embedded appartenente alla famiglia AVR e realizzato con un'architettura Harvard, sviluppato dalla Atmel a partire dal 1996.

Come si può riscontrare dal manuale [5], l'ATMega 328p possiede le specifiche in tabella:

Parametro	Valore
Tipo di CPU	8-bit AVR
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
Input Massimi	23
Interrupt Esterne	2
Massima frequenza operativa	20 Hz
Performance	20 MIPS at 20 MHz

Tabella 4.7: Specifiche dell'ATMega 328p.

4.4.4 Gestione degli Interrupt esterni

La feature più interessante che offre l'ATMega328p è la possibilità di introdurre degli Interrupt esterni su diverse GPIO.

Un Interrupt è un'interruzione del normale ciclo di operazioni delegate al micro-controllore. Si tratta di un segnale asincrono che interrompe l'esecuzione della normale funzione di

loop() per gestire un particolare evento prestabilito. Può essere generata dalla variazione di stato di un pin (esterno o interno). Quando si verifica un particolare Interrupt viene richiamata una funzione detta *Internal Service Routine* o ISR. Le ISR non possono ritornare valori e non possono avere parametri. Solitamente è opportuno tenerle il più compatte e veloci possibili.

I pin predisposti allo scatenare Interrupt esterni nell'ATMega328p sono due, come si può ricavare dal datasheet [5]: PD2/INT0 e PD3/INT1 che corrispondono in Arduino UNO ai pin 2 e 3.

Un Interrupt esterna usa da trigger per il suo avvio la lettura del segnale digitale sul pin in questione. Ci sono quattro diversi modi per stabilire il momento in cui avviare l'Interrupt:

- RISING: si attiva quando sul pin si registra un cambiamento da stato 0 a stato 1.
- FALLING: si attiva quando sul pin si registra un cambiamento da stato 1 a stato 0.
- LOW: si attiva quando lo stato registrato sul pin è 0.
- CHANGE: si attiva quando lo stato del pin subisce una modifica.

Come vedremo nel capitolo 5, per il tipo di applicazione in questione si realizzerà un Interrupt sul pin PD2/INT0 dell'ATMega di tipo RISING.



Figura 4.18: Tipi diversi di Interrupt.

4.5 Prototipazione dell'interfaccia

Durante il processo di prototipazione dell'interfaccia è stata scelta la via della costruzione su Breadboard. Questo tipo di approccio, nonostante i consistenti problemi dovuti ad interferenze e alla delicatezza costruttiva, permette una resa economica del prototipo finale, al massimo modo fedele all'idea di interfaccia che si vuole sviluppare.

La fase di prototipazione è fondamentale per raccogliere feedback e comprendere le possibili inconsistenze di progettazione. Infatti "Se un'immagine vale più di mille parole, un prototipo vale 10.000 parole. I prototipi vanno oltre il potere dello spettacolo e raccontano: ti permettono di sperimentare il design." [37] Esistono vari tipi di prototipazione

che possono essere sviluppati, a seconda delle esigenze del progetto. Dai prototipi a bassa fedeltà a quelli che simulano l'interfaccia nelle parti di dettaglio (alta fedeltà).

Per Singing Plants si è scelta una strada il più possibile fedele a livello hardware al prodotto definitivo. Dall'altra parte, a livello costruttivo e nei materiali, si è pensato di adottare la strada dell'implementazione su breadboard. La prima figura mostra la realizzazione concreta della prima implementazione su breadboard. Il galvanometro realizzato è molto simile a quello di MIDISprout, sono state già inserite fotoresistenza e dht11. Il circuito implementato è quello ideato precedentemente:

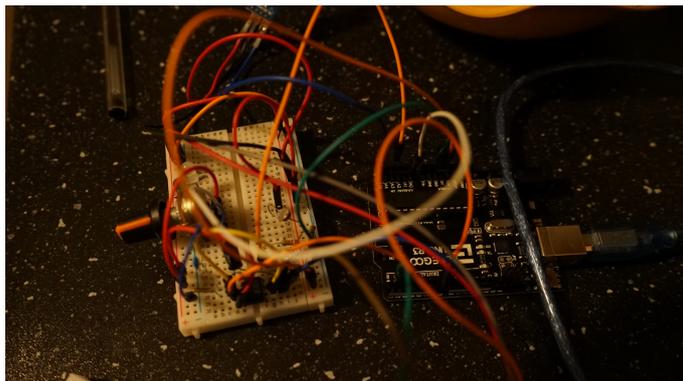


Figura 4.19: Prima versione del prototipo.

In seguito il progetto è stato ampliato con una serie di LED dipendenti direttamente dai bio-feedback e si è resa necessaria l'aggiunta di una ulteriore breadboard. Inoltre per aumentare l'efficienza è stato cambiato il sensore soil moisture che in precedenza dava problemi di interferenza con gli altri sensori.

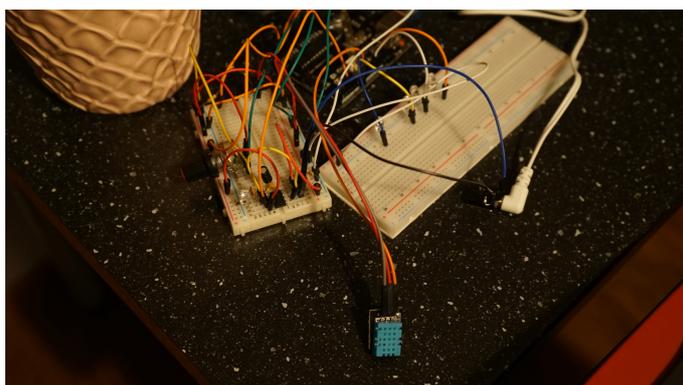


Figura 4.20: Seconda versione del prototipo.

Questa seconda versione si avvicina maggiormente all'idea che si vuole implementare in Singing Plants. Abbiamo una stazione che registra sia i cambiamenti a livello ambientale

che sulla superficie della pianta. L'integrazione con i LED permette di avere un feedback immediato di debugging rispetto alla parte hardware.

L'algoritmo inoltre realizza un fading sui LED che permette speciali lightshow dipendenti direttamente dal segnale sulla pianta. Questa parte è approfondita nel capitolo 5.



Figura 4.21: Effetti ottenibili con lightshow dei LED.

Successivamente si è provato a prototipare un case per l'interfaccia. Si è pensato di scegliere il legno come materiale perchè si avvicina parecchio all'intero senso creativo della performance.

Si è scelto, vista la forma non definitiva del prototipo, di rivolgersi ad una struttura in bambù, abbastanza spaziosa per inserire abilmente tutti i componenti previsti dal prototipo e, allo stesso tempo, per permettere dei percorsi agili ai cablaggi.

Si è scelto, infine, di inserire un'ulteriore case per contenere i LED in modo da creare un'interessante distribuzione dei flussi luminosi anche incoraggiata dalla decorazione floreale prevista sul coperchio della stessa. Questa scelta, di carattere creativo, è stata portata avanti in accordo alla natura performativa del progetto.

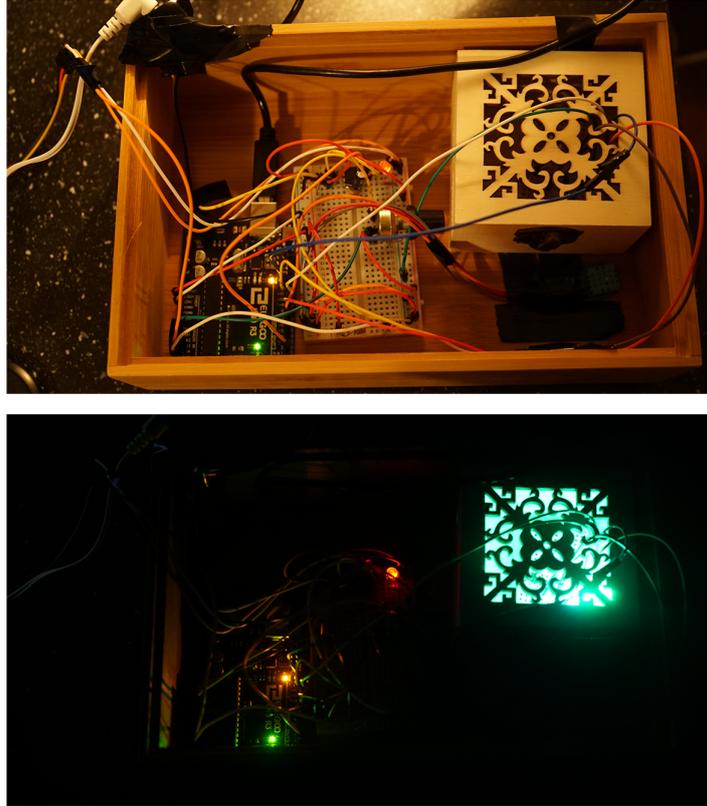


Figura 4.22: Versione finale del prototipo.

Capitolo 5

Software

La parte software è la parte tecnica dove confluiscono la maggior parte delle scelte creative. Infatti ogni scelta portata avanti in ambito musicale, per esempio, è rappresentata nell'algoritmo. Questo passaggio è quello che trasforma il bio-feedback della pianta in un determinato segnale MIDI.

È necessario, tuttavia, partire dal presupposto che l'intero protocollo MIDI in questione (in Appendice A è possibile trovare cenni generali sul funzionamento) è un costrutto umano, quindi una traduzione del bio-feedback misurato sulla pianta. Non è la voce vera e propria del vegetale, ma una traduzione mediata da apparati costruiti dall'uomo.

5.1 Algoritmo implementato

L'algoritmo implementato è schematizzato in primo luogo in figura 5.1. In rosso sono evidenziate le grandezze musicali influenzabili dai feedback raccolti, in giallo i sensori utilizzati, in azzurro le funzioni software e in verde le parti maggiormente hardware. La parte di raccolta del bio-feedback è in parte presa dallo sketch open-source di MIDISprout [9].

A livello creativo e di ideazione si è cercato di non imporre troppi costrutti musicali umani alla pianta. Infatti, come già detto e discusso nel Capitolo 1, è necessario prendere in considerazione il punto di vista del vegetale. Questo tipo di concetto è stato espresso aumentando il grado di randomicità dell'algoritmo. L'ignoto della relazione uomo-pianta viene espresso cercando di aumentarne la casualità. Le funzioni `random()` presenti aggiungono un fattore moltiplicativo casuale alle cifre presenti nella scala di partenza (una mezza scala Cromatica che comprende tutti i toni e semitoni)proporzionale anche al bio-feedback misurato sulla pianta.

La fotoresistenza e il modulo DHT11 rappresentano le variazioni misurabili nell'ambiente circostante. Queste variazioni non sono consistenti in modo continuativo. Infatti, per esempio, la temperatura di un ambiente rimane abbastanza stabile nel tempo e le possibili variazioni richiedono ore. Se l'ambiente è chiuso il cambiamento è ancora più lento e per rilevare modificazioni è molto spesso necessario un intervento artificiale, per esempio l'apertura di una finestra. Queste caratteristiche rendono necessario introdurre un controllo in primo luogo indipendente rispetto al bio-feedback e poi per periodi di tempo più lunghi. L'algoritmo introdurrà una variazione timbrica di scala solamente se un Δ calcolato continuamente sui sensori di luce, umidità relativa e temperatura evidenzierà una modificazione consistente. A livello creativo questa scelta è motivata dal fatto che esposizione luminosa, temperatura, umidità relativa sono grandezze su cui l'essere umano può agire nella relazione con la pianta. Sono grandezze che condividiamo, rappresentano l'ambiente circostante in senso più generale. Come già detto, sono un cambiamento repentino nel flusso generale della performance. L'algoritmo, dunque, introduce una modificazione soltanto se misura una variazione consistente nell'insieme di queste grandezze. Per esempio se viene spenta la luce il cambiamento ambientale è notevole per cui ci sarà una modificazione della scala musicale suonata. Tuttavia anche in questo caso è importante non dimenticare il fattore di randomicità che occorre per non imporre alla pianta una scelta costretta per cui la scala viene scelta tramite uno switch dipendente da una variabile scelta con una funzione `random()`.

Il suolo, come ampiamente discusso nel Capitolo 1, è il ponte fra mondo umano e mondo vegetale. È stato scelto di dividere il contributo algoritmico di questo sensore per questa interessante ragione. Il suolo è una presenza ambigua e ambivalente, assume valenza differente a seconda dell'utilizzo che ne viene fatto. È viscerale e compatto. Queste ragioni, appunto, portano a dividere su un ulteriore canale MIDI la lettura analogica effettuata tramite Soil Moisture. Viene generato un ulteriore flusso MIDI che funge da tappeto sonoro a tutta l'esibizione, una specie di suolo.

Tutti i dati MIDI vengono in seguito mandati su seriale alla velocità di 38400 baudrate. Il perchè della scelta di questa velocità risiede nell'impossibilità di realizzare una trasmissione su seriale USB nel baudrate nativo del MIDI cioè 31250 baud. Infatti per ragioni storiche e costruttive la maggior parte delle porte seriali dei computer non può effettivamente comunicare a 31250 bps e sono solitamente limitati a multipli di 300 bps. Tuttavia, come è anche riscontrabile nelle specifiche di Hairless MIDI [26], è possibile trasmettere sul bus ad un bitrate poco più che superiore senza riscontrare troppi problemi.

Un potenziometro resistivo regola la soglia di sensibilità dell'algoritmo di analisi. Se la

soglia è più bassa, l'algoritmo riscontra più variazioni ed è più sensibile, se la soglia viene alzata ci sono meno superamenti e l'algoritmo è meno sensibile fino alla mancanza di feedback.

La logica della parte software viene approfondita nel paragrafo 5.3.

5.2 Ambiente di sviluppo

5.2.1 Arduino IDE 1.8.10

L'ambiente di sviluppo integrato (IDE) di Arduino è un'applicazione multiplatforma in Java, ed è derivata dall'IDE creato per il linguaggio di programmazione Processing. È stata creata da Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, e David Mellis, per iniziare alla programmazione i neofiti, che siano a digiuno di pratica nello sviluppo di software [4]. Arduino IDE fornisce all'utente numerose features che permettono la semplificazione del procedimento di stesura del codice sorgente: per esempio è dotato di syntax highlighting, controllo delle parentesi e l'indentazione automatica. L'editor è inoltre in grado di compilare e caricare sulla scheda Arduino il programma eseguibile in una sola passata e con un solo click, senza dover essere costretti, solitamente, a passare per terminali o linee di comando.

I programmi di Arduino sono scritti in linguaggio derivato dal C/C++, ma all'utilizzatore, per poter creare un file eseguibile, si richiede solo di definire due funzioni:

- la funzione **setup()** che viene invocata una sola volta all'inizio del programma per definire i settaggi iniziali, aprire seriali e altre operazioni che rimangono invariate fino alla fine dell'esecuzione.
- la funzione **loop()** che viene invocata ripetutamente e ciclicamente. Viene interrotta solamente quando viene rimossa l'alimentazione.

Gli schemi hardware di Arduino sono distribuiti in modo da poter essere utilizzati nei termini legali di una licenza Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5, e sono disponibili sul sito ufficiale Arduino. Per alcune versioni della scheda sono disponibili anche il layout e i file di produzione. Il codice sorgente per l'ambiente di sviluppo integrato e la libreria residente sono invece disponibili, e concessi in uso, secondo i termini legali contenuti nella licenza GPLv2.

La versione utilizzata per lo sviluppo di Singing Plants è la release 1.8.10, l'ultima stabile scaricabile dal sito di Arduino. Arduino IDE è utilizzato per la stesura e il caricamento su scheda dell'intero codice sorgente.



Figura 5.2: Arduino IDE.

5.2.2 Ableton Live Suite 10.1.1

Ableton Live è una Digital Audio Workstation (DAW) sviluppata e distribuita a partire dal 30 ottobre 2001 dai co-fondatori Gerhard Behles e Robert Henke. La compagnia di sviluppo ha sede ancora a Berlino. Le sue radici sono nella scena techno della Berlino dei primi anni Novanta, quando ancora la posta non era alta e la sperimentazione poteva proliferare. [1]

L'idea venne ai fondatori della società a metà degli anni Novanta. Entrambi musicisti allora vivevano a Berlino e producevano musica minimal-techno a nome Monolake. Le prime versioni di Live nacquero dalla semplice necessità, di essere usate sui progetti di Behles e Henke. I due, che si erano conosciuti a lezioni di programmazione dell'Università Tecnica di Berlino, non avevano alcuna intenzione di diffondere il software al di là dell'uso personale ed erano soliti mettere insieme vari programmi autocostruiti per suonare in studio o dal vivo. Bernd Roggendorf, un programmatore conosciuto tramite amici comuni, si unì alla coppia alla fine degli anni Novanta e li incoraggiò a trasformare la massa di codice che teneva in piedi i live dei Monolake in un software generalista da vendere al dettaglio che avrebbe risolto numerose. Con gli accorgimenti tecnici di Roggendorf, la prima versione di Ableton Live fu pubblicata nel 2001.

Come il nome stesso lascia capire, Live è pensato, a livello di interfaccia, con due finestre parallele tanto per la composizione in studio quanto per l'esecuzione di performance live: è sufficientemente versatile per consentire la creazione di "metodi d'utilizzo" diversi, a seconda che si usi con fonti in ingresso, controller midi, effetti esterni, mixer o quant'altro. [1]

Ableton Live viene attualmente venduto in tre differenti versioni: Intro, Standard e Suite.

Le tre differiscono per quantità di strumenti proposti e per livello di utilizzo. Live include diversi strumenti ed effetti progettati su misura. Sono inoltre supportati VST e Audio Unit, plugins rilasciati da terzi che rendono così il programma enormemente versatile.

Le sue caratteristiche tecniche prevedono:

- Registrazione multitraccia fino a 32-bit/64-bit/192 kHz
- Editing assolutamente non distruttivo con possibilità di Undo illimitati.
- Warping avanzato e time-stretching in tempo reale
- Congelamento delle tracce per risparmio della CPU
- Possibilità di automatizzare ogni singolo pulsante o manopola dell'interfaccia, assegnarlo a un controller MIDI o a una scorciatoia della tastiera
- supporto per i formati AIFF, WAV, MP3, Ogg Vorbis e FLAC

Ableton Live risulta essere una delle DAW più utilizzate, soprattutto da musicisti di genere elettronico. Le sue versatilità e stabilità permettono comodità di produzione e flessibilità. Ableton, inoltre, comprende già, nella versione Suite, una serie di sintetizzatori e strumenti molto potenti e capace di conferire numerose possibilità timbriche e creative. Fra questi ritroviamo:

- **Analog**: sintetizzatore di tipo virtual analog, dotato di due oscillatori e due sub-oscillatori di cui è possibile regolare la forma d'onda, l'involuppo ADSR, due LFO, due filtri e diverse possibilità di routing.
- **Simpler**: campionatore elementare
- **Sampler**: campionatore più complesso. Capace di lavorare con più campioni alla volta.
- **Operator**: sintetizzatore di tipo FM dotato di quattro oscillatori con forma d'onda personalizzabile di cui è possibile modificare ADSR, pitch, feedback ed altri parametri. È possibile variare l'algoritmo di modulazione e dei contributi degli oscillatori.
- **Wavetable**: introdotto dalla versione 10 è un vero e proprio sintetizzatore wavetable. Permette l'importazione di forme d'onda personalizzate dall'utente.

Ableton è stato scelto per Singing Plants per la sua straordinaria flessibilità e, in particolar modo, per la possibilità di lavorare in parallelo con Max/Msp grazie all'integrazione prevista nella DAW. Inoltre la stabilità e l'ottimizzazione per la CPU rendono più facile la migrazione dei numerosi dati MIDI, raccolti sulla pianta, che arrivano su seriale. Inoltre l'impianto con cui è costruito Ableton prevede numerosi vantaggi e affidabilità nella performance live.

In particolar modo Ableton riceve in input i dati MIDI, tradotti rispetto alla lettura del bio-feedback rilevato da elettrodi e sensori, che legge rispetto alla seriale USB.



Figura 5.3: Interfaccia di Ableton Live in modalità Live.

5.2.3 Max 8

Max/MSP è un sistema di sviluppo grafico per la musica e la multimedialità ideato ed aggiornato dall'azienda di software Cycling '74, con base a San Francisco, California. È un sistema molto più longevo di Ableton ed è stato in seguito integrato nella DAW.

Max fu scritto, a metà degli anni 80, da Miller Puckette come *Patcher editor* per l'ambiente Macintosh dell'IRCAM di Parigi. L'idea di base era conferire ai musicisti un ambiente di sviluppo "creante" per l'ambito sempre più in diffusione della musica elettronica e sperimentale. Soprattutto si voleva integrare la parte musicale con la parte interattiva e multimediale. Fu usato per la prima volta in un brano per pianoforte ed elaboratore chiamato Pluton e composto da Philippe Manoury nel 1988 sincronizzando il computer al pianoforte e controllando un Sogitec 4X, che eseguiva l'elaborazione audio. [23]

Max deve il suo nome al pioniere della musica elettronica Max Mathews, che per primo capì e comprese il potenziale di riuscire a fare musica attraverso un computer, sviluppando MUSIC, il primo linguaggio di programmazione compositivo, di cui Max è considerato il diretto discendente.

Allo stesso tempo l'IRCAM sviluppò una versione concorrente di Max, prototipo di quello che diventerà MSP, chiamata Max/FTS (Faster Than Sound) e dotata di un proprio sistema hardware DSP di potenziamento. Nel 1989 l'Ircam lo cedette in licenza alla Opcode Systems Inc, che ne vendette una versione commerciale nel 1990 (sotto il nome di Max/Opcode), sviluppata ed estesa a cura di David Zicarelli. L'attuale versione (Max/MSP) è distribuita dalla compagnia con a capo Zicarelli, appunto la Cycling '74, fondata nel 1997. Nel 1996 Miller Puckette sviluppo un sistema simile di programmazione chiamato Pure Data, maggiormente user-friendly e più semplice.

Il linguaggio di base di Max è quello di un sistema di flusso di dati: i programmi sviluppati in Max (chiamati *patch*) sono creati organizzando e collegando blocchi di oggetti all'interno di un *patcher*, o *visual canvas*. Questi oggetti agiscono come programmi autonomi (in

realtà, sono librerie collegate dinamicamente), ognuno dei quali può ricevere input (attraverso uno o più input visivi), generare output (attraverso output visivi) o entrambi. Gli oggetti passano i messaggi dai loro output agli input degli oggetti collegati.

Oltre all'interfaccia di base anche lo stesso applicativo di Max è altamente modulare: la maggior parte delle sue *routine* esiste in forma di libreria condivisa. Una API permette a terze parti lo sviluppo di nuove routine (chiamate *external objects*, oggetti esterni). Come risultato, Max possiede un largo bacino d'utenza costituito da programmatori - non ricollegabili a Cycling '74 - che ne potenziano il software con estensioni (commerciali e non) al programma. Grazie appunto al suo progetto estensibile e alla sua interfaccia grafica, Max è comunemente considerato una sorta di lingua franca per lo sviluppo di software inerente alla musica interattiva. [23]

È stato scelto di utilizzare Max in *Singing Plants* per le possibilità timbriche e multimediali che mette a disposizione del compositore. È un'ottima modalità anche per veicolare output video.

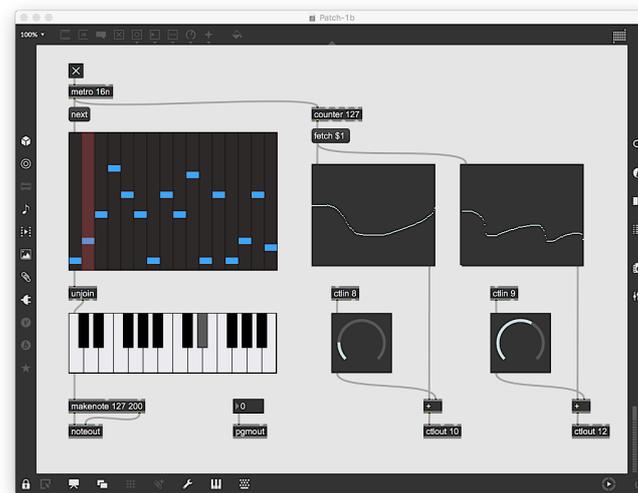


Figura 5.4: Una patch di Max 8.

5.2.4 Hairless MIDI Serial 0.5

Hairless è un applicativo per MacOS che consente di spostare dati MIDI da seriale su un bus che permette la lettura in parallelo di software terzi. È stato rilasciato per la prima volta nel 2011 e, a parte update intermedi, non ha ancora sviluppato una versione differente. Fu creato per l'utilizzo nel workshop "Drop-Dead Simple MIDI Controllers with Arduino" come parte del festival Electrofringe nel 2011 a Newcastle in Australia da Angus Gratton. Mentre preparava tale evento non ritrovava alcuna possibilità software semplice e senza latenze varie di costruire un ponte fra seriale MIDI e programmi all'interno del

computer, senza passare da terminali o linee di comando. Così decise di sviluppare un'interfaccia semplice e intuitiva che concretizzi questa possibilità.

Il codice del software, con la sua ultima versione, è disponibile open-source secondo licenza GNU Lesser General Public License 2.1 sul github del creatore stesso [26].

Il funzionamento su MacOS prevede l'attivazione del driver IAC Bus che permette la parallelizzazione dei dati MIDI su più software differenti. Su sistemi Mac il driver di trasporto può essere attivato dal MIDI studio in Audio MIDI Setup.

L'interfaccia di Hairless è molto semplice ed intuitiva: da una parte, sul lato sinistro, si seleziona la seriale dalla quale si vogliono leggere i dati e dall'altra, sul lato destro, si seleziona dove si necessitano direzionare il MIDI Out e il MIDI In. Un'altra feature, che nel nostro caso non è utilizzata, è quella di trasmettere dati MIDI in input alla seriale, quindi ad Arduino. I led virtuali da parte agli input/output si illuminano in ricezione di un segnale e alla consecutiva trasmissione. Nel nostro caso si selezionerà il driver IAC bus in MIDI Out. È presente una funzione di debugging dei messaggi MIDI che specifica tipo di segnale (Controllo, Sistema ecc.) , numero di nota e canale su cui è trasmesso.

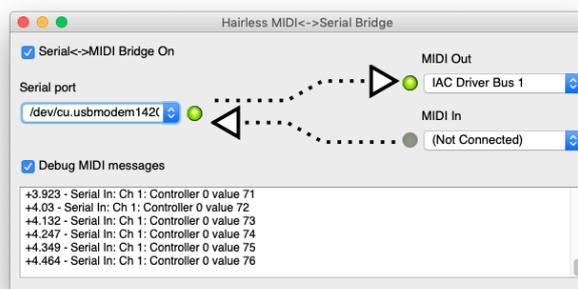


Figura 5.5: Interfaccia di Hairless MIDI.

5.3 Logica del codice

Il codice prodotto in Arduino IDE è il concretizzarsi dell'algorithmo ideato. Il codice viene analizzato una funzione alla volta per comprendere al meglio il suo funzionamento logico. Lo schema logico è, in prima battuta e con opportune semplificazioni, il seguente:

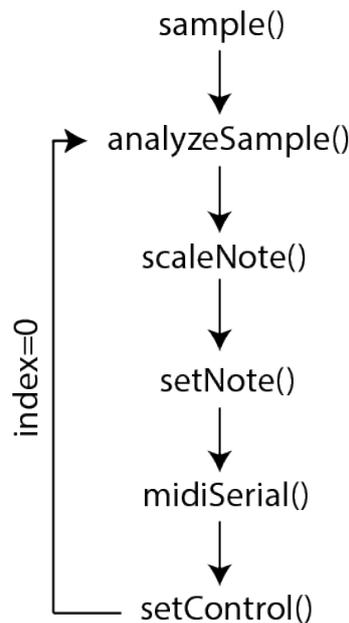


Figura 5.6: Semplificazione del flowchart totale del codice.

La funzione `sample()` è la ISR dell’Interrupt. Viene chiamata soltanto sui fronti di salita dell’onda quadra dell’ingresso digitale del pin 2. Tale funzione è addetta al campionamento delle differenti durate di ogni onda quadra che sono proporzionali alla variazione di bio-feedback sulla pianta.

Una volta che il vettore di lunghezza predefinita è stato riempito viene invocata la funzione `analyzeSample()` che si occupa della vera e propria analisi dei campioni. L’analisi totale produce una nota che in seguito viene consegnata alla funzione `scaleNote()` che è addetta allo scalamento della medesima secondo la scala musicale scelta. Una volta effettuata questa operazione la nota viene selezionata dalla funzione `setNote()` e direzionata a `midiSerial()` che si occupa dell’impacchettamento in messaggi MIDI secondo le specifiche del protocollo. La funzione finale `setControl()` si occupa del definire i messaggi di controllo MIDI conseguenti al calcolo algoritmico e di spedirli a `midiSerial()` a loro volta. Alla fine del procedimento l’indice del vettore viene resettato ed è possibile iniziare un nuovo ciclo di analisi.

Una volta chiara questa catena logica è possibile passare all’analisi delle funzioni coinvolte nella stesura del codice in Arduino IDE. Alcune funzioni sono quelle previste dal sistema open-source MIDISprout [9]. Partendo da questa base è stato possibile effettuare le dovute modifiche per integrare più sensori assieme.

Partiamo dalle funzioni di base `setup()` e `loop()` di uno sketch Arduino:

```

1 void setup()
2 {
3     pinMode(knobPin, INPUT);
4     pinMode(SoilPin, INPUT);
  
```

```
5  randomSeed(analogRead(A0)); //seed for QY8
6  Serial.begin(38400);
7  controlMessage.value = 0; //inizia il CV a 0
8  checkBattery() //controllo batteria per modalit a batteria
9  if(noteLEDs) bootLightshow(); //light show
10 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), sample,
    RISING); //inserimento interrupt su pin 2
11
12 }
13
14 void loop()
15 {
16
17     currentMillis = millis(); //calcolo tempo per sampling
18     checkBattery();
19     checkKnob(); //controllo valore potenziometro
20
21     if(index >= samplesize)
22     {     checkDelta(); //controllo variazioni fattori
        ambientali(dht11 e luce)
23     analyzeSample(); } //una volta che il sampling    finito,
        analizza e manda dati MIDI
24     checkNote(); //noteOFF di eventuali note ancora accese
25
26     checkControl(); //cambia CV di controllo per i LED
27     checkLED(); //controllo sui LED
28     previousMillis = currentMillis; //aggiornamento tempo
29 }
```

Listing 5.1: Funzioni setup() e loop().

Come si può osservare le due funzioni danno già un'idea ampia di come le ramificazioni logiche spiegate in precedenza siano sviluppate nello sketch. L'Interrupt viene inserito già a partire dal setup all'origine degli eventi sul pin digitale 2 grazie ad attachInterrupt(). La funzione di setup attiva anche il lightshow dei LED collegati e inizializza il valore dei messaggi di controllo MIDI a zero. Viene aperto un collegamento sulla seriale alla velocità di 38400 baud, il valore più vicino alla velocità di trasmissione nativa nei dati MIDI. Nella funzione loop() viene in primo luogo campionato l'istante temporale con la funzione millis(). La funzione checkKnob() procede a calcolare la soglia di sensibilità dell'algoritmo totale, la funzione appare in questo modo:

```
1 void checkKnob() {
2     threshold = analogRead(knobPin);
3     threshold = mapfloat(threshold, knobMin, knobMax, threshMin,
        threshMax);
4 }
```

Listing 5.2: Funzione checkKnob().

La struttura è semplice ed immediata. Nella variabile `threshold` viene memorizzato il valore di lettura analogica del potenziometro. Tale grandezza viene poi mappata attraverso diversi valori: il valore minimo e massimo da fare assumere al potenziometro e i valori entro cui la soglia è compresa. Tutti questi valori sono scelti a priori dal programmatore. Questa variabile andrà ad influire sull'analisi dei campioni che farà in seguito la funzione `analyzeSample()` la quale verrà trattata più avanti.

Nel frattempo occorre non dimenticarsi che l'Interrupt è attiva sul pin digitale 2 e che, alimentando l'oscillatore NE555, le prime onde quadre e i primi fronti di salita arrivano all'ascolto dell'algorithm. Ad ogni fronte di salita viene invocata la funzione `sample()`. È opportuno ricordare che un Interrupt provoca l'immediata sospensione di ogni altro procedimento in corso. La funzione `sample()` appare così:

```
1 void sample()
2 { //funzione di sample (ISR dell'Interrupt_RISING)
3
4   if(index < samplesize) {
5     //campionamento dei tempi di ciclo dell'onda quadra
6     samples[index] = micros() - microseconds;
7     microseconds = samples[index] + microseconds;
8     index += 1;
9
10  }
11 }
```

Listing 5.3: Funzione `sample()`.

Anch'essa ha una struttura abbastanza semplice. Tramite la funzione `micros()`, che restituisce quanti microsecondi sono passati dall'inizio dell'esecuzione del programma da parte della scheda Arduino, viene calcolato quanto tempo intercorre fra un ciclo di onda quadra e un altro. L'indice viene incrementato ad ogni invocazione della funzione. Un ciclo *if* controlla che il vettore non sia già riempito al suo massimo. La dimensione del vettore viene selezionata a priori in fase di dichiarazione delle variabili. I valori più opportuni sono compresi fra 8 e 15 elementi. Sotto ad otto il campionamento sarebbe troppo rapido e verrebbero generati troppi messaggi MIDI. Sopra sarebbe, al contrario, più lento e dilatato. Ritornando alla funzione `loop()`, una volta che il vettore `samples` è pieno, controllando sempre con un ciclo *if*, vengono chiamate due funzioni: `checkDelta()` e la funzione di analisi `analyzeSample()`.

La funzione `checkDelta()` produce un calcolo di deviazione riguardante i sensori di luce e temperatura/umidità relativa, appare nel modo seguente:

```
1 void checkDelta(){
2   // controllo di cambiamenti ambientali
3   t = dht.readTemperature();
4   h = dht.readHumidity();
5
6   int avergDHT = 0;
7   int avergLight = 0;
8   const int numReadings = 10;
```

```
9     int readings[numReadings];           // letture analogiche
10    int readIndex = 0;                    // indice corrente
11    int total = 0;                         // conto totale campioni
12    int average = 0;
13    int maxi = 0;
14    int mini = 0;
15
16    for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings;
17         thisReading++) {
18        readings[thisReading] = 0; //inizializzazione vettore
19    }
20    avergDHT = ( t + h ) / 2; //media fra temperatura e umidit
        relativa
21    SoilRead = analogRead(SoilPin); //lettura analogica suolo
22    total = total - readings[readIndex];
23
24    readings[readIndex] = analogRead(A5) + avergDHT //lettura
        analizzata comprende luce
25
                                                //+ media fra
                                                temperatura e
                                                umidit ;
26
27
28    total = total + readings[readIndex];
29    deviazione += readings[readIndex] * readings[readIndex];
        //calcolo deviazione
30
31    //avanti di una posizione
32    readIndex = readIndex + 1;
33    if (readIndex >= numReadings) {
34        readIndex = 0;
35    }
```

Listing 5.4: Funzione checkDelta().

In primo luogo vengono rilevate temperatura e umidità relativa tramite le funzioni previste nella libreria DHT e cioè `readTemperature()` e `readHumidity()` e salvate in altrettante variabili. Viene letto da questa funziona anche il valore di umidità nel suolo tramite la lettura analogica del Soil Moisture e salvato in una variabile. È necessario cercare di unire il più possibile i dati di temperatura e umidità in unico flusso di processing. Si sceglie per semplicità e visto l'utilizzo in un settore non metereologico di effettuare una media fra temperatura e umidità in ogni ciclo e di salvarlo nella variabile `avergDHT`. A questo punto viene effettuato un ulteriore passo. Il valore analogico letto rispetto alla fotoresistenza, quindi dipendente dalla quantità di luce presente nell'ambiente, viene sommato, in ogni istante, alla media fra temperatura e umidità (`avergDHT`) e salvato in un vettore denominato *readings*. La funzione `checkDelta()` calcola a questo punto la deviazione standard in questo vettore e la salva nella variabile denominata *deviazione*.

Questa scelta deriva dalla volontà creativa di avere un'unico controllo rispetto a tutti i fattori ambientali. La funzione `analyzeSample()` in seguito provvederà ad introdurre cambiamenti di scala utilizzando anche un controllo sulla deviazione calcolata in questo passo. Dopo la funzione `checkDelta()` viene chiamato da `loop()` il vero cuore dell'algoritmo software e cioè la funzione `analyzeSample()`. Tale parte viene invocata solamente se il vettore di `samples` ha raggiunto la sua massima dimensione. La funzione `analyzeSample()` è la più complessa e ramificata dello sketch ed appare nel modo seguente:

```
1 void analyzeSample()
2 { //funzione di analisi
3
4   unsigned long averg = 0;
5   unsigned long avergTot =0;
6   unsigned long avergLight = 0;
7   unsigned long maxim = 0;
8   unsigned long minim = 100000;
9   int deltaTot = 0;
10  int deltaNew = 0;
11  float stdevi = 0;
12  unsigned long delta = 0;
13  byte change = 0;
14
15  if (index = samplesize) {
16
17    unsigned long sampanalysis[analyssize];
18    for (byte i=0; i<analyssize; i++){
19
20
21      sampanalysis[i] = samples[i+1]; /
22
23      //calcolo massimo e minimo
24      if(sampanalysis[i] > maxim) { maxim = sampanalysis[i]; }
25      if(sampanalysis[i] < minim) { minim = sampanalysis[i]; }
26      averg += sampanalysis[i];
27
28      stdevi += sampanalysis[i] * sampanalysis[i]; //calcolo
          deviazione
29    }
30
31    //calcolo media
32    averg = averg/analyssize;
33
34    stdevi = sqrt(stdevi / analyssize - averg * averg); //calcolo
          deviazione standard
35    if (stdevi < 1) { stdevi = 1.0; } //valore minimo di
          deviazione standard
36    delta = maxim - minim;
37
38    if (delta > (stdevi * threshold)){
```

```
39     change = 1;
40 }
41
42 if(change){
43     int dur = 150+(map(delta%127,1,127,100,2500)); //durata
        della nota
44     int ramp = 3 + (dur%100) ; //rampa di controllo LED
45     int notechannel = random(1,5);
46
47     //nota
48     int setnote = map(averg%127,1,127,noteMin,noteMax);
49     int setnoteSoil = map(SoilRead%127,1,127,noteMin,noteMax);
50
51     midiSerial(144,2,SoilRead%127,dur);
52
53     for(int i=1; i<8;i++){ //scala di partenza e randomizzazione
54         scaleSelect[i] = averg*random(1,5) *semiChromatic[i];
55     }
56     scaleSelect = semiChromatic;
57
58     if(deviazione < 15){
59         //bank di scale per cambiamento repentino ambientale
60         //switch con selettore randomizzato
61         int scaleSel= random(1,5);
62         switch (scaleSel) {
63
64 case 1:
65     scaleSelect = scaleIndian;
66     break;
67 case 2:
68     scaleSelect = Oriental;
69     break;
70 case 3:
71     scaleSelect = SuperFrigio;
72     break;
73 case 4:
74     scaleSelect = IonicoAug;
75     break;
76 case 5:
77     scaleSelect = Ungarian;
78     break;
79     }
80     counter = 0;
81
82 }
83
84
85
86
```

```

87     setnote = scaleNote(setnote, scaleSelect, root);
88     if(QY8) { setNote(setnote, 100, dur, notechannel);
89     }
90     else { setNote(setnote, 100, dur, channel);
91     }
92     }
93
94     //derivazione dei parametri di controllo
95     setControl(controlNumber, controlMessage.value, delta%127,
96             ramp);
97     }
98     //reset dell'array
99     index=0;
100    }
101
102    int scaleSearch(int note, int scale[], int scalesize){
103    //ricerca scala
104    for(byte i=1; i<scalesize; i++){
105    if(note==scale[i]){return note;}
106    else{if(note<scale[i]){return scale[i];}}
107    }
108    return 6;
109    }

```

Listing 5.5: Funzione analyzeSample().

Per prima cosa viene salvato ogni elemento del vettore `samples`, creato in precedenza da `sample()`, in un ulteriore vettore che diventa la materia prima della nostra analisi. Di questo vettore vengono calcolati e aggiornati massimo e minimo, media e deviazione standard. Alla deviazione standard viene conferito un valore minimo di 1. La variabile `delta`, che consiste nella pura differenza fra massimo e minimo, è utilizzata per rilevare un cambiamento nell'andamento dei campioni di tempo. Un ciclo `if` controlla se questo valore è maggiore o minore della deviazione standard moltiplicata per la soglia fissata dal potenziometro nella funzione `checkKnob()`. Questa grandezza fornisce un'indicazione sulla sensibilità totale dell'algoritmo: più è alta la soglia, meno variazioni verranno misurate, quindi meno forti saranno gli effetti timbrico-musicali; viceversa più è bassa la soglia, più variazioni verranno misurate, quindi più fitti saranno i messaggi MIDI inviati.

Se il cambiamento viene rilevato dal flag `change` si avvia il processo di traduzione e di analisi. La durata della nota viene mappata rispetto ad estremi di massimo e minimo (1 e 127 come i possibili valori assegnabili ad un messaggio MIDI) e alla variabile `delta`. A quest'ultima viene applicato un operatore di modulo (%) 127. Questo accorgimento, che verrà ripetuto altre volte nell'algoritmo, viene inserito per assicurarsi che il valore in output sia compatibile con gli standard imposti dal protocollo MIDI e cioè una mappatura su massimo 127 valori. Il protocollo in questione è analizzato e discusso nell'appendice A. La variabile `ramp`, nel frattempo, controlla il fading dei LED e dipende anch'essa dalla durata (e in conseguenza dalla variabile `delta`). La variabile `setnote` si occupa di

produrre il vero e proprio valore di nota. Tale valore viene mappato secondo la media calcolata precedentemente sui campioni di tempo. In modo speculare opera *setnoteSoil* che si occupa di produrre un'ulteriore nota dipendente dal valore calcolato di umidità del suolo. La funzione *midiSerial* trasmette subito su seriale questa nota, sul canale MIDI numero 2. Questa parte di sketch verrà approfondita in seguito.

A questo punto abbiamo la variabile *setnote* che già contiene la nota da trasmettere su seriale, ma manca ancora un controllo di scala. La scala di partenza standard è settata come scala cromatica. Essa è la scala che contiene tutti i dodici semitoni del sistema temperato, quindi offre la possibilità intrinseca di non imporre troppi costrutti timbrici alla pianta. In realtà si tratta della metà di una scala cromatica per ragioni di dimensioni vettoriali. La scala viene inizializzata in questo modo:

```
1 int semiChromatic [] = {7,1,2,3,4,5,6,7};
```

Listing 5.6: Scala semi-cromatica.

Il primo elemento del vettore indica il numero totale di elementi presenti. Gli altri indicano gli intervalli musicali che si vogliono selezionare. Ogni semitono aggiunge 1 al precedente, ogni tono aggiunge 2. Come si può vedere nel caso della scala cromatica si aggiunge sempre una sola unità.

Come già mostrato in figura 5.1, ogni elemento di questa scala viene moltiplicato per un fattore randomico per i fini espressivi già discussi in precedenza. Allo stesso tempo è fondamentale che la scala dipenda anche dalla media dei campioni di tempo proporzionali al bio-feedback e viene moltiplicata per tale grandezza. Questa operazione viene ripetuta ad ogni ciclo di analisi ai fini di aumentare la randomicità grazie alla funzione *random()* richiamata di volta in volta.

A questo punto dell'algoritmo entrano in gioco i dati raccolti dagli ulteriori due sensori nella funzione *checkDelta()*. Come già detto, tale procedimento produceva una variabile che conteneva la deviazione standard considerando i contributi dei sensori nella loro interezza. Se la deviazione diminuisce in modo repentino vuol dire che si è verificato nell'ambiente un cambiamento consistente (ad esempio lo spegnimento di una luce). Se tale cosa avviene viene introdotto un ciclo switch con un selettore randomico che sceglie fra un banco pre-impostato di scale. L'idea è quella che, mano a mano che si verificano cambiamenti artificiali nell'ambiente circostante, aumenta il grado di armonicità e razionalità delle scale che diventano più "umane" e contaminate.

Le note vengono scalate tramite le funzioni *scaleNote* e *scaleSearch* che semplicemente operano sugli interi raccolti nei vettori di scale dichiarate. Ora è possibile richiamare la funzione *setNote()* che procede all'invio dei dati a *midiSerial()* per la trasmissione finale su seriale. *setNote()* riceve in ingresso la variabile *setnote* con la nota selezionata all'inizio del ciclo di analisi, la scala selezionata e una grandezza di *root*, che è utilizzata per eventuali slittamenti artificiali delle note. La funzione è costruita in questo modo:

```
1 void setNote(int value, int velocity, long duration, int
   notechannel)
2 {
3   for(int i=0;i<polyphony;i++){
```

```

4     if(!noteArray[i].velocity){
5
6         noteArray[i].type = 0;
7         noteArray[i].value = value;
8         noteArray[i].velocity = velocity;
9         noteArray[i].duration = currentMillis + duration;
10        noteArray[i].channel = notechannel;
11
12
13        if(QY8) { midiSerial(144, notechannel, value, velocity); }
14        else { midiSerial(144, channel, value, velocity); }
15
16
17        if(noteLEDs){
18            for(byte j=0; j<(LED_NUM-1); j++) {
19                if(!leds[j].is_fading()) { rampUp(i, 255, duration);
20                    break; }
21            }
22
23            break;
24        }
25    }
26 }

```

Listing 5.7: Funzione setNote().

La funzione è abbastanza lineare e procede a costruire un array contenente tutte le caratteristiche che riguardano la nota attuale da suonare cioè, per esempio, durata, canale MIDI, velocità ecc. Allo stesso tempo controlla il fading dei LED in modo proporzionale alle note costruite. La grandezza QY8 prevista nella built di MIDISprout non è altro che l'implementazione per un sequencer Yamaha QY8 collegato MIDI, ma non compie operazioni molto differenti da ciò che già è stato discusso. La funzione setNote() manda i contenuti dell'array costruito alla funzione midiSerial():

```

1 void midiSerial(int type, int channel, int data1, int data2) {
2     //costruzione messaggio MIDI
3     cli();
4     // Note type = 144
5     // Control type = 176
6         data1 &= 0x7F; //number
7         data2 &= 0x7F; //velocity
8
9         byte statusbyte = (type | ((channel-1) & 0x0F));
10
11         Serial.write(statusbyte);
12         Serial.write(data1);
13         Serial.write(data2);
14     sei(); /
15 }

```

Listing 5.8: Funzione `midiSerial()`.

La costruzione del messaggio MIDI, che riceve in ingresso tipo di messaggio, canale e dati, è effettuata secondo le regole previste dal protocollo. Il byte prodotto viene in seguito scritto su seriale, composto dalle tre parti canoniche: una parte composta dallo status byte e due da byte di dati. Le regole precise previste dal protocollo MIDI sono riportate in appendice A. A questo punto all'algoritmo di analisi non rimane altro che mandare per ultimi i segnali di controllo MIDI rispetto alle note già serializzate. Questo tipo di dinamica viene implementata dalla funzione `setControl()` e fatta ovviamente corrispondere al grado di bio-feedback misurato sulla pianta.

Alla fine di questo procedimento di analisi l'indice del vettore viene resettato e l'algoritmo è pronto ad accogliere nuovi campioni e a ripartire da capo.

Prima di concludersi la funzione di `loop()` applica delle procedure di controllo rispetto alle note suonate, rispetto al tipo di messaggi di controllo inviati e rispetto ai LED illuminati.

5.4 Gestione dei segnali ricevuti dalla pianta

Il cuore dell'innescarsi dell'Interrupt di sampling è la variazione nel ciclo dell'onda quadra. Ogni fronte di salita, cioè passaggio da livello basso a livello alto, viene scatenata un Interrupt che chiama come sua ISR la funzione `sample()`.

La generazione delle onde quadre è delegata al NE555 configurato in modalità astabile. Per cui ad ogni variazione di resistenza sulla superficie della pianta corrisponde una variazione di ciclo nell'onda quadra. È importante dedicare attenzione a questo passaggio perchè è il cuore dell'algoritmo di trasformazione. Le formule e i risvolti teorici che permettono questo tipo di output variabile in base alla resistenza sono state discusse nel Capitolo 4.

In figura 5.7 si nota come al collegare gli elettrodi alla pianta l'oscillatore ha un input di trigger e comincia a produrre onde quadre in base al valore di bio-feedback che stanno misurando gli elettrodi. Ad ogni fronte di salita, l'interrupt viene scatenata e inizia il sampling dei valori tramite la funzione `sample()`. Le figure sono state prodotte utilizzando il Serial Plotter fornito da Arduino IDE e leggendo ciò che arriva sul pin 2, dove è stato introdotto inizialmente l'interrupt.

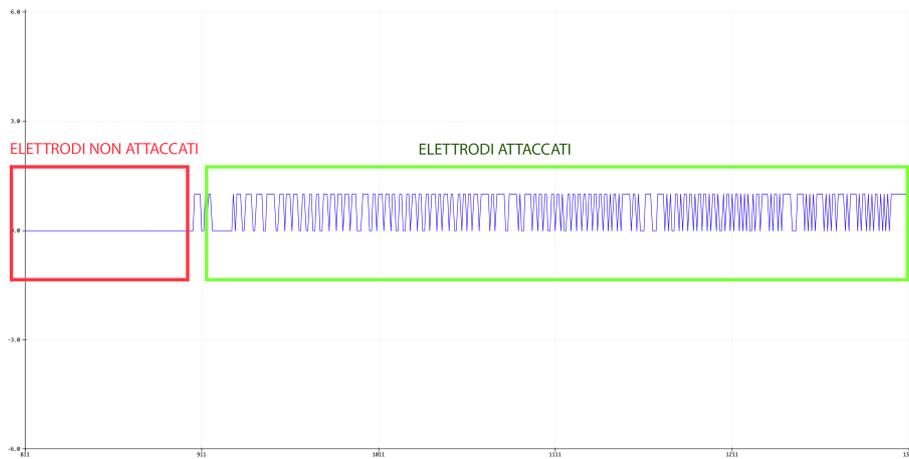


Figura 5.7: Segnale digitale rilevato con e senza elettrodi.

Forzando una variazione consistente di resistenza sulla superficie della pianta (per esempio toccandola) è possibile verificare il funzionamento dell'impianto hardware di base. Il tocco cioè un aumento di resistenza, come previsto dai calcoli teorici, dovrebbe aumentare la durata del ciclo dell'onda quadra. Come verificato in figura 5.8 si verifica tale comportamento e si possono notare onde quadre con stato alto più duraturo.

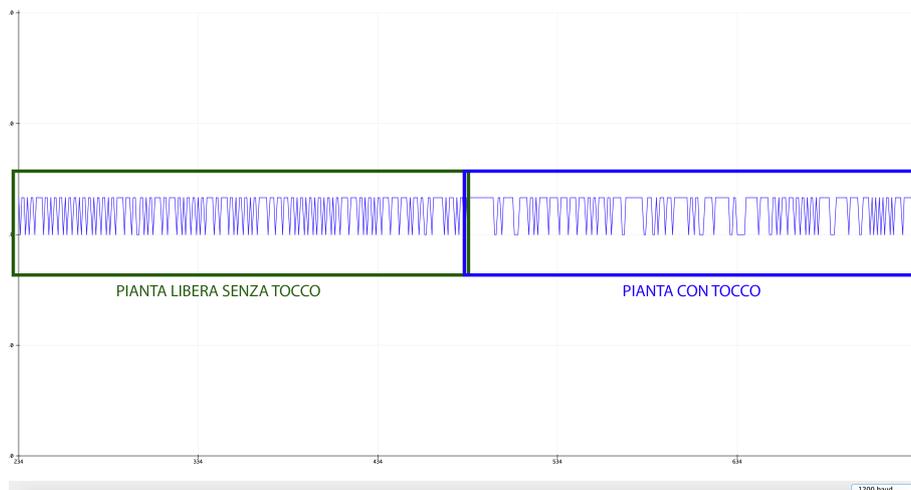


Figura 5.8: Segnale rilevato con e senza tocco umano.

5.5 Ricezione del Segnale MIDI su seriale

Come già detto, i segnali calcolati dall'algoritmo rispetto ai feedback dei sensori vengono trasmessi su seriale a 38400 baud. La fase successiva è costruire un routing di tali dati

verso un bus comune MIDI. I sistemi MacOS hanno già al loro interno un bus MIDI preinstallato.

Per poter attivare il driver IAC Bus è necessario attivarlo dal MIDI Studio nelle Utility di Apple. MIDI Studio è la modalità integrata per poter visualizzare l'environment MIDI visto dal sistema, cioè il numero di dispositivi che possono ricevere o mandare dati inerenti al protocollo in questione. MIDI Studio si trova nelle impostazioni dei devices audio ritrovabili nelle Utility di sistema. Inizialmente è una finestra nascosta, è necessario aprire la vista dal menù "Finestre". Una volta che MIDI Studio è aperto non ci resta che cliccare sull'icona "IAC Driver". Immediatamente l'icona diventa rossa, questo significa che il nostro bus è stato attivato.



Figura 5.9: Driver Bus attivo in MIDI Studio.

A questo punto si può avviare Hairless MIDI Serial per cominciare a mandare i dati da seriale sul bus che poi li trasporterà ad Ableton Live e a Max/Msp. È necessario settare la velocità a cui arrivano i dati (nel nostro caso 38400) e selezionare la porta dalla quale si vuole leggere i dati MIDI. Una volta che i LED sull'interfaccia danno feedback verde, il ponte fra seriale e bus è attivo e si può procedere alla ricezione dei segnali MIDI direttamente dai software in questione. Basterà solamente selezionare il bus come dispositivo di ricezione di MIDI IN.

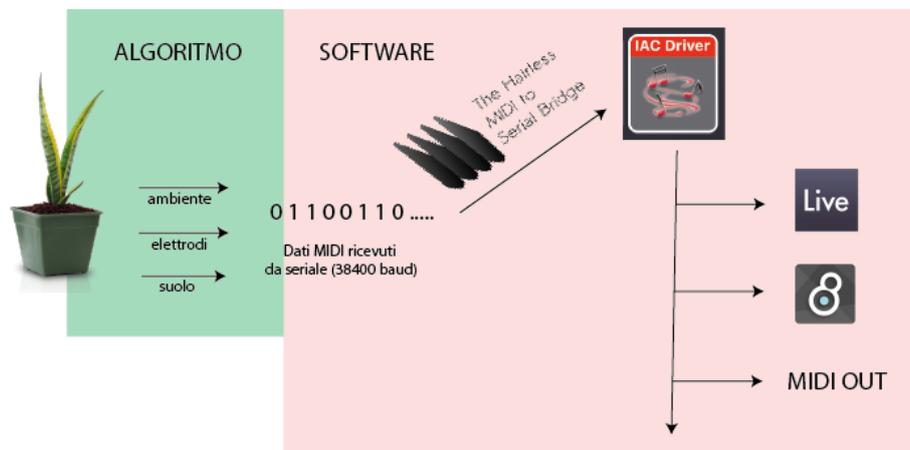


Figura 5.10: MIDI Chain implementata.

5.6 Ableton Live e MAX/MSP

Una volta che il segnale è stato trasmesso sul Driver IAC Bus è possibile trattarlo tramite diversi software che rilevano segnali MIDI.

Nel caso della performance di Singing Plants si sono considerati due differenti approcci, l'uno che si avvalga totalmente di Ableton Live Suite e l'altro che utilizzi soltanto Max/Msp 8.

5.6.1 Come utilizzare il segnale MIDI?

La prima domanda a cui rispondere è la base della continuazione del processo artistico. Attualmente si hanno a disposizione diversi segnali MIDI: i segnali di note on e di note off, poi i segnali di controllo prodotti dall'algoritmo e la MIDI velocity. È fondamentale ed è una delle basi del Sonic Interaction Design a questo punto riflettere sull'utilizzo che si vuol fare di tutti i dati raccolti.

Bisogna essere, inoltre, al corrente di un un fattore tecnico fondamentale per una buona riuscita della sonificazione: i segnali MIDI sono, sempre e comunque, discreti. Come approfondito nell'analisi del protocollo nell'appendice A, per ragioni storiche il protocollo in questione è rimasto invariato dal suo affermarsi negli anni 80 fino ad oggi. Queste ragioni sono alla base della natura estremamente digitale e quantizzata del protocollo MIDI. La sua particolarità timbrica, infatti, è riscontrabile e riconoscibile anche da orecchi poco allenati: le note appaiono scomparire in modo abbastanza netto (a meno di eventuali involucri temporali) dopo l'arrivo del segnale di note off. Inoltre l'intero impianto del sistema MIDI è caratterizzato da una natura fortemente diatonica e basata sul sistema temperato occidentale.

Questo tipo di considerazioni aprono le porte ad una riflessione: come è possibile gestire

un segnale del genere in modo che non costringa la pianta a sussistere solamente nel sistema temperato? Esiste una modalità MIDI per svincolare il più possibile la pianta da contributi diatonici?

La risposta è nella natura flessibile e versatile del protocollo. L'impostazione come segnale di controllo permette il mapping e la parametrizzazione dei segnali MIDI su altre grandezze che differiscono dal puro pitch della nota o da un controllo di frequenza portante. Allo stesso modo di un potenziometro resistivo appartenente ad un'interfaccia MIDI, per esempio è possibile assegnare i segnali provenienti da una seriale MIDI ad un involuppo ADSR o ad un filtro oppure ad una qualsiasi altra grandezza che agisce su una frequenza già prestabilita. In questo modo si evita l'innescarsi di una diatonica molto evidente e si aprono le porte a numerose altre possibilità timbrico-espressive. Questa appare essere, dunque, la chiave di volta dell'utilizzo del segnale che si ha a disposizione: come si vedrà nell'utilizzo in Max/MSP i dati MIDI non verranno mai assegnati a frequenze e a pitch portanti, ma sempre a grandezze e parametri che influiscono sul segnale in maniera altra ed indiretta.

5.6.2 Utilizzo di Ableton Live Suite

Ableton è una DAW molto classica. Nel caso di Singing Plants può essere utilizzata in modalità Live. Se ad ogni strip si assegna un differente canale MIDI, è possibile procedere scegliendo un diverso strumento per ogni input rilevato. È Ableton stesso a procedere alla separazione fra i canali MIDI rispetto a ciò che arriva da Hairless. Ableton integra, inoltre, Max For Live, cioè un plug-in che permette lo sviluppo di patch in linguaggio Max/MSP controllate direttamente da una strip, come fosse uno strumento come gli altri. Le possibilità in Max for Live sono limitate rispetto allo sviluppo integrale in ambiente Max/MSP.

Si è testato l'utilizzo di Ableton inizialmente con strumenti integrati, come il sintetizzatore FM Operator e il campionatore semplice Simpler; successivamente si è provato ad inserire una patch di Max for Live. Ogni input grazie al menù a tendina di selezione canale MIDI è, come già detto, separabile.

Le limitazioni che possiede uno strumento come Ableton sono i vincoli che impone a livello diatonico e armonico. Va detto, infatti, che uno strumento come Live è pensato per esecuzioni pop e patisce una forte impronta melodica. Per cui a livello di ascolto sono molto udibili tutti i difetti del MIDI sopraelencati e sono molto apparenti i contributi diatonici di ogni singola nota.

Successivamente si è provata ad inserire una semplice patch di Max for Live: semplicemente si tratta di trasformare le note provenienti dal MIDI Channel 1, cioè quelle relative al segnale degli elettrodi, in frequenza di controllo dell'oscillatore cycle~.

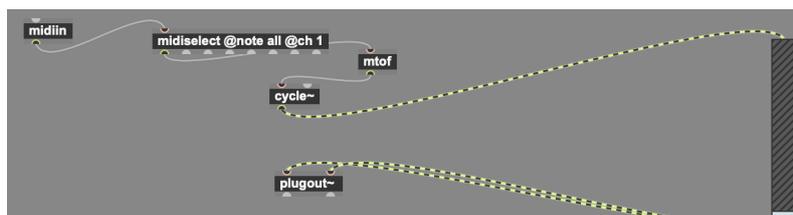


Figura 5.11: Strumento creato con Max For Live.

Tramite l'oggetto `midiselect` si opera una selezione di canale. Con questo tipo di approccio ancora, tuttavia, si sta utilizzando la variazione di bio-feedback per variare la frequenza principale della nota e, come ci si può aspettare, è ancora molto presente la componente temperata che si vorrebbe escludere. È quindi necessario costruire un sintetizzatore che sia controllabile in ulteriori parametri rispetto al pitch della nota, da entrambi i canali MIDI. Si è proceduto, quindi, alla realizzazione di una patch FM in Max For Live dove i dati MIDI controllavano `harmonicity ratio` e `modulation index` di `simpleFM~`.

Tuttavia a questo è emerso un vizio di forma che affligge Max For Live, del quale bisogna tenere in conto per un'eventuale realizzazione tramite Ableton Live Suite. C'è un conflitto software, infatti, fra `midiselect` e la selezione canale MIDI interna ad Ableton Live. Di fatto, non è possibile separare, internamente alla patch i due canali per fargli controllare due diversi parametri. L'unica modalità di separazione è operare tramite i menù a tendina delle strip.

5.6.3 Utilizzo di Max/MSP

Le imperfezioni riscontrabili nell'approccio con Ableton sono risolvibili utilizzando direttamente Max. Questo comporta una differente interfaccia e un linguaggio modulare più compresso, che ha, tuttavia, come suo punto di forza l'allargare incredibilmente le possibilità espressive.

Come già detto, l'utilizzo di Max/MSP per *Singing Plants* risulta essere maggiormente modulare. Fra le importanti aggiunte che questo tipo di approccio offre c'è `Jitter`, il motore di rendering video interno a Max/MSP, che permette l'elaborazione di un output visivo rispetto agli input raccolti e sincronizzato con il sonoro.

Tramite Max è più semplice procedere alla separazione fra canali MIDI, tramite l'oggetto `midiselect`, e conferire ad ogni sensore una parametrizzazione su una o più grandezze di controllo dei diversi sintetizzatori. Tuttavia, a livello di performance live bisogna prestare maggiore attenzione poichè il livello di linguaggio di interfaccia di Max è più basso e più astratto di quello di Ableton, per cui è necessario costruirsi un ordine logico e mentale a priori.

5.7 Sintetizzatori e processori di segnale utilizzati

Il mattoncino base della produzione di un feedback sonoro è la presenza di un sistema di sintesi del suono, cioè di un sintetizzatore. Non è, tuttavia, l'unico modo di possibilità di azione sull'output che si genera. Infatti, nel campo del processing dell'audio digitale sono presenti numerose alternative di controllo (filtri, compressori, equalizzatori ecc.). Utilizzando i dati MIDI provenienti dalla sensoristica hardware è possibile dunque produrre una variazione nell'ambito della sintesi del suono. Nei paragrafi seguenti si approfondiscono uno ad uno i sintetizzatori e i mezzi di processing del segnale utilizzati. Essi sono quasi totalmente sviluppati nell'ambiente di programmazione di Max/MSP.

5.7.1 cycle~

È l'oscillatore di base di Max/MSP. Genera una fonda d'onda periodica. La forma d'onda predefinita è un ciclo di coseno. È possibile anche usare il *wave* object, che offre ulteriore flessibilità, ma meno ottimizzazione. L'oggetto cycle~ è un oscillatore interpolante che legge ripetutamente attraverso un ciclo di una forma d'onda, usando una sintesi wavetable. La wavetable può essere cambiata usando il messaggio 'set'. Questa tabella di onde può essere di qualsiasi dimensione, ma storicamente è limitata a 512 campioni.

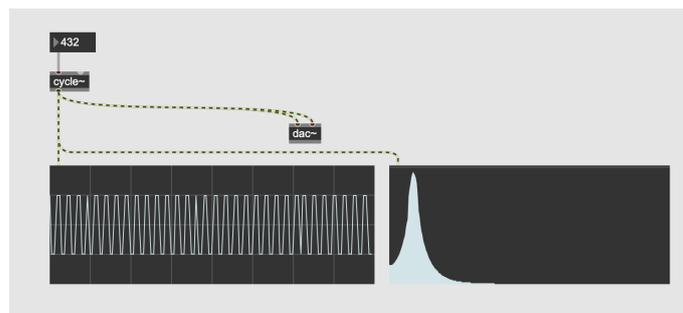


Figura 5.12: Oscilloscopio e spettrogramma applicati all'oggetto cycle~.

Si può notare sia la natura digitale del tono generato che la presenza della sola fondamentale in frequenza, tipica delle forme d'onda sinusoidali.

5.7.2 simpleFM~

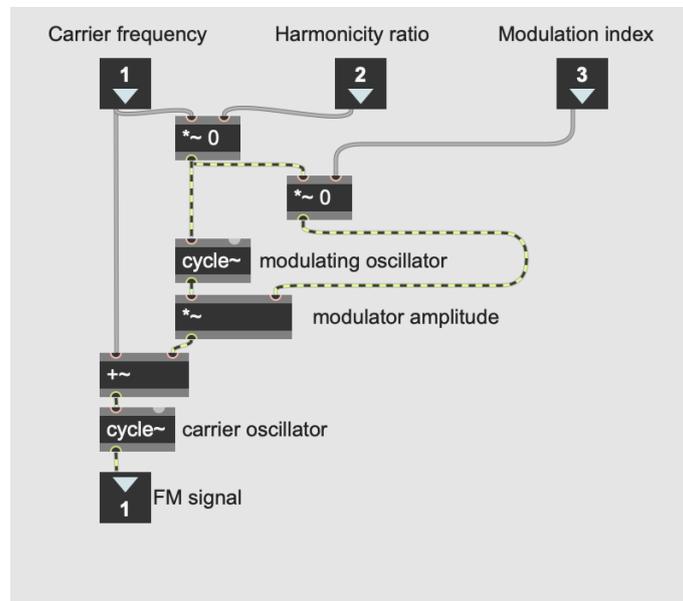


Figura 5.13: Patch di simpleFM~.

La patch simpleFM~ di Max realizza il più semplice approccio alla modulazione di frequenza. Notiamo la presenza dell'oscillatore portante sinusoidale (oggetto cycle~) che viene modificato dal segnale modulante, sempre sinusoidale. Gli input a disposizione sono tre:

- **Carrier frequency:** la frequenza dell'oscillatore portante. Nel caso di Singing for Plants è stata settata a 432 Hz, la cosiddetta intonatura *verdiana*, sostenuta da Giuseppe Verdi come intonazione scientifica del LA4 in contrasto con i consueti 440 Hz, frequenza fissata attraverso diapason. Secondo alcune discipline parascientifiche tale valore nasce da una naturale risonanza con le frequenze alla base del nostro organismo e dell'universo e quindi ha effetti benefici sulla crescita degli esseri viventi.
- **Harmonic Ratio:** il cosiddetto fattore di armonicità della sintesi in modulazione di frequenza. E' definito come

$$M.C. = \frac{F_c}{F_m}$$

cioè come rapporto fra la frequenza del carrier e la frequenza stabilità del modulante. Questo rapporto determinerà quali frequenze sono presenti nel tono di uscita e se le frequenze hanno una relazione armonica o inarmonica. Nel caso di Singing Plants si è collegato al feedback MIDI rilevato dal sensore di umidità del suolo sul Canale MIDI 2, il tappeto che determina le relazioni di armonicità o meno degli output.

- **Modulation index:** l'indice di modulazione della sintesi in modulazione di frequenza è definito come

$$MI = \frac{A_m}{F_m}$$

cioè come rapporto fra l'ampiezza del modulante e la sua frequenza. Questo indice da indicazioni rispetto alla presenza di armonici sulle bande laterali rispetto alla fondamentale del carrier. In poche parole influenza la "brightness" del timbro influenzando la forza relativa dei parziali. Nel caso di Singing Plants si è collegato il MI ai messaggi MIDI provenienti dagli elettrodi, sul MIDI Channel 1.

5.7.3 Ring Modulator

La modulazione ad anello è un caso particolare di modulazione di ampiezza. È una delle tecniche di sintesi storiche, utilizzata tra gli altri da Karlheinz Stockhausen in molti suoi pezzi elettronici degli anni '60 e '70. Consiste nella manipolazione di due segnali bipolari: uno portante (C) e uno modulante (M). Tipicamente il segnale portante è dotato di ricchezza armonica, mentre il segnale modulante è una senoide. La differenza principale che sussiste rispetto alla modulazione di frequenza è la moltiplicazione diretta fra i due segnale, senza passare attraverso all'indice di modulazione e al rapporto di armonicità. Per ogni componente sinusoidale di C, il segnale modulante M produce due nuovi segnali laterali uno uguale alla somma di C ed M, l'altro uguale alla loro differenza. Un'altra caratteristica della modulazione ad anello è che nello spettro complessivo risultante non compariranno né il segnale modulante né il segnale portante.

Qui è riportata la patch di Max che realizza un semplice modulatore ad anello:

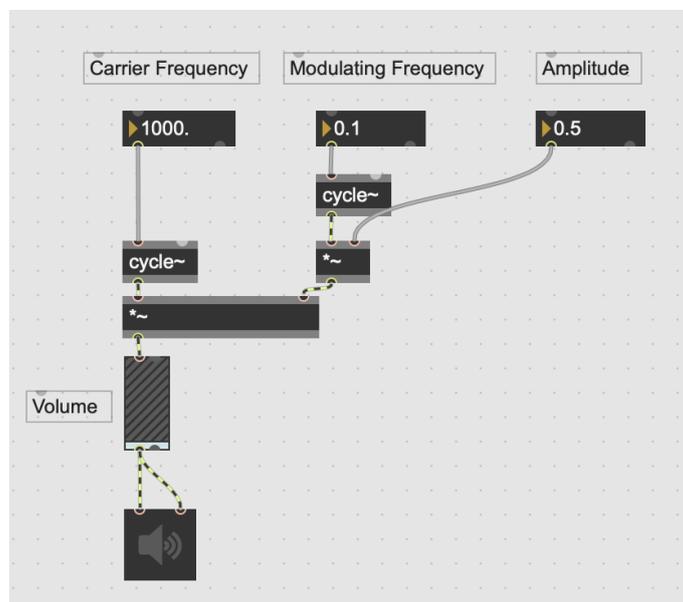


Figura 5.14: Patch del Ring Modulator standard.

Rispetto a `simpleFM~` si nota come la struttura generale del sintetizzatore sia maggiormente semplificata. I parametri di controllo sono solamente la frequenza del portante, la frequenza del modulante e l'ampiezza del modulante. In seguito i due oscillatori vengono moltiplicati direttamente e mandati in output sulla scheda audio.

Nel caso di `Singing Plants` si è provveduto a collegare al bio-feedback raccolto sulla pianta, e presente sul MIDI Channel 1, la frequenza di modulazione del Ring Modulator. La frequenza del Carrier è settata, come avviene per `simpleFM`, a 432 Hz.

5.7.4 `reson~`

L'oggetto `reson~` implementa un filtro passa-banda risonante che utilizza il fattore Q cioè il fattore di merito. Questa grandezza implementa un parametro adimensionale di smorzamento dell'oscillazione.

L'oggetto possiede quattro differenti ingressi

- il segnale sorgente
- il gain, cioè il fattore di moltiplicazione del segnale in uscita
- l'ingresso della frequenza centrale del filtro passa-banda
- il fattore Q di merito, che riassume in sé le grandezze di smorzamento e di frequenza naturale. Di fatto è un indice della risonanza prodotta dal filtro.

Nel caso di `Singing Plants`, il segnale sorgente è quello prodotto dall'elaborazione degli oscillatori in FM o in RM o da qualsiasi altra modificazione, il gain è settato a 1, la frequenza centrale dipende dagli elettrodi sulla pianta e il fattore Q dal sensore di umidità del suolo.

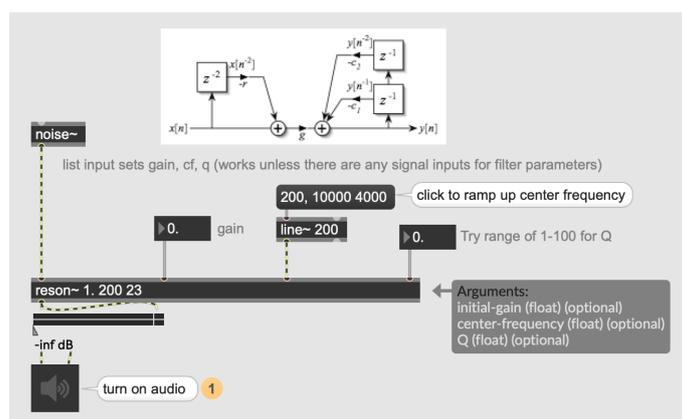


Figura 5.15: Patch di esempio nell'helper di Max per il filtro `reson~`.

5.7.5 Granular

Un'ulteriore tipo di sintesi implementato in *Singing Plants* è la sintesi granulare. È una delle categorie di sintesi più complesse, ma per le sue particolarità timbriche e possibilità espressive è una delle più utilizzate a livello di sound design.

La base della sintesi di tipo granulare è la l'operare con degli elementi acustici detti grani o microsound. Queste specie di particelle sonore vengono create tramite un campionamento molto fitto sul sample e possono avere una durata da 1 ai 100 ms. Ogni grano è governato da un involucro più o meno complesso a seconda del desiderio dell'utente. La riproduzione in modo continuo e veloce di questi elementi costituisce la base sonora. Di questo schema è possibile variare molte grandezze tra cui la durata dei grani, il tipo di envelope scelto, la frequenza dei grani e il tempo che trascorre tra un grano e l'altro, che può essere fisso o cambiare anche in modo random.

Questo tipo di sintesi è realizzata anche in Max/MSP e, per la sua complessità, interessa i contenuti espressivi di *Singing Plants*. Nella performance è stata realizzata tramite un'altra patch di Max.

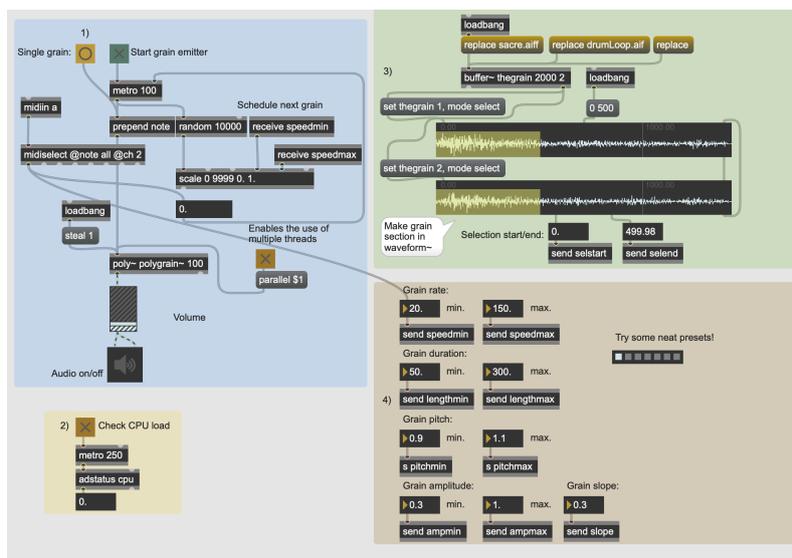


Figura 5.16: L'implementazione di una semplice sintesi granulare con Max.

Il campione che è stato scelto per la performance è un sample del celebre *bloop*. Il *bloop* è il nome dato ad una frequenza ultrabassa sottomarina rilevata alcune volte durante l'estate del 1997. Il suono, originatosi in un imprecisato luogo attorno alle coordinate 50° S 100° W, al largo della costa sudoccidentale del Sudamerica, fu captato ripetutamente dagli strumenti dell'U.S. Navy originariamente progettati per identificare i sottomarini sovietici. La prima ipotesi che fu avanzata fu quella dell'origine organica a causa della particolare sua frequenza, ma non esisteva un animale conosciuto allora che potesse aver generato tale suono. La creatura che poteva generarlo doveva poter essere molto più grande di una

balenottera azzurra, l'animale più grande conosciuto. Inoltre si originò in un quadrante relativamente vicino al punto in cui si troverebbe la città di R'lyeh, della storia *Il richiamo di Cthulhu* di H. P. Lovecraft, per cui molti fan lo hanno messo in relazione con la creatura mitica Cthulhu, della quale si è parlato nel capitolo 1. Successivamente si verificò come si trattasse in realtà delle vibrazioni provocate dallo sciogliersi di un ghiacciaio in Antartide. Si è scelto di assegnare al rate dei grani il segnale rilevato dal sensore di umidità del suolo per dare un'idea di tappeto sonoro all'intera performance e per conferire una vera e propria voce al suolo.

5.7.6 Spat5~

L'idea di poter spazializzare il suono in un ambiente stereo è molto utile ai fini dell'appagamento immersivo dello spettatore. Come si esplorerà nel capitolo 6 sussiste la volontà di sfruttare al meglio l'ambiente performativo. Per aumentare la sensazione di avvolgimento ci si è rivolti ad un'ulteriore patch di Max, sviluppata dall'IRCAM di Parigi.

Come si legge nel forum web degli sviluppatori [31], spat è una suite di software per la spazializzazione dei segnali sonori in real-time, destinata alla creazione musicale, alla post-produzione e alle esibizioni dal vivo. È sviluppato in ambiente Max/MSP, quindi si integra perfettamente nel microclima della performance. Spat fornisce un potente motore di riverbero che può essere applicato a spazi uditivi reali e virtuali. Il processore riceve suoni da fonti strumentali o sintetiche, aggiunge effetti di spazializzazione in tempo reale ed emette segnali per la riproduzione su un sistema elettroacustico (altoparlanti o cuffie).



Figura 5.17: Interfaccia di Spat.

L'interfaccia di Spat possiede numerosi controlli che hanno effetti real-time nella loro totalità. Oltre alle classiche equalizzazioni e ai filtri è possibile accedere ad un comodo panning multicanale che dipende direttamente dagli output indicati nell'oggetto di Max. È possibile declinare gli effetti ambientali di riverbero che si vogliono provocare sul segnale sonoro in uscita. Il posizionamento è variabile in tutte le direzioni e anche in altezza. Nel caso di Singing Plants si utilizza Spat per variare in real time il posizionamento della

sorgente sonora virtuale stereo. In questo modo è possibile per l'esecutore cambiare i parametri di riverbero con effetto immediato.

5.7.7 Sampler

Un sampler o campionatore è uno strumento in grado di catturare suoni esterni che possono poi essere editati e manipolati a proprio piacimento. Ogni sampler si basa sulla teoria del campionamento e divide la sua fase di conversione A/D in tre sotto-processi:

- Campionamento: misura dei livelli di tensione che il segnale assume nel tempo;
- Quantizzazione: conversione per approssimazione in una sequenza di bit;
- Memorizzazione: dove i dati digitali prodotti vengono scritti in memoria;

E' stato inserito questo tipo di sintetizzatore per restituire elementi autoregistrati nell'economia della performance.

La patch del sampler realizzato è la seguente:

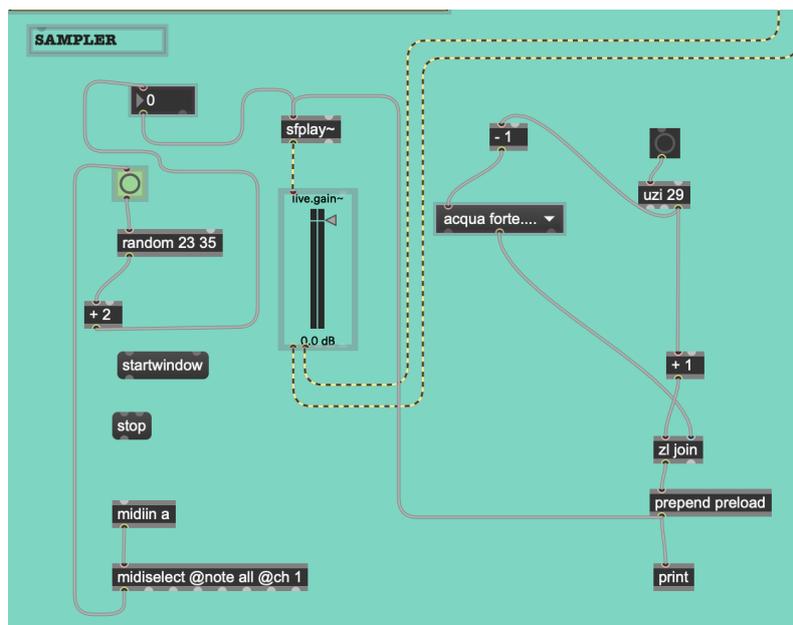


Figura 5.18: Sampler realizzato.

A differenza dei sintetizzatori già affrontati, qui il segnale proveniente dagli elettrodi sulla superficie del vegetale funge solamente da trigger per un bang (evidenziato in verde nella figura 5.18). Questo bang permette la generazione di una selezione randomica fra i campioni raccolti nel bank e la riproduzione dei medesimi.

Sfplay~ è l'oggetto di Max/MSP che permette la riproduzione di campioni da una cartella predefinita. Necessita dell'oggetto preload che effettua un pre-caricamento in buffer del

campione da riprodurre.

5.7.8 Jitter

Jitter è il motore di processing video previsto all'interno di Max/MSP. Basa il suo funzionamento su oggetti di tipo matriciale. Jitter è stato rilasciato per la prima volta nel 2003. Al momento del suo rilascio, forniva alcuni dei modi più completi e intuitivi per lavorare con l'elaborazione di video e immagini in tempo reale. Negli anni successivi al rilascio iniziale di Jitter, il panorama informatico è cambiato e di conseguenza anche il suo modo di approcciarsi al rendering video. Agli oggetti presenti all'interno di Jitter, diversamente dagli oggetti in Max, si può dire come comportarsi usando gli attributi. È possibile digitare tali grandezze in una casella oggetto insieme al nome dell'oggetto Jitter oppure è possibile impostare gli attributi tramite i messaggi Max dopo la creazione dell'oggetto. La patch realizzata con Jitter è la seguente:

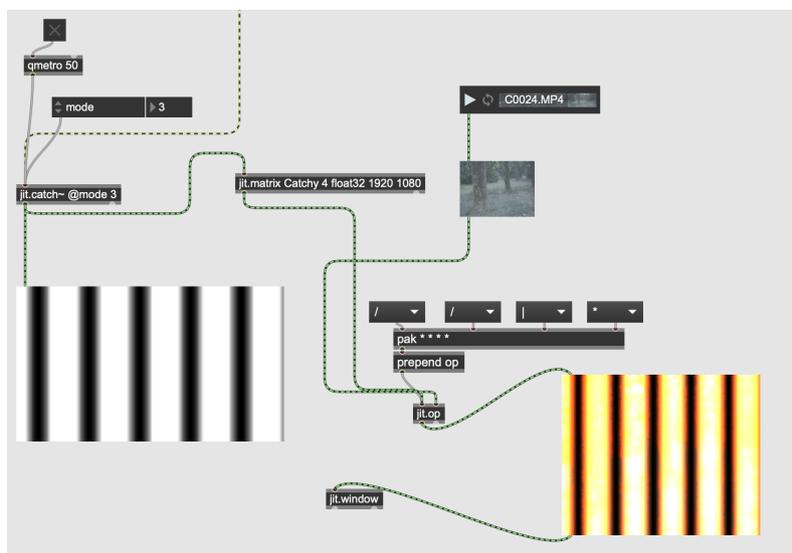


Figura 5.19: Patch realizzata con Jitter.

Si parte dall'oggetto toggle che definisce l'attivazione del rendering video. Successivamente viene definito un parametro di tipo metro: questo oggetto è un vero e proprio metronomo interno a Max/MSP e scandisce la lettura temporale delle matrici. È assolutamente fondamentale il suo inserimento in una patch con Jitter poiché definisce la scansione e l'aggiornamento della matrice. Questo oggetto produce un bang all'intervallo specificato (in questo caso 50 ms).

A questo punto viene introdotto il primo oggetto Jitter che è `jit.catch~` e il suo attributo `mode`. L'oggetto trasforma segnali MSP in una matrice jitter. L'argomento rappresenta il numero di segnali in ingresso. In questo caso sono settati a tre poiché uno è il metronomo,

uno è il primo video e l'altro il secondo. L'input MSP arriva da un oscillatore cycle~ che dipende dal segnale raccolto sulla pianta. Possiamo vedere l'output di questa prima conversione matriciale nella jit.pwindow sottostante.

Questo segnale successivamente viene passato all'oggetto jit.matrix che crea una matrice che può essere utilizzata per la memorizzazione e il recupero dei dati della matrice, il ricampionamento ecc. L'argomento float32 indica la modalità di trasmissione dei segnali. In questo caso abbiamo in uscita dei messaggi float a 32 bit.

A destra abbiamo un altro video che viene processato assieme al primo flusso tramite l'oggetto jit.op che si occupa di effettuare delle operazioni matriciali. Le tendine di argomento definiscono il tipo di operazione che si sta effettuando. Per esempio con il simbolo * si indica un'operazione di multiply fra i due video, se, invece, si utilizza / si sta facendo una divisione matriciale.

L'output video risultante viene mandato all'oggetto jit.window che si occupa della visualizzazione finale di ciò che è stato creato.

A livello performativo è molto utile per migliorare l'immedesimazione nei concetti cardine dell'esibizione avvalersi di un accompagnamento video. Ovviamente il costo computazionale per la CPU aumenta decisamente, quindi è fortemente sconsigliato in questo caso utilizzare Jitter per rendering particellari o 3D. Questa è una delle ragioni per cui ci si è concentrati su un output video più semplice e si è data la priorità al processing dei segnali audio.

5.7.9 Korg MS-20 mini

Il Korg MS-20 mini è l'unico contributo di uno storico synth analogico alla performance. Le ragioni della sua presenza sono proprio da ricercare nella volontà di inserire uno stralcio di presenza realmente analogica e non digitalizzata.



Figura 5.20: Il Korg MS-20 mini.

Il Korg MS-20 mini è la replica esatta odierna del celebre synth semi-modulare Korg MS-20, prodotto a partire dal 1978 ed è sviluppato dagli stessi ingegneri responsabili del progetto originale. È conosciuto a livello mondiale per il suono caratteristico dei suoi oscillatori, poi per il potente filtro analogico, ed per la grande versatilità delle sue modalità di patching. Infatti si tratta di un sintetizzatore a metà fra l'approccio modulare e fra l'approccio a tastiera. A sinistra presenta i controlli classici di un sintetizzatore analogico, seguendo la struttura classica di una sintesi sottrattiva, mentre a destra è presente una patchbay con input mini-jack per prelevare il segnale in diverse posizioni ed utilizzarlo per trasformare il timbro totale.

Il Korg MS-20 mini possiede 2 VCO, un High Pass Filter, un Low Pass Filter, due generatori di inviluppo e il celeberrimo External Signal Processor per l'elaborazione di output esterni.

Il sistema di filtraggio è ciò che rende più caratteristico il suono prodotto da tale sintetizzatore analogico. I due filtri sono un passabasso 12db/oct e un passa-alto 6db/oct e sono collegati in serie fra di loro. Questo rende le interazioni fra i sistemi una delle feature più interessanti del quale è dotato questo synth. Il manuale [20] riporta tutte le specifiche tecniche del sistema.

In merito a Singing Plants si è scelto di mandare i segnali MIDI prodotti dai sensori direttamente nel MIDI IN del sintetizzatore.

5.8 Patch definitiva in Max/MSP

In figura 5.21 è riportato l'assemblaggio definitivo dei diversi moduli che si sono affrontati in precedenza.

Le patch sono divise per zone e colore. Inoltre sono state evidenziati in verde gli oggetti che dipendono dai dati MIDI raccolti dagli elettrodi sulla pianta e in marroncino quelli che dipendono dal suolo.

I cinque differenti rettangolo di colori diversi evidenziano i moduli affrontati in precedenza. In giallo sono riportati i due filtri reson~in uscita ai due sintetizzatori principali. A partire da sinistra in alto verso destra, abbiamo il synth simpleFM~, che ha dipendenza sia da suolo sull'harmonicratio che da elettrodi sull'indice di modulazione, il simile ring Modulator, che però dipende soltanto dalla pianta e il granulatore, che dipende solamente dal sensore soil moisture.

Ogni modulo ha regolabile il suo livello di gain, in modo da avere controllo in fase di missaggio. Scendendo ritroviamo spat5~in verde e il sampler. Inoltra nell'angolo in basso a destra si ritrova la parte di processing video di Jitter. Per evitare sbalzi troppo elevati di volume, è stato inserito un limiter di picco prima dell'uscita su scheda audio, rappresentata dall'oggetto Max dac~.

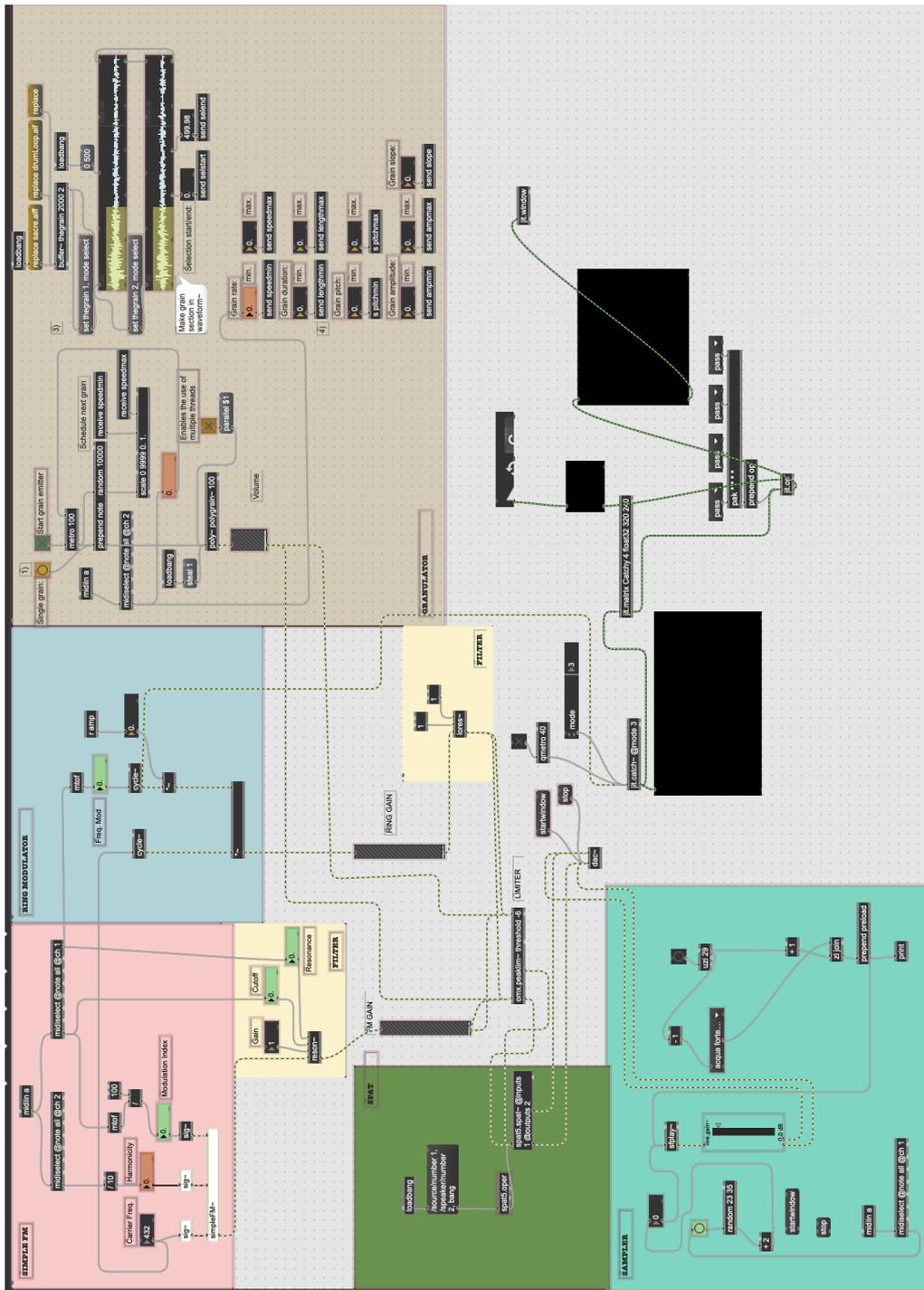


Figura 5.21: Patch definitiva in Max/MSP/Jitter.

Max offre un'ulteriore possibilità di visualizzazione, molto comoda per i contesti di esibizione live. Si tratta della modalità di presentazione. Essa prevede di nascondere alcuni componenti e di visualizzarne altri per evitare di perdersi fra un numero consistente di elementi durante la performance. Tutti i collegamenti vengono occultati di default, ogni oggetto poi può essere settato nella visualizzazione nell'Inspector.

Come già detto, è una modalità di visualizzazione molto comoda per i contesti performativi per cui, anche in *Singing Plants*, si è provveduto alla realizzazione di una modalità di presentazione per la patch Max/MSP.

Il risultato è il seguente:

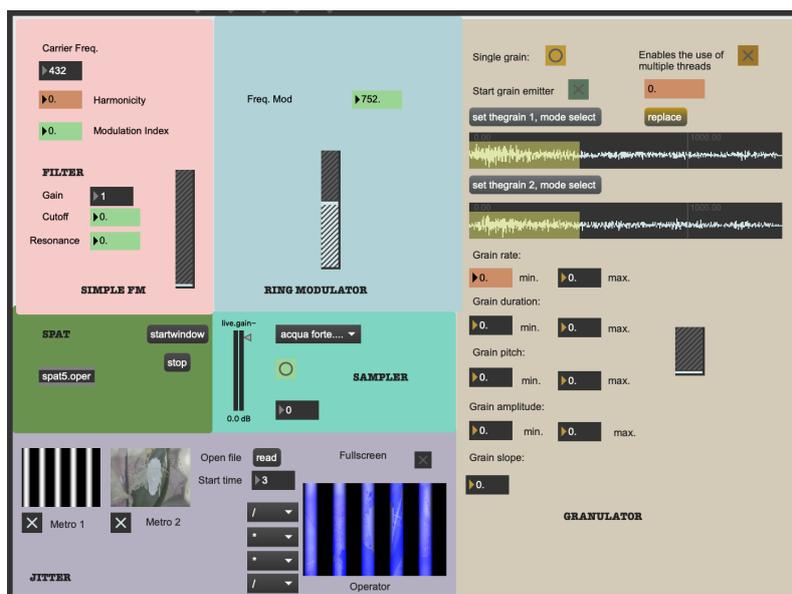


Figura 5.22: Modalità di presentazione.

É palese come il tutto appaia in modo più organizzato e semplificato nell'ottica di una performance live. É stata integrata la possibilità di caricare video su Jitter e di mandarli in fullscreen. Sono stati nascosti tutti gli oggetti che non sono utili ai fini di controllo performativo.

5.8.1 Samples utilizzati

Oltre al già citato bloop, utilizzato nel granulatore, per il sampler è necessario stabilire un bank di campioni di partenza.

In questo caso si è scelto di provvedere alla registrazione personale di tutti i campioni tramite un registratore Tascam DR-50X e un formato .wav, 48000 Hz, a 24 bit di precisione. Il bank di campioni registrati contiene:

- registrazione del rumore prodotto dall'acqua del torrente Nure;

- una registrazione ambientale di Parco Raggio;
- il rumore di un cane che beve l'acqua dal torrente Nure;
- il rumore prodotto da un sasso che cade su un tubo di metallo, presente nel torrente Nure;
- il suono delle campane del campanile di Pontenure(PC);
- una registrazione dagli altoparlanti del portatile di Sir Alec Guinness che legge Lovecraft;
- il rumore della lancetta dei secondi di un orologio

Si è scelto di catturare questo tipo di campioni poichè rappresentano da una parte l'artificialità e dall'altra l'onnipresenza degli stimoli naturali sul nostro pianeta.

5.9 Considerazioni sul Mixing

La fase di mixaggio degli output sonori dei diversi sintetizzatori è importante tanto quanto la regolazione dei parametri interni. Infatti tale procedimento permette di mescolare assieme l'audio delle singole voci per ottenere il risultato espressivo voluto. È necessario, dunque, pensare a prescindere un equilibrio interno fra esse. Decidere, per esempio, quale voce si vuol far prevalere sulle altre.

La fase di mixing comprende i seguenti accorgimenti [13]:

- regolazione dei livelli relativi fra le sorgenti
- posizionamento spaziale e panning
- equalizzazione, cioè bilanciamento delle frequenze presenti
- modifiche alla dinamica di un traccia, di un gruppo di tracce o di un canale in uscita detto bus
- post-produzione ed effetti vari

Nel caso di Singing Plants è necessario quindi prendere decisioni creativi anche su questa importantissima fase dell'output. Decidere i livelli in cui l'audience percepirà il suono totale equivale a dargli una precisa importanza timbrica ed espressiva.

Generalmente si sceglie di adottare una tecnica di mixing il più possibile esente da modificazioni di dinamica ed equalizzazioni poichè si preferisce scegliere uno stile più flat, esente da troppo intervento digitale.

5.9.1 Elettrodi

Come già ampiamente detto, gli elettrodi si riferiscono alla voce della pianta. Il vegetale è il vero protagonista di tutta l'opera per cui è ciò che più deve risaltare nel mix finale. Questo porta alla semplice conclusione di tenere ad alto gain i livelli relativi al segnale raccolto tramite gli elettrodi sulle foglie della pianta. La pianta è come il solista di un'opera, è ciò che più deve venire fuori nell'economia totale della performance. Di conseguenza nel portare avanti l'esibizione è necessario che essa non sia trascurata e che abbia un certo grado di importanza nella gerarchia totale dei livelli relativi.

Allo stesso tempo, tuttavia, è necessario che il segnale non si articoli troppo indipendentemente dal flusso musicale generale. Deve, in altre parole, costituirsi un'amalgama sonora che non crei buchi fra le diverse voci. A livello percettivo questo potrebbe significare il percepire la pianta "lontana" dall'ecosistema sonoro e decisamente "staccata" dagli altri sintetizzatori in gioco.

È, dunque, necessario effettuare un thread-off fra i due modi di articolare i livelli relativi agli elettrodi presenti sulla pianta, in modo da costruire un equilibrio.

5.9.2 Suolo

Il suolo rappresenta il tappeto sonoro, il ponte e il collante di tutta l'esibizione di Singing Plants. Fuori dal livello metaforico, un buon mix dei sintetizzatori basati su questo tipo di raccolta dati prevede un livello relativo non troppo elevato e, soprattutto, un gain che non sovrasti la voce "solista" principale del vegetale.

Il segnale, per esempio, del Granulator, dipendente solamente dal MIDI Channel 2, cioè dal suolo, deve essere mixato ad un livello relativo non elevato, poichè rischia di fuoriuscire dalla sua funzione di tappeto sonoro e sovrastare i volumi dei sintetizzatori provenienti dagli elettrodi sul vegetale.

Proporzionalmente si parla di circa la metà del livello stabilito per la voce degli elettrodi.

5.9.3 Panning

Il posizionamento in ambiente stereo è importante quanto la definizione dei livelli relativi alle diverse voci nella performance.

Il panning generale, cioè relativo a tutte le voci nel loro complesso, come già visto, viene definito da spat5~. È dinamico durante la performance ed è possibile simulare un allontanamento della sorgente generale.

Allo stesso tempo, tuttavia, è necessario definire i posizionamenti relativi ai diversi sintetizzatori:

- i sintetizzatori relativi agli **elettrodi** è importante che stiano il più centrale possibile e che riempiano al più possibile l'immagine stereo.
- per provocare una sensazione di avvolgimento a partire dal tappeto sonoro creato dal **suolo** è necessario che la sorgente sia posizionata il più possibile al centro, anche in questo caso

- i campioni riprodotti dal sampler sono quelli su cui è possibile giocare la maggiore direttività e di cui è possibile variare il panning fra destra e sinistra.

In generale, tuttavia, va detto che è preferibile mantenere un posizionamento stereo il più centrale possibile e, sfruttando l'interazione con l'ambiente circostante, creare effetti di direttività a partire dalle frequenze che si producono tramite gli oscillatori. Essendo un'esibizione navigabile ed immersiva, infatti, è meglio mantenere centralizzata la sorgente totale e lasciare l'audience navigare la direttività.

5.9.4 Riverbero totale

Il riverbero è l'unico effetto digitale aggiunto, per ragioni espressive, all'output totale dei sintetizzatori. Viene sempre processato da spat5~, ma è comunque inserito in maniera contenuta. Il riverbero contribuisce a creare un tappeto sonoro di sottofondo che lega assieme tutti i diversi elementi performativi.

È necessario mantenere contenuto il contributo di riverberazione totale in quanto l'ambiente nel quale la performance viene condotta è già ampiamente riflessivo, come verrà spiegato nel Capitolo 6.

Capitolo 6

Il Teatro Serra

L'ambiente che circonda l'esecuzione della performance è parte integrante della performance stessa. L'immersività e il coinvolgimento del pubblico sono essenziali e prodotti in gran parte da ciò che si trova attorno agli strumenti, ai dispositivi e alle interfacce. Per realizzare e concretizzare questa parte fondamentale si è analizzato un caso particolare di un possibile ambiente dove potrebbe svolgersi l'esibizione. L'ambiente in questione si chiama Teatro Serra e si trova esattamente sulla via Emilia a Pontenure, a pochi chilometri da Piacenza. È stato preso in considerazione soprattutto per la particolarità di essere stato ricavato in un'antica serra del XIX secolo e permetterebbe di stimolare ulteriormente l'immedesimazione con la dimensione della relazione uomo-vegetale.

6.1 Storia e stato attuale

Il Teatro Serra si trova nella suggestiva cornice del Parco Raggio. Il parco si trova al centro di Pontenure fra la via Emilia e la Stazione ferroviaria e si estende attorno a Villa Raggio. Villa Raggio fu fatta costruire dal commendatore Armando Raggio durante la seconda metà del XIX secolo. Arrivato a Pontenure da Genova per motivi storici ancora non accertati, comprò venti ettari di terreno, comprensivi di terreni coltivati, prati e fabbricati civili, da Giuseppe Fantoni, l'ex proprietario di tale area dove poi sarebbe sorta la villa. Una planimetria risalente al 1843 rilevava un'abitazione familiare a quattro piani e venti vani, comprensiva di un giardino all'italiana ed un fabbricato di servizio. Nel 1882 Raggio fece demolire tutti gli edifici esistenti e ordinò la costruzione della nuova villa a Luigi Rovelli, famoso architetto conosciuto come l'ideatore di parchi e ville sulla riviera ligure. Fra il 1886 e il 1889 la villa e il parco subirono un allargamento successivo all'acquisto e alla demolizione di altri edifici.

Durante l'ultimo decennio del secolo (in particolar modo fra gli anni 1889-1897) fu integrato il complesso delle serre. Era stato pensato per riparare le piante esotiche durante l'inverno, destinate ad abbellire le aiuole durante l'estate.

La serra principale era composta da un corpo ferro e vetro adiacente all'apparato murario. Le ali laterali del complesso erano destinate all'utilizzo come serra mentre l'ala centrale, dove si incontravano, era stata adibita a teatrino familiare già da inizio del 900.

Le serre, di forma rettangolare, raccoglievano una collezione di orchidee (a sinistra) e di specie esotiche (a destra). Anteriormente erano presenti altre serre più piccole e basse dette *letturini* adibite alla coltivazione di gerani. Altre quattro serre indipendenti dal corpo principale e dette *trepidari* avevano coperture rimovibili per consentire il riscaldamento naturale nella bella stagione [41].

Il teatrino è stato costruito attraverso una copertura in ferro e vetro ornata da decorazioni di gusto neogotico e pinnacoli in ferro battuto. Negli spazi del proscenio e della piccola platea venivano collocate le sedie per gli spettatori. Come si apprende in una lettera inviata ad Armando Raggio "sul palcoscenico del teatrino famigliare venivano eseguite recite in occasione di varie ricorrenze, fra le quali si ricorda la festa Pro Mutilati il 20 settembre 1924" [17]. Alcune fonti indicano la presenza su questo palco di Eleonora Duse con una versione adattata della Signora delle Camelie. La villa inoltre ospitò illustri come l'ex Regina Elena e il tenore Tito Schipa.

La villa, la serra e il parco costituiscono una rarità nel panorama architettonico italiano e sono molto interessanti dal punto di vista dell'impianto tipologico.



Figura 6.1: L'attuale Teatro Serra a Pontenure(PC).

L'intero complesso è stato acquistato, alla fine degli anni '80, dal comune di Pontenure ed ha ottenuto recentemente la riconoscenza e sovrintendenza come luogo del cuore FAI. È stato, in particolar modo, riportato in vita dall'associazione culturale "Crisalidi" a cui il Comune di Pontenure lo ha affidato dopo avere acquisito villa e parco. Il nome attuale, "Teatro Serra", riprende il doppio utilizzo delle origini: luogo di rappresentazioni in cui nutrire l'anima e giardino d'inverno dove riparare piante esotiche.

Il restauro complessivo è stato curato dall'architetto Otello Mazzei. La villa è stata adibita a biblioteca civica, il parco sistemato e recuperato per un utilizzo urbano e il teatro a ripreso la sua naturale funzione.

Le condizioni attuali del teatro prevedono un quasi totale recupero, a parte per le decorazioni floreali che lo ornavano che sono andate perdute per l'usura del tempo. Le vetrate sono

state ripristinate e la copertura originale è stata rinforzata con una ulteriore in legno trattato. Questo tipo di intervento è dettato anche da ragione acustiche che approfondiremo più tardi.



Figura 6.2: Interno del teatro Serra attuale.

La parte centrale è attrezzata con impianto audio e illuminata da fari, stabilmente presenti nel teatro. Le ali laterali sono per ora senza un utilizzo, ma in futuro verranno adibite ad ulteriori iniziative culturali.



Figura 6.3: Una delle due ali laterali.

6.2 Studio acustico

Il teatro Serra è un'interessante luogo dove poter effettuare la performance, in primo luogo perchè rispecchia a livello di utilizzo passato la tematica del rapporto uomo-vegetale. Dall'altra parte la presenza di un materiale come il vetro, che notoriamente è molto riflettente, può creare effetti acustici immersivi notevoli ed interessanti.

L'immersività, infatti, è uno dei caratteri che più contraddistingue l'audio multimediale del nuovo secolo. Lo sviluppo tecnologico di sistemi multicanale e binaurali ha permesso il diffondersi di possibilità espressive notevoli. Nel caso di *Singing Plants*, tuttavia, si è voluto adottare un approccio differente che strutturi l'immersività attraverso le riflessioni del segnale sonoro rispetto all'ambiente totale di performance. Infatti una delle caratteristiche principali del complesso del Teatro Serra è quella di essere composto lateralmente e posteriormente da vetrate sottili. Il vetro è acusticamente un materiale molto riflettente. Questa sua proprietà solitamente ne esclude l'utilizzo massiccio per auditorium, teatri o grandi sale per concerti poichè le riflessioni multiple e incontrollate andrebbero ad influire in maniera consistente sull'intelligibilità del parlato.

Un'altra caratteristica importante del Teatro Serra è l'altezza di circa 7 metri della zona centrale, dove è posizionato il teatrino. Lo sviluppo verso l'alto della strutture permette il compiersi di effetti di riverberazione interessanti, amplificati dai fenomeni di riflessione innescati dai pannelli di vetro.

Tutte queste caratteristiche meritano un approfondimento particolare poichè possono essere sfruttate ai fini performativi per aumentare l'immersività prodotta, anche emozionalmente, sullo spettatore.

6.2.1 Casi storici di immersività ambientale

Prima dell'avvento delle tecnologie immersive binaurali, la sensazione di avvolgimento ed immersione venivano provocate nello spettatore attraverso l'interazione con l'ambiente e con accorgimenti polifonici particolari, come nel caso del Teatro Serra [28].

A partire dal Rinascimento in musica si assistette al diffondersi sempre più vasto dei *cori spezzati*, la composizione di musica per più cori, separati nello spazio. La pratica ebbe origine nel tardo XV secolo con Willaert, Gabrieli e Monteverdi. Gli accorgimenti presi da tali compositori per disporre i cori nello spazio erano alla pari di un panning stereo dei giorni nostri. La disposizione spaziale dei cori, infatti, era studiata per produrre il maggior effetto di immersione negli spettatori che dovevano sentirsi avvolti dalle onde sonore della voce. Willaert, per esempio, si preoccupava di coprire un ampio range spettrale in entrambi i cori e sviluppò uno dei primi esempi di doppia linea di basso per tenere i cori assieme musicalmente. Il particolare effetto di localizzazione è riscontrabile nei celebri *Vespers*, componimenti di Willaert [28].

Un altro carattere fondamentale dei cori spezzati era il senso di spazializzazione. A livello architettonico, per esempio, nella basilica di San Marco a Venezia il doge Andrea Gritti, fece costruire da Jacopo Sansovino, l'architetto della chiesa, due *pergoli* su ognuno dei due lati rispetto al centro dove era ubicato il trono del doge. Questo tipo di accorgimento era stato pensato per ottenere un effetto stereofonico sulla performance dei due cori spezzati.

Il punto migliore in merito a chiarezza e a riverberazione era proprio dove stava il trono, in modo che il doge avesse il miglior punto di ascolto.

Fuori dall'Italia, nel frattempo, uno dei più grandi artisti polikorali del tempo era Thomas Tallis. La sua opera *Spem in alium* prevede un insieme colossale di 40 voci differenti, distribuite su 8 cori spezzati da 5 voci ciascuno. La disposizione spaziale dei cori doveva avvolgere completamente gli ascoltatori a 360°. Molti dettagli dell'originale opera sono andati perduti, tuttavia è certo che è stata performata per la prima volta a Londra nel 1571 [28]. Recentemente nel 1958, sempre a Londra, l'opera è stata eseguita da otto cori disposti circolarmente attorno alla platea.

Successivamente in periodo barocco l'avvento della riforma protestante, molto concentrata sulla parola del Pastore, portò l'architettura delle chiese a svilupparsi secondo una logica che prevedeva un focus sulla chiarezza del parlato. Questo tipo di tendenza contaminò anche le chiese cattoliche sulle quali furono fatte determinate modifiche ai fini di diminuire la riverberazione. Un esempio ne è la Thomaskirche di Lipsia, chiesa molto legata a Johann Sebastian Bach, dove il compositore ideò gran parte delle sue opere. Questo tipo di condizioni architettoniche permise lo sviluppo della *cantatae* della *Passione*. Infatti la tendenza ad asciugare l'acustica da qualsiasi riverberazione permise a Bach di attuare i drammatici cambi di tempo della sua *Passione di San Matteo*.

Allo stesso tempo in Italia la situazione era differente. Per esempio la Basilica di San Pietro era stata rinnovata in spirito controriformistico ed espansa sulla scala dello stile "Colossale Barocco". Durante questo periodo era utilizzata per performance di 12 cori spezzati, ognuno con un diverso accompagnamento di organo. L'immersività era ancora provocata dalla riverberazione. Laddove a Lipsia l'acustica asciutta permetteva a Bach di esplorare la musica tonale, nelle chiese sudeuropee rimaneva la tendenza a sfruttare la riverberazione ambientale per causare un effetto di avvolgimento totale sullo spettatore.

Il periodo classico, tuttavia, fu quello a fare acquisire maggiore consapevolezza rispetto agli effetti di spazializzazione ed immersione provocabili attraverso le interazioni con l'ambiente. La separazione spaziale, fin ora applicata solo ai cori, venne, per la prima volta, applicata alle orchestre. Il primo ad ideare un tipo di approccio del genere fu Wolfgang Amadeus Mozart nel suo *Don Giovanni*. Scrisse parti per tre orchestre separate: una nella buca, una sul palcoscenico e una dietro il palcoscenico. Gli ensemble suonavano materiale differenziato che doveva avere precise coordinate temporali. Oltre alla spazializzazione tridimensionale, Mozart sperimentò nella *Serenata per quattro orchestre K.286* l'effetto di eco fra orchestre separate, provocato dall'interno di una hall riverberante e pensato per l'esecuzione in campo libero.

L'effetto di eco, ideato da Mozart, ebbe notevole effetto in ambito musicale e l'amico Joseph Haydn pensò il secondo movimento della sua *Sinfonia No. 38* come prodotto di echi non separati nello spazio. Questo movimento è spesso denominato "Echo" per questa ragione. In questo caso l'eco era provocato da violini suonati normalmente, seguiti da violino con le corde mutate. Haydn teorizzò il concetto più consapevolmente in *Das Echo*, un sestetto di archi per due trio, separati spazialmente, solitamente in due stanze differenti. In questo pezzo Haydn cambia la lunghezza del tempo prima che l'eco sia udito, iniziando un'intera misura in ritardo, poi una mezza misura in ritardo, poi un delay applicato ai quarti e così via. Questo tipo di accorgimento non cambiava la spazializzazione dell'ensemble, ma era

come se variasse la dimensione della stanza virtuale udita. Quello di Haydn fu riconosciuto come il primo vero esperimento di alterazione dello spazio performativo dinamicamente, sfruttando sia fattori musicali che fattori ambientali.

Il maestro dello storytelling attraverso la spazializzazione arriverà più tardi con il romanticismo. Hector Berlioz prese le consapevolezze acquisite durante il secolo precedente e le portò alla loro massima espressione creativa. Nel suo *Requiem* nel 1837 utilizzò quattro diversi cori di ottoni antifonali, ognuno piazzato in un diverso punto cardinale. L'audience era completamente immersa dagli ensemble di ottoni che richiamavano l'avvento del Giorno del Giudizio. La loro disposizione spaziale creava l'illusione di avvolgimento e la differenza di tempi causava inevitabili riflessioni spaziali di ogni complesso. Questo comportava che Berlioz non vedeva il suo requiem soltanto come un set di sorgenti sonore disposte nello spazio, ma che aveva ideato tutta l'opera come un unico ambiente 3D immersivo, le cui caratteristiche erano controllate dagli accorgimenti spaziali nella disposizione dei complessi [28].

L'approccio portato da tutti questi esempi evidenzia come sia possibile sfruttare l'ambiente e la disposizione delle sorgenti al proprio favore espressivo e creativo. L'idea di Singing Plants è quella di sfruttare le particolarità costruttive del Teatro Serra per produrre determinati effetti sull'audience e sul modo di percepire l'ascolto.

6.2.2 Pianta del Teatro Serra

Le sezioni seguenti in figura 6.4 e 6.5, fornite gentilmente dal Comune di Pontenure, chiariscono la disposizione spaziale degli elementi che compongono il teatro e le varie grandezze dimensionali. Le sezioni sono state realizzate nell'ottica dell'ultimo restauro avvenuto.

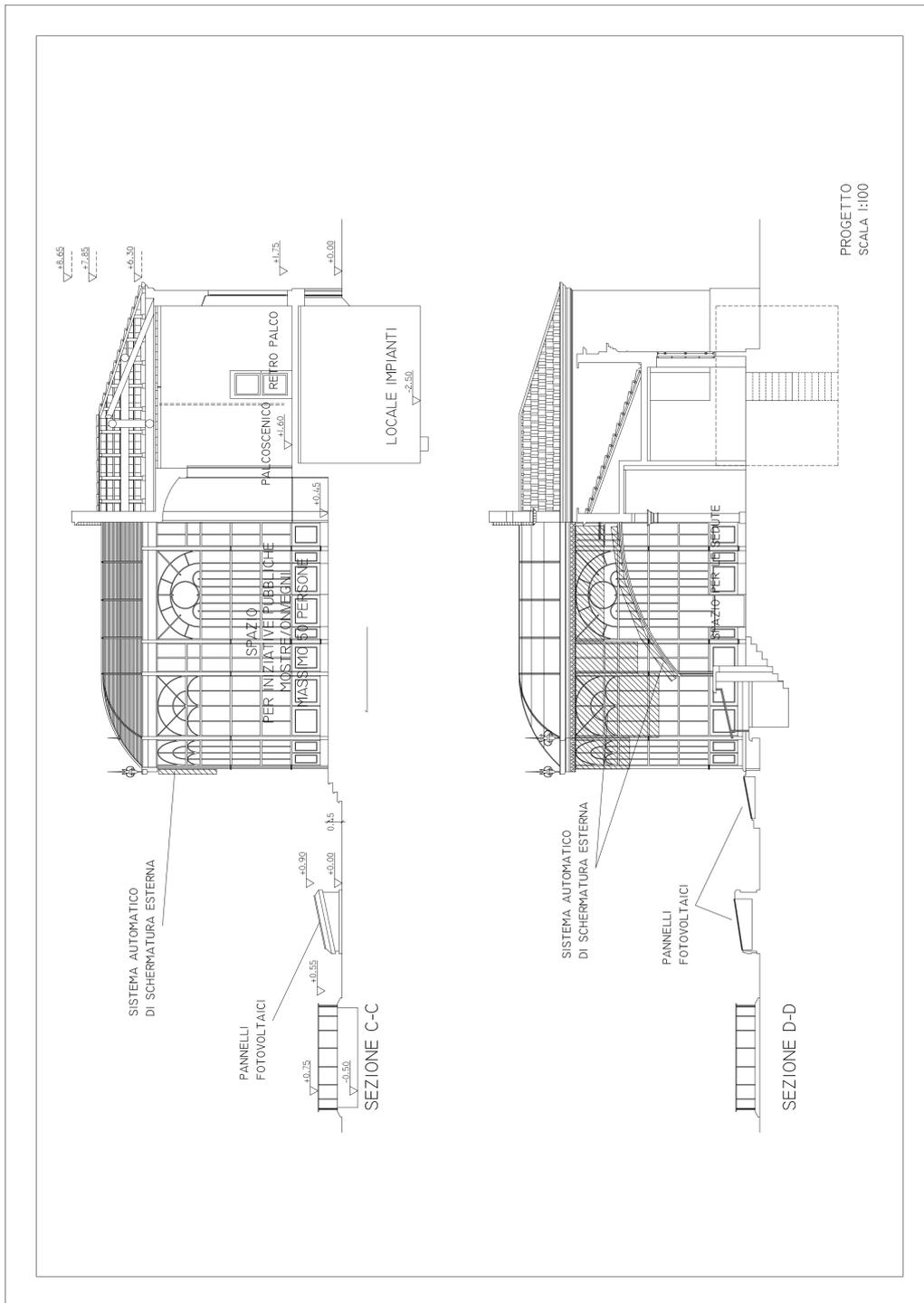


Figura 6.4: Sezioni laterali del Teatro Serra.

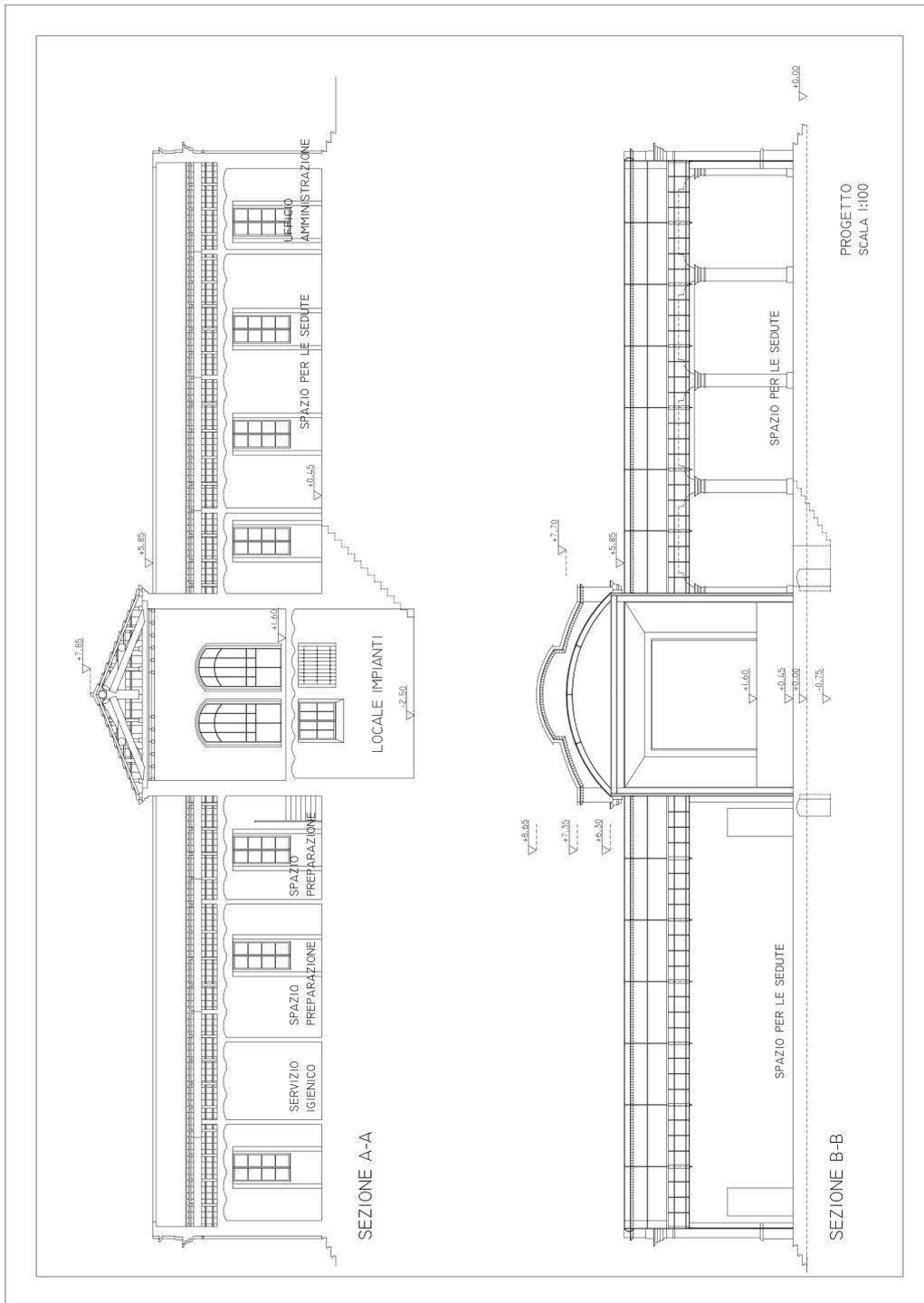


Figura 6.5: Sezioni frontali del Teatro Serra.

6.2.3 Riverberazione

Uno dei fattori che più aiuta l'avvolgimento provocato lo spettatore è il riverbero ambientale. Come già detto, infatti, quando non esistevano tecnologie multicanale per produrre in modo artificiale l'imimmersività acustica, gli unici accorgimenti che potevano essere presi per produrre un simile effetto erano le interazioni con l'architettura dell'ambiente in cui si svolgeva la performance.

Il parametro fisico per descrivere la percezione di riverberazione sonora, ideato da W.C. Sabine alla fine del XIX secolo, è il tempo di riverberazione. È definito come il tempo necessario affinché il livello sonoro in un punto della sala decada di 60 dB, dall'istante di spegnimento di una sorgente sonora che emette un segnale stazionario, e si indica come T_{60} . È definito come:

$$T_{60} = 0,16 * \frac{V}{A}$$

dove V è il volume dell'ambiente e A è l'area di assorbimento equivalente, calcolata come:

$$A = a_i * S_i = a_m * S$$

dove a_i è il coefficiente di assorbimento acustico per ogni materiale i -esimo contenuto nell'ambiente in esame e dove S_i è la superficie media occupata da ogni materiale.

La formula di Sabine si applica ad ambienti che soddisfino alcune proprietà. In primo luogo devono essere abbastanza grandi e di forma regolare, in più devono risultare non troppo "sordi", cioè non troppo assorbenti nel complesso. Un'ultima condizione è che le pareti realizzino riflessioni diffuse, prive quindi di cavità o di superfici con focus particolari.

È fondamentale sottolineare che il tempo di riverberazione è variabile in frequenza ed è praticamente impossibile ottenere, anche con correzioni, lo stesso tempo a tutte le frequenze. Per questa ragione è opportuno stabilire una maschera di accettabilità delle soluzioni. Solitamente questa maschera viene stabilita in base alla percentuale di differenza rispetto al valore calcolato a 500 Hz. È necessario considerare nel calcolo anche l'eventuale presenza di persone nella stanza.

Il Teatro Serra, anche per la sua età costruttiva, è un ambiente a cui può essere applicata la formula di Sabine. È opportuno specificare che, ai fini della performance, non è necessario avere dei dati acustici con alta precisione poichè il focus dello studio è comprendere l'ordine di grandezza del riverbero della stanza e la sua variazione in frequenza, per poterli sfruttare in senso immersivo. Per queste ragioni sono state introdotte delle semplificazioni e delle approssimazioni.

Per calcolare il valore teorico di tempo di riverberazione esistono numerose risorse online che si basano su affinamenti della formula di Sabine. Per il calcolo del valore teorico di T_{60} per il Teatro Serra è stato utilizzato quello fornito dal sito mgfonotecnica.com [15]. Le dimensioni per il calcolo del volume della stanza sono state ottenute dalle piante in scala e dai sopralluoghi effettuati. Come materiali sono stati scelti il tipo di vetro tipico delle finestre per le pareti vetrate, il legno per il soffitto e i mattoni in cotto per il pavimento. I risultati del calcolo del T_{60} sono riportati in tabella:

Frequenza (Hz)	Valore T60 (s)
125	2.27
250	3.66
500	4.21
1000	5.02
2000	4.88
4000	4.12

Tabella 6.1: Risultati del calcolo del T_{60}

Si evidenzia la tendenza ad un riverbero naturale abbastanza controllato, ma che comunque risente delle riflessioni causate dalle pareti laterali vetrate. Le basse frequenze sono quelle, in linea con i coefficienti acustici di assorbimento del vetro, che risentono di meno dell'effetto riflessivo. Il massimo, invece, si ha nel range fra 500 e 1000 Hz.

A livello creativo e musicale, dunque, sarebbe opportuno produrre suoni di sintesi in tale range di frequenze per avere più effetto di riverbero. Al contrario, se si vuole produrre un'immersività che meno risenta degli effetti ambientali, si possono sintonizzare gli oscillatori su frequenze più basse.

6.2.4 Le vetrate e l'immersività

Come già detto il vetro è un materiale altamente riflettente. La forte presenza di vetrate nel Teatro Serra può essere utile ai fini di creare un'esperienza particolareggiata che sfrutta ogni caratteristica dell'ambiente per causare un avvolgimento immersivo sullo spettatore. L'assorbimento prodotto da un materiale è calcolato tramite il coefficiente di assorbimento acustico della formula di Sabine. I coefficienti sono numeri solitamente compresi fra i valori di 0 e 1,5 e variano ad ogni frequenza. Più il coefficiente di un determinato materiale è alto, più tale parte realizzerà un assorbimento. Per esempio l' a_i di una persona, notoriamente un ente assorbente, è sempre compreso fra 0,4 e 1,10 a tutte le frequenze. Nell'immagine seguente vengono indicati alcuni a_i di materiali selezionati:

Assorbimento [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Materiali a parete e/o soffitto						
Controsoffitto in fibra minerale (25 mm su plenum 300 mm)	0,25	0,8	0,8	0,9	0,9	0,99
Melamina espansa (50 mm)	0,23	0,19	0,49	0,83	0,97	0,92
Cartongesso	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Fibra di legno mineralizzata (50 mm) in aderenza	0,17	0,22	0,42	0,78	0,65	0,95
Fibra di poliestere (50 mm)	0,27	0,49	0,70	0,80	0,83	0,81
Intonaco liscio	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Intonaco grezzo	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Lana di vetro 50 Kg/m ³ 50 mm	0,17	0,86	1,00	1,00	1,00	0,98
Lana di vetro 50 Kg/m ³ 100 mm	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
Lana di vetro 100 Kg/m ³ 50 mm	0,16	0,71	1,00	1,00	0,99	0,99
Poliuretano espanso (piramide 50 mm)	0,10	0,24	0,37	0,72	0,66	0,64
Pannellatura in legno	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Perline	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Portauova dritti sul muro	0,01	0,07	0,43	0,62	0,51	0,70
Sughero biondo (40 mm)	0,22	0,38	0,50	0,45	0,53	0,68
Tenda velluto 0,47 Kg/mq 1/2 area	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Vetro	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Materiali a pavimento						
Linoleum a pavimento	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Cemento a pavimento	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Moquette leggera (pelo 3mm)	0,05	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
Moquette media (pelo 6 mm)	0,05	0,10	0,15	0,30	0,50	0,55
Materiali vari						
Persona (valore di A ciascuna in m ²)	0,40	0,75	1,10	1,30	1,40	1,10
Sedie e scrivanie (A x ciascuna persona in m ²)	0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10

Figura 6.6: Coefficienti di assorbimento acustici per alcuni materiali selezionati.

Come si può notare il vetro ha un coefficiente di assorbimento a_i tendente a zero a quasi tutte le frequenze. L'unica anomalia si verifica alle bassissime frequenze (<125 Hz), dove è maggiore di 0,10 e si verifica un maggiore assorbimento energetico. Questi tipi di dati confermano la natura riflettente del vetro.

Nell'interesse performativo trovare il maggior punto di riflessione equivale a rintracciare il punto di maggiore avvolgimento per lo spettatore e, allo stesso tempo, la posizione dove avvengono più effetti di interazione imprevedibile e casuale fra le onde sonore. Questo effetto, ai fini espressivi, amplifica l'effetto di randomicità che si vuole trasmettere attraverso la performance.

Si ipotizza che un buon punto dove porre la sorgente sonora principale, durante la performance, non sia, come ci si potrebbe aspettare da un punto di vista classico, sul palco, che è costruito in modo da risultare maggiormente assorbente, ma al centro della platea, dove gli effetti di riflessione sulle tre pareti di vetro sono al loro massimo e dove è maggiore l'effetto immersivo.

Tramite le simulazioni seguenti si cercherà di verificare questo effetto e di ritrovare la posizione più adatta per lo svolgersi della performance.

6.2.5 Simulazioni binaurali con EVERTims

EVERTims

EVERTims [21] è un add-on sviluppato per integrarsi con Blender che permette di effettuare delle auralizzazioni di simulazione in merito alle riflessioni che si verificano in un determinato ambiente. È un framework open source che fornisce feedback in tempo reale sull'acustica di ogni stanza durante il suo funzionamento. EVERTims nasce originariamente come una collaborazione tra LIMSI / CNRS e il TKK. Ora è diventato uno sforzo congiunto tra i ricercatori degli istituti di sviluppo e l'istituto IRCAM di Parigi.

Il framework si basa su tre componenti: un add-on Blender, un client che realizza il raytracing in linguaggio C++ e un motore di auralizzazione JUCE. Durante la progettazione del modello 3D in Blender, il componente aggiuntivo carica continuamente i dettagli di geometria e relativi ai materiali sul client raytracing. Sulla base di queste informazioni, il client simula il modo in cui le onde acustiche si propagano, dalle fonti ai listener posizionati nella scena di Blender. I risultati di questa simulazione vengono quindi inviati al motore di auralizzazione che ricostruisce il campo sonoro in formato Ambisonic come sperimentato nella posizione di un dato ascoltatore per l'ascolto binaurale. Il framework sfrutta anche Blender Game Engine per supportare l'auralizzazione in-game per un'esplorazione interattiva finale del modello progettato.

EVERTims è stata scelta per la possibilità di integrare nella simulazione acustica la flessibilità e le comodità in campo di modellazione di un software come Blender.

Creazione del modello 3D

Per eseguire le simulazioni è stato creato un modello 3D in scala della zona centrale del Teatro Serra, dove dovrebbe svolgersi l'esibizione. Come reference per la modellazione e per i rapporti fra le grandezze, si è scelto di utilizzare le piante del Teatro Serra in modo da avere una resa il più possibile fedele del risultato. È importante specificare che l'obiettivo dello studio acustico e della simulazione è testare gli effetti che l'ambiente ha sull'immersività prodotta negli spettatori. Non si vuole effettuare uno studio acustico a livello costruttivo e architettonico, poiché impiegherebbe il tenere presente numerosi altri fattori ed esula dagli obiettivi di Singing Plants. In questo spirito sono state effettuate delle semplificazioni nell'ottenere il modello:

- Si è considerato solo il complesso centrale del Teatro Serra dove dovrebbe svolgersi l'esibizione. Vista la possibilità di chiudere l'accesso alle ali laterali con porte vetrate (come si può notare in figura 6.2), si è modellata, con una semplificazione, la parete laterale come un'unica superficie di vetro riflettente.
- La parete posteriore è anch'essa richiudibile tramite una porta vetrata, quindi è stata considerata come un'unica superficie di vetro riflettente.
- Le pavimentazioni sia del palco che della platea sono in cotto antico, dunque nella simulazione sono stati considerati con una semplificazione come mattoni.

- I soffitti, sia nella parte della platea che nella parte superiore del palco, sono in legno. Quindi sono stati considerati, a livello di semplificazione, come una parte unica.
- La geometria è stata semplificata come un box rettangolare.

Il modello è stato prodotto con la versione di Blender 2.79, poichè Blender 2.8 ha ancora problemi di compatibilità con EVERTims. In seguito i primi render sviluppati. Alle pareti sono stati assegnati i materiali sopraelencati. È stato inserito un gruppo di persone alle quali è stato assegnato un materiale fonoassorbente.

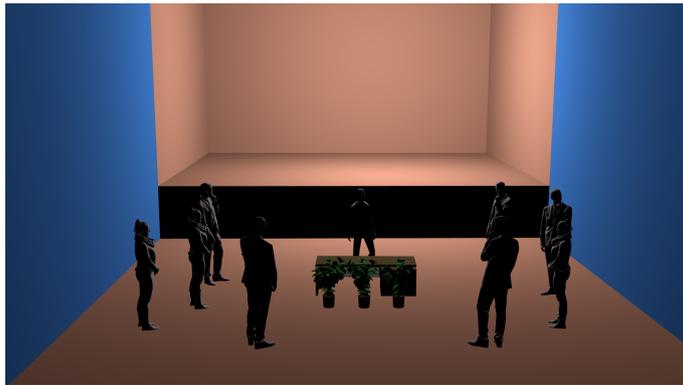


Figura 6.7: Primo render dell'interno del Teatro Serra.

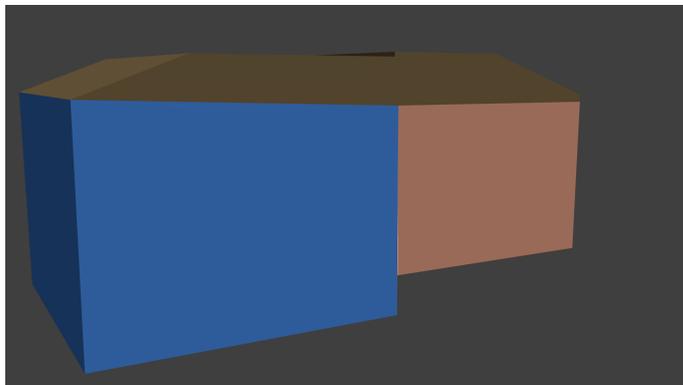


Figura 6.8: Render dell'esterno del Teatro Serra.

Simulazioni di posizione sorgente

Le simulazioni sono state eseguite allo scopo di comprendere quale posizione per la sorgente di suono, cioè gli altoparlanti in configurazione stereo, è la migliore per l'effetto immersivo che si vuole creare. Uno dei limiti tecnici di EVERTims è, tuttavia, la possibilità di lavorare solo con una sorgente sonora alla volta. Per questa ragione la sorgente è stata posizionata

nel punto mediano fra i due altoparlanti, il cosiddetto centro stereo, dove viene creata gran parte della sorgente sonora virtuale caratteristica del sistema stereofonico.

La prima simulazione effettuata è sul posizionamento già esistente. Attualmente il Teatro Serra ospita un sistema di impianto audio stereo posizionato sul soffitto a destra e a sinistra del margine anteriore del palco. Il risultato della prima simulazione in ray tracing è il seguente:

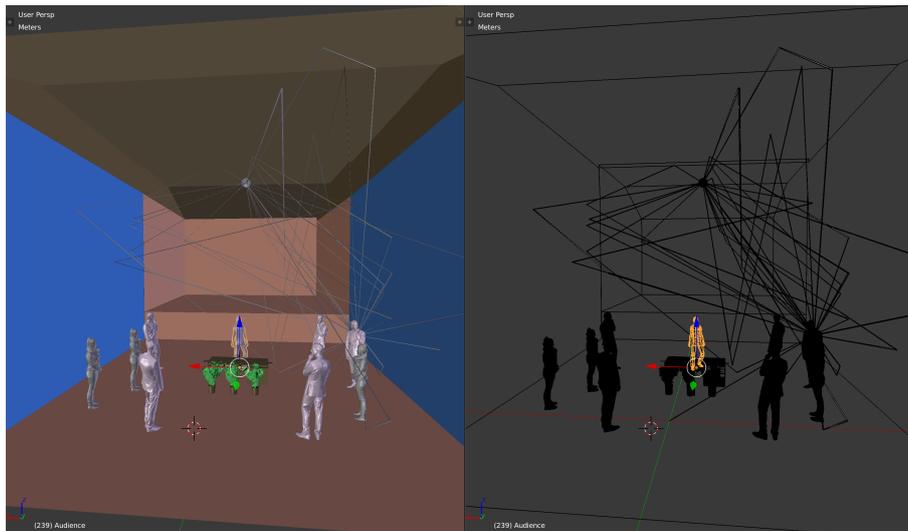


Figura 6.9: Prima simulazione con EVERTims.

Come si può notare sussistono ovviamente delle riflessioni, tuttavia si concentrano soprattutto sulla parte destra della platea e sono più controllate dalla presenza di materiale fonoassorbente. La sensazione di immersività è meno avvolgente e più controllata. Questo tipo di approccio dell'impianto audio stabile è facilmente spiegabile a causa dell'utilizzo polivalente che viene fatto del teatro. La necessità, infatti, di dover spesso aver a che fare con spettacoli che richiedono chiarezza nel parlato prevede un approccio di maggior controllo delle riflessioni.

Nella seconda simulazione, invece, si è provato a spostare la sorgente al centro della platea, cioè nel mezzo delle pareti vetrate. I calcoli teorici prevederebbero un aumento degli effetti di riflessioni. Il risultato della seconda simulazione è raffigurato nell'immagine seguente:

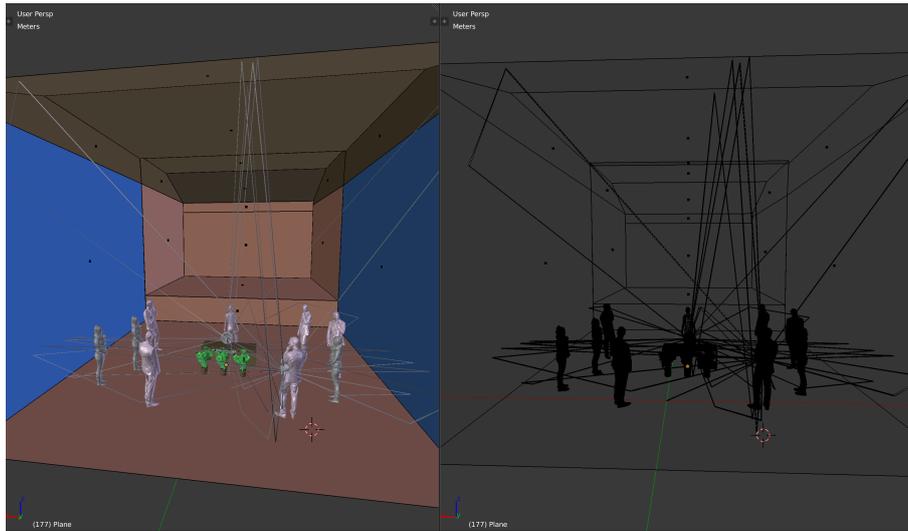


Figura 6.10: Seconda simulazione con EVERTim.

L'audience è completamente immersa nelle riflessioni ed è maggiore, come previsto dai calcoli teorici, l'impatto del vetro fonoriflettente. Appare evidente come un approccio del genere a livello performativo, può maggiormente soddisfare le idee creative ed espressive che si vogliono passare tramite *Singing Plants*.

Simulazione binaurale

Una delle feature più interessanti che offre EVERTim è la possibilità di ascoltare, tramite una spazializzazione in real time, la simulazione della resa sonora nell'ambiente di un qualsiasi input audio. Spostando il listener stabilito nell'ambiente, il client di ray tracing modifica direttamente in tempo reale la resa sonora. È molto interessante per rendersi conto di come determinati accorgimenti potrebbero suonare nell'ambiente. L'integrazione con il motore di render Blender Game Engine permette, inoltre, di navigare lo spazio tramite le frecce direzionali della tastiera.

Questa possibilità di navigazione permette di studiare le variazioni di impatto sonoro all'interno del Teatro Serra e di avere una simulazione modificata in real time. In questo modo si può comprendere se veramente l'effetto di riverberazione è immersivo in tutto lo spazio navigabile dallo spettatore.

6.2.6 Test eseguiti sul posto

Dopo aver effettuato le diverse simulazioni via software è stato ritenuto opportuno valutare direttamente sul posto gli effetti rilevati alle diverse frequenze.

Si è utilizzato per le catture audio un registratore Stereo Tascam DR-50X e un formato

.wav, 48000 Hz, a 24 bit di precisione. Per la generazione degli output sonori è stato usato Max/MSP, in particolar modo l'oscillatore cycle~. Il panning stereo è esattamente centrale e il microfono è posizionato esattamente a metà degli altoparlanti nel centro della stanza. Come speaker per tutti i test è stata utilizzata una coppia di altoparlanti Edifer R1000 TCN Black v14. Le caratteristiche degli speaker sono le seguenti:

- Potenza in uscita 8+8W RMS
- Rapporto S/N: >85dBA
- Distorsione: <0,5%
- Sensibilità: 400mV +/-50mV

Gli altoparlanti sono stati posizionati sia in posizione centrale all'ambiente, per valutare gli effetti nella zona di esecuzione. Qui in seguito sono elencati i test effettuati e i risultati ottenuti.

Test 1: Sweep da 220 Hz a 880 Hz

Per misurare la variazione di risposta in frequenza del Teatro Serra è stata utilizzata la tecnica della Sweep. Tramite l'oggetto cycle di Max/MSP sono stati riprodotti nell'ambiente dei glissandi multipli dalla frequenza di 220 Hz alla frequenza di 880 Hz. Il valore di uscita misurato tramite l'oggetto levelmeter~ di Max è compreso fra -10 e -14 dbFS. Qui di seguito sono riportati i risultati della registrazione ambientale con speakers posizionati al centro con il Tascam, nell'ambiente di visualizzazione di Adobe Audition.

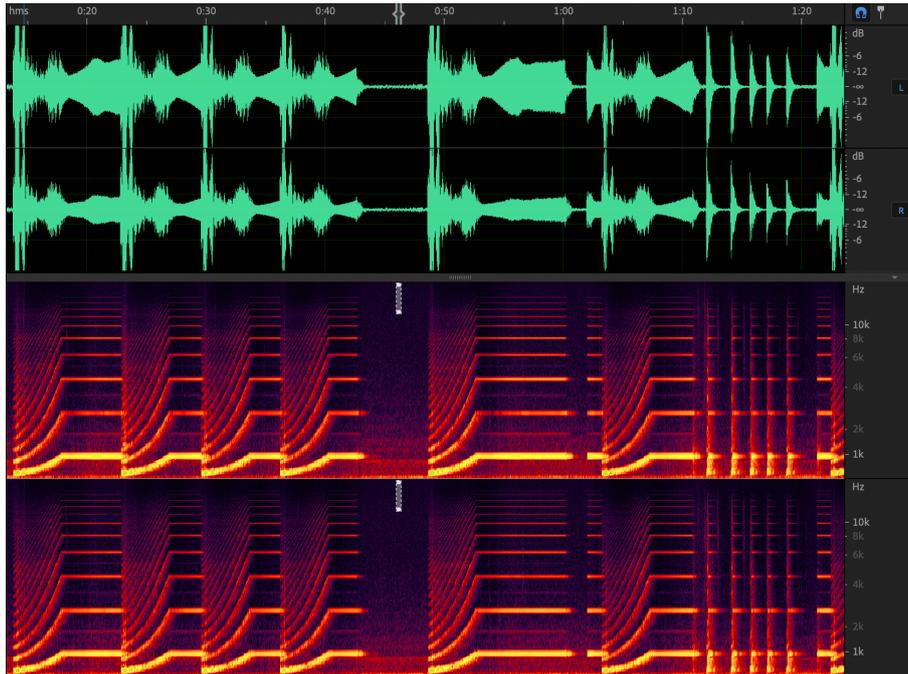


Figura 6.11: Visualizzazione delle sweep su Adobe Audition (speakers al centro).

Le frequenze in questione sono state scelte in quel range poichè sono quelle che maggiormente interessano e colpiscono la performance. Dai calcoli teorici ci si aspetta una maggiore riverberazione attorno ai 1000 Hz e una maggiore direttività del suono, caratteristiche delle frequenze più alte del range. Si nota infatti una maggiore differenziazione dei due canali stereo mano a mano che si sale di frequenza; questo è prodotto di eventuali annullamenti di fase che possono prodursi a causa della riverberazione più accentuata. Ai fini della performance, dunque, a seconda dell'effetto che si vuole produrre è opportuno scegliere la frequenza portante:

- < 500 Hz se si vuole utilizzare un effetto di **immersività** e avvolgenza sullo spettatore
- > 500 Hz se si vuole accentuare la **direttività** dei suoni e produrre maggiore effetti di annullamento di fase

Salire di frequenza oltre i 1000 Hz per tempi prolungati potrebbe causare fastidio sull'audience. Questo tipo di effetto non è coerente con lo spirito creativo totale della performance, quindi è stato scartato e non considerato.

Test 2: impulsi prodotti da colpi

Per testare la durata approssimativa della riverberazione nella stanza, è possibile produrre dei suoni di natura impulsiva (schiocco di dita, colpo su coscia ecc.) e valutare sull'output

sonoro del registratore in quanto tempo si ritorna a condizioni standard. Va premesso, tuttavia, che è un calcolo non preciso e solo approssimativo: il T60, infatti, prevede un calo di 60db dall'impulso iniziale, una grandezza decisamente fuori scala rispetto agli strumenti di misura che si possiedono. Le condizioni standard sono quindi il rientro alle condizioni di rumore di fondo caratteristiche del registratore in questione. In questo primo esempio è stato utilizzato lo schioccare delle dita come impulso di partenza.

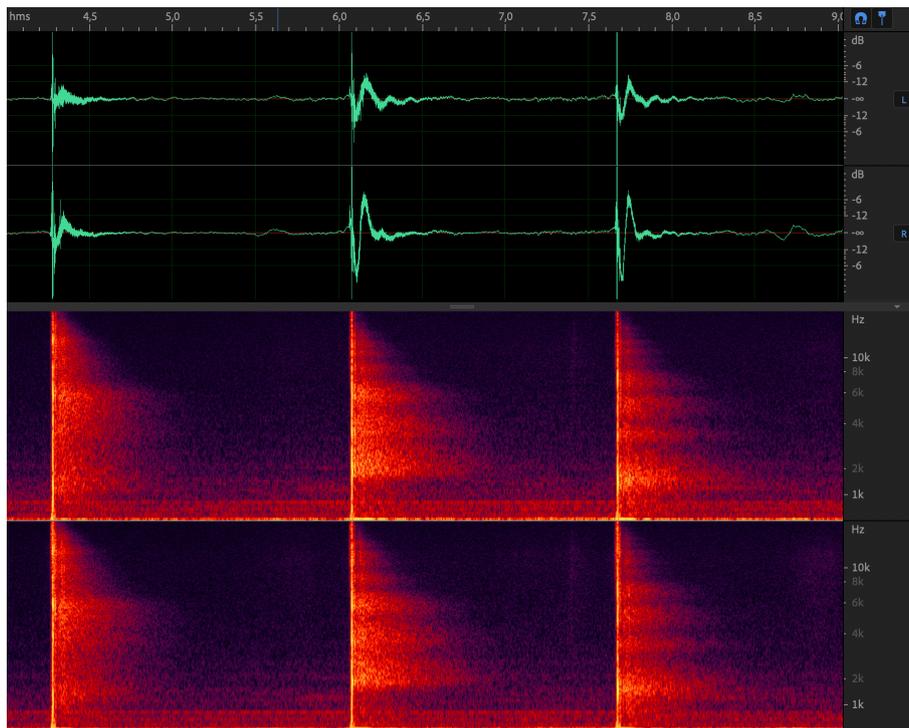


Figura 6.12: Impulso: esempio 1.

Lo spettro comprende quasi tutte le frequenze dell'udibile. Come si può notare, il rientro in condizioni standard è circa di 2 secondi. Questo non significa che dopo 2 secondi gli effetti dovuti alla riverberazione spariscono del tutto. In questo secondo esempio viene utilizzato un colpo che ha una fondamentale più concentrata sulle basse frequenze.

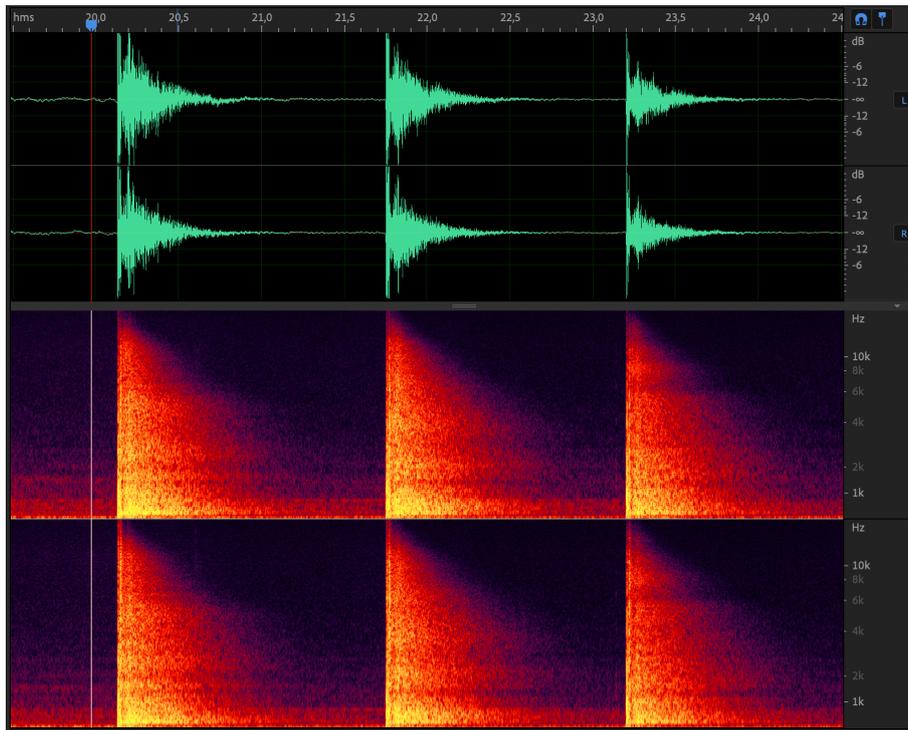


Figura 6.13: Impulso: esempio 2.

Anche in questo caso si ritorna a condizioni di rumore standard in circa 2 secondi. L'ultimo esempio riportato è prodotto tramite un sample di un Kick di una batteria, riprodotto tramite Max.

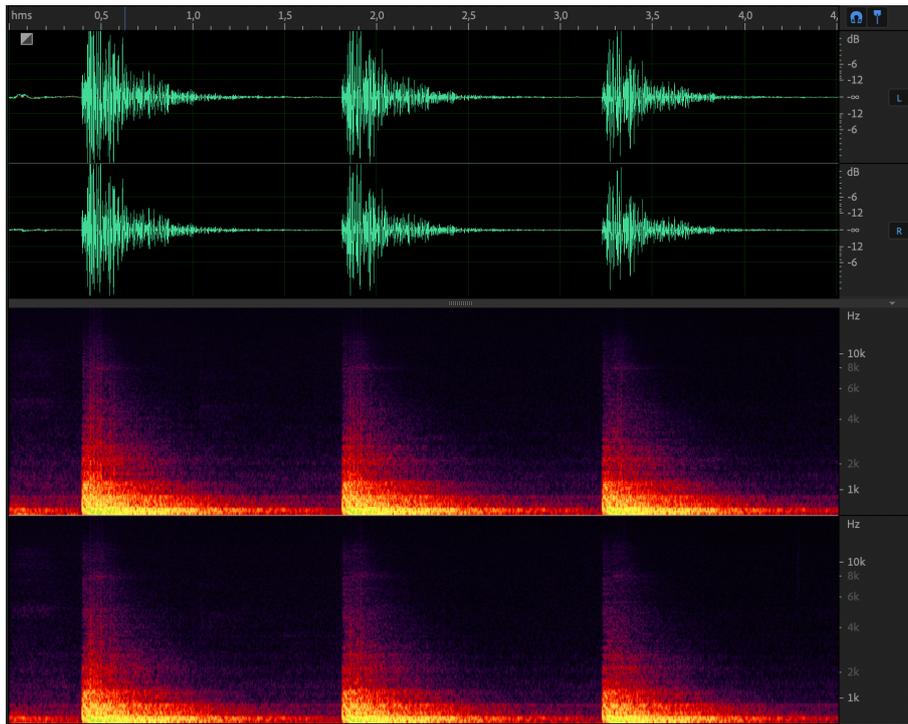


Figura 6.14: Impulso: esempio 3.

Il rientro alle condizioni standard è sempre simili agli esempi precedenti. In questo caso il Kick ha spettro in frequenza con più concentrazione alle basse frequenze. Si conclude che gli effetti più interessanti dovuti alla riverberazione ambientale si ottengono entro una durata approssimativa di 2 secondi.

Test 3: toni a frequenza fissa

Come ultimo test ambientale sono stati prodotti da Max dei toni sinusoidali con frequenza fissa, cioè non variabile nel tempo.

Qui di seguito i risultati a quattro diverse frequenze:

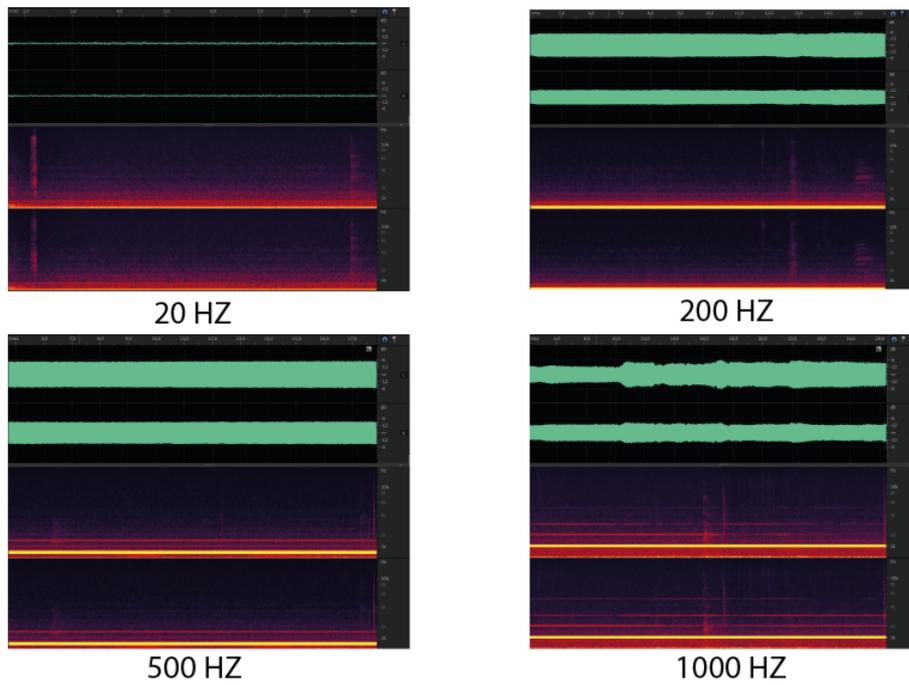


Figura 6.15: Toni: esempio 1.

Come si può notare le differenze stereo sono maggiori a frequenze più alte. Per esempio è molto chiara la differenza fra canale destro e sinistro a 1000 Hz. Come già detto, aumentando la direttività che equivale ad aumentare la frequenza sono maggiori gli effetti di interferenza ambientale, quindi, per esempio, l'effetto sullo spettatore varia a seconda dell'inclinazione della testa. Utilizzando basse frequenze, invece, c'è un maggiore effetto di avvolgimento totale.

Capitolo 7

Conclusioni

La strada di cui si è composto questo percorso di tesi si è articolata in capitoli estremamente multidisciplinari, a prova di quanto l'argomento possa ricoprire diversi ambiti professionali. Lo studio portato avanti ha condotto la performance dall'idea embrionale fino ad un grado di consapevolezza capace di trasformare una, inizialmente, semplice esibizione in una potente macchina performativa che sfugge al controllo persino dello stesso esecutore. Ma meglio così.

Infatti l'affrontare una dimensione altra e aliena a quella puramente umana ha aperto le porte ad un nuovo modo di vivere la relazione fra uomo e pianta. Entrare in contatto attraverso un fattore che ci accomuna e che ha effetti benefici su entrambi: il suono e la musica.

Il mistero di cosa esiste al di fuori del nostro linguaggio sussiste e continua ad essere non esprimibile tramite parole e costrutti umani. Continua, allo stesso tempo, ad essere la spinta propulsiva della creatività. L'ignoto del vivere di una pianta è stato uno dei fattori che più ha incuriosito l'impostazione della performance e che ha stimolato una rielaborazione creativa così accentuata. Nel dominio esterno alla nostra razionalità, infatti, esiste la possibilità di rielaborarsi, di ricostruire un'identità altra, di creare altri significati e di decostruire quelli già esistenti.

L'output sonoro udibile ci ricorda della presenza della voce della pianta, che vuole farsi ascoltare, vuole entrare in un qualche genere di relazione con gli esseri umani. Allo stesso tempo c'è la presenza sonora del suolo, della connessione fra noi e lei, che ci ricorda che abbiamo una responsabilità molto forte verso quella voce. L'avvolgente immersività che permea tutta quanta la performance nasce dalla necessità di renderci conto di quanto noi siamo parte di un ecosistema più grande di noi, che convive grazie a rapporti di equilibrio, che è opportuno preservare.

In merito a queste considerazioni, il personaggio di Frate Lorenzo, nel II atto di Romeo e Giulietta di William Shakespeare, ci ricorda, già nel tempo in cui fu pensata l'opera teatrale, un'importantissima questione:

"Oh, grande è la potente virtù che risiede nelle piante, nelle erbe, nelle pietre, e nelle loro genuine nature. Non esiste niente sulla terra così vile da non portare alla terra una sua qualche utilità: né qualcosa di così prezioso che sviato dal suo uso non si rivolti contro la

sua origine e cada nell'abuso [29]".

In generale, lo spirito con la quale è stata ideata questa tesi e la performance è rappresentato magnificamente da queste parole che ci ricordano il rendersi conto della co-esistenza di realtà altre sul nostro pianeta. Molte volte il confronto aperto con questo tipo di dimensione "ignota" ci espone a mettere in discussione il punto di vista antropocentrico che troppe volte ci pervade e, inizialmente, ci lascia dubbiosi e persi. Riscoprire la relazione uomo-vegetale significa riscoprire il nostro sentirci parte dell'ecosistema Gaia.

L'approccio totale che si è voluto dare alla programmazione sia hardware che software è fortemente influenzato dalla ricerca prioritaria di un significato totale al contesto della performance. L'intero apparato tecnico è stato prima pensato come mezzo per sonificare un segnale che porta con sé rimandi e significati. In poche parole non si è fermato alla pura rappresentazione analitica. È sembrato più opportuno approfondire il perché di ogni singola scelta e di ogni singolo input rilevato.

Si è arrivati allo sviluppo di un'interfaccia tramite Arduino che potesse essere al tempo stesso flessibile ed portabile, per una maggiore adattabilità alla performance. La ricerca su quest'interfaccia ancora non è conclusa e ci sono numerose strade di miglioramento che si possono intraprendere in futuro per aumentarne le possibilità espressive e di utilizzo. Nella sottosezione 7.1 si approfondiscono uno ad uno queste ulteriori aggiunte che possono essere integrate.

In conclusione, il lavoro di ricerca effettuato ai fini di progettare una performance che coinvolga l'utilizzo di bio-emissioni di vegetali ha portato quasi tutti i risultati sperati e ha reso maggiormente consapevole l'ideazione artistica totale dell'esibizione.

7.1 Miglioramenti e strade di ricerca per il futuro

La realtà di Singing Plants è ancora in forma di prototipo. In ottica di una possibile versione 2.0 sarebbe necessario ripensare ad alcuni accorgimenti ed integrare alcune aggiunte:

- **Passare dalla prototipazione su breadboard alla stampa di un integrato che realizzi le connessioni hardware testate:** il gran numero di connettori e di fili aumenta in maniera consistente il rumore di fondo iniettato nel circuito totale, per cui bisognerebbe provvedere al design e alla stampa di un PCB che realizzi ogni accorgimento portato avanti nella progettazione hardware. Sarebbe opportuno anche pensare di integrare direttamente l'ATMEGA 328p o un altro microcontrollore in modalità stand-alone, cioè senza avvalersi di Arduino UNO.
- **Integrazione di tecnologia multicanale:** per quanto riguarda questa prima versione di Singing Plants si è scelto, per semplicità, di limitarsi allo spazio sonoro stereo. Tuttavia passando nel dominio dell'audio multicanale si aprono una serie di numerose altre possibilità immersive.
- **Pensare al passaggio da MIDI a OSC:** una delle principali problematiche del protocollo MIDI è la sua natura discreta che fa sentire pesantemente l'intervento

della digitalizzazione dei dati. Questo tipo di approccio è dettato dalla sua longevità e dalle sue origini produttive in un'era in cui il digitale non era ancora stato raffinato a sufficienza da permettere una transizione fra stati alti e stati bassi più morbida. Attualmente esiste un ulteriore protocollo di trasmissione di dati sonori realizzato mediante reti IP di nome Open Sound Protocol (OSC). È un protocollo per il collegamento in rete di sintetizzatori, computer e altri dispositivi a fini musicali o di controllo dello spettacolo. Al contrario del MIDI i vantaggi di OSC includono l'interoperabilità, l'alto grado di accuratezza e una maggiore flessibilità e organizzazione. Inoltre OSC, essendo più moderno, comporta delle transizioni fra stati digitali molto più smooth e una maggiore risoluzione in termini digitali. Passare a questo protocollo potrebbe aprire la strada a numerose altre implementazioni, anche a livello algoritmico, per Singing Plants.

- **Dotare Singing Plants di una batteria di alimentazione:** la coesistenza di numerosi sensori richiede un notevole carico di alimentazione che, per ora, può essere conferito solo tramite porta USB. Le prove con batterie che sono state effettuate rilevavano una tendenza di instabilità. È necessario, dunque, migliorare l'apparato di alimentazione e trovare il tipo di batteria che può garantire un funzionamento stabile. La presenza di un'alimentazione implementata in questo modo permette maggiore portabilità e crea la possibilità di utilizzare il dispositivo anche fuori dalle mura domestiche.
- **Integrazione di un'applicazione mobile di controllo:** l'inserimento di una batteria, che permette la possibilità di portare il dispositivo anche all'esterno, apre la strada ad un'ulteriore feature che può essere aggiunta, cioè l'integrazione del dispositivo con un'applicazione mobile. Le problematiche da affrontare sono, in primo luogo, la scelta del protocollo di trasmissione dati più opportuno fra interfaccia e cellulare (Bluetooth, WiFi ecc.) e poi le variazioni da affrontare dal punto di vista hardware.

Appendice A

Il protocollo MIDI

Questo appendice è dedicato ad alcuni veloci cenni sull'architettura del protocollo MIDI, ai fini di comprendere meglio alcune scelte effettuate a livello software e hardware nella progettazione dell'apparato.

Il MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) nacque all'inizio degli anni ottanta: il prototipo fu presentato da due progettisti della Sequential Circuit (SCi), Dave Smith e Chet Wood, che nel 1981 proposero le prime specifiche del MIDI in un documento pubblicato sotto il nome di *The complete SCi MIDI*[39]. Esso era la risposta all'esigenza di far comunicare tra loro diversi strumenti musicali elettronici, tenendo conto delle caratteristiche di ognuno.

Esistevano già, infatti, metodi di interfacciamento fra diversi dispositivi di sintesi sonora: per esempio diversi costruttori, come Oberheim e Roland, offrivano già sui propri strumenti alcuni sistemi di collegamento. Tuttavia questi protocolli permettevano la comunicazione solo fra strumenti dello stesso tipo e non c'era un'unificazione costruttiva a cui fare riferimento. Il MIDI risponde a questo tipo di richiesta. Il primo synth dotato di interfaccia MIDI fu presentato nel 1983, nella tastiera PROPHET 600 della SCi (Sequential Circuits inc.) di San Francisco, anche se la versione definitiva del protocollo MIDI venne implementata l'anno seguente sul, celebre ed utilizzatissimo sintetizzatore in FM, Yamaha DX7. A livello tecnico il MIDI è usato per tradurre, in messaggi equivalenti, parametri di performance o di controllo legati ad un'esecuzione, che vengono inviati a dispositivi compatibili per svolgere differenti funzioni [13]:

- controllare la generazione di un suono (sintesi)
- controllare l'ascolto dell'audio digitale (o dei samples)
- controllare il transport
- trasmettere messaggi di tempo (timecode)
- fungere da trigger ad eventi di vario tipo

Il punto di forza di un protocollo di questo tipo è la capacità di trasmettere dati che possono essere facilmente compresi e/o registrati da dispositivi hardware e software. In termini artistici, tale linguaggio digitale permette al musicista di esprimersi con un grado di libertà e di controllo che fino a prima dell'avvento del MIDI era impensabile.

A.1 Cavi MIDI e porte di collegamento

Dal punto di vista hardware, il MIDI si realizza attraverso due componenti fondamentali: il cavo e la porte di collegamento MIDI.

I dati MIDI sono trasmessi su cavi standardizzati in maniera seriale su una sola linea, da una singola sorgente ad una singola destinazione, alla velocità di 31.25 Kbaud (bit/s). Questo comporta l'abbinamento di un'ulteriore linea dati MIDI, quindi un altro cavo, se si vuole implementare la bidirezionalità nella comunicazione.

Un cavo MIDI standard è formato da due conduttori *twisted pair* con schermatura, con un connettore maschio DIN a cinque pin ad ogni estremità.

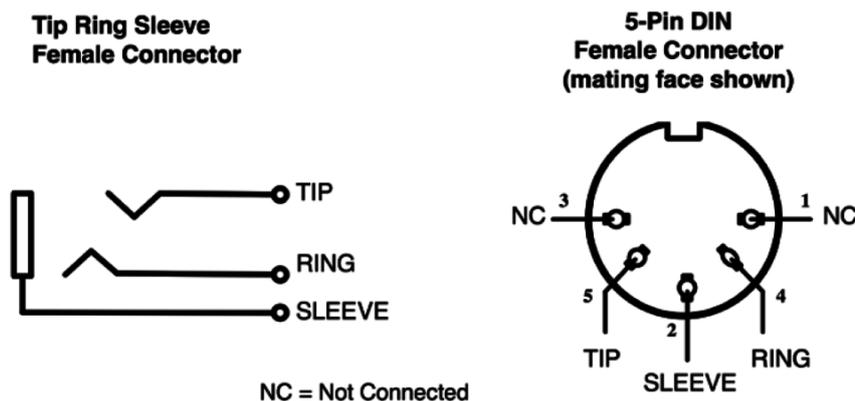


Figura A.1: Pin MIDI.

Secondo le specifiche MIDI attuali si utilizzano solo tre dei cinque piedini previsti dall'hardware: il pin 4 e il pin 5 sono i veri e propri addetti alla conduzione dei dati MIDI, il pin 2 funge da massa. I pin 1 e 3 non vengono utilizzati, ma sono riservati per eventuali sviluppi futuri del protocollo [13]. La lunghezza massima specificata per i cavi di collegamento MIDI è di 15 metri, per evitare che gli effetti di degradazione e che le interferenze esterne abbiano effetti irreparabili.

I cavi sono collegati agli strumenti o ai dispositivi mediante le cosiddette porte MIDI. Il protocollo prevede tre differenti porte per i diversi utilizzi:

- **Porta MIDI In:** riceve i messaggi MIDI da una sorgente esterna. Trasmette al dispositivo questi dati di performance, controllo e tempo.

- **Porta MIDI Out:** trasmette i dati MIDI da uno strumento sorgente a un altro dispositivo MIDI.
- **Porta MIDI Thru:** fornisce una copia esatta dei dati in arrivo alla porta MIDI in e trasmette questi dati ad un altro dispositivo che segue nella catena.

La serie di dispositivi collegati e la struttura del collegamento prende il nome di MIDI Chain. La configurazione di chain più utilizzata è la *MIDI daisy Chain*, riportata qui in figura A.2.

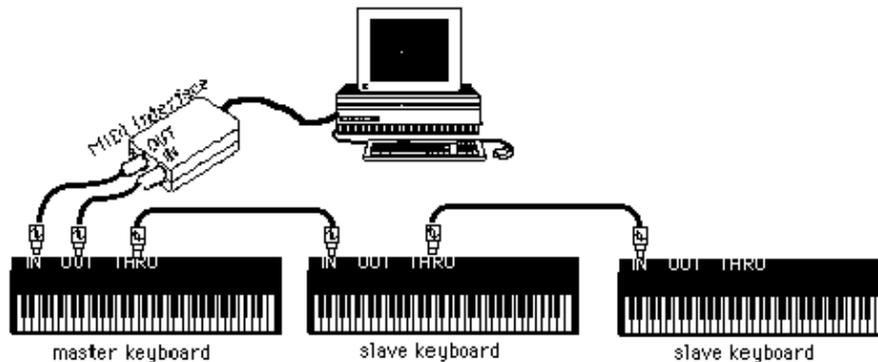


Figura A.2: Esempio di MIDI daisy Chain.

La struttura di una MIDI Chain non è altro che un sistema di Master e Slaves. In questo caso il computer viene inserito sia come MIDI In che come MIDI Out per il dispositivo Master.

A.2 Messaggi MIDI

Dal lato software invece, il cuore del protocollo risiede nei messaggi MIDI.

Sono organizzati in gruppi di parole di 1 byte trasmessi in modo seriale e usati per portare una serie di istruzioni di performance o di controllo a uno o a tutti i dispositivi MIDI. Solitamente ciascun messaggio è composto da 2 tipi di byte:

- byte di stato (*status byte*: MSB = 1)
- byte di dati (*data byte*: MSB = 0)

Lo status byte è utilizzato come identificatore per comunicare al dispositivo ricevente quale particolare funzione MIDI si vuole realizzare e su che canale indirizzarla. Il data byte, al contrario, è usato per identificare e codificare il valore numerico effettivo corrispondente al byte di status in arrivo. Il MSB viene utilizzato per distinguere il tipo di byte in arrivo.

Solitamente i dati vengono inviati a gruppi di 3 byte con in aggiunta un ulteriore data byte.

	Status Byte	Data byte 1	Data byte 2
Descrizione	Stato/numero del canale	Numero della nota	Velocità dell'attacco
Dati binari	1001 0100	0100 0000	0101 1001
Valori numerici	Note on/Channel 5	64	89

Tabella A.1: Esempio di un messaggio MIDI a 3 byte.

Nella tabella è riportato un esempio di messaggio MIDI a 3 byte. I valori che ogni data byte può assumere variano da 0 a 127.

A.2.1 Messaggi di Canale

I messaggi di canale MIDI sono usati per trasmettere dati di performance in real-time attraverso un sistema MIDI collegato e sono generati tutte le volte che si esegue una parte su un controller. [13] Ciascun messaggio di canale contiene un numero di canale nello status byte. Infatti la particolarità del protocollo MIDI risiede anche nel poter trasmettere contemporaneamente dati a più dispositivi, mediante un singolo cavo di collegamento. Questo tipo di comunicazione si attua introducendo un *nibble* nel byte, cioè quattro bit che indicano il numero di canale e di status. Dato che si hanno a disposizione quattro bit, il numero massimo di canali per il protocollo MIDI è di 16.

Questo permette di far rispondere gli strumenti collegati alla MIDI Chain solo ad un certo tipo di messaggio, oppure di far suonare a sintetizzatori diversi lo stesso dato MIDI. La flessibilità dei canali MIDI è uno dei punti forti del protocollo e dei motivi alla base del suo successo.

I messaggi di canale contengono sette tipi diversi di informazione:

- *Note on*: inizio di una nota MIDI. Consiste di 3 byte di istruzione: numero canale, valore di pitch e valore di velocità dell'attacco.
- *Note off*: rilascio di una nota MIDI. Ciascun note on richiede il suo corrispettivo note off per funzionare. Non interrompe il suono, ma soltanto il suo invio. Il suono può continuare grazie ad operazioni sul decadimento.
- *Polyphonic key pressure*: trasmesso su strumenti che supportano la polifonia.
- *Aftertouch*: trasmette i dati relativi alla pressione di un tasto su uno strumento MIDI anche dopo che è stato già abbassato. In questo modo è possibile utilizzare la nuova pressione come controllo del messaggio già in atto.
- *Program change*: viene utilizzato per cambiare i suoni o le combinazioni già in uso.
- *Control change*: usato per trasmettere informazioni che vanno ad influire in tempo reale sui parametri di performance di uno strumento MIDI. Per esempio il fattore di modulazione variato attraverso una modulation wheel su un sintetizzatore.

- *Pitch bend*:realizza il bending delle note, cioè la variazione istantanea di pitch.

A.2.2 Messaggi di sistema

I messaggi di sistema sono trasmessi globalmente a qualsiasi dispositivo appartenente alla catena MIDI. Di conseguenza qualsiasi dispositivo connesso risponderà a questi messaggi. I messaggi di sistema adempiono alcune funzioni di controllo totale dell'esecuzione, ad esempio:

- *MIDI Time Code*: il vero e proprio codice di temporizzazione del MIDI. Traduce il codice SMPTE in codice equivalente conforme alle regole del protocollo. É il messaggio responsabile della distribuzione su tutta la catena dei codici di tempo.
- *Time Request*: è usato per comandare ad un dispositivo MIDI di iniziare la sua procedura di accordatura rispetto al clock generale.

I messaggi di sistema sono numerosi e con differenti utilizzi, tuttavia non sono spesso utilizzati nella loro integrità.

A.2.3 Messaggi di sistema esclusivo

Anche detti *sys-ex* sono alla base della comunicazione fra i diversi dispositivi dal punto di vista del progettista. Questi messaggi danno ai costruttori la libertà di adattare qualunque dato di qualunque lunghezza di uno specifico dispositivo. Solitamente sono utilizzati per la trasmissione di dati e la ricezione di blocchi di dati di suoni oppure per il controllo MIDI in real-time. Il formato dei pacchetti MIDI *sys-ex* prevede un numero identificativo iniziale (lo status header), un numero relativo ai dati della casa costruttrice, un certo numero di byte di tipo *sys-ex* e un byte EOX. L'ID di identificazione del costruttore serve a escludere messaggi di sistema esclusivi non provenienti da dispositivi non ottimizzati per il protocollo oppure ignoti. Qualsiasi messaggio di sistema esclusivo con un ID non riconoscibile viene ignorato. I messaggi *sys-ex* possono essere utilizzati per, ad esempio:

- trasmettere fra strumenti dati relativi alle patch o ai banchi di suoni
- salvare le diverse patch in uso su un'archiviazione esterna
- modificare i controller o i dati delle patch in tempo reale

Infine si allega in figura una tabella con una sintesi di ciò che si può controllare tramite messaggi MIDI.

Table Q3-1: MIDI Message Types

Binary	Hex	Message Type	Channel	Data Required	
				Data Byte 1	Date Byte 2
1000	8	Note off	1-16	Pitch (0-127)	Velocity (0-127)
1001	9	Note on	1-16	Pitch (0-127)	Release Velocity (0-127)
1010	A	Polyphonic aftertouch	1-16	Pitch (0-127)	Aftertouch value
1011	B	Control change	1-16	Controller type (0-127)	Value (0-127)
1100	C	Program change	1-16	Program-change value (0 – 127)	
1101	D	Aftertouch	1-16	Aftertouch Value (0-128)	
1110	E	Pitch bend	1-16	Bend value (0 – 127), often (0 -16383)	
1111	F	System	1-16	Variable number of bytes	

Table Q3-2: MIDI Control Change Messages

Controller Type	Message Purpose	Values
1	Modulation wheel	0 (no modulation) ... 127 (max)
2	Breath controller	0 (no breath) ... 127 (max)
7	Master volume	0 (silent) ... 127 (max)
10	Stereo panning	0 (left) ... 64 (central) ... 127 (right)
64	Sustain pedal	0 (sustain off) ... 127 (sustain on)
91	Reverb level	0 (reverb off) ... 127 (max. reverb)

Figura A.3: Sintesi dei Messaggi MIDI possibili in generale.

Appendice B

Cenni musicali

Questo appendice è dedicato ad alcuni cenni musicali importanti ai fini della comprensione di alcune scelte stilistico-creative.

In particolar modo si vogliono chiarire le nozioni di scala, modo e le caratteristiche timbriche che ogni scala porta con sè.

B.1 Gli armonici naturali e il sistema temperato

La prima nozione fondamentale per approcciare la conoscenza delle scale e dei modi musicali è il sistema di base su cui si fondano. La ricerca armonica è sempre stata la base dell'evoluzione musicale. Infatti, il ritrovare un ordine nei suoni udibili e riproducibili è sempre stata la base delle ricerche delle migliori menti musicali. Come succede nella scienza tuttavia è necessario ricondursi ad un sistema di riferimento che organizzi e armonizzi le diverse nozioni. Soprattutto si trattava di ottenere un ordine che facilitasse l'opera del compositore.

Questa organizzazione risiede fermamente nel concetto di scala musicale. La scala musicale è definibile come un sistema di organizzazione dei suoni sviluppato nel contesto teorico e pratico da ogni cultura musicale. Inventare una scala significa scegliere un definito numero di suoni e fissare le distanze tra di essi, definiti come intervalli.

In natura sussiste da sempre il fenomeno degli armonici naturali. Essi sono una successione di suoni le cui frequenze sono multipli di una nota di base, chiamata nota fondamentale. La teoria degli armonici dimostrò ben presto che nessun corpo vibrante in natura produce un suono puro, cioè spogliato da tutti i suoi diversi armonici, ma è costituito da un insieme di elementi in cui al suono fondamentale se ne aggiungono altri più acuti e meno: questi elementi prendono il nome di armonici. Essi hanno una importanza fondamentale nella determinazione del timbro di uno strumento e nella determinazione degli intervalli musicali.

L'invenzione del primo consistente sistema di scala è attribuito a Pitagora e alla sua scuola di pitagorici. Va detto tuttavia che, nel contesto della musica dell'antica Grecia, il sussistere di scale diverse fu considerato perfettamente naturale e utile ai fini creativi ed espressivi.

Pitagora fu il primo ad intuire che si potesse stabilire un rapporto frazionario fra i diversi elementi di una scala. Diverse scale musicali consistono in una diversa interpretazione di quel numero frazionario rispetto all'unità di base. Interpretando secondo la teoria armonica di fatto ogni armonico di una nota fondamentale è in rapporto frazionario o intero con essa.

L'intervallo di quinta, pari ad un rapporto di frequenze 2:3 (in modo ascendente) e corrispondente al terzo armonico, fu utilizzato per determinare tramite artifici matematici numerose scale musicali, ad esempio quella pitagorica. I pitagorici, infatti, stabilirono una proporzionalità basata sulle potenze dell'intervallo di quinta. Questa scala musicale è detta, appunto, pitagorica. Elevando infatti a potenze successive il valore di questo intervallo e riportando il valore ottenuto nell'ambito dell'ottava si ottengono sette suoni diversi, tutti inclusi nell'ottava e tutti matematicamente definiti. Di fatto si tratta di individuare il quadrato, poi il cubo, poi le potenze successive di questo rapporto e di dividere ogni valore per $1/2$.

In tabella è riportato un esempio della progressione di costruzione della scala pitagorica:

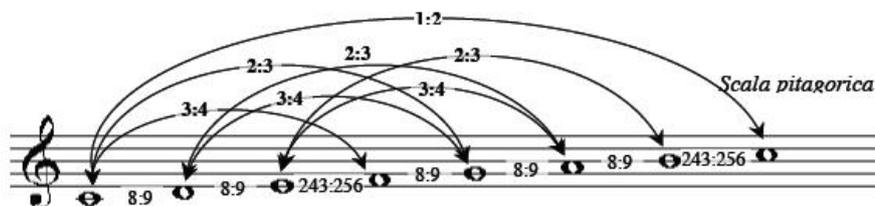


Figura B.1: Costruzione di una scala pitagorica.

L'intero impianto ideologico su cui si fondava la scala pitagorica era la ricerca della razionalità nel reale, uno dei leitmotiv della scuola di Pitagora e soprattutto sul concetto di consonanza, cioè la produzione di suoni gradevoli che davano senso di rilassamento e riposo. Il limite principale della scala pitagorica era quello di essere poco pratico e poco utile nell'accordatura degli strumenti. Altri suoni sembravano avvicinarsi con più fedeltà ai suoni degli strumenti dell'epoca. Il problema teorico che riflette questo tipo di comportamento è la natura aperta della scala pitagorica. La progressione delle quinte non si chiude esattamente sull'ottava della nota di partenza.

Questo tipo di riflessioni portò allo sviluppo della cosiddetta scala naturale, o dei rapporti semplici, elaborata dal pitagorico Archita (+348 a.C.), ripresa dall'astronomo Tolomeo (+161 d.C.), ma perfezionata dal teorico musicale Gioseffo Zarlino nel 1558. Il procedimento prevede sempre rapporti matematici fissi per ricavare gli intervalli fra una nota e l'altra. Individua i valori di sette intervalli attraverso rapporti proporzionali semplici, molti dei quali in comune con la scala pitagorica: $1/2$ (ottava), $2/3$ (quinta), $3/4$ (quarta), $4/5$ (terza maggiore), $5/6$ (terza minore), $3/5$ (sesta maggiore), $5/8$ (sesta minore), $8/9$ (tono). Questo tipo di approccio risolveva alcuni problemi pratici sugli strumenti a corda, ma sussistevano incertezze e scomodità nell'applicarla sugli strumenti a tastiera, poiché limitava le possibilità di modulazione e trasposizione delle composizioni.

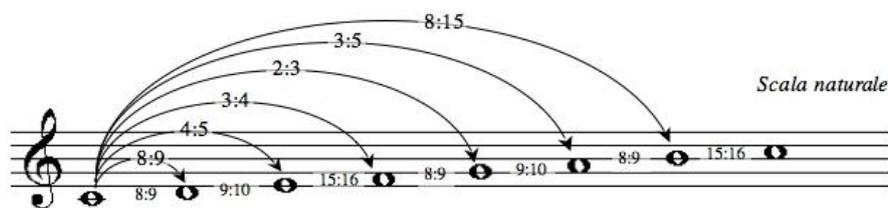


Figura B.2: Costruzione di una scala naturale.

Quest'ultima esigenza portò allo sviluppo della scala musicale e del sistema che ancora oggi conosciamo, cioè la scala temperata. Questa scala fu inventata ed ideata da Andrea Werckmeister alla fine del 1600 e fu utilizzata inoltre da molti compositori a partire dal secolo successivo. Per fare un celebre esempio, Bach utilizzò in modo massiccio la scala temperata nelle due raccolte *Das wohltemperierte Klavier* (Il clavicembalo ben temperato), composte la prima nel 1722 e la seconda nel 1744. Questa scala musicale si basa su un principio di determinazione dei suoni completamente diverso da quello matematico caratteristico della scala pitagorica e della scala naturale. La scala temperata si suddivide infatti in 12 gradi progressivi, calcolati ripartendo l'ottava in dodici parti uguali, sulla base della radice dodicesima di 2. Ogni parte calcolata prende il nome di semitono. Ogni semitono corrisponde circa ad un aumento del 5,9% della frequenza del suono (la radice dodicesima di due è uguale a 1.0594). Dopo dodici semitoni si ritrova un raddoppio della frequenza, si è cioè saliti di un'ottava.

Il sistema di base della scala temperata si sedimenta sulla divisione dell'ottava in 12 suoni; tale scala è dunque un esempio di scala temperata cromatica. Suonando in successione tutte e dodici le note della scala cromatica, notiamo che la differenza in altezza fra ogni suono e il successivo è sempre identica, e corrisponde sempre ad un semitono. Suonando invece i soli tasti bianchi della tastiera eseguiamo una scala eptatonica, cioè una successione di sette note, la quale è definita scala temperata diatonica. I semitoni non compresi nella scala diatonica assumono il nome diesis, rappresentati dal simbolo \sharp , se riferiti all'innalzamento di 1 semitono del grado precedente, mentre prendono il nome bemolle, rappresentati dal simbolo b , se relazionati all'abbassamento di un semitono della nota che segue. La scala diatonica è composta solamente da toni, cioè il doppio dell'unità di base (semitono).

Ogni componente della scala diatonica prende il nome di grado. Ogni grado è caratterizzato a seconda del suo ordine:

Grado	Nome	Funzione
I	Tonica	Nota che da il nome alla scala
II	Sopratonica	La sua posizione non varia rispetto alla tonica (sia nella maggiore che nella minore)
III	Modale/Mediante o Caratteristica	stabilisce se la scala è maggiore o minore
IV	Sottodominante	Grado che non varia nei due modi
V	Dominante	ha un ruolo dominante sugli altri gradi
VI	Sopradominante	
VII	Sensibile	è sensibile poichè tende a risolvere sulla tonica
VIII	Tonica	è uguale al I, ma un'ottava sopra

Tabella B.1: Gradi della scala diatonica.

La pagina Wikipedia [33] offre una tabella riassuntiva abbastanza efficace delle diversità che sussistono fra le scale elencate:

Grado della scala	Temperamento equabile	Interv.	Scala naturale	Interv.	Scala pitagorica	Interv.
I	0	—	0	—	0	—
II	200	200	204	204	204	204
III	400	200	386	182	408	204
IV	500	100	498	112	498	90
V	700	200	702	204	702	204
VI	900	200	884	182	906	204
VII	1100	200	1088	204	1110	204
VIII	1200	100	1200	112	1200	90

Figura B.3: Diversi tipi di scale.

Gli intervalli sono qui espressi in cent, il centesimo di semitono. Si tratta di un'unità di misura degli intervalli musicali, corrispondente alla centesima parte di un semitono nel sistema temperato equabile, ovvero alla milleduecentesima parte di un'ottava.

B.2 Scale e modi

Una volta compresa la nozione di scala musicale è necessario, ai fini di comprendere alcune scelte stilistiche intraprese nell'algoritmo di Singing Plants, comprendere il concetto di modo musicale oppure di scala modale.

Nella teoria musicale, un modo è un insieme ordinato di intervalli derivato da una corrispondente scala variando semplicemente la nota iniziale. È una delle nozioni che desta più confusione negli studi di armonia musicale. Quando viene suonata una melodia o una scala, si parte sempre sempre da una nota. Questa nota diventa fondamentale perché il nostro orecchio, e quello di chiunque ascolta, organizzerà e decifrerà mentalmente tutti i suoni che seguiranno, in relazione a tale nota. Se vengono suonate le stesse note, partendo però da punti iniziali diversi, l'atmosfera, il paesaggio sonoro che si creerà cambia radicalmente. Questa è la motivazione espressiva e creativa principale dello studio dei modi musicali.

A qualsiasi scala musicale può essere applicato il concetto di modo: in generale in una scala qualsiasi si possono "estrarre" tanti modi quante sono le note della scala: ad esempio, per le scale diatoniche, costituite da sette note, si possono contare 7 modi differenti. Le potenzialità di questo tipo di costrutto sono molteplici. Le scale modali estendono e allo stesso tempo completano il concetto di scala musicale tipico dell'armonia classica occidentale e tradizionale. Una melodia pensata attraverso le scale modali, all'orecchio moderno e occidentale, induce l'idea di qualcosa di sospeso, etnico, arcaico e ignoto. La musica che in qualche modo basa la sua composizione su questo tipo di artefatto si definisce musica modale, che si contrappone alla musica tonale.

I modi relativi alla scala diatonica prendono il nome dai medesimi ideati durante la Grecia antica. Infatti in questo contesto, i modi prendevano il nome di *harmoniai*, armonie. Con questo termine si indicavano 8 scale discendenti alle quali veniva attribuita una denominazione etnica rispetto ad una regione della Grecia antica. La teoria musicale di allora prevedeva che queste scale fossero costruite attraverso due tetracordi discendenti formati da 4 note per grado congiunto. Tali tetracordi dovevano essere omologhi, cioè dovevano presentare la medesima serie di toni e semitoni.

Ogni modo ha la sua valenza espressiva e creativa. Come già detto, la nota di partenza influisce sull'espressività del resto della scala. Lo Ionico, tra i modi maggiori, è quello più solare, allegro e utilizzato. Il Dorico, tra quelli minori, è quello più introspettivo e misterioso. Mentre il Frigio è chiuso, il Lidio è aperto ed in attesa. Il Misolidio è quello più ritmico e, non a caso, è quello usato nel blues e nel rock and roll. L'eolico è quello relativo alla scala minore e pertanto è quello più malinconico, dimesso e triste. Per finire abbiamo il Locrio, quello più strano, instabile, sospeso e indefinibile.

Appare evidente come la scelta del modo influenzi in modo assolutamente fondamentale l'effetto che la musica avrà sull'ascoltatore.

L'utilizzo dei modi musicali è molto spinto per esempio nel jazz. Astraendo dalla posizione della nota è possibile partire sempre dalla nota fondamentale della scala e variare le relazioni di tono e semitono a seconda di quelle previste da ogni modo. Per esempio il modo ionico, partendo dalla seconda nota della scala diatonica (T-T-S-T-T-T-S dove

Grado	Modo	Nota di partenza
I	Ionico	Prima nota
II	Dorico	Seconda nota
III	Frigio	Terza nota
IV	Lidico	Quarta nota
V	Misolidio	Quinta nota
VI	Eolio	Sesta nota
VII	Locrio	Settima nota

Tabella B.2: Caratterizzazione dei diversi modi musicali della scala maggiore diatonica.

T rappresenta un intervallo di tono e S un intervallo di semitono), avrebbe come ordine T-S-T-T-T-T-S-T. Applicando questo ordine a partire dalla nota Do abbiamo delle modificazioni rispetto alla scala diatonica maggiore. Per esempio dopo il primo intervallo di tono(Do-Re), si avrà subito un semitono, cioè un Mib.

Ogni modo può essere maggiore o minore come una scala, a seconda di come varia il III grado, cioè se è maggiore o minore.

B.3 Musica modale

Si definisce musica modale, la produzione musicale realizzata attraverso scale modali. Si distingue dall'approccio della musica tonale classica poichè non è basata sul concetto di tonalità e possiede regole profondamente differenti.

Le scale modali non sono necessariamente intese in senso lineare, ma spesso come struttura di rapporti tra le note che le compongono. Elemento principale dello sviluppo di un brano modale sono le formule melodiche che lo caratterizzano, in coerenza con i rapporti tra le note prima descritti, e che vanno da aggregati di poche note a brevi "temi" prefissati che contribuiscono a formare composizioni compiute. Trattandosi per la quasi totalità di tradizioni musicali a trasmissione orale, l'improvvisazione ha spesso un ruolo preponderante. I rapporti tra le note e le modalità dello sviluppo melodico individuano il modo specifico, e da una data scala modale di partenza possono essere elaborati più modi differenti.

In tutto il mondo sono riscontrabili esempio di questo tipo di approccio alla creazione musicale. A partire dalle ricerche sulla dodecafonìa, la musica modale investe il blues ,con note in scala fuori dal sistema temperato per aumentare l'espressività di altre, il jazz, da cui nasce il sottogenere del jazz modale, ma soprattutto la musica etnica che fin dalle sue origini, tramandate oralmente, rispecchia al meglio questo tipo di approccio creativo alla creazione musicale.

La musica modale dà ampio spazio all'improvvisazione attorno ad un modo specifico e lo sviluppo della composizione non è basato sul piano armonico, quanto invece sugli sviluppi stessi del connubio melodia-improvvisazione che si intreccia con la sovrapposizione ritmica dell'accompagnamento, la cui metrica gioca un ruolo molto importante.

B.3.1 L'esempio della Scala Indiana

Il sistema musicale indiano è fortemente diverso da quello occidentale. Parte da presupposti fondamentalmente opposti rispetto al sistema temperato ed è uno degli esempi più interessanti di musica modale.

Le scale musicali indiane prendono il nome di *raga*, sequenze di note ordinate, spesso differenti in fase ascendente e discendente, che derivano da una delle dieci scale (analoghe alle nostre scale modali) denominate *thaat*. Nella tradizione indiana i diversi raga sono associati a specifiche stagioni e specifiche ore del giorno, ma anche specifiche emozioni: sono infatti stati creati centinaia di raga, anche se quelli più utilizzati sono all'incirca 70. Le note del sistema musicale indiano hanno nomi differenti. La loro caratterizzazione riprende e rispecchia i modi del sistema occidentale. La scala indiana ha dodici semitoni quindi è considerabile una scala cromatica. Nella tabella sono raccolte le corrispondenze fra i gradi dei due sistemi.

Note	Intervallo	Nota indiana equivalente
Do	Tonica	SA
Reb	Seconda minore	komal RE
Re	Seconda maggiore	RE
Mib	Terza minore	komal GA
Mi	Terza maggiore	GA
Fa	Quarta giusta	MA
Fa#	Quarta aumentata	tivra MA
Sol	Quinta perfetta	PA
Lab	Sesta minore	komal DHA
La	Sesta maggiore	DHA
Sib	Settima minore	komal NI
Si	Settima maggiore	NI
Do	Tonica	SA

Tabella B.3: Corrispondenza fra sistema occidentale e sistema indiano.

In India la struttura della scala è imperniata su tonica e quinta, che suddividono l'ottava in due parti di quattro note dette tetracordi, cioè DO-RE-MI-FA e SOL-LA-SI-DO. La quinta (SOL) è una nota-pilastro inalterabile (come la tonica DO), mentre le altre (RE, MI, FA, LA e SI) possono apparire in forma naturale o alterata. Per ogni tetracordo possiamo prendere le varie combinazioni di note alterate o non-alterate, ottenendo così 32 diverse scale modali, ciascuna delle quali è una base su cui costruire un gran numero di raga diversi. Nell'India del Nord si considerano 10 di queste *thaat*, che possiedono particolari caratteristiche strutturali, come le più importanti e l'ossatura di base per la classificazione delle altre scale e dei raga.

Alcuni *thaat* sono equivalenti a scale e modi appartenenti al sistema occidentale. Tuttavia questo non implica che vengano utilizzate allo stesso modo e che vengano composte le stesse armonie. Infatti la musica di tipo modale, come già detto, utilizza costrutti e pilastri

differenti rispetto alla musica tonale occidentale.

In tabella sono raccolti alcuni thaat con le relative corrispondenze:

Nome	Composizione (in note occidentali)	Equivalenza
Kalyan thaat	DO,RE,MI,FA#,SOL,LA,SI,DO	Lidio
Bilaval thaat	DO,RE,MI,FA,SOL,LA,SI,DO	Ionico
Khamaj thaat	DO,RE,MI,FA,SOL,LA,SIb,DO	Misolidio
Kafi thaat	DO,RE,MIb,FA,SOL,LA,SIb,DO	Dorico
Asavari thaat	DO,RE,MIb,FA,SOL,LAB,SIb,DO	Eolio
Bhairavi thaat	DO,REb,MIb,FA,SOL,LAB,SIb,DO	Frigio
Bhairav thaat	DO,REb,MI,FA,SOL,LAB,SI,DO	Scala araba maggiore
Todi thaat	DO,REb,MIb,FA#,SOL,LAB,SI,DO	
Purvi thaat	DO,REb,MI,FA#,SOL,LA,SI,DO	
raga Kirvani	DO,RE,MIb,FA,SOL,LAB,SI,DO	Scala minore armonica
raga Patdip	DO,RE,MIb,FA,SOL,LA,SI,DO	Scala minore melodica
raga Nat Bhairav	DO,RE,MI,FA,SOL,LAB,SI,DO	
raga Charukeshi	DO,RE,MI,FA,SOL,LAB,SIb,DO	

Tabella B.4: Alcuni fra i raga e i thaat indiani più utilizzati e le loro equivalenze

B.4 L'avvento della dodecafonia e la scala cromatica

Un ultimo elemento manca alle nozioni di base necessarie per comprendere le scelte stilistiche portate avanti in *Singing Plants*.

Fino ad ora si è parlato di musica tonale, cioè basata sui concetti di tonalità e organizzata attorno ad un suono centrale, detto tonica. Nella musica tonale, per esempio, le scale discusse fino ad ora sono declinate rispetto alla nota scelta. Questo tipo di approccio rappresenta al meglio la ricerca della consonanza perfetta, iniziata dagli antichi greci.

Tuttavia a partire dal XIX secolo ci si rese conto che era possibile affrontare la composizione musicale a partire da altri presupposti, approfondendo la dimensione della dissonanza, il contrario di consonanza. La domanda a cui si cercava di rispondere era: cosa succede a livello compositivo se vengono introdotte note estranee alla tonalità stessa?

Inizialmente questi artifici erano giustificati da modulazioni di tonalità, ma l'utilizzo massiccio a livello compositivo di tale scelte creative, portò ad una riflessione più profonda.

La scala cromatica è una scala musicale composta dai dodici semitoni del sistema temperato. È conosciuta fino dalla Grecia antica, tuttavia fino a quel momento era poco utilizzata. Anche il nome stesso deriva dal greco *chroma* (colore). Tale scala era infatti utilizzata per dare colore alla scale diatoniche. Essa è formata da 12 suoni equidistanti fra loro, suoni ritrovabili all'interno di un'ottava: per questo risulta essere simmetrica ed ha una unica possibile trasposizione, rimane cioè uguale a sé stessa a prescindere dalla nota di partenza. Tale scala non è per questa ragione associabile ad alcun modo musicale o tonalità specifiche.



Figura B.4: La scala cromatica.

L'inventore della dodecafonia, cioè dell'utilizzo di tutti i 12 gradi della scala cromatica è Arnold Schoenberg. Egli, a partire da una situazione storica che si stava sempre rivolgendo di più alla dissonanza, teorizza un sistema di composizione musicale completamente atonale e di rottura rispetto a quello esistente.

La legge fondamentale della dodecafonia può riassumersi nel principio seguente: tutta una composizione musicale è basata su una determinata serie comprendente i 12 suoni della scala cromatica. Una siffatta serie, denominata serie fondamentale, dà origine a 3 altre da essa derivanti: al suo moto retrogrado (che si ottiene procedendo dall'ultima nota verso la prima); al suo moto contrario (che risulta dal capovolgimento degli intervalli della serie fondamentale: così una terza minore ascendente diventerà terza minore discendente e così via); al moto contrario del moto retrogrado [10].

L'avvento della rivoluzione dodecafonica, all'inizio utilizzato da Schoenberg come "segreto di bottega" da passare solamente agli allievi fidati, diventerà la base delle composizioni sperimentali per tutto il resto del XX secolo fino ai giorni d'oggi.

B.5 Scale e modi scelti

Nella progettazione artistica e musicale di Singing si è tenuto conto di tutte queste considerazioni per scegliere le scale e i modi più adatti a rappresentare il concept. Qui in seguito vengono elencate le scale scelte nell'algoritmo e le motivazioni per cui le si è individuate. A parte la scala cromatica di partenza, gli altri modi sono stati scelti in modo da costruire un commistione babelica fra provenienze da paesi differenti nel mondo. Questa scelta è motivata dal fatto di voler costruire un ambiente sonoro generale e non precisamente localizzabile all'interno del nostro pianeta.

B.5.1 Scala cromatica

Come già detto la scala cromatica è l'insieme dei 12 semitoni in cui è divisa l'ottava. È la scala che contiene il maggior numero di combinazioni espressive di suono. Inserendo un elemento di randomicità, come previsto dall'algoritmo, è possibile esprimere al meglio la voce della pianta e ridurre al minimo gli artifici umani. Infatti il considerare ogni semitono possibile è limitare al minimo la possibilità di combinazione. Variando inoltre in modo casuale i rapporti fra gli intervalli, il risultato finale è ancora meno prevedibile e quindi meno ricoperto di costrutti musicali appartenenti all'umano.

B.5.2 Scala indiana

Fra i possibili thaat selezionabili è stato scelto il Todi thaat per la sua particolarità di non essere equivalente a nessun modo greco. È inoltre importante ricordare che le melodie prodotte dalla musica indiana, secondo gli studi indicati nel capitolo 2, hanno effetti benefici sulla vita vegetale, perciò era indispensabile inserirne una rappresentanza. Tuttavia si è evitato di monopolizzare il bank di scale in una sola direzione.

La scala appare nel modo seguente:



Figura B.5: Raga Todi Thaata.

I rapporti fra le note di questo raga sono S-T-T-S-S-T1/2. Come si può notare i rapporti fra gli intervalli sono inusuali per un sistema occidentale.

B.5.3 Scala Ungherese

La scala ungherese è una delle tante scale esotiche prodotte nella storia. È un'ulteriore rappresentanza di un paese altro nella confusione babelica del non-luogo che si vuole creare. La scala ungherese appare così:

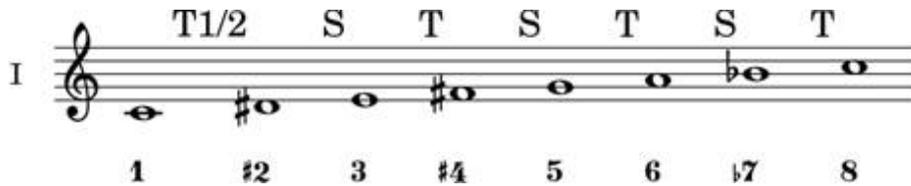


Figura B.6: Scala ungherese.

Sono indicati anche i rapporti fra gli intervalli nei diversi gradi. Come nel caso precedente si nota la particolarità del tono e mezzo, non previsto dalle scale del sistema temperato.

B.5.4 Ultrafrigio

Il modo ultrafrigio non è altro che un modo derivato dalla scala doppia minore armonica. In particolare è il modo con partenza sul III grado della scala doppia minore armonica. Tale scala è conosciuta a livello espressivo per essere creatrice di un ambiente sonoro misterioso, sospeso e dark. Tutte queste caratteristiche si rispecchiano nello spirito creativo di

progettazione di Singing Plants per cui sono stati inseriti più modi di questa particolare scala.

Il modo ultrafrigio appare in questo modo:

S T S T1/2 S S T1/2

1 b2 b3 b4 5 b6 b7 8

1 b2 #2 3 5 #5 6 8

Figura B.7: Modo Ultrafrigio.

La particolarità aumenta, qui si ritrovano due toni e mezzo.

B.5.5 Ionico Aumentato diesis2 diesis4

Questo è un ulteriore modo derivato dalla scala doppia minore armonica adottato in Singing Plants. Questa volta viene costruito a partire dal VI grado della scala.

Il modo ionico aumentato appare in questo modo:

T1/2 S S T1/2 S T S

1 #2 3 4 #5 6 7 8

Figura B.8: Modo Ionico Aumentato diesis2diesis4.

B.5.6 Orientale

Questo modo, costruito a partire dal V grado della scala doppia minore armonica, prende questo nome dal suono orientaleggiante che ha. È stato scelto di inserire questo modo per comprendere la parte orientale nel bank di scale previsto dall'algoritmo. Dopo la rappresentanza ungherese, dei modi greci e della scala indiana era opportuno inserire anche quest'altro paese esotico, per dare voce a presenze da tutto il mondo.

Il modo orientale appare così:

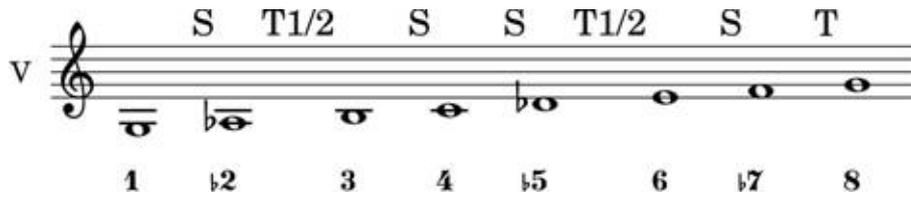


Figura B.9: Modo Orientale.

B.5.7 Lidio diesis2diesis6

L'ultimo modo della scala doppia minore armonica considerato è il lidio 2 6. L'atmosfera dark che viene creata dall'applicazione di questo modo è notevole.

Appare in questa maniera:

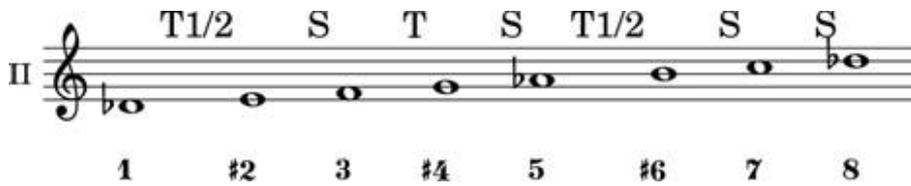


Figura B.10: Modo Lidio diesis2diesis6.

Bibliografia

- [1] Ableton Live. 2020. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Ableton_Live.
- [2] Luigi Galvani; Giovanni Aldini. *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius cum Joannis Aldini dissertatione et notis. Accesserunt epistolae ad animalis electricitatis theoriam pertinentes. Mutinae, apud Societatem typographicam.* Berlin,W. Junk - 1925, 1792.
- [3] Donald Hatch Andrews. *The Symphony of Life.* Unity Books, Lee's Summit, 1967.
- [4] Arduino IDE. 2019. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE.
- [5] Atmel. *ATMega 328-328P Datasheet.* URL: https://www.futurashop.it/image/catalog/data/Download/ATmega328-328P_Datasheet.pdf.
- [6] Cleve Backster. *Evidence of a Primary Perception In Plant Life.* International Journal of Parapsychology, 1968.
- [7] Mario Brunello. *Silenzio.* Il Mulino, 2014.
- [8] Peter Tompkins e Christopher Bird. *La vita segreta delle piante.* Il saggiatore, 2002.
- [9] Sam Cusumano. *electricityforprogress/MIDIspout - Github repository.* URL: <https://github.com/electricityforprogress/MIDIspout>.
- [10] Dodecafonìa. 2019. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/Dodecafonìa>.
- [11] Paolo Gullino Domenico Prisa. *La musica che fa crescere le piante: stimolazione della resilienza e dell'adattamento ai cambiamenti climatici, maggiore resistenza ai patogeni e incremento della qualità.* 2016.
- [12] Umberto Eco. «Concerto per chiodi e apparecchi domestici». In: *Radiocorriere TV* (1969), p. 32.
- [13] David M.Huber; Robert E.Runstein. *Manuale della registrazione sonora.* HOEPLI; II ed., 2005.
- [14] Ciaran Frame. *BOTSOT: A Generative Sonification Toolbox.* URL: <https://www.generativeart.com/GA2017/CiaranFrame.pdf>.
- [15] Marco Gheza. *RT60 Calculator - MGFonoTecnica.* URL: <http://www.mgfonotecnica.com/rt60/TSC%20%20RT60%20Calculator.htm>.
- [16] John Gibson. «sLowlife: Sonification of Plant Study Data». In: *Leonardo Music Journal* 16 (2006), 42–44. DOI: [10.1162/lmj.2006.16.42b](https://doi.org/10.1162/lmj.2006.16.42b).

-
- [17] Fabrizio Giorgi e Mariano Andreoni. *Pontenure: il volto di un paese e di un territorio*. Edizioni Tep, 2002.
- [18] Roy Chowdhury Anindita e Gupta Anshu. *Effect of Music on Plants – An Overview*. 2015.
- [19] L. Karlsson. «Instrumentation for Measuring Bioelectrical Signals in Plants». In: *Review of Scientific Instruments* (), pp. 458–464. DOI: [10.1063/1.1685661](https://doi.org/10.1063/1.1685661). URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1685661>.
- [20] *Korg Owner’s manual*. 1978. URL: <https://bit.ly/2v1iyJH>.
- [21] LIMSI/CNRS e the TKK/Department of Media Technology. *EVERTims - Github*. URL: <http://evertims.github.io/>.
- [22] Howard Phillips Lovecraft e Sergio Altieri. *Il dominatore delle tenebre: il meglio dei racconti, Introduzione del curatore*. Feltrinelli, 2018.
- [23] *MAX (software)*. 2019. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/MAX_\(software\)](https://it.wikipedia.org/wiki/MAX_(software)).
- [24] Joe Petrucci. *Our Story*. URL: <https://www.midisprout.com/our-story>.
- [25] *PROFILE*. URL: <http://kolgen.net/profile/>.
- [26] Projectgus. *projectgus/hairless-midiserial*. URL: <https://github.com/projectgus/hairless-midiserial>.
- [27] Dorothy Retallack. *The Sound of Music and Plants*. De Vorss e Co., Santa Monica, Cal, 1973.
- [28] Agnieszka Roginska e Paul Geluso. *Immersive sound: the art and science of binaural and multi-channel audio*. Routledge, an imprint of the Taylor Francis Group, 2018.
- [29] William Shakespeare. *Romeo e Giulietta*. Einaudi, 2010.
- [30] Analog Devices Sparkfun. *AD8232 Datasheet*. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/AD8232.pdf>.
- [31] *Spat*. URL: <https://forum.ircam.fr/projects/detail/spat/>.
- [32] Joel Sternheimer. *Method for the regulation of protein biosynthesis*. US Patent App. 09/320,637, 2002.
- [33] *Temperamento (musica)*. 2019. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Temperamento_\(musica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Temperamento_(musica)).
- [34] Alessandro Tognetti. *Dispensa su Bioelettrodi - Research Center E. Piaggio - Università di Pisa*. URL: http://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/material/bioelettrodi_dispensa_1_0.pdf.
- [35] Eletronics Tutorials. *555 Oscillator Tutorial*. URL: https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html.
- [36] Vari. *Plants Play - Press Kit*. URL: <https://www.plantsplay.com/press/>.
- [37] Todd Zaki Warfel. *Prototyping: a practitioners guide*. Rosenfeld Media, 2010.
- [38] Ludwig Wittgenstein. *Tractatus Logico-philosophicus*. Einaudi, 1921.

- [39] Dave Smith; Chet Wood. *The Complete SCI Midi*. URL: https://www.digitpress.com/library/techdocs/The_Complete_SCI_Midi-first_edition.pdf.
- [40] David Worrall. «Sonification and Information: concept, instruments, techniques». Tesi di dott. University of Canberra, 2009. URL: http://worrall.avatar.com.au/papers/phd/worrallThesis_Complete.pdf.
- [41] Franco Zerrilli e Cristina Maserati. *Villa Raggio: storia, architettura, personaggi, il parco e la Serra*. Associazione Pontenure arte e Cultura, 2005.