

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-ALIMENTARI

CAMPUS DI CESENA

CORSO DI LAUREA IN VITICOLTURA ED ENOLOGIA

L'ARMONIA DELLA NATURA. RUOLO DELLA MUSICA E DEGLI  
ULTRASUONI NELLA VITICOLTURA.

Tesi in Tecnica Viticola

Relatore:

Prof. Adamo Domenico Rombolà

Candidata: Eleonora Gasparri

Matricola N° 830386

Anno Accademico 2020/2021

Sessione unica

## INDICE

|   |    |
|---|----|
| PREMESSA.....   | 2  |
| 1. La musica e i suoi benefici.....   | 3  |
| 1.1 Ruolo della musica nel corso della storia.....  | 3  |
| 1.2 Effetti della musica sull'uomo .....  | 4  |
| 1.3 Effetti della musica sugli animali.....   | 8  |
| 1.4 Effetti della musica sulle piante .....   | 9  |
| 1.4.1 Esperimenti di biocomunicazione .....   | 16 |
| 2. Fibonacci e la sezione aurea.....  | 19 |
| 2.1 La sequenza di Fibonacci .....  | 19 |
| 2.2 Il numero aureo e la natura.....  | 20 |
| 2.3 Fibonacci in natura .....   | 23 |
| 2.4 Fibonacci nella musica .....  | 25 |
| 3. Applicazioni in vigneto di musica e ultrasuoni.....  | 26 |
| 3.1 Il Vigneto di Mozart.....   | 26 |
| 3.2 Effetti dei segnali vibrazionali sullo <i>Scaphoideus titanus</i> .....                         | 30 |
| 3.3 Utilizzo di segnali vibrazionali contro l'accoppiamento di <i>Homalodisca vitripennis</i> ..... | 33 |
| 3.4 Studio sul microbioma di foglie di vite esposte alla musica .....                               | 40 |
| 3.5 L'uso della Protéodie nei vigneti e nelle cantine francesi.....                                 | 43 |
| 3.6 Conseguenze degli ultrasuoni sui precursori tiolici delle uve.....                              | 49 |
| 4. Discussione .....  | 54 |
| 5. Conclusioni .....  | 59 |
| Bibliografia .....  | 60 |
| Ringraziamenti.....   | 63 |

## PREMESSA

Questo elaborato ha come obiettivo quello di illustrare l'utilizzo della musica e degli ultrasuoni nella viticoltura come tecnica innovativa di prevenzione delle avversità della vite, quali patogeni, insetti, malattie, ed altri fattori ambientali sfavorevoli come la siccità.

In particolare, viene sviluppato il loro impiego contro il vettore della flavescenza dorata, lo *Scaphoideus titanus*, e nei confronti della specie *Homalodisca vitripennis*, vettore del batterio *Xylella fastidiosa*, il quale è responsabile della malattia di Pierce.

Viene anche esposto l'uso della Protéodie all'interno dei vigneti e delle cantine francesi, dove queste “melodie delle proteine” agiscono sulla biosintesi proteica delle piante, amplificando la resistenza delle viti nei confronti del mal dell'esca.

# 1. La musica e i suoi benefici

## 1.1 Ruolo della musica nel corso della storia

Tutti i popoli del mondo, anche quelli più isolati, sin dai tempi antichi possiedono forme musicali che sembrano essere nate in maniera spontanea.

Facendo un excursus temporale, sappiamo che nel mondo greco la musica veniva eseguita in diverse occasioni, non solo religiose, come invece accadeva per i popoli egizi e mesopotamici, e si distingueva in modo netto la musica sacra da quella di uso profano, una distinzione che ancora oggi viene adottata. Per i greci, però, la parola *mousiké (techne)* significava qualcosa di più rispetto a quello che intendiamo noi oggi per musica: indicava “l’arte della Muse”, cioè l’insieme di poesie, melodia e danza. Era così per gli aedi omerici, ovvero i “cantori”, o per i lirici, chiamati così perché si accompagnavano con la *lyra*, o per la tragedia, in cui il *coro* eseguiva le parti cantate o danzate. Per gli antichi greci, quindi, il *mousikòs* non era lo strumentista, ma l’uomo capace di cogliere l’espressione artistica in tutte le sue dimensioni: parola, suono e gesto (Bencivelli, 2015).

Le cose cambiarono con l’avvento del pensiero romantico, nel XIX secolo, quando iniziò ad essere presa in considerazione la capacità della musica di riuscire a comunicare anche senza l’uso delle parole, tanto da ribaltare la situazione e da considerarla la più nobile delle arti. “Di tutte le belle arti è (la musica) quella che agisce più immediatamente sull’anima”, così l’ha definita la Staël (Leopardi, 1898). Mentre Nietzsche, grande conoscitore della musica, oltre che pianista a livello dilettantistico, scrisse: “Si è mai notato che la musica rende libero lo spirito? Mette ali al pensiero? E che si diventa tanto più filosofi quanto più si diventa musicisti?” (Masini, 1981).

Fu proprio da questi pensieri che nella seconda metà dell’Ottocento ci si comincia a chiedere perché l’uomo, a differenza degli altri animali, coltiva una passione speciale per i suoni “inutili”. La prima risposta arrivò nel 1871, da Charles Darwin: <<A proposito di selezione sessuale, vedremo che l’uomo primitivo, o piuttosto un qualche antico progenitore dell’uomo, probabilmente ha usato per la prima volta la sua voce per produrre vere e proprie cadenze musicali, cioè per cantare, come fanno oggi i gibboni. E potremo concludere, utilizzando un’analogia largamente diffusa, che questa capacità sia stata utilizzata soprattutto durante il corteggiamento, esprimendo diverse emozioni come l’amore, la gelosia, la vittoria, e che sia servita per sfidare i rivali. È quindi probabile che l’imitazione delle grida musicali con suoni articolati abbia dato origine a parole capaci di esprimere varie emozioni complesse.>> (Charles Darwin, 1871).

Per Darwin, dunque, la produzione di suoni “cantati” avrebbe preceduto e causato la comparsa del linguaggio.

Per molti studiosi dell'Ottocento la musica era un linguaggio autonomo da scoprire e prendere in considerazione con dei canoni propri. Spesso per farlo bisognava basarsi su metodi scientifici, in particolare matematici. Queste considerazioni sono nate nel periodo dell'Antica Grecia, dove Pitagora, considerato il primo teorico della musica nel mondo occidentale e fondatore a Crotone della Scuola Pitagorica, iniziò ad indagare sulla musica.

Pitagora fu il primo a vedere una correlazione tra la matematica e gli intervalli musicali; si accorse infatti che il rapporto tra due suoni diversi si poteva descrivere come un rapporto tra numeri interi, come  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $4/5$ . Non a caso, per il filosofo greco la matrice di tutte le cose risiedeva nei numeri, e il loro ordine creava l'armonia su cui si fonda il mondo. Siccome la musica è la scienza dell'armonia, per Pitagora i rapporti musicali potevano esprimere anche la natura dell'armonia universale (Abbagnano e Fornero, 1992).

## 1.2 Effetti della musica sull'uomo

Molto prima che la scienza cominciasse ad indagare sull'interesse dell'uomo per la musica, questa ha cominciato ad essere utilizzata come mezzo terapeutico. La sua capacità di rilassare, avvicinare le persone e stimolare la comunicazione ha sempre fatto della musica un potente strumento per la ricerca del benessere, sia in condizioni di salute che di malattia o sofferenza (Bencivelli, 2015).

Una delle prime teorizzazioni riguardo agli effetti benefici della musica sui malati riguarda la malattia mentale. Pochi anni dopo il tentato suicidio di Schumann, il celebre compositore, pianista e critico musicale tedesco, in Italia cominciarono le prime esperienze di musicoterapia all'interno di un manicomio. Più precisamente, ebbero luogo nella laguna di Venezia, nel manicomio femminile di San Clemente, situato a fianco del più antico e famoso manicomio di San Servolo. Il suo primo direttore, Cesare Vigna, caro amico di Giuseppe Verdi, fece costruire all'interno della struttura una sala dedicata all'ascolto della musica da parte dei pazienti. Secondo gli scritti riportati da Vigna su "l'influenza morale e fisiologica della musica sul sistema nervoso", si evince che la musica può essere usata come cura per la psicopatia (Vigna, 1880). La musica infatti poteva partecipare alla rieducazione morale del malato psichiatrico, che nell'Europa dell'Ottocento veniva considerata fondamentale per la guarigione dei disturbi mentali (Bencivelli, 2015).

La musicoterapia ha radici antichissime: molto prima che le venisse affidato questo nome, c'era già chi utilizzava in maniera consapevole la musica per lenire il dolore o la sofferenza psicologica. Si hanno prove di ciò anche nella Bibbia, dove si racconta che quando re Saul era turbato da uno spirito cattivo: <<Davide prendeva in mano la cetra e suonava: Saul si calmava e si sentiva meglio e lo spirito cattivo si ritirava da lui>> (Antico Testamento, 1 *Samuele* 16,23) (Figura 1).



Figura 1 – Ernst Abraham Josephson, David e Saul, 187, olio su tela, 110,5x144 cm, Stoccolma, Museo Nazionale svedese.

Lo stesso succedeva in tutte le società del mondo antico, tra i cinesi, gli indiani, le popolazioni africane e quelle andine, dove la musica veniva impiegata per raggiungere il benessere e per curare i sofferenti. Gli stessi greci ne traevano beneficio: il Dio della medicina Esculapio utilizzava la musica per guarire i malati, mentre Platone e Aristotele teorizzavano l'impiego di danze e suoni nelle condizioni di disagio sociale e psicologico. Lo stesso Confucio sosteneva che <<il godimento della musica forma l'armonia interiore>> (Confucio, *Dialoghi*).

Oggi il termine *musicoterapia* significa soprattutto utilizzare suono, musica e movimento per migliorare la comunicazione o per ottenere alcuni particolari benefici terapeutici in certe categorie di soggetti, come anziani o bambini con handicap. In Italia la musicoterapia è utilizzata soprattutto per i bambini autistici o che hanno problemi di comunicazione, handicap sensoriali o ritardo mentale, ma la si impiega anche sugli adulti con malattia di Alzheimer o altre forme di demenza, oltre che per malattie neurodegenerative come il Parkinson.

In Europa esistono varie esperienze del suo utilizzo sul tinnito, sull'epilessia, sulla cefalea cronica in adulti e bambini, e sulla riabilitazione linguistica. Infine, ci sono musicoterapie studiate per la riabilitazione motoria dei malati di sclerosi multipla e dei pazienti che hanno subito un ictus, che sono quindi rimasti parzialmente paralizzati: seguendo il ritmo di una determinata musica, possono migliorare la loro andatura e riuscire a camminare con più agilità (Bencivelli, 2015).

Osservando altri benefici, è noto che la musica riduce la secrezione del cortisolo, un ormone legato allo stress, perciò ne evince che se la musica è un canale preferenziale nella modifica del funzionamento del SNA (State-Trait Anxiety), essa ha un determinato condizionamento verso l'induzione delle emozioni. Questo fa sì che la musica possa essere utilizzata in ambito terapeutico in diversi casi, come nel disturbo di apprendimento, nei disturbi di attenzione, nella riabilitazione in alcuni tipi di deficit uditivi centrali, nei disturbi del comportamento sociale e in alcune forme di patologia psichica.

La musica è una funzione complessa che coinvolge e stimola ampie reti neurali. È inoltre accessibile a tutti, almeno in quanto fruitori, e comprensibile anche ai bambini piccoli senza alcuno sforzo. Inoltre, la pratica della musica sembra poter modificare entro certi limiti le connessioni cerebrali e migliorare anche alcune capacità non musicali. Infatti, se alcune funzioni necessarie alla comprensione e produzione della musica sono in parte specifiche, altre sembrano essere condivise con funzioni diverse, ad esempio con il linguaggio.

Lo studio della musica permette anche di sviluppare la memoria, l'attenzione, la capacità d'interazione, la coordinazione motoria e altre funzioni che ritroviamo in numerose attività umane.

Ricerche interessanti vengono condotte dal Professore Carlo Ventura, Specialista in Cardiologia e di Ricerca in Biochimica, secondo cui riparare le cellule danneggiate facendo uso di suoni, campi magnetici e luce sarà una delle tecniche più all'avanguardia nei prossimi decenni (Pignatta, 2016). Presso il laboratorio di Biologia Molecolare del CNR di Bologna, Ventura sta conducendo degli studi sull'effetto delle vibrazioni sonore sulle cellule staminali umane adulte; tramite uno speciale microscopio a forza atomica, ha infatti scoperto come comunica la cellula attraverso le vibrazioni sonore a livello delle sue strutture subcellulari.

«Utilizzando campi magnetici opportunamente convogliati – dichiara Carlo Ventura in un'intervista apparsa su *Scienza e Conoscenza* n°57, 2016 – ci siamo resi conto che era possibile far acquisire a cellule staminali umane adulte (ottenute per esempio da tessuto adiposo) caratteristiche simil-embriionali, cosa che le ha rese in grado di orientarsi verso destini complessi, quali quello cardiaco, neuronale, muscolare, scheletrico».

Ogni cellula produce delle vibrazioni meccaniche quando reagisce a suoni, oscillazioni dei campi magnetici o luci, ed è un'energia fisica che può essere utilizzata per riprogrammare delle cellule malate verso l'autoriparazione (Figure 2 e 3).

«Noi crediamo che in base al potere diffusivo delle energie fisiche che utilizziamo per riprogrammare le cellule staminali (finora in vitro) sia possibile raggiungere le staminali dove queste si trovano, di fatto in ogni tessuto del corpo umano, senza dover necessariamente ricorrere a un trapianto di cellule esogene, ma piuttosto riattivando la capacità delle cellule staminali tessuto-residenti di innescare un percorso di autoguarigione» (Magnetti, 2019).

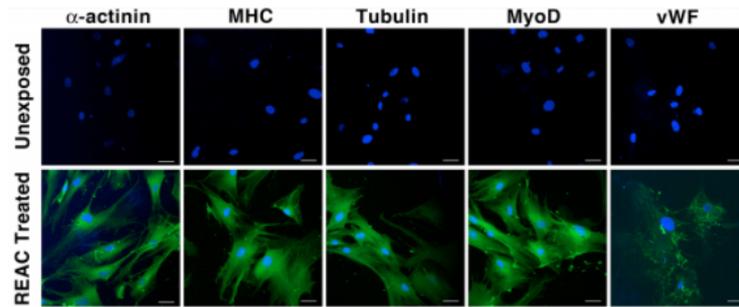


Figura 2 – Rappresentazione delle cellule staminali di tessuto adiposo sottoposte e non sottoposte a campi radioelettrici.

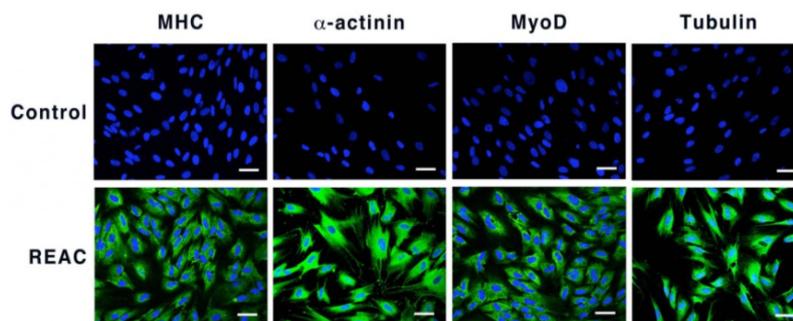


Figura 3 – Riprogrammazione di fibroblasti umani cutanei in cellule miocardiche (MHC,  $\alpha$ -actinin), muscolari scheletriche (MyoD) e neuronali (Tubulin) mediante esposizione a campi radio elettrici convogliati con tecnologia REAC.

Recentemente è stato pubblicato sulla prestigiosa rivista Nature Communications, da un team di scienziati dell'Università di Buffalo e dell'Hauptman Woodward Medical Research Institute (HWI), uno studio che ha dimostrato che le proteine del corpo umano vibrano come le corde di uno strumento musicale. Grazie ad una speciale tecnica sviluppata appositamente e basata sulla microscopia a terahertz, sono riusciti a registrare esattamente le vibrazioni del lisozima, una proteina antibatterica, presente in molti animali e nell'uomo.

Questi piccoli movimenti, che persistono nelle molecole come il suono di una campana, consentono alle proteine di legarsi tra loro in maniera tale da riuscire a sostenere tutte le funzioni biologiche vitali. Sin dai tempi antichi, la musica tradizionale è stata usata con scopi terapeutici. Molti sciamani hanno trovato delle melodie che interagivano con lo stato di salute dei loro pazienti. Ripetendo queste musiche in maniera ciclica, in particolare determinati passaggi che sono frammenti di Protéodies, si ha la probabilità di riuscire ad “agganciare” una sequenza di aminoacidi che possiedono una sequenza pressoché identica di intervalli di frequenza in un processo di sintesi. Durante queste pratiche solitamente c'è un momento in cui lo sciamano, in uno stato di trans, riesce a trovare “l'aria giusta”, che canta alla persona che sta curando, e riesce a migliorare lo stato di benessere del paziente.

Si può quindi ipotizzare che la vita abbia una propria sinfonia che nasce dalle proteine dei corpi animati, ciascuno dei quali vibra con le proprie caratteristiche.

Attraverso la sua “musica” il corpo riesce ad eseguire diverse funzioni biologiche fondamentali come ad esempio assorbire ossigeno, riparare le cellule e duplicare il DNA.

Come ribadito dal Professore Carlo Ventura, ogni unità biologica vibra in maniera differente a seconda del suo stato di salute e dell’attività che sta svolgendo. La differenza di suono più evidente è fra le cellule sane e quelle sofferenti, che producono un suono molto simile ad un rumore sgradevole (Magnetti, 2019).

### 1.3 Effetti della musica sugli animali

Anche per le specie animali la musica può essere un’ottima fonte di benessere, sia fisico che psicologico. Un esempio ormai noto è l’uso della musica nelle stalle con bovini e ovini. Nell’Università di Wisconsin-Madison è stato dimostrato che l’ascolto di musica sinfonica da parte delle vacche porta ad un aumento nella produzione di latte del 7,5%, oltre che a predisporle maggiormente a riunirsi nella stalla, proprio quando la musica viene riprodotta. Le sonorità della musica classica portano un alto grado di benessere a queste specie, e si sono riscontrati dati positivi anche con gli animali da cortile, in grado di produrre un maggior numero di uova. Esperimento simile è stato condotto nel 2015 durante CremonaFiere, dove tre musicisti di fama internazionale si sono esibiti in un “Happy Cow Concert” (Figura 4). Sulla base degli studi effettuati alla Leicester University, l’Azienda Agricola “Cantarane” ha accettato di ospitare questo evento culturale, principalmente per mostrare al pubblico l’importanza della musica classica al di fuori del contesto culturale a cui si è abituati a vederla.





Figura 4 – I pianisti Kern e Prosseda e il violinista Von Arx per il progetto “Happy Cow Concert”, svoltosi nell’azienda agricola “Cantarane” durante l’edizione 2015 di CremonaFiere. Questi tre musicisti di fama internazionale si sono esibiti per le vacche presenti in stalla al fine di monitorare gli effetti della musica classica sulla produzione di latte.

Il mondo scientifico ha sollecitato la ricerca di soluzioni di arricchimento ambientale anche per i cani dei canili (Osella, 2005).

L'uso della “musicoterapia” nei rifugi per animali abbandonati o in difficoltà è stata una delle applicazioni pratiche messe in atto per migliorare l’ambiente dei canili e renderlo più ospitale. Sembra proprio che la musica aiuti a portare sollievo e a rendere questi animali sofferenti meno nervosi durante le lunghe soste in spazi chiusi e stretti.

Facendo un esempio con il cane domestico, questo si sa che necessita di varie componenti ambientali, animate ed inanimate. Il contatto sociale, sia con altri cani che con gli esseri umani, è essenziale e dovrebbe essere considerato uno degli aspetti principali da tenere in considerazione per rendere più ricchi gli ambienti per questi individui reclusi. Detenere i cani in condizioni di isolamento sociale può determinare l’insorgenza di deficit comportamentali, quali apatia, inattività e risposte fisiologiche allo stress, incluso l’aumento delle concentrazioni di cortisolo nella saliva e nell’urina. L’inserimento della musica, insieme a giocattoli appropriati, odori ed attrezzature adeguate da gabbia, contribuiscono a migliorare le condizioni abituali e ripetitive che si vanno a creare in quegli ambienti, rendendo quindi il benessere animale maggiore, con un più alto grado di sopportazione dell’ambiente in cui si trovano (Osella, 2005).

#### 1.4 Effetti della musica sulle piante

È noto l’effetto che la musica ha sugli esseri umani, ma anche le piante sono oggetti viventi che respirano e crescono. Alcuni scienziati sono del parere che quest’ultime siano prive di sistema nervoso, e quindi che non possano percepire o rispondere alla musica, e invece è stato dimostrato che le piante sono in grado di rispondere a degli stimoli, e la musica è lo stimolo sonoro per eccellenza.

Uno dei primi ad apprendere il comportamento delle piante in risposta a varie sollecitazioni è stato Sir Jagadish Chandra Bose (Bose, 1902; Bose, 1906).

La musica è una miscela armoniosa di differenti frequenze e vibrazioni, e possiede molte forme, qualità e altezze. È stato osservato che diversi tipi di suono influiscono in modo diverso sulla salute delle piante. Oltre agli effetti meccanici ed elettromagnetici, la ricerca mostra anche gli effetti trasmessi dalla musica sotto l'aspetto emozionale. Una determinata melodia, che risulta gradita al pubblico, ha delle influenze positive anche nei confronti dei vegetali presenti nella stessa stanza, che entrano in risonanza con le emozioni provate dagli esseri umani.

Sin dai tempi più antichi, i rituali agricoli erano quasi sempre caratterizzati da canti e musica, volti al propiziarsi delle stagioni, per aiutare a far germogliare, crescere ed alleviare l'operazione di raccolta. Gli effetti della musica sulle piante si differenziano molto, soprattutto in base alle diverse sfere d'influenza e agli aspetti tecnici considerati. Si possono quindi determinare: gli effetti meccanici del suono, ovvero risonanza, pressione e vibrazioni, gli effetti elettromagnetici del suono, condotti anche da risonanze, fenomeni elettromagnetici e vibrazioni energetiche, e gli effetti dell'aspetto emozionale della musica sulle piante, perché si è visto che le piante sono sensibili alle emozioni e ai pensieri (Prisa, 2018).

Numerosi sono i metodi e le tecniche che possono essere utilizzate, con diversi tipi di musica e di suoni. Ad esempio, oltre all'uso della musica in generale si può far riferimento alla musica delle proteine, la Protéodie, che consiste in melodie speciali utilizzate per regolare la biosintesi proteica delle piante. Oppure c'è la tecnica Sonic Bloom, sviluppata da Dan Carlson, o l'utilizzo degli ultrasuoni per lo sviluppo delle piante, o l'uso di frequenze sonore specifiche e di musica sintonizzata a 432 Hz (Prisa, 2018).

Si è notato che suoni forti e disarmonici possono rovinare la salute di una pianta. La musica ritmica, più morbida, è migliore per lo sviluppo dei fiori e per la crescita delle piante, oltre che per aumentarne le dimensioni ed influenzarne la salute generale. La musica raga indiana ha avuto un forte impatto positivo sulla produzione di proteine vegetali su piante come grano, spinaci, soia e riso (Reddy et al., 2013), come le vibrazioni musicali che hanno stimolato la germinazione dei semi di okra e delle zucchine (Creath e Schwartz, 2004).

La musica non solo accelera la crescita, ma influenza anche in modo significativo la concentrazione di vari metaboliti, come clorofilla e amido (Chowdhury e Gupta, 2015). Esperimenti di Chivukula e Ramaswamy hanno mostrato che la vibrazione rilassante, sotto forma di canti vedici e indiani, oltre che della musica classica indiana, ha sostenuto la crescita della rosa, a differenza della musica rock che ne ha rallentato lo sviluppo.

Studi svolti su piante di vite, allevate sia in vaso che in campo, hanno invece dimostrato che le piante trattate con la musica evidenziavano una superficie fogliare maggiore rispetto a quelle non trattate, con grandi risvolti sulla qualità del vino e sulla diminuzione degli attacchi degli insetti e dei parassiti alle piante di oltre il 50% (Prisa, 2018).

L'acido indolacetico (IAA) è un ormone vegetale essenziale che aiuta nella crescita e nello sviluppo delle piante. Zhu e collaboratori hanno osservato che il contenuto di IAA nelle piante è stato rilevato ad un livello maggiore in sei specie di piante vegetali esposte a frequenze acustiche musicali rispetto alle piante di controllo. In uno studio condotto in Giappone (Yi et al., 2003) hanno riferito che la stimolazione sonora ha aumentato il metabolismo delle radici, e quindi la crescita, di piante di crisantemo, mentre Vanol e Vaidya (2014) hanno applicato suoni di varie frequenze e tipi (musica classica, musica rock ritmica e rumore del traffico non ritmico) alle piante di Guar, e successivamente monitorato parametri come il numero di semi germinati nelle capsule, il dislivello delle piante e il numero di foglie per 13 giorni su base giornaliera. I loro risultati hanno mostrato un effetto positivo sull'esposizione alla musica classica e alla musica rock ritmica e un effetto negativo del rumore del traffico non ritmico rispetto alle piante di controllo.

Al contrario altri ricercatori (Singh et al., 2013) hanno dimostrato che, rispetto al silenzio, qualsiasi tipo di suono favorisce la crescita nelle piante di fagiolo. L'esposizione al suono ha aumentato il contenuto di ossigeno e il livello di poliammine nel cetriolo e nel cavolo cinese, migliorando così la salute generale delle piante (Qin et al., 2003). I risultati hanno anche suggerito che le onde sonore ad alta frequenza ritardano la crescita di *Aspergillus spp.*, un tipo di fungo che può portare a marcescenza (Chowdhury e Gupta, 2015).

Il suono è un'onda e la musica è un tipo specifico di suono melodioso. Queste onde, capaci di muoversi attraverso mezzi elastici, sono caratterizzate da frequenze specifiche. Le piante, essendo organismi viventi, vengono colpite dagli stimoli esterni, perciò molti ricercatori hanno utilizzato le frequenze delle onde sonore per studiarne il loro effetto sulle piante. Collins e Foreman (2001) hanno sottoposto piante di fagiolo e di balsamina (*Impatiens balsamina* L.) a suoni di frequenze diverse (5000 Hz, 6000 Hz, 12000 Hz e 14000 Hz). Le piante sono state tenute all'interno di una camera, in condizioni ambientali simili e favorevoli alla loro crescita, e le onde sonore sono state dirette verso di esse. Il processo di movimento del diaframma dell'altoparlante, avanti e indietro, ha generato un'onda nell'aria. La porzione di compressione dell'onda ha generato una pressione aumentata, e la rarefazione ha generato una pressione ridotta che si è propagata lungo la superficie delle foglie, creando un'azione di sfregamento o spazzolatura sulla superficie fogliare. Ciò ha permesso la

rimozione del film di umidità che si era creato e ha facilitato la respirazione o la traspirazione della foglia. La crescita migliore è stata osservata sia in piante di fagiolo che di balsamina, quando la lunghezza d'onda del suono riprodotto corrispondeva alla dimensione della foglia della pianta (Collins e Foreman, 2001). Xiujian e il suo team hanno riportato che l'onda sonora ha accelerato la sintesi di RNA e delle proteine solubili, che hanno aumentato il livello di trascrizione e, a loro volta, hanno promosso una crescita migliore (Xiujian et al., 2003).

Il metabolismo nelle piante può essere fortemente influenzato dalla musica. Si dice che le piante si comportino in modo diverso a diversi tipi di musica e frequenza. Sternheimer, fisico e musicista francese, ha creato melodie che apparentemente aiutano le piante a crescere. Le note sono progettate sulla base delle vibrazioni quantistiche che si verificano a livello molecolare mentre una proteina viene assemblata dai suoi amminoacidi costituenti. La durata di una nota corrisponde al tempo reale impiegato da ciascun amminoacido per seguire il successivo. Quindi, suonando la melodia appropriata, la produzione di proteine aumenta nella pianta e quindi la sua crescita viene stimolata. Sternheimer ha osservato che i pomodori esposti a tali melodie sono cresciuti due volte e mezzo meglio di quelli di controllo; anche la crescita dei virus nelle piante di pomodoro potrebbe essere fermata suonando melodie che inibiscono gli enzimi essenziali per la loro comparsa (Chowdhury e Gupta, 2015; Coghlan, 1994).

Si è riscontrato che il tasso di crescita, in termini di altezza e biomassa, è aumentato rispettivamente del 20% e del 72% con trattamenti di sottoposizione a musica raga indiana suonata su strumenti musicali indiani, come flauto, violino e harmonium. Un effetto positivo simile è stato osservato nelle colture in pieno campo, come l'incremento dimensionale compreso tra il 25% e il 60% rispetto alle altre colture regionali. Petunie e calendule sono fiorite due settimane prima del tempo previsto quando esposte al ritmo del bharatnatyam, un antico stile di danza classica indiana. Cai et al. (2014), hanno esposto il fagiolo verde a suoni di frequenze tra i 1000–1500 Hz, 1500–2000 Hz e 2000–2500 Hz, e ne hanno misurato lo sviluppo in termini di tempo medio di germinazione, lunghezza e peso dello stelo e radice sviluppata. Hanno riportato una significativa riduzione del tempo di germinazione e un aumento della crescita delle piantine esposte a una frequenza di 2000 Hz e un'intensità di 90 dB.

La frequenza del suono udibile può stimolare l'apertura degli stomi fogliari, e quindi facilitare la pianta ad assorbire più rugiada, più energia luminosa e aiutarla a crescere meglio. Ci si aspetta che un suono udibile con determinate frequenze consenta anche una migliore respirazione e assorbimento dei nutrienti. Le vibrazioni nelle foglie delle piante sono causate dalle onde sonore. L'energia sonora viene anche riflessa e infranta intorno alle foglie e può quindi influenzare gli insetti vicino alle piante. Non solo, alcuni ricercatori riferiscono addirittura che le piante emettono anche onde acustiche (Gagliano, 2013). La Plant Acoustic Frequency Technology (PAFT) utilizza un generatore di

frequenza acustica per produrre un'onda acustica appropriata che è simile alla frequenza del suono specifico della pianta stessa. È stato riportato che se la frequenza emessa risuona con la frequenza naturale della pianta, il tasso di fotosintesi e la divisione cellulare aumentano, portando ad una crescita più rapida e riducendo il tempo di fruttificazione per le piante sotto trattamento, rispetto a quelle piante di controllo. Gli esperimenti condotti con patate dolci, cetrioli e pomodori hanno indicato un miglioramento della qualità del raccolto e una maggiore capacità di resistenza alle malattie. Le rese di patate dolci, cetrioli e pomodori esposti alle frequenze specifiche sono state del 63,05%, 67,1% e 13,2% superiori a quelle del gruppo di controllo, rispettivamente (Menga et al., 2012; Gagliano, 2013).

Hou et al. (1994) hanno misurato le emissioni dalle foglie di filodendro e hanno scoperto che producevano una frequenza da 50 Hz a 120 Hz. Hanno anche osservato che queste foglie accettavano stimoli esterni di frequenza inferiori a 150 Hz e mostravano una buona risposta in termini di crescita. I fertilizzanti chimici e i pesticidi sono pericolosi per le piante e, a loro volta, per la popolazione umana che consuma il loro prodotto. Vari studi hanno dimostrato l'effetto positivo delle onde sonore, inclusa la musica, su varie parti di piante che alla fine hanno portato a una resa migliore e sana delle piante. Sulla base del tempo di esposizione, dei livelli di pressione sonora e delle frequenze, in generale le piante hanno mostrato un trend di crescita positivo e un migliore sistema immunitario. È noto che il suono a bassa frequenza attiva gli enzimi, aumenta la fluidità cellulare e migliori altri parametri di crescita, come la replicazione del DNA e il ciclo cellulare, perché il protoplasma, nelle piante, è in uno stato continuo di movimento. Con l'esposizione alla musica questo movimento viene accelerato, portando a una maggiore crescita e una maggiore produzione (Hassanien et al., 2014).

Dorothy Retallack (1973) ha condotto diversi esperimenti per osservare l'effetto di vari tipi di musica sulle piante, tutti con risultati positivi per la loro crescita. La musica classica di frequenza, intervallo e ritmo specifici ha influenzato positivamente la crescita delle radici e la divisione mitotica nelle piante di cipolla. Mi-Jeong e colleghi hanno riprodotto 14 brani differenti di musica classica, inclusi pezzi di Beethoven, sulle piante di riso, monitorandone l'espressione genica. Il suono udibile alle frequenze 125Hz e 250Hz ha reso i geni più attivi per il processo di traduzione del codice del DNA, soprattutto durante il processo biologico di crescita (Robertson, 2015; Ekici et al., 2007; Coghlan, 1994).

Nell'indagine pilota di Chowdhury e Gupta (2015), gli autori hanno studiato gli eventuali effetti della musica indiana leggera e della musica da meditazione sulla crescita e la salute delle piante di calendula, l'effetto del rumore sulle piante di calendula e lo sviluppo della germinazione su piante di cece in seguito ad esposizione alla musica.

Questa indagine è stata suddivisa in tre sottogruppi, e ogni sottogruppo ha scelto un tipo specifico di frequenza acustica tra “Meditation Music”, “Light Indian Music” e “Noise”.

Per ogni sottogruppo sono state prelevate due piante, alte circa un metro e mezzo e poste in due vasi diversi, con presenti tutte le condizioni di base necessarie per la loro crescita, come aria, acqua, luce e fertilizzante. Un vaso è stato scelto come "Pianta da trattamento" (contrassegnato con T) e l'altro come “Pianta di controllo” (contrassegnato con C). Ogni giorno, il tipo di suono selezionato è stato riprodotto ripetutamente per quattro ore sull'impianto contrassegnato con “T” e durante questo periodo l'altro impianto, contrassegnato con “C”, non è stato esposto a nessuna onda audio specifica. Lo studio è proseguito per un intero mese su ciascuno dei tre gruppi di piante. Il modello di crescita di ciascuna di esse è stato monitorato regolarmente, una volta alla settimana, basandosi su determinati parametri come l'altezza raggiunta, il numero di gemme e fiori apparsi insieme alla crescita generale. La crescita delle foglie è stata valutata anche in termini di numero e dimensione.

Separatamente, è stato condotto un altro esperimento per osservare la germinazione dei semi di cece in presenza di “Musica leggera indiana”. In ogni vaso sono stati seminati trenta semi ed è stato registrato il numero di semi che ha germinato, oltre che la loro salute generale.

Con l'utilizzo della musica leggera indiana è stato osservato che l'altezza raggiunta dalla pianta di calendula trattata (T) era migliore di quella non trattata (C), oltre al numero di gemme e di fiori, sempre più alti sulla pianta trattata. All'inizio dello studio è stata segnata una foglia in particolare su ogni pianta, in modo tale da poterne monitorare la crescita; anche in questo caso si ha avuto un maggiore sviluppo in lunghezza, e quindi in area fogliare, con l'esposizione alla musica. Nella Figura 5 sono mostrate le fotografie scattate dell'Impianto di controllo (C) e dell'Impianto di trattamento (T) per la musica leggera indiana (Chowdhury e Gupta, 2015).

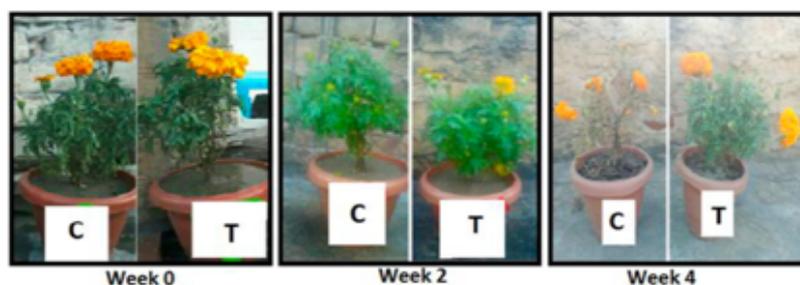


Figura 5 – Vari stadi delle piante di calendula esposte alla musica indiana leggera. Chowdhury e Gupta, 2015.

Allo stesso modo, nell'esposizione alla musica da meditazione, i diversi fattori che vengono selezionati come attributi di crescita, cioè l'altezza raggiunta, il numero di gemme e fiori, inclusa la lunghezza delle foglie, sono sempre più alti nella pianta di calendula trattata. Si denota quindi che in

generale la crescita osservata nella pianta sottoposta alla musica (T) è migliore e più rapida di quella che non ascolta la musica (C) (Figura 6).

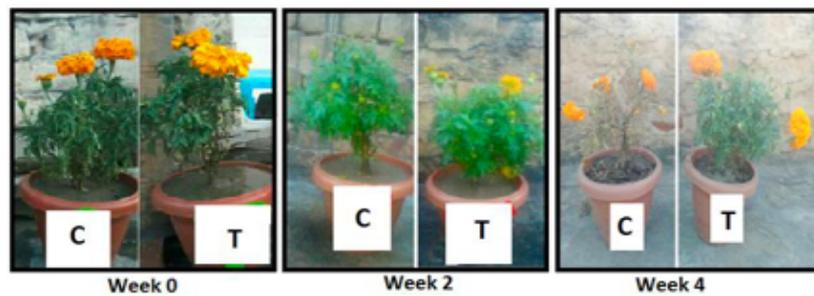


Figura 6 – Le piante di controllo (C) e quelle sottoposte alla musica da meditazione (T). Chowdhury e Gupta, 2015.

Sotto l'esposizione al rumore, sia le piante trattate che le piante di controllo di calendula hanno mostrato modelli di crescita simili all'inizio, ma dalla seconda settimana in poi il numero di gemme è leggermente diminuito nella pianta trattata (T). Nella terza e quarta settimana si è verificata una forte riduzione del tasso di crescita della pianta esposta al rumore in termini di minor numero di gemme, fiori e crescita delle foglie. L'impianto trattato con rumore ha finalmente iniziato l'essiccamento. Durante la quarta settimana la pianta sottoposta al rumore (T) ha iniziato a seccarsi, a differenza del relativo impianto di controllo (Figura 7).

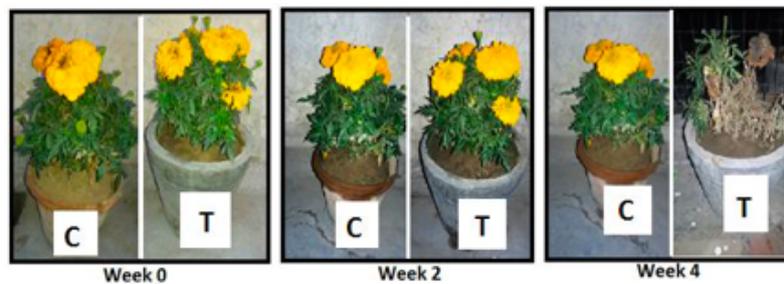


Figura 7 – Differenza tra le piante senza trattamento (C) e con trattamento (T) al rumore.

Chowdhury e Gupta, 2015.

Nell'esperimento di germinazione delle piante di cece, già dal secondo giorno dopo la semina si potevano notare i germogli, in numero di tre nel vaso trattato (T) e due nel vaso di controllo (C). Nei giorni successivi lo sviluppo è stato notevole; il quarto giorno vi erano 16 germogli nel vaso trattato con musica e 7 nell'altro, mentre il sesto giorno il numero era salito a 23 (T) e a 12 (C). Per tutta la durata della germinazione e dello sviluppo dei germogli, quelli esposti a musica indiana leggera (Indian Light Music) fiorivano meglio rispetto a quelli di controllo. Inoltre, la musica ha favorito un incremento nel numero dei germogli, mentre la crescita era diminuita (Figura 8).

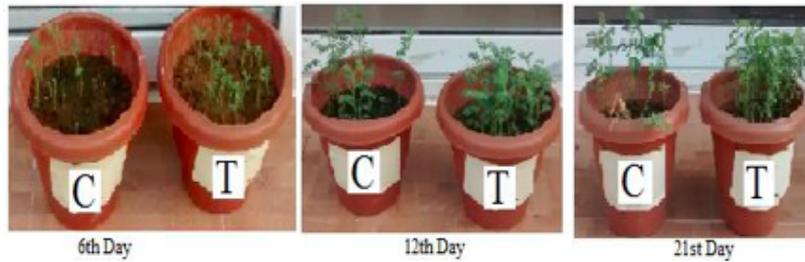


Figura 8 – Varie fasi della germinazione e dello sviluppo dei semi di cece esposti alla musica indiana leggera.  
Chowdhury e Gupta, 2015.

Gli esperimenti hanno quindi mostrato che le morbide frequenze udibili ritmiche accelerano la germinazione dei semi, la crescita e lo sviluppo delle piante. Presumibilmente, la musica porta ad un più rapido assorbimento dei nutrienti dal suolo e ad una diversa produzione di metaboliti, che permettono una crescita migliore. Dall’esperimento è infatti emerso che l’altezza, il numero delle foglie e le piante complessivamente erano più sviluppate e più sane sotto l’esposizione a frequenze musicali. Lo stesso non è valso per il rumore, che è una sovrapposizione non ritmica e disarmonica di varie frequenze audio, e che ha dimostrato di avere un effetto negativo sulla crescita delle piante (Chowdhury e Gupta, 2015).

L'uso di specifiche frequenze udibili, inclusa la musica, può quindi indurre dei benefici all’agricoltura, inclusi gli aspetti produttivi. Allo stesso tempo, potrebbe ridurre il fabbisogno di fertilizzanti chimici tossici e pesticidi e, quindi, ridurre l'inquinamento ambientale e facilitare il benessere di piante, animali ed esseri umani (Chowdhury e Gupta, 2015).

#### 1.4.1 Esperimenti di biocomunicazione

Sin dal 1950 sono stati effettuati numerosi esperimenti in cui differenti specie vegetali sono state sottoposte a stimoli sonori. Uno tra i primi a incuriosirsi sull’argomento, ispirato dalle conclusioni tratte dal fisico botanico Sir. Jagadish Chandra Bose, fu uno specialista in interrogatori per la CIA, il signor Cleve Backster, che negli anni ‘60 fece una scoperta straordinaria che lo portò ad elaborare la sua teoria della “percezione primaria”. Nel 1966 provò a collegare un poligrafo, comunemente conosciuto come “macchina della verità”, ad una pianta e si accorse che questa rispondeva generando una resistenza elettrica.

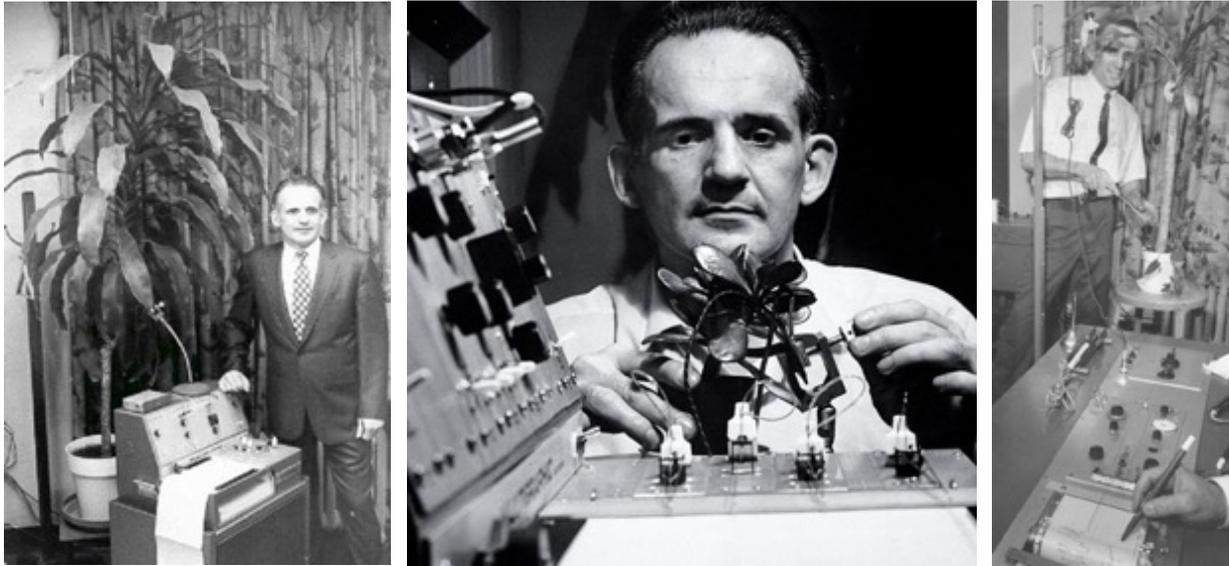


Figura 9 – Cleve Backster che effettua prove su piante con la macchina della verità.

L'esperimento iniziò per curiosità; Backster mise delle piante sotto un flusso d'acqua per riuscire a scoprire quanto tempo ci avrebbe messo l'umidità a risalire verso le estremità, e decise quindi di collegare il poligrafo per poterne misurare la resistenza sulle foglie e ottenere delle registrazioni cartacee. Quello che notò come risposta sul foglio però, era molto più simile a una risposta umana, in particolare di una persona che è sottoposta a un test della verità. Iniziò quindi a testare varie situazioni fisiche, come immergere la pianta in bevande calde, ma non ebbe grandi risultati, finché non immaginò di bruciare una foglia. Non fu necessario parlare, né toccare la pianta o la strumentazione, che la penna del grafico iniziò a "impazzire" su e giù tracciando delle linee sul foglio (Figura 10). La pianta era stata stimolata dal solo pensiero di minaccia.

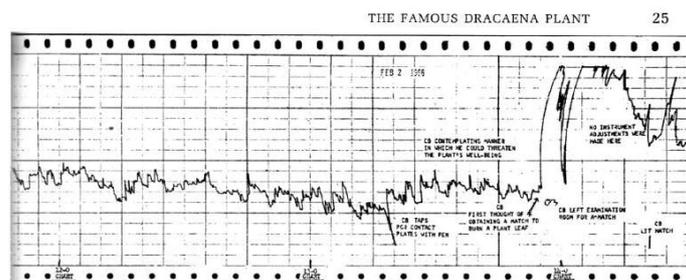


Figure 1D – Plant Reaction at Imagined Intent to Burn Leaf

Figura 10 – Mostra i risultati del poligrafo alla reazione della pianta nel momento in cui Backster immaginò di bruciare una delle sue foglie.

Da quel giorno iniziò uno dei suoi studi più approfonditi su quello che lui stesso definì “percezione primaria”. “Primaria” perché le piante di fatto non posseggono i cinque sensi, ma sono in grado di emettere delle onde acustiche e interagire tra di loro, riuscendo anche a provare delle emozioni, che

pare giungano da un livello più fondamentale, a livello primario. Backster, quindi, stabilì che le piante possono percepire le intenzioni umane ma allo stesso tempo emozionarsi come un umano.

## 2. Fibonacci e la sezione aurea

### 2.1 La sequenza di Fibonacci

*“Tutto è disposto secondo numeri e forme matematiche” -Pitagora*

Leonardo Pisano, detto il Fibonacci, fu un matematico italiano che dopo la decadenza del tardo medioevo diede il suo contributo nella rinascita delle scienze esatte. Fra i suoi studi, uno tra i più riconosciuti riguarda *La sequenza di Fibonacci*.

La sequenza di Fibonacci, detta anche successione aurea, in matematica sta ad indicare una successione di numeri interi in cui ciascun numero è la somma dei due precedenti. Per definizione i primi due numeri sono:  $a_1 = 1$  e  $a_2 = 1$  poi la regola da seguire è  $a_n = a_{n-1} + a_{n-2}$  (per ogni  $n > 2$ ), e può essere applicata fino all'infinito.

I primi quindici numeri di questa serie infinita sono:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610 (La sezione aurea, 2011).

La sequenza di Fibonacci, conosciuta già dalle prime civiltà precristiane e cristiane, deriva dal numero aureo, un numero irrazionale definito come il rapporto della sezione aurea. Quest'ultima viene considerata la legge universale dell'armonia.

Se si fa il quoziente fra un termine qualsiasi della successione e il suo precedente, il risultato si approssima sempre di più a  $\Phi$  (phi), il numero aureo, man mano che si procede nella serie.

$$1/1 = 1$$

$$2/1 = 2$$

$$3/2 = 1,5$$

$$5/3 = 1,666\dots$$

$$8/5 = 1,6$$

$$13/8 = 1,625$$

$$21/13 = 1,61538\dots$$

$$34/21 = 1,61904$$

$$55/34 = 1,61764$$

$$89/55 = 1,61818$$

$$144/89 = 1,61798$$

$$\Phi = 1,6180339887\dots$$

Quando si arriva al quarantesimo termine della successione, il quoziente si approssima al numero aureo con una precisione di 14 decimali. Le relazioni fra la sequenza di Fibonacci e la sezione aurea

sono molteplici, e in particolare vengono espresse dalle corrispondenze tra il regno astratto dei numeri e la realtà tangibile del regno vegetale.

Se si osserva un fiore di girasole, infatti, si può notare che i semi descrivono delle spirali concentriche, sia in senso orario che antiorario. Se si contano queste spirali si hanno come risultati due numeri precisi: 21 e 34, due termini successivi della serie di Fibonacci (Figura 11).

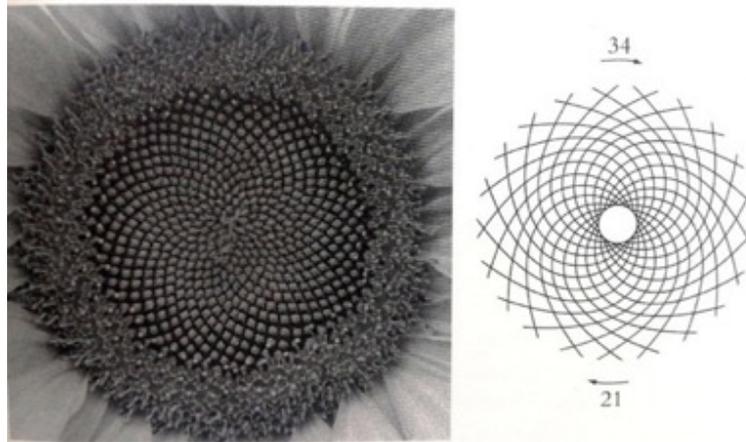


Figura 11 – Indica il numero di spirali (34) in senso orario e il numero di spirali (21) in senso antiorario di un fiore di girasole, dimostrando che sono due numeri contigui della successione di Fibonacci. (Immagine presa dalla pagina 17 del libro “La sezione aurea. Il linguaggio matematico della bellezza”).

Se la stessa conta venisse eseguita su un altro fiore di girasole, si avrebbero come risultati gli stessi numeri, oppure altri termini successivi nella successione, come 55 e 89.

Anche il numero dei petali di molti fiori, tra cui i ranuncoli, i lilla o le margherite, corrisponde a un numero della serie di Fibonacci, quasi sempre tra 21, 34, 55 e 89.

## 2.2 Il numero aureo e la natura

Il numero aureo corrisponde per comodità al valore di 1.618 ed è una costante che in geometria viene “trasformata” in linee e proporzioni, divenendo di fatto la sezione aurea. Questa viene rappresentata col simbolo  $\Phi$  (phi) e corrisponde al rapporto fra due lunghezze disuguali, dove la maggiore ( $a$ ) tra queste è il medio proporzionale tra la minore ( $b$ ) e la somma delle due ( $a+b$ ):

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi$$

Se si osserva attentamente la storia dell’umanità, ci si può accorgere che questo numero è presente non solo in costruzioni architettoniche, quadri o sculture famose in tutto il mondo, ma anche e soprattutto nella musica e nella natura. Questi numeri infatti sono applicabili alla crescita di qualsiasi essere vivente e di ogni sua parte, a partire dalla moltiplicazione cellulare.

Un esempio noto a tutti viene spiegato dalla fillotassi, la branca della botanica che studia la distribuzione delle foglie delle piante lungo i fusti. In qualsiasi pianta in cui ci si imbatte, le foglie non crescono mai una sopra all'altra, perché se lo facessero si toglierebbero l'un l'altra gli elementi necessari per vivere, come la luce solare e l'ossigeno. A primo impatto questo può sembrare un comportamento banale, ma non lo è; alla base vi è un modello ben preciso, un'organizzazione, quasi ad indicare che la pianta ha una propria coscienza.

Leonardo Da Vinci fu il primo ad accorgersi che le foglie si distribuivano seguendo delle spirali lungo i fusti in gruppi di cinque. Successivamente, Kepler osservò che il pentagono aveva un'enorme importanza nella forma dei fiori, i quali spesso hanno cinque petali, o anche nei frutti, dove i semi si distribuiscono secondo lo schema di un pentagono stellato.

Durante il XIX secolo, fillotassi e matematica si avvicinarono ancora di più in seguito agli studi del naturalista Karl Schimper, del botanico Alexander C. H. Braun e del cristallografo Auguste Bravais. Questi studiosi si accorsero che all'interno delle pigne (Figura 12) vi erano dei numeri consecutivi della successione di Fibonacci, che li condusse alla definizione della regola generale in base alla quale i rapporti di fillotassi si possono esprimere come rapporti tra numeri di Fibonacci.

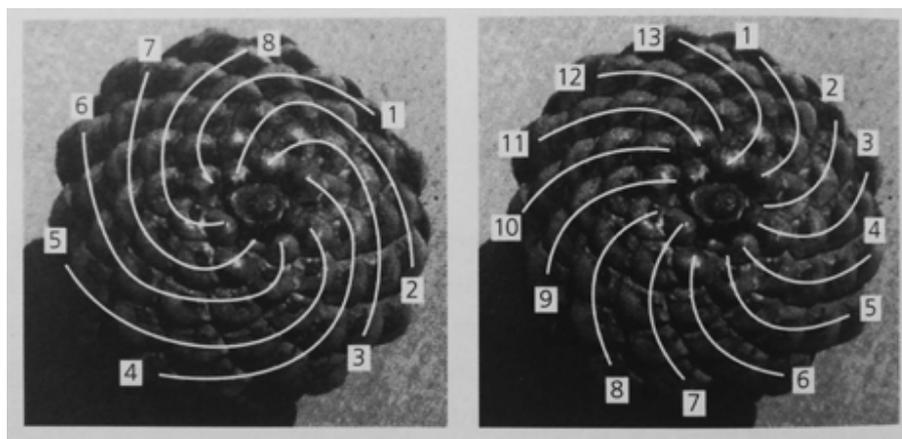


Figura 12 – Indica il numero di spirali (8) in senso orario e il numero di spirali (13) in senso antiorario di una pigna, dimostrando che sono due numeri contigui della successione di Fibonacci. (Immagine presa dalla pagina 130 del libro “La sezione aurea. Il linguaggio matematico della bellezza”).

Nella maggior parte delle piante ad alto fusto, le foglie si diramano da quest'ultimo seguendo una spirale; la disposizione che assumono è caratterizzante per tutte le specie, dato che per ognuna di esse l'angolo che si forma tra foglie consecutive, detto *angolo di divergenza*, rimane costante. Questo angolo viene espresso in gradi, come una frazione in cui al numeratore si ha il numero di giri della spirale attorno al fusto tra una foglia e quella successiva, e al denominatore si ha il numero di foglie che la spirale incontra lungo questo tratto.

La serie denominata “di Shimper-Braun”, formata dai quozienti tra uno dei termini di Fibonacci e quello delle due posizioni più prossime  $a_n/a_{n+2}$ , ci dà una classificazione delle varie specie a seconda di quello che è l’angolo di divergenza. Considerando che il quoziente tra due termini consecutivi  $a_{n+1}/a_n$  tende a  $\Phi$ , si può notare come la serie anteriore tenderà a  $1/\Phi$ .

Bravais, invece, scoprì quello che viene chiamato *angolo aureo*. Le foglie “sanno” autonomamente come posizionarsi secondo la successione di Fibonacci. La crescita delle piante inizia dalla punta del fusto, di forma conica. Le prime foglie che crescono restano più in basso, e tendono a rimanere più distanti dal fusto, secondo uno schema che dall’alto appare radiale, perché crescono nel punto in cui il fusto è più spesso. Bravais scoprì infatti che le foglie nuove si sviluppano ruotando di uno stesso angolo, approssimativamente di  $137,5^\circ$  (Figura 13). Se calcoliamo:  $360^\circ \cdot \frac{1}{\Phi^2} = \frac{360^\circ}{\Phi^2}$ , si ottiene appunto  $137,5^\circ$ , l’angolo aureo.

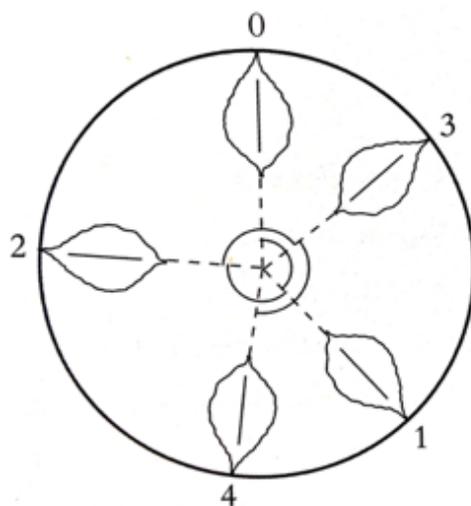


Figura 13 – Dimostra che le foglie adiacenti su di uno stelo di girasole sono disposte fra di loro con una distanza angolare approssimativa di  $137,5^\circ$ , cosicché ciascuna risulta ruotata di  $137,5^\circ$  rispetto alla precedente. (Immagine presa dalla pagina 131 del libro “La sezione aurea. Il linguaggio matematico della bellezza”).

Un’altra manifestazione della sezione aurea in natura è con la spirale equiangola, detta anche aurea, che dà la forma alle conchiglie. L’esempio più conosciuto è il *Nautilus pompilius* (Figura 14), la cui struttura interna si sviluppa aggiungendo dei settori di dimensione sempre maggiore, ma che ogni volta conservano la forma originaria. Su ogni porzione di conchiglia ne cresce un’altra sempre nuova, esattamente uguale ma più grande.



Fig. 14 – Rappresenta la correlazione tra la sezione aurea, la struttura interna del *Nautilus pompilius* e un viticcio di *Vitis vinifera*. (Immagini prese dalle pagine 14 e 135 del libro “La sezione aurea. Il linguaggio matematico della bellezza” e dalla pagina di Wikipedia riguardante la vite).

### 2.3 Fibonacci in natura

In natura possiamo sempre trovare la sequenza di Fibonacci, soprattutto nelle piante, le quali la utilizzano durante le fasi di crescita per poter organizzare la loro struttura nel modo più efficiente. Secondo questo principio le foglie cercano di svilupparsi nelle posizioni in cui riescono ad ottenere ognuna la maggior quantità di luce, o se parliamo di foglie stratificate cercheranno di predisporre in maniera tale da sfruttare lo spazio a disposizione nella maniera più ottimale possibile.

Per poter capire a pieno perché la sequenza di Fibonacci è così presente nelle piante, si deve prima comprendere come queste generano i propri organi. Le foglie e i fiori vengono originati da un gruppo di cellule situate all'interno di una struttura chiamata meristema, situata all'apice di ogni fusto. Queste cellule sono in grado di dividersi e di specializzarsi in cellule di una foglia o cellule di un fiore in base alle caratteristiche che assumono. Le cellule del meristema si dividono secondo una logica temporale e spaziale che va a determinare la fillotassi, ovvero la disposizione regolare delle foglie e dei fiori attorno allo stelo.

Tra le specie vegetali, in molte la posizione in cui nascono i fiori o le foglie all'interno del meristema si trova ad una distanza angolare costante rispetto al fiore o alla foglia formatosi precedentemente, il/la quale nel mentre sarà cresciuto e si sarà allontanato dal centro meristemico. L'angolo che si forma dalle due foglie consecutive e il centro del meristema da cui si sono originate equivale precisamente a 222.5 gradi, andando a creare una spirale che ruota attorno al fusto principale della pianta (Breda, 2015).

Come già definito nel punto 2.1, all'interno della sequenza di Fibonacci il rapporto tra ogni numero e quello che lo precede nella serie tende a un valore noto, 1.618, conosciuto anche come sezione aurea. Se si divide l'angolo giro di 360 gradi per la sezione aurea (1.618) otteniamo il valore esatto di 222.5, lo stesso numero che troviamo nell'angolo formato dalle foglie e dal meristema (Figura 15). Perciò, quando in una spirale di un fusto troviamo due foglie contigue distanti tra loro di 222.5 gradi, si può notare che per ogni giro attorno al fusto ci sarà un numero medio di foglie pari a 1.618, cioè alla sezione aurea. Questa geometria strutturale fa sì che venga ridotta al minimo la sovrapposizione tra le foglie e venga invece massimizzata la capacità delle piante di poter assorbire luce solare.

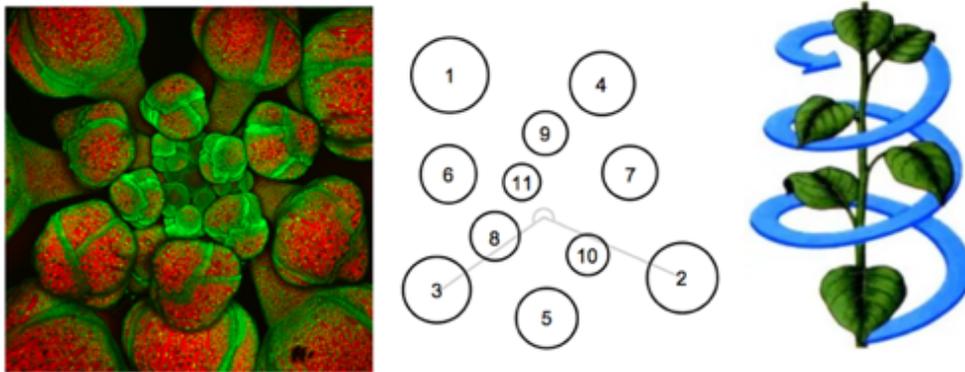


Figura 15 – A sinistra, immagine al microscopio del meristema apicale di *Arabidopsis*, al centro, rappresentazione schematica della posizione dei boccioli. I fiori più giovani sono al centro, mentre quelli più grandi e vecchi si sono spostati verso l'esterno. L'angolo che si forma tra un bocciolo e quello successivo corrisponde a  $222,5^\circ$ . (*PLoS Biology Issue Image*, 2010, Vol.8). A destra, la spirale che si forma sul fusto principale dalla posizione di due foglie consecutive e il centro meristemato da cui si sono sviluppate.

Queste disposizioni si manifestano grazie all'auxina, un ormone vegetale accumulato nel meristema. In base a quale zona del meristema questo si va ad accumulare, viene poi determinata la posizione in cui inizierà il differenziamento della nuova foglia o del nuovo fiore. Contemporaneamente l'ormone verrà trasportato verso la nuova foglia andando a ridurre la concentrazione nelle zone circostanti, in modo tale che non vi sia la crescita di altre foglie competitive nelle regioni limitrofe. Si dovrà quindi attendere che i primordi crescano e si allontanino dal centro meristemato per riavere una giusta concentrazione di auxina per poter avere lo sviluppo di un nuovo primordio. È questo susseguirsi di attivazione e inibizione dell'ormone a determinare lo sviluppo a spirale degli organi vegetali.

## 2.4 Fibonacci nella musica

*“La musica è una scienza che deve avere regole certe: queste devono essere estratte da un principio evidente, che non può essere conosciuto senza l’aiuto della matematica. Devo ammettere che, nonostante tutta l’esperienza che ho potuto acquisire con una lunga pratica musicale, è solo con l’aiuto della matematica che le mie idee si sono sistemate, e che la luce ne ha dissipato le oscurità”*  
-Jean Philippe Rameau

La musica è fortemente legata alla matematica, e questo stretto rapporto fu studiato fin dall’antichità. Tra i primi e più importanti si ricorda lo studio da parte della Scuola Pitagorica, fondata a Crotone nel 530 a.C., che scoprì che i differenti toni di una scala musicale sono legati tra loro secondo dei rapporti fra numeri interi. Si dimostra dal fatto che se si prende una corda e si dimezza, questa suona rispettivamente l’ottava superiore; se la si riduce ai suoi  $\frac{3}{4}$  o ai suoi  $\frac{2}{3}$  suona rispettivamente la quarta e la quinta della scala, e così via.

Molta della matematica applicata in ambito musicale deriva dallo studio della fisica acustica. Se la stessa divisione ritmica del metro musicale è indicata con una frazione matematica, oggi sappiamo che alla base di qualsiasi rumore vi è un insieme di innumerevoli onde stazionarie, e che qualsiasi suono può essere scomposto in onde sinusoidali tramite l’analisi armonica.

Riguardo alla successione di Fibonacci, si è appurato che la si ritrova nella musica, in particolare nell’ottava musicale e di conseguenza in tutte le note che si usano per suonare, ma non solo. Si può riscontrare nei ritmi, nelle strutture musicali, nell’accordo maggiore o nella disposizione degli accenti all’interno dei movimenti e nel rapporto che c’è tra questi ultimi. Grandi compositori applicarono questo concetto nelle loro composizioni, tra cui Bach, Haydn, Beethoven e Mozart. Potremmo quindi definire questi grandi musicisti come i “compositori della natura”.

### 3. Applicazioni in vigneto di musica e ultrasuoni

#### 3.1 Il Vigneto di Mozart

In Toscana, a pochi chilometri da Montalcino, si trova “Il Paradiso di Frassina”, un vigneto che oramai è noto in molte parti del mondo come il vigneto di Mozart. Il suo proprietario, Carlo Cignozzi, è stato il primo a voler introdurre la musica in un vigneto (Figura 16), ma non musica qualunque, la musica di Mozart. Come già precedentemente spiegato nel punto 2.4, Mozart fu uno tra i compositori che si avvale della successione di Fibonacci per comporre i suoi brani, e in seguito a degli studi effettuati è stato riscontrato che le sue opere sono le più affini alle geometrie naturali.

Dal 2006 Cignozzi ha stretto una forte collaborazione con le Università di Pisa e di Firenze, che hanno acconsentito a portare avanti degli studi su questo progetto definito “biosonorità”. In particolare, a Pisa continuano ad essere studiati gli effetti delle onde sonore sugli insetti, mentre a Firenze, grazie alla collaborazione del Professore Stefano Mancuso, viene osservato come queste onde influenzano sotto l’aspetto morfo-fisiologico il metabolismo delle piante.

Sin dalla prima emissione di musica all’interno del vigneto le viti sono apparse molto più rigogliose e nel periodo di vendemmia i grappoli maturavano prima; questo perché le basse frequenze della musica stimolano la produzione di sostanze endogene capaci di preservare la fisiologia delle viti. Infatti, il suono, insieme ai campi elettromagnetici, viene considerato una fonte di stress di tipo alternativo che favorisce la crescita e lo sviluppo della pianta. Molte ricerche hanno dimostrato che le onde sonore, in particolare quelle a bassa frequenza, non danneggiano la struttura cellulare della pianta, ma anzi hanno effetti positivi su molti indici biologici. In particolare, aumentano l’attività degli enzimi, la fluidità delle membrane cellulari, la sintesi del DNA e la sincronizzazione del ciclo cellulare (Wang, 2002).





Figura 16 – Rappresenta il Paradiso di Frassina, a Montalcino. In particolare, mostra la presenza delle casse emettitrici della musica di Mozart all'interno del vigneto. (Foto scattate dai proprietari e pubblicate sulle pagine social dell'azienda).

Il Dipartimento di Entomologia agraria dell'Università di Pisa si è in particolar modo interessato alla presenza in campo degli Auchenorrhinchi, soprattutto del Cicadellide *Scaphoideus titanus* (Figura 17) e della sua strategia riproduttiva.

Questo insetto nel nostro Paese deve essere contrastato tramite una lotta obbligatoria, perché è il vettore della principale fitoplasmosi dei giallumi della vite, la flavescenza dorata.

Lo *Scaphoideus titanus* è un ampelofago obbligato, ovvero svolge il suo intero ciclo vitale sulla vite. Le uova vengono deposte in estate sul ritidoma dei tralci di due anni, dove sverna; le uova rimangono quiescenti per 8-9 mesi per poi schiudersi dalla II metà di maggio fino a fine giugno. Le forme giovanili si spostano poi alla base della vite, sui polloni, dove permangono fino alla fine di luglio, mentre gli adulti volano dalla fine di giugno fino alla fine di ottobre. Essendo un ampelofago obbligato può vivere solamente su piante di vite, perciò ha un'efficienza d'azione molto alta che gli permette di trasmettere la fitoplasmosi da vite a vite.



Figura 17 – Nella parte alta rappresenta le fasi di sviluppo dello *Scaphoideus titanus*, prima lo stadio giovanile e poi quello adulto. In basso si può osservare una pianta di Sangiovese affetta da flavescenza dorata (Foto tratte dai corsi di entomologia e patologia vegetale dell'Università di Bologna).

La flavescenza dorata è una fitoplasmosi che causa gravi scompensi alla pianta, andandone a influenzare negativamente la produzione oltre che la vitalità stessa. La sindrome può essere locale o sistemica, ma una volta che una pianta è stata colpita spiccherà notevolmente nella vegetazione per il suo aspetto clorotico e lo scarso sviluppo. A livello istologico avremo nella pianta una disorganizzazione e necrosi del floema, una coagulazione di proteine floematiche e una riduzione nel numero dei vasi xilematici. I principali sintomi visibili in campo (Figura 17), che dimostrano la presenza del vettore, si riscontrano soprattutto a livello fogliare, sui tralci e sui grappoli. All'inizio dell'estate la vegetazione diventa stentata e clorotica, e a seconda della varietà si presentano dei riflessi dorati o degli arrossamenti nella zona perinervale delle foglie. Si ha un accartocciamento della lamina fogliare verso il basso, la quale diventa di consistenza cuoiosa con possibile necrosi, che può portare anche alla caduta anticipata delle foglie. Gli internodi possono raccorciarsi rendendo i tralci più sottili, i quali presentano anche una scarsa lignificazione e una consistenza gommosa che li porta a tendere verso il basso. Questo fa sì che ai primi freddi i tralci siano maggiormente soggetti a necrosi, distinguendoli dai tralci sani anche per una formazione di piccole macchie nerastre e oleose su tutta

la loro superficie. Riguardo ai grappoli invece potremo notare che negli attacchi in fase precoce le infiorescenze e i grappolini dissecano e cadono, mentre nelle manifestazioni più tardive gli acini arrivano a invaiatura ma si ha un loro parziale o totale avvizzimento. L'emissione della musica in campo ha inciso notevolmente nel contenere lo sviluppo dello *Scaphoideus titanus* proprio grazie al “disturbo vibrazionale”. Molti insetti comunicano tra di loro attraverso l'emissione di sostanze odorose, dette feromoni sessuali; seguendo queste scie i maschi riescono a trovare le femmine per potersi accoppiare. Questo metodo non vale però per lo *Scaphoideus titanus*, il quale comunica con gli altri individui della sua stessa specie tramite delle vibrazioni. Queste micro-vibrazioni vengono generalmente emesse dall'addome e hanno lo stesso compito dei feromoni, ovvero fornire indicazioni precise sulle posizioni degli individui, in modo da favorire il corteggiamento o tenere lontani i maschi rivali.

Lo studio dell'Università di Pisa è stato proprio quello di decifrare questi segnali vibrazionali e cercare di interferire con le comunicazioni dell'insetto, andando a utilizzare delle specifiche vibrazioni che potessero ridurre la possibilità di accoppiamento. È quindi emerso che l'emissione in campo della musica di Mozart riesce a creare una confusione vibrazionale e quindi impedisce l'incontro tra i due sessi contribuendo nel contenimento della popolazione dell'insetto. Le prove in campo sono state effettuate tra Aprile e Settembre 2009, sia nel vigneto di Mozart che in altri appezzamenti non sottoposti alla musica, ma aventi le stesse caratteristiche agronomico-colturali. Sono state inserite delle trappole per la cattura massiva di qualsiasi specie di insetto e trappole specifiche per le cicaline, in modo tale da verificare se le quantità si equivalevano o meno. Dall'esperimento si è potuto evincere che nei due appezzamenti erano presenti all'incirca le stesse specie, ma il numero di cicaline era di 10 volte inferiore nel Vigneto di Mozart. Gli stessi risultati sono stati registrati negli anni successivi (informazioni tratte dal sito “Il Paradiso di Frassina”).

Riguardo alla parte agronomica dello studio, l'Università di Firenze ha valutato l'effetto della musica classica, a diversa intensità e frequenza, sulla crescita di piante di varietà Sangiovese allevate sia in un ambiente controllato che in campo nel Paradiso di Frassina. I diffusori sono stati posti a 2,80 metri da terra e a distanze fisse, in modo tale da ricoprire una superficie di metà vigneto per avere un riscontro diretto con l'altra metà non sottoposta all'esperimento, messi in funzione 24 ore al giorno per un anno.

I primi dati significativi si rilevarono nella campagna 2009-2010, quando si è potuto riscontrare che le viti sottoposte a stress sonoro, a differenza di quelle non sottoposte, avevano:

- Una lamina fogliare più sviluppata, oltre che a un aumento nel contenuto di clorofilla

- Un aumento nell'efficienza della traspirazione, favorendo maggior adattabilità e resistenza agli stress ambientali, quali siccità e vento
- Possibilità di ridurre del 50% l'uso di rame e zolfo, dato che la musica di Mozart interferisce con gli accoppiamenti dello *Scaphoideus titanus*
- Gli scambi degli ioni potassio e calcio sono stati molto più veloci, con un conseguente aumento della velocità di crescita biologica della pianta
- Accelerazione della maturazione tecnologica e fenolica con una riduzione dello sfasamento tra i due stadi, permettendo di vendemmiare in un periodo migliore
- Il vino ottenuto dalle uve sonicate era più ricco in antociani, grado alcolico, composti fenolici e con una minore acidità

Tuttavia, nonostante i dati promettenti, questi non sono ancora stati oggetto di una pubblicazione scientifica, ma sono stati riportati solo all'interno del sito internet dell'azienda "Il Paradiso di Frassina". Pertanto, si auspica di avere al più presto la conferma dei risultati da parte dei Dipartimenti delle Università di Pisa e di Firenze per poter applicare in maniera più estesa le loro prove.

### 3.2 Effetti dei segnali vibrazionali sullo *Scaphoideus titanus*

La Fondazione Edmund Mach di San Michele all'Adige è uno dei pochi centri italiani dotato di un laboratorio specializzato nella ricerca della *biotremologia*, una branca della bioacustica che dal 2016 è stata riconosciuta come disciplina scientifica autonoma. <<La comunicazione vibrazionale via substrato è utilizzata con varie modalità da oltre 150.000 specie di insetti. Si tratta con tutta probabilità del sistema di comunicazione in assoluto più diffuso in natura, i cui segnali, detti "vibrazionali", viaggiano attraverso un substrato solido (piante, suolo etc)>> (Cocroft & Rodriguez, 2005).

La biotremologia studia il linguaggio vibrazionale con cui diverse specie di insetti comunicano tra loro; codifica queste onde e cerca dei metodi per contrastarle, come spiegato dal ricercatore Valerio Mazzoni. Sulla base di questa scienza si sviluppa l'ultima frontiera di lotta senza l'utilizzo di armi chimiche ai parassiti della vite, in particolare verso la cicalina della vite, vettore della flavescenza dorata.

Il gruppo di ricerca della Fondazione E. Mach, in particolare, ha brevettato un apparecchio elettronico messo a punto a livello sperimentale, denominato "shaker". Lo shaker, di forma cilindrica, è un "agitatore", o meglio un diffusore vibrazionale che emette ultrasuoni. È stato progettato per la confusione sessuale; le onde che emette producono un segnale di disturbo che impedisce la comunicazione, e perciò la riproduzione, tra il maschio e la femmina dello *Scaphoideus titanus*,

impedendone quindi la diffusione in campo. Le ricerche effettuate hanno dimostrato che utilizzando quest'apparecchiatura in campo, oltre il 90% degli insetti non si sono accoppiati, e quindi l'incidenza della malattia di cui è vettore era nettamente inferiore.

Dal 2016 la Fondazione Mach organizza il congresso mondiale "Biotremology" dove si discutono le applicazioni pratiche di questa nuova disciplina.

Lo *Scaphoideus titanus* è una cicalina molto diffusa e temuta, perché vettore della fitoplasmosi flavescenza dorata (FD), in particolare nei vigneti europei. Come già anticipato precedentemente, questo insetto comunica e si accoppia mediante segnali vibrazionali; i maschi eseguono uno specifico comportamento definito "chiama e vola", seguito da una canzone di corteggiamento, mentre le femmine emettono segnali solamente per rispondere alle "chiamate" dei maschi. I maschi rivali competono per l'accoppiamento, producendo un rumore dirompente (DN) volto a interrompere il duetto in atto tra le coppie. "In concomitanza con la prima descrizione di questo comportamento, avvenuta al "3 ° Congresso Europeo sugli Emitteri" (svoltosi a San Pietroburgo nel 2004), abbiamo iniziato a pensare a come utilizzare questa conoscenza nella pratica." (Mazzoni e Lucchi, 2014).

Nel loro studio decennale, Mazzoni e Lucchi sono partiti da un esperimento in laboratorio per cercare di interrompere la comunicazione vibrazionale tra i due sessi. Per poter studiare la comunicazione vibrazionale negli insetti, viene comunemente utilizzato un vibrometro laser, in grado di rilevare le vibrazioni in un substrato fino a valori comparabili con quelli dei mecano-recettori di molti insetti. Questi segnali vengono poi acquisiti da hardware ed analizzati da software, in modo tale da poterli elaborare ed interpretare per poi utilizzarli come trasmissioni inverse.

Le trasmissioni inverse, ovvero in playback, vengono trasmesse dal computer alle piante, proprio per verificare la funzione dei segnali e la risposta comportamentale indotta negli insetti. In questo studio, per poter trasmettere questi segnali "sintetici", sono stati utilizzati dei minishaker che trasmettevano direttamente nei tessuti della pianta, più nello specifico in foglie di vite su cui erano state poste delle coppie di *Scaphoideus titanus* (Mazzoni e Lucchi, 2014). I segnali che hanno utilizzato nel corso dell'esperimento erano di due diversi tipi: due segnali erano in banda di frequenza "pura", 60Hz e 200Hz, mentre altri due erano in banda larga, un rumore bianco 0-2000Hz e il DN.

I risultati hanno dimostrato che con l'utilizzo dei segnali in banda larga la comunicazione tra i sessi viene totalmente interrotta, mentre con i segnali in banda pura si ha una riduzione del 70% con la frequenza di 60Hz e del 56% con la frequenza a 200Hz.

I risultati sono stati così soddisfacenti che i due entomologi hanno applicato lo stesso sistema nella realtà di campo, con lo scopo di riuscire a trasferire segnali di disturbo di tipo DN per impedire l'accoppiamento della specie in considerazione.

Inizialmente hanno operato in semi-campo, utilizzando delle piante di vite in vaso, per poi spostarsi su piante coltivate in campo. In entrambi i casi è stato utilizzato come mezzo di trasmissione del segnale di disturbo il filo metallico di sostegno presente sulla fila, su cui hanno fissato uno specifico dispensatore di vibrazioni. Il test è stato condotto su coppie vergini di *Scaphoideus titanus* allevate in laboratorio e immesse sui germogli di vite in pieno campo per 24 ore all'interno di manicotti di rete (Figura 18).

I risultati hanno dimostrato che il numero di accoppiamenti era pari al 9% all'interno del semi-campo e al 4% nel vigneto, a differenza degli impianti di controllo senza vibrazioni in cui l'80% delle coppie si sono accoppiate.

In conclusione, è apparso evidente come un corretto utilizzo dei segnali vibrazionali sintetici può interrompere in maniera efficace la comunicazione tra i sessi di *Scaphoideus titanus* interferendo sui comportamenti che permettono tra loro di riconoscersi, localizzarsi e corteggiarsi. Questo permette di poter mantenere le popolazioni bersaglio ad un livello accettabile rispetto al possibile danno economico che causerebbero alle colture.

Gli obiettivi finali che si sono posti per poter ottimizzare questo sistema e renderlo fruibile sono di renderlo accessibile a livello economico per poterlo utilizzare facilmente come mezzo sostenibile per l'agricoltura, eseguire dei test dimostrativi all'interno delle aziende agricole ed ampliare l'efficacia del dispositivo anche verso il controllo di altri parassiti.



Figura 18 – A. Coppia di adulti di *Scaphoideus titanus* in copula; B. Uno dei dispensatori di vibrazioni utilizzati per i test di campo.; C. Vigneto che ha ospitato le ricerche a San Michele all'Adige (TN). Coppie di *Scaphoideus titanus* venivano rilasciate per 24 h dentro manicotti di rete contenenti un totale di 5-7 foglie pienamente sviluppate.

### 3.3 Utilizzo di segnali vibrazionali contro l'accoppiamento di *Homalodisca vitripennis*

*Homalodisca vitripennis*, detto anche tiratore scelto dalle ali di vetro (GWSS), è un insetto appartenente agli Hemiptera, Cicadellidae. Questa specie è polifaga e si nutre del fluido xilematico; è conosciuta per le malattie vascolari che causa a molte specie vegetali americane, ma particolarmente è nota come il vettore del batterio *Xylella fastidiosa*, agente nella vite della malattia di Pierce. Questa patologia causa dei danni ingenti alle aziende vitivinicole; in California sono stati stimati 104 milioni di dollari di perdite all'anno.



Figura 19 – A sinistra si possono notare i sintomi causati dalla Malattia di Pierce su una pianta di vite. Al centro l'immagine rappresenta il vettore *Homalodisca vitripennis*, mentre a destra è raffigurata la struttura del batterio *Xylella fastidiosa*, agente della Malattia di Pierce.

Per molti anni la sua popolazione è stata soppressa dall'utilizzo di specifici insetticidi, ma col tempo si sono riscontrati bassi livelli di suscettibilità ad essi.

Si sono iniziati a valutare altri metodi di contrasto, tra cui quelli con l'utilizzo di vibrazioni. Gli obiettivi dello studio effettuato da Krugner e Gordon (2018) sono stati quelli di valutare l'efficacia della riproduzione di segnali di comunicazione di accoppiamento vibrazionale per interrompere l'accoppiamento di GWSS in un vigneto naturale, e di analizzare i cambiamenti nelle proprietà spettrali della trasmissione del segnale attraverso le viti e i tralci del vigneto.

Gli esperimenti sono stati effettuati tra il 23 agosto e il 6 ottobre 2016, in un vigneto di *Vitis vinifera* cultivar Albariño innestato su portinnesto 1103P. Questo si trova nel campus della California State University, a Fresno, su di un terreno argilloso-sabbioso con un substrato duro. È stato piantato nella primavera del 2007, con una distanza di 1,8 metri tra le viti e di 3,6 metri tra i filari (Figura 20). Le file erano lunghe 157 metri e il traliccio era sostenuto da pali di estremità in legno.

Il traliccio del vigneto era formato da un palo e una traversa in acciaio, quest'ultima di 45 centimetri, e posizionata ad ogni vite con fili di acciaio di calibro 12 installati a 50, 120 e 150 centimetri dal terreno. Questi, rispettivamente, sostenevano un sistema di irrigazione a goccia, il cordone bilaterale della vite e gli speroni, e infine i tralci (Figura 20).

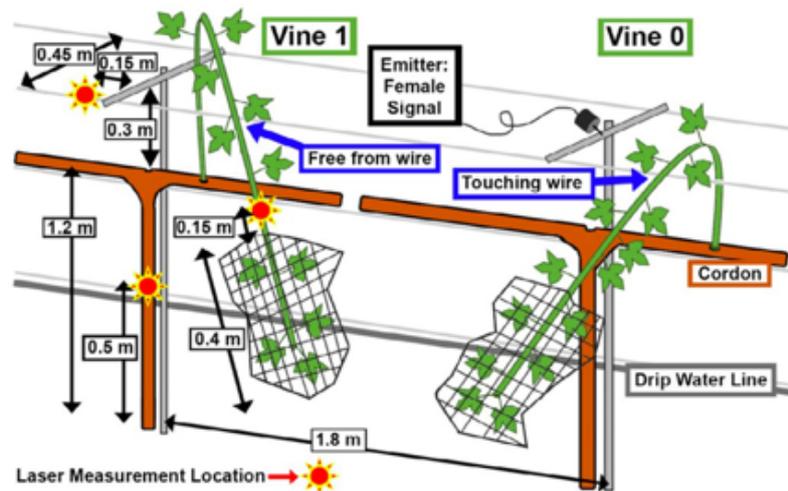


Figura 20 - Schema di una sezione del sistema a traliccio del vigneto utilizzato in questo studio Rodrigo Krugner, Shira D. Gordon. La composizione della frequenza e l'ampiezza relativa dei segnali di disturbo e dei segnali degli insetti naturali erano misurati mediante vibrometria laser (sole rosso/giallo) sul tronco della vite (sopra l'ala gocciolante), su uno dei fili superiori supportati dalla traversa sul palo a "T", e sui tralci delle viti supportati o meno dal filo superiore. Le estremità dei tralci sono state racchiuse in sacchetti di rete.

Entro un anno prima dell'inizio dell'esperimento non sono stati applicati insetticidi nel vigneto, ma sono state messe in atto altri interventi culturali, quali potatura, applicazione di fungicidi, irrigazione, fertilizzazione e raccolta, sempre attenendosi alle pratiche condotte nei vigneti della regione.

Il segnale vibrazionale femminile (Figura 21), utilizzato nelle prove di interruzione dell'accoppiamento, è stato ottenuto dalle registrazioni di una femmina di *Homalodisca vitripennis* posta da sola su di una pianta di okra in vaso. Questi segnali prodotti dalle femmine sono stati registrati in laboratorio usando i metodi di vibrometria laser Doppler.

I segnali (FS1) avevano strutture armoniche chiare e una frequenza fondamentale (ff) crescente, con un aumento costante e positivo della pendenza tra l'inizio e la fine di ff, tipico di un FS1. Questi segnali erano stati utilizzati in precedenza nelle prove di interruzione dell'accoppiamento condotte in laboratorio, ma non erano mai stati testati in condizioni di campo.

Il file di riproduzione consisteva in sei diversi segnali femminili, per una durata media di 2,25 secondi e una portata di 1,66 - 3,04 secondi, con una distanza media di 2,20 secondi tra i segnali.

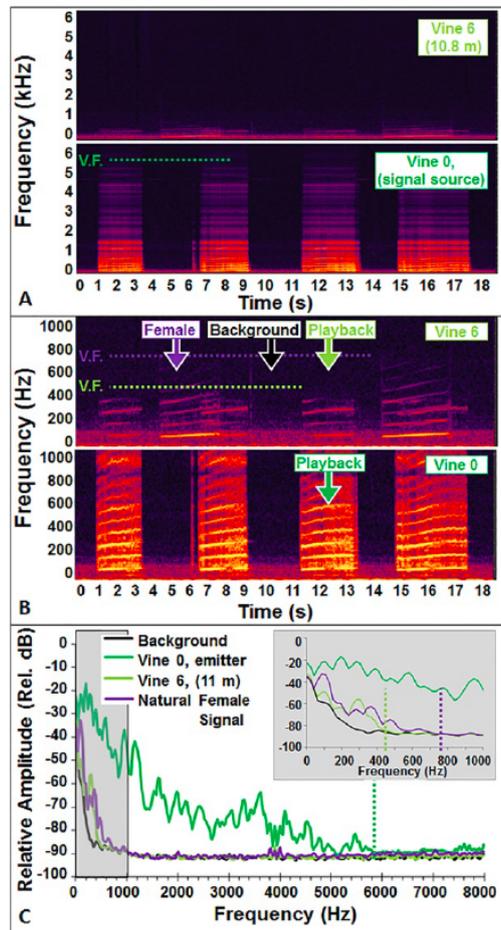


Figura 21 - Proprietà spettrali del segnale di riproduzione e di un segnale naturale femminile su scale di A) 6 kHz e B) 1 kHz sull'asse delle Y del grafico con C) analisi della trasformata di Fourier veloce che mostra l'ampiezza relativa in dB, dove ogni picco in ampiezza corrisponde a un'armonica (linee gialle nello spettrogramma) in B. I pannelli superiore e inferiore nelle figure A e B sono registrazioni della vite 6 (a 10,8 m di distanza dalla sorgente del segnale) e della vite 0 (all'emettitore del segnale), rispettivamente. Le linee tratteggiate indicano la frequenza di fuga (V.F.) misurata per questa registrazione.

I segnali di disturbo sono stati trasmessi ai fili, utilizzati nel traliccio del vigneto, tramite un sistema di riproduzione elettronico prodotto su misura, costituito da un'unità di controllo e da emettitori sintonizzati progettati specificatamente per studi di ricerca sull'interruzione dell'accoppiamento vibrazionale. Il lettore audio digitale FX3221 Fiio, proveniente dalla B&H di New York, ha inviato il segnale dirompente all'uscita amplificata tramite la centralina di controllo personalizzata, alimentata da batterie ricaricabili a 12 Volt. L'emettitore del segnale era attaccato al traliccio nell'interfaccia tra il palo in acciaio e la traversa, mediante fascette metalliche. I segnali vibrazionali dirompenti prodotti dall'emettitore e trasmessi alle viti sono stati registrati utilizzando un vibrometro laser Doppler.

Per determinare l'ampiezza relativa del segnale e la composizione della frequenza tra le viti di prova, le registrazioni del segnale in uscita sono state condotte in Adobe Audition presso la vite situata

direttamente all'emettitore del segnale (vite 0) e per sette viti successive lungo il filare (viti da 1 a 7), in entrambe le direzioni. I due laser vibrometri e il sistema di acquisizione dati sopra descritti sono stati utilizzati con un laser sempre fermo alla vite 0, come riferimento. Inoltre, in ogni posizione della vite, le misurazioni venivano prese con un bastone che toccava il filo, un bastone libero dal filo, sul tronco a circa 50 centimetri da terra, e sul filo a 15 centimetri di distanza dalla traversa (Figura 20). Il numero di registrazioni (n) utilizzato nelle analisi di frequenza sono state: vite 0 = 3, viti da 1 a 7 = 6 misurazioni per vite, vite 0 compensate insetti = 10, viti da 1 a 3 e 5 con reti per insetti = 20 per ciascuna, viti 4 e 6 con reti per insetti = 19 ciascuno, vite 7 con reti per insetti = 8.

Gli insetti di prova sono stati raccolti da gabbie di allevamento e trasportati in vigna in contenitori singoli di plastica da 130 ml. In vigna vi erano un maschio e una femmina vergini, accoppiati in modo casuale e assegnati a uno dei due trattamenti: o a quello di controllo, silenzioso, o al segnale distruttivo.

Prima di posizionare gli insetti sulla vite, la riproduzione del segnale dirompente è stata attivata e verificata dai vibrometri laser. La coppia maschio-femmina è stata posta sul lato nord di una vite, utilizzando un sacco a rete da 20 litri che copriva la nuova crescita di un bastone, dai 30 ai 40 cm (Figura 20). La coppia è stata tenuta insieme sulla vite tra le 08:00 e le 16:30 e ispezionata visivamente ogni 2 ore per determinare se si fossero accoppiati o meno. Alla fine della prova, gli insetti sono stati rimossi dalla vite e trasportati di nuovo nel laboratorio. Gli insetti sono stati testati solo una volta. Circa 13 coppie maschio-femmina sono state testate al giorno in ogni trattamento (silenzio e segnale dirompente) utilizzandone un paio per vite. Le prove sono state ripetute in 10 giorni diversi, per un totale di 134 coppie maschio-femmina per trattamento.

I filari del vigneto che ricevevano i trattamenti sono stati alternati tra i giorni di prova, così da ridurre al minimo gli effetti sulla posizione.

Si è evinto che su 134 coppie maschio-femmina di GWSS presenti nel vigneto, solo una si è accoppiata nel vigneto in cui è stata utilizzata la riproduzione del segnale vibrazionale, a differenza del vigneto di controllo, silenzioso, in cui si sono accoppiate 28 coppie.

Le analisi della composizione della frequenza, misurata come frequenza di fuga all'interno del filare sperimentale del vigneto, ha mostrato che questa era influenzata dalla posizione della vite in relazione alla posizione della sorgente del segnale di misurazione, oltre che all'interazione tra essi. Tra le posizioni di misurazione all'interno di ogni vite, la frequenza di fuga era più alta sul filo che sulle parti della vite, come la canna che toccava il filo, la canna che non toccava il filo, il tronco o la canna usata per confinare gli insetti di prova. Quindi era più alta nei pressi della sorgente, dove la frequenza era di 3,5kHz, e più bassa sulle viti lontane dalla sorgente, viti da 4 a 7, dove la frequenza era di 0,5kHz.

Sebbene la frequenza di fuga misurata dal filo diminuisse esponenzialmente con l'aumentare della distanza dalla sorgente del segnale, la composizione della frequenza sui fili e sulle parti di viti era la stessa solo a circa sei viti di distanza dalla sorgente del segnale. All'aumentare della distanza dall'emettitore, l'ampiezza relativa diminuiva.

L'analisi dei segnali femminili GWSS registrati dei tralci che ospitavano coppie di insetti ha mostrato che l'ampiezza relativa (dB relativo) delle frequenze di 100, 200 e 300 Hz era in media ( $\pm$ SEM)  $-36,4 \pm 2,5$ ,  $-56,5 \pm 2,3$  e  $-61,4 \pm 2,5$ , rispettivamente. L'ampiezza relativa delle frequenze dei segnali femminili naturali (Figura 22) non corrispondeva al modello della riproduzione sintetica al vitigno specifico. Ad esempio, a 100 Hz il segnale naturale aveva un'ampiezza simile a quella registrata dalla riproduzione sintetica nella vite 4, lontano dalla sorgente, mentre l'ampiezza relativa registrata alle frequenze di 200 e 300 Hz hanno mostrato una corrispondenza più vicina a quelle delle viti 5 e 6, rispettivamente (Frecce di Figura 23).

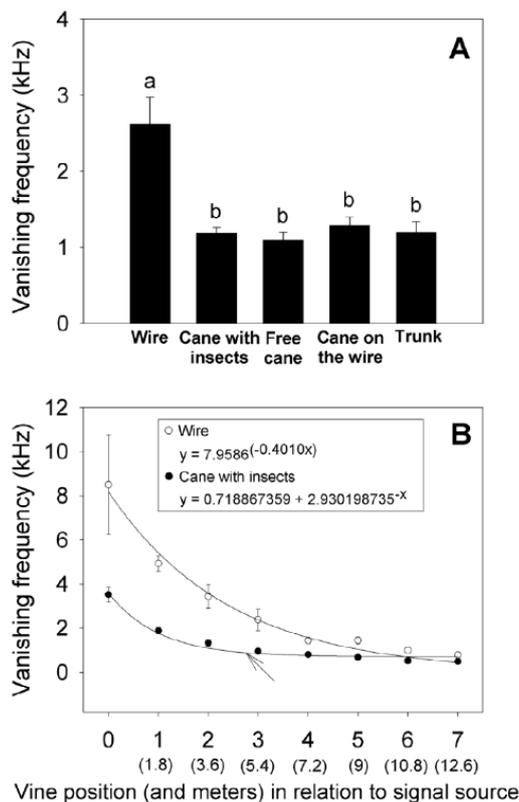


Figura 22 – Frequenze di fuga medie ( $\pm$  SEM) (kHz) misurate da A) parti di vite e traliccio del vigneto e B) tralci che ospitano insetti di prova utilizzati nelle prove di interruzione dell'accoppiamento e fili rampicanti posizionati a distanze crescenti dalla sorgente del segnale. La freccia indica la frequenza media di scomparsa dei segnali femminili naturali.

Le stesse lettere sopra le colonne in A indicano che i trattamenti non erano significativamente differenti ( $\pm = 0,05$ ).

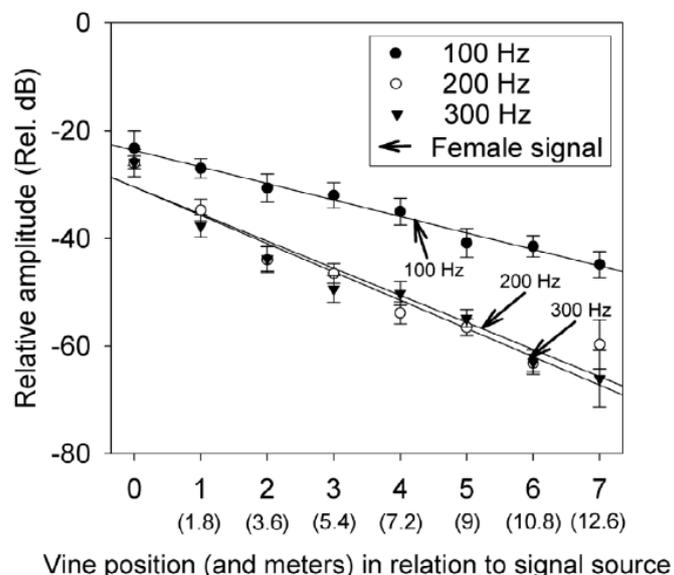


Figura 23 – Ampiezza relativa media ( $\pm$  SEM) delle frequenze nei segnali di riproduzione sintetici, registrati da tralci di vite che ospitano insetti di prova. La perdita di ampiezza durante la trasmissione attraverso le viti era più alta nelle frequenze di 200 e 300 Hz rispetto a 100 Hz. Le frecce puntate verso i valori 100, 200 e 300 Hz, ottenuti dall'analisi di regressione, indicano l'ampiezza relativa media di rispettive frequenze registrate da femmine GWSS di segnalazione naturale situate su tralci di prova.

Ciò implica che per le viti da 0 a 3 il segnale di riproduzione sintetico era relativamente più forte rispetto al segnale femminile naturale, mentre dopo la vite 6 il segnale femminile naturale medio era relativamente più forte per 100, 200 e 300 Hz rispetto al segnale di riproduzione.

La riproduzione vibrazionale di un segnale femminile GWSS ha effettivamente interrotto l'accoppiamento sul campo. I risultati in campo sono stati migliori rispetto ai precedenti risultati di laboratorio nel ridurre l'accoppiamento di GWSS, con un accoppiamento di circa il 21% per le coppie di controllo e meno dell'1% per le coppie sottoposte al trattamento di riproduzione del segnale femminile.

Questi risultati forniscono spunti per la comprensione delle dinamiche di trasmissione del segnale vibrazionale sintetico di GWSS in una condizione più naturale e complessa, come un sistema composto da tralci di vite, con implicazioni sull'uso delle vibrazioni come metodo per interrompere l'accoppiamento di GWSS.

L'utilizzo a lungo termine delle vibrazioni per interrompere l'accoppiamento dovrebbe portare a tassi di natalità ridotti e ad una minor crescita della popolazione.

La riproduzione è stata efficace su tutte le viti testate all'interno del filare del vigneto e il segnale sintetico non si è attenuato completamente per le frequenze più rilevanti, da 100 a 300 Hz. Tuttavia, entro la distanza misurata di circa 12,5 m dalla sorgente del segnale in un'unica direzione, c'era una tripla diminuzione dell'ampiezza relativa trasmessa e un calo di 7 volte nella gamma delle frequenze

trasmesse (cioè, erano presenti meno armoniche ad alta frequenza). Quanto più lontano dalla sorgente del segnale l'attenuazione della riproduzione femminile si verifica in un filare di un vigneto, a un livello comportamentale impercettibile agli insetti, deve ancora essere determinato. I metodi per determinare tali soglie comportamentali si sono dimostrate efficaci per i maschi di GWSS in condizioni di laboratorio, ma non è stato testato per le femmine di GWSS. In condizioni di campo, le occorrenze di accoppiamento di *Scaphoideus titanus* aumentano con l'aumentare della distanza dalla sorgente del segnale di disturbo.

L'ambito di questo studio non si è esteso abbastanza lontano dalla sorgente del segnale per determinare dove all'interno del filare del vigneto la riproduzione del segnale diventi inefficace nell'interrompere l'accoppiamento di GWSS.

Inoltre, nei vigneti erbosi le strategie di segnalazione di GWSS possono influenzare l'efficacia del disturbo perché maschi e femmine possono comunicare tramite le erbacce che sfuggirebbero alla riproduzione del segnale. In questi casi la gestione del paesaggio, la comprensione fondamentale dell'ecologia della popolazione di GWSS e l'investimento in programmi di gestione a livello di area che integrano tattiche di gestione dei parassiti potrebbero aiutare a mitigare questi problemi.

In conclusione, questa ricerca ha dimostrato che la riproduzione sintetica di vibrazioni specifiche della frequenza attraverso i tralci del vigneto, ad intensità al di sopra e al di sotto della segnalazione naturale delle femmine, hanno interrotto l'accoppiamento di GWSS, che in ultima analisi, dovrebbe sopprimere la crescita della popolazione nei vigneti a causa della mancanza di deposizione di uova fecondate. Tuttavia, l'utilità del segnale progettato nel ridurre le perdite causate dalla malattia di Pierce deve ancora essere determinata.

Nonostante siano necessari ulteriori studi per garantire la totale implementazione di questo metodo, i risultati di questo studio continuano a supportare l'integrazione tra l'interruzione dell'accoppiamento con segnali vibrazionali e i correnti metodi per reprimere le popolazioni di GWSS.

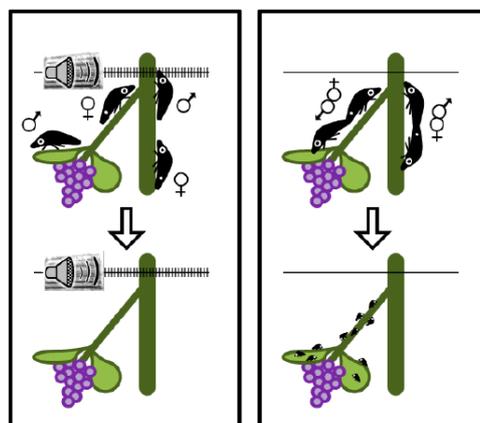


Figura 24 – Illustrazione grafica delle conseguenze dell'utilizzo di segnali vibrazionali sulla pianta sull'incidenza di accoppiamento tra individui maschili e femminili di *Homalodisca vitripennis*.

### 3.4 Studio sul microbioma di foglie di vite esposte alla musica

Studi recenti hanno dimostrato che le piante rispondono alle vibrazioni sonore naturali e sintetiche (SV) per percezione e trasduzione del segnale, che ha portato alla resistenza ai patogeni vegetali.

Nello studio di Wassermann, Korsten e Berg (2021) sono stati confrontati il microbioma associato alla vite, che è stato perennemente esposto alla musica classica, con un gruppo di controllo non esposto proveniente dallo stesso vigneto a Stellenbosch, in Sud Africa.

Analizzando il gene rRNA 16S e le librerie dell'amplicone del frammento ITS, è stata trovata una differenza tra il microbioma centrale delle foglie esposte a SV e quello nelle foglie del gruppo di controllo.

Inoltre, l'abbondanza di taxa identificati come potenziali produttori di composti organici volatili che contribuiscono alle caratteristiche sensoriali dei vini, ad esempio *Methylobacterium*, *Sphingomonas*, *Bacillus* e *Sporobolomyces roseus*, erano aumentati o addirittura unici nel nucleo della popolazione di fillosfera esposta alla musica.

Studi recenti hanno dimostrato che, oltre ai microrganismi associati alle piante, quest'ultime sono anche sensibili alle vibrazioni sonore naturali e sintetiche (SV) tramite la percezione e la trasduzione del segnale e l'attivazione dell'ISR (Resistenza Sistemica Indotta). Ciò ha provocato resistenza nei confronti di patogeni vegetali come la muffa grigia *Botrytis cinerea* ed un miglioramento della salute delle piante (Choi et al., 2017). Inoltre, nuovi dati forniscono prove crescenti di un meccanismo molecolare per la percezione e la trasduzione del suono, migliorando la germinazione, la crescita, lo sviluppo, la resa delle colture e l'aumento della tolleranza allo stress da siccità (Mishra et al., 2016). L'ipotesi degli studiosi di questo esperimento era che la SV non interferisce solo coi patogeni, ma sposta l'intero microbioma in uno stato equilibrato, che ha portato ad una migliore salute delle piante. Per verificare questa ipotesi, è stata utilizzata l'uva di *Vitis vinifera* come modello. Il microbioma indigeno e gli agenti patogeni sono ben studiati. Il microbioma associato all'uva è risultato essere coinvolto nella salute delle piante, e dai loro composti organici volatili sul terroir vitivinicolo. Attualmente la produzione di uva secondo quelle che sono le tecniche convenzionali si basa sull'uso di elevate quantità di pesticidi, che devono essere drasticamente ridotte. Stimolanti fisici, come le SV, che non sono state studiate sulla vite o su qualsiasi altro microbioma associato alle piante, offre una possibilità ecologica per controllare i patogeni.

Allo scopo di valutare un effetto delle SV sotto forma di suono udibile sul microbioma della fillosfera, sono state esaminate le foglie di vite (cultivar "Syrah") del vigneto De Morgenzon a Stellenbosch, Sud Africa, che è stato continuamente esposto alla musica classica, principalmente barocca, per tutta la durata della stagione di crescita e confrontati con foglie non esposte. Questo studio pilota propone

un effetto di SV sotto forma di musica sul microbioma della fillosfera delle viti, potenzialmente supportando la resilienza delle piante e intensificando il terroir del vino rosso.

Per le analisi del microbioma sono state raccolte foglie di *Vitis vinifera* cultivar “Syrah” a febbraio 2019 dal vigneto De Morgenzon a Stellenbosch, Sud Africa. Una sottozona del vigneto è stata impiantata nel 2004 e dotato di altoparlanti, in continuo ascolto musica classica (barocca e prima classica di compositori selezionati) per 24 ore al giorno e sette giorni alla settimana per tutta la stagione di crescita.

L'esposizione alla musica ha ridotto la presenza di Ascomycota (77%) e un aumento dell'abbondanza di Basidiomycota (22%) (Figure 25 e 26).

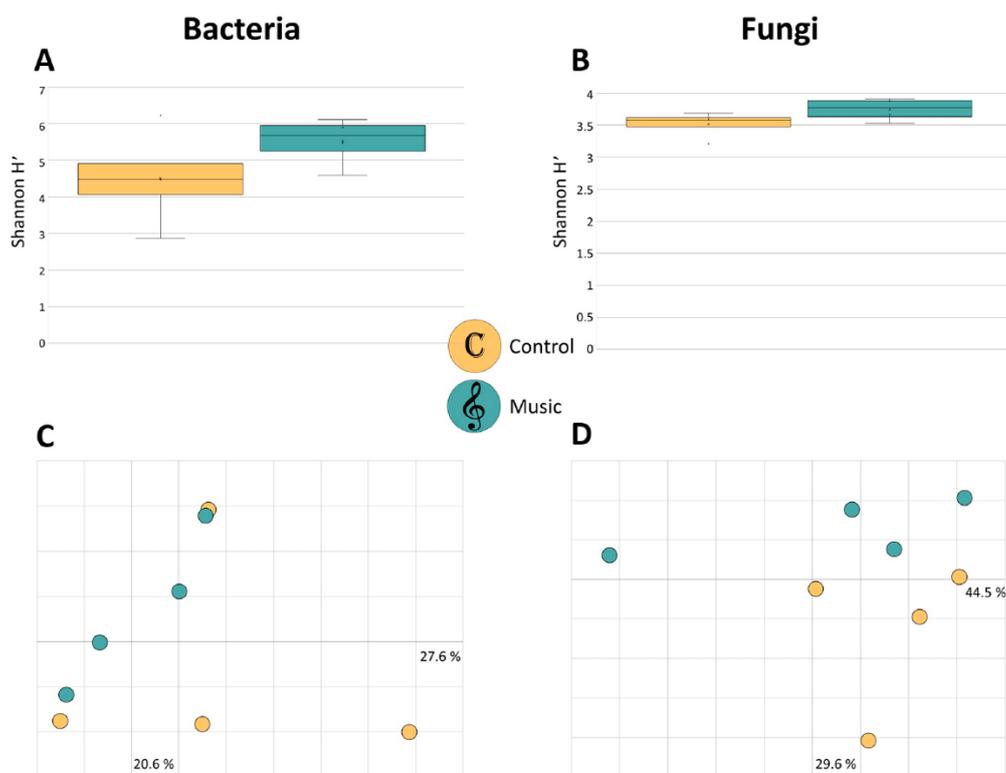


Figura 25 – Confronto delle diversità alfa e beta tra le comunità batteriche e fungine associate alle foglie di vite. I campioni “controllo” e “musicati” vengono rappresentati rispettivamente in giallo e in blu, come indicato nella legenda al centro della figura. I fragifici a scatola e baffi rappresentano la diversità alfa batterica (A) e fungina (B) basata sull’indice Shannon H’. I grafici bidimensionali dell’analisi delle coordinate del principio di Bray Curtis (PCoA) visualizzano il raggruppamento di comunità della composizione batterica (C) e fungina (D). Le differenze nella diversità alfa e beta non erano particolarmente significative tra i due gruppi, sia secondo il test di Kruskal-Wallis che per l’analisi di somiglianza (ANOSIM) ( $p < 0,05$ ).

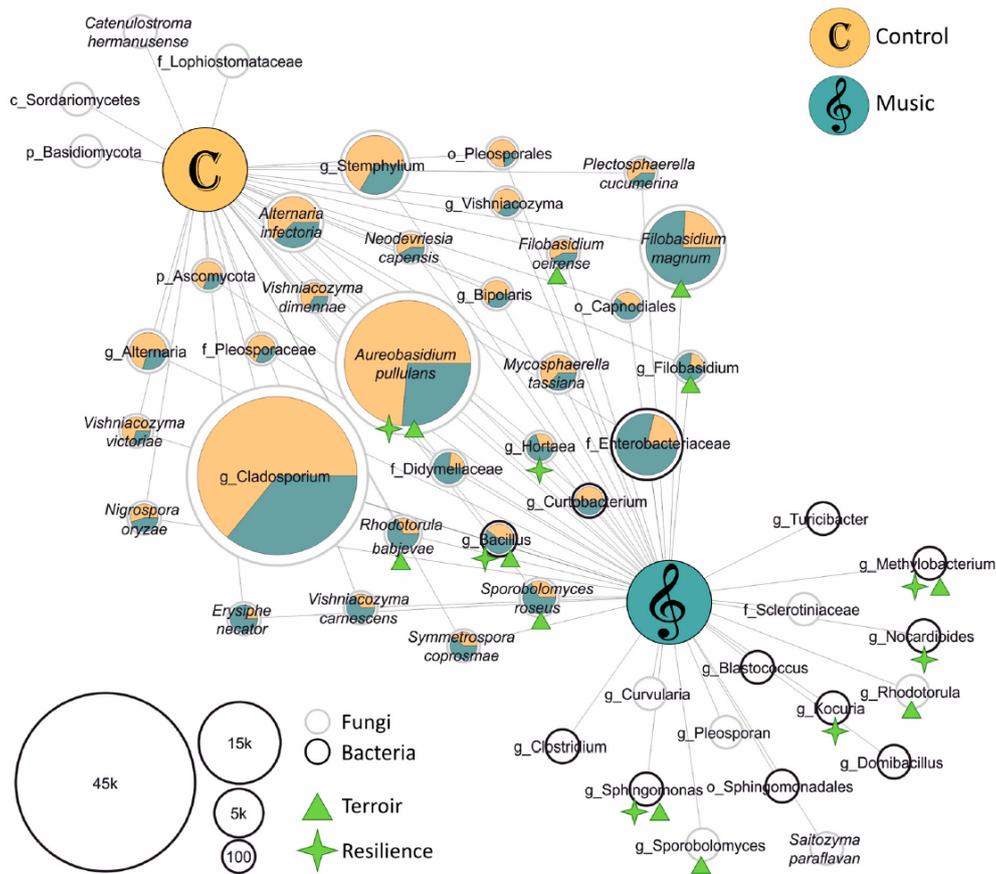


Figura 26 – Rappresenta i taxa microbici condivisi e specifici nelle foglie di vite esposte a vibrazioni sonore (SV) e di controllo. Nell’analisi sono stati inclusi solo i taxa fungini e batterici (a livello di specie) rilevati almeno nel 75% delle repliche del campione. La dimensione del nodo corrisponde all’abbondanza assoluta nel set dei dati e i contorni del nodo indicano i batteri (colore nero) e i funghi (colore grigio), come indicato in legenda in basso a sinistra. I grafici a torta dei nodi condivisi indicano l’abbondanza osservata all’interno dei due gruppi, dove il colore dei nodi condivisi è correlato alle foglie “controllo” (colore giallo) e alle foglie “musicata” (colore blu). I simboli verdi indicano il potenziale del microbioma nel supportare la resilienza dell’ospite (stelle) e/o a contribuire al terroir (triangoli).

Il presente studio pilota è il primo a descrivere il potenziale impatto delle SV nella forma di musica sul microbioma vegetale autoctono. I risultati indicano che l'esposizione costante alla musica modula il microbioma della fillosfera della vite, dimostrando che sono aumentati in abbondanza specifici batteri e funghi, e in determinate condizioni distinti taxa precedentemente caratterizzati per esibire caratteristiche benefiche nella resilienza dell'ospite e / o del terroir del vino. Ciò ha verificato l’ipotesi iniziale che SV induce ad uno spostamento del microbioma in uno stato di equilibrio, che porta ad una migliore salute vegetale.

Tra questi ultimi, i taxa associati alla “musica” possono essere suddivisi nei seguenti gruppi: (i) la loro abbondanza è correlata positivamente con la composizione chimica e l’abbondanza di metaboliti dei vini finiti; (ii) sono stati identificati per la produzione VOCs, composti aromatici tipici del vino rosso, e (iii) prevalentemente lieviti, che svolgono ruoli importanti durante la fermentazione alcolica,

contribuendo in modo significativo alla qualità e ai profili aromatici del prodotto. Va detto che (ii) e (iii) non si escludono a vicenda. La produzione del vino, infatti, è un processo complesso che comprende l'impatto dei consorzi batterici e fungini sulla chimica del vino.

Qui vanno sottolineati anche i limiti di questo studio pilota. Nonostante gli sforzi, un campionamento interamente randomizzato non era pratico a causa delle circostanze del vigneto; in particolare per le posizioni degli altoparlanti. Quindi, un effetto correlato alla variabilità del suolo tra i punti di campionamento non può essere escluso. Integrare una situazione di partenza senza musica e un successivo esame dei fattori di manipolazione, significherebbe consentire un'analisi più completa. Inoltre, le osservazioni di questo studio devono essere confermate per altre cultivar e vigneti di *Vitis*, e per trarre conclusioni sull'impatto di SV sul gusto dei vini finiti deve essere analizzato anche il microbioma degli acini.

Tuttavia, studi di onde sonore su piante, agenti patogeni e il totale microbioma della fillosfera associato alla vite scoperto in questo studio, ha dimostrato che la musica aumenta potenzialmente la salute e la resilienza delle piante attivando un sistema immunitario, inducendo un corrispondente spostamento del microbioma.

Il suggerimento degli esperti che hanno lavorato allo studio è quello che la musica venga considerata come un parametro di gestione di un'agricoltura non invasiva che può aumentare il microbioma della vite verso una composizione favorevole, influenzando così la qualità e le caratteristiche del vino.

Tuttavia, questo studio suggerisce che la SV sotto forma di musica potrebbe avere un impatto sul microbioma della vite con un potenziale ancora inesplorato per la salute delle piante e il terroir, che è importante per una viticoltura sostenibile e rispettosa dell'ambiente.

### 3.5 L'uso della Protéodie nei vigneti e nelle cantine francesi

La Protéodie (la musica delle proteine) è una tipologia di musica che si basa sulla trascrizione delle catene aminoacidiche in una sequenza musicale, basandosi sul fatto che ad ogni proteina corrisponde una melodia specifica, costruita a partire dalle onde emesse dagli aminoacidi che lo compongono (Prisa e Gullino, 2018).

Proprio nel momento in cui i vari amminoacidi si vanno a legare tra di loro, emettono una frequenza precisa, e la frequenza delle onde emesse è proporzionale alla massa della molecola dell'amminoacido.

Questa tecnica è stata messa a punto nel 1992 da Joel Sternheimer, fisico e musicista francese, 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.

Gli esperimenti principali sono stati condotti sulle piante di pomodori, sia in Europa che in Africa, e si è notato che l'esposizione a queste melodie ha portato ad una crescita di due volte e mezzo in più rispetto a quelli non trattati (Gullino e Cerrano, 2017). Alcune delle piante, oltre ad essere molto più sviluppate, avevano frutti più dolci e saporiti e resistevano meglio alla siccità (Prisa, 2018). Le sequenze musicali stimolavano le proteine responsabili dello sviluppo delle piante, tra cui il citocromo c e la taumatina, per un totale di tre minuti al giorno. Utilizzando una Protéodie inibente, Sternheimer sostiene anche di aver fermato il virus del mosaico con la riproduzione delle sequenze di note da lui appositamente progettate (Gullino e Cerrano, 2017).

Attualmente in Francia la Protéodie viene praticata da 36 viticoltori francesi. È stato grazie ad una dimostrazione tecnica da parte dei viticoltori che l'enologo Michel Lorient (Figura 27) è entrato a conoscenza della Protéodie, e ne è rimasto affascinato. Da almeno dieci anni ha implementato nei suoi possedimenti questa particolare musica, col fine di proteggere le sue viti dalle malattie del legno. Secondo lui “la Protéodie, diffusa nelle vigne, migliora la fioritura e conferisce all'uva una maggiore resistenza alle malattie”. Ogni giorno Lorient trasmette il suono per 10 minuti alle 6:00 del mattino e per altri 10 minuti la sera alle 20:00, per misurare l'impatto di questa tecnica sullo sviluppo del mal dell'esca (Dujardin, 2013)



Figura 27 – Michel Lorient all'interno della sua cantina.

Il mal dell'esca (Figura 28) è una malattia della vite causata da un gruppo di funghi che colonizzano i vasi linfatici e il legno, impedendo il trasporto dell'acqua e dei nutrienti dalle radici alla parte aerea della pianta. È diffusa in tutte le aree del mondo producendo gravi danni, soprattutto perché al momento non sono presenti in commercio prodotti che non siano tossici e che siano in grado di contrastarla.



Figura 28 – Tipici sintomi del mal dell'esca su piante di vite.

Per poter trasmettere queste melodie delle proteine vengono utilizzati i “Protéodie Box”, dotati di pannello solare e batteria, resistenti all'acqua e programmabili tramite sistemi di comunicazione mobile (GSM). Servendosi di 4 altoparlanti e di 2 amplificatori, i Protéodie Box possono coprire un'area di quasi 15 ettari. Le emissioni di suono sono molto brevi, dai 5 ai 10 minuti, ma possono essere ripetute fino a 5 volte al giorno, a seconda di quelle che sono le esigenze della pianta.

In Francia, nel 2002, è partita una campagna per cercare di ridurre e prevenire i danni dell'Esca, soprattutto in seguito al divieto di utilizzo dell'Arsenito di sodio.

Tra il 2008 e il 2019 sono stati condotti degli studi (Prévost et al., 2020) per contrastare gli effetti del mal dell'esca sulla vite, oltre che della peronospora. Anche la peronospora è causata da un fungo, la *Plasmopara viticola*, la quale riguarda principalmente foglie e bacche, ma ha un forte impatto sul vigore dei ceppi, quindi sia sulla vendemmia che sulla qualità finale del vino.

I valori storici del tasso di mortalità correlato all'esca sono stati riportati nelle Figure 29 e 30, nonché i tassi di mortalità rilevati anno dopo anno dallo stabilimento che ha utilizzato la Protéodie (primo anno). Prima dell'inizio dell'esposizione alla musica, il tasso di mortalità medio oscilla tra l'1,8 e il 5,5%. Già dal primo anno di diffusione c'è una diminuzione graduale del tasso di mortalità intorno all'1,5% (inizio delle diffusioni), e tra l'1 e il 2% di mortalità negli anni successivi. La differenza tra l'incidenza della mortalità prima e dopo aver impostato il processo di emissione è stata statisticamente significativa, con un intervallo di confidenza del 95%.

Moyenne de l'évolution du taux de mortalité liée à l'Esca avant et après utilisation de la génodique (N=17, IC 95%)

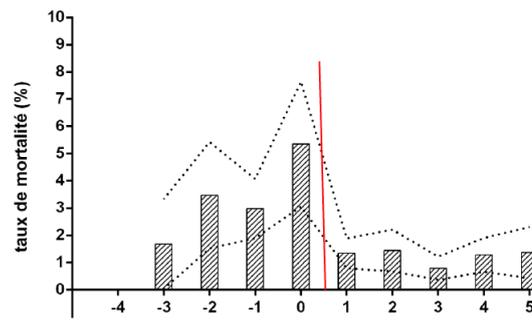


Figura 29 – Tasso di mortalità medio delle piante di vite legato al mal dell'esca prima e dopo l'utilizzo della musica (Prévost et al., 2020)

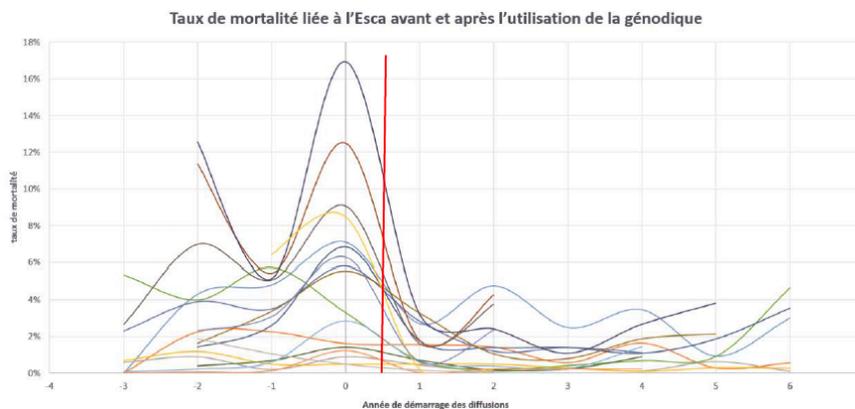


Figura 30 – Dettaglio dei tassi di mortalità legati al mal dell'esca prima e dopo l'utilizzo della musica (Prévost et al., 2020)

I dati sulla mortalità correlata all'esca, rilevati anno dopo anno, sono stati utilizzati per calcolare l'evoluzione di tale mortalità dalla media storica di ciascun appezzamento. Questa media storica è la percentuale di perdita all'anno prima dell'inizio dell'esperimento, sulla base di 3-5 anni di dati disponibili. La curva nera (Figura 31) indica le medie annuali, mentre le barre verticali gli intervalli di confidenza dei dati per ogni anno, con un indice di confidenza (CI) scelto al 99%, tra il tasso medio storico e l'anno 7, in seguito ad installazione del Protéodie Box. Si rileva una diminuzione media del tasso di mortalità del 57% dal primo anno di utilizzo, per poi avere una stabilizzazione negli anni successivi tra il 50 e il 65% del tasso di mortalità dei mezzi storici.

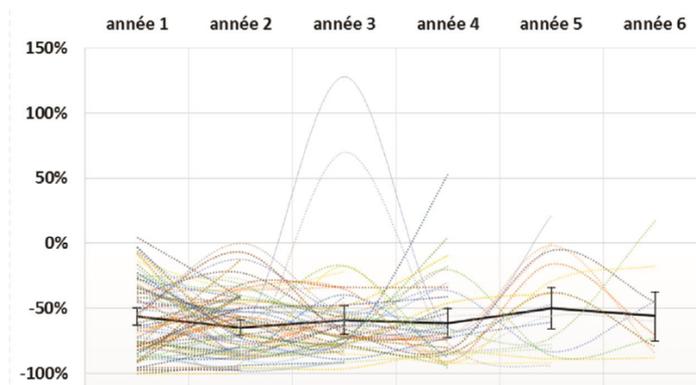


Figura 31 – Evoluzione del tasso di mortalità correlato all'esca rispetto alla mortalità media storica (N = 91 vigneti 1.209.020 viti su 260 ha in totale, IC 99) (Prévost et al., 2020)

A Château Gaudrelle, a Vouvray, dal 2014 al 2019, su due vigneti piantati nello stesso anno (1986), con lo stesso vitigno, lo stesso terroir e a circa 500 metri di distanza, è stato effettuato un conteggio annuale delle piante che mostravano sintomi di esca dall'attuazione del processo di trasmissione musicale, sistematicamente validato con il viticoltore, lo stesso giorno per i due vigneti.

Confrontando i risultati ottenuti per il grafico "controllo" e il grafico "musicato", si può notare che, per i sintomi come per il tasso di mortalità, l'espressione dell'esca varia allo stesso modo a seconda dell'anno su entrambi i vigneti. Questo conferma la somiglianza delle trame e del contesto in cui si evolvono (clima, patogeno, esposizione, ecc.). Quando osserviamo la distribuzione dei risultati nei grafici C e D (Figura 32), sembra che la dispersione dei valori sia maggiore per il grafico di controllo, soprattutto per i sintomi (valore compreso tra 0 e 4% per il grafico "musicato", e tra 0,5 e 11% per la trama "controllo"). Gli andamenti stagionali annuali che condizionano lo sviluppo naturale dell'esca può essere trovato da un appezzamento all'altro ogni anno, ma sembrano subire una marcata attenuazione, tra il 38 e l'80%, nella parcella che è stata esposta alle frequenze della Protéodie (Figura 34).

Tutti questi risultati indicano una differenza nello sviluppo dell'esca su questi due vigneti con caratteristiche identiche.

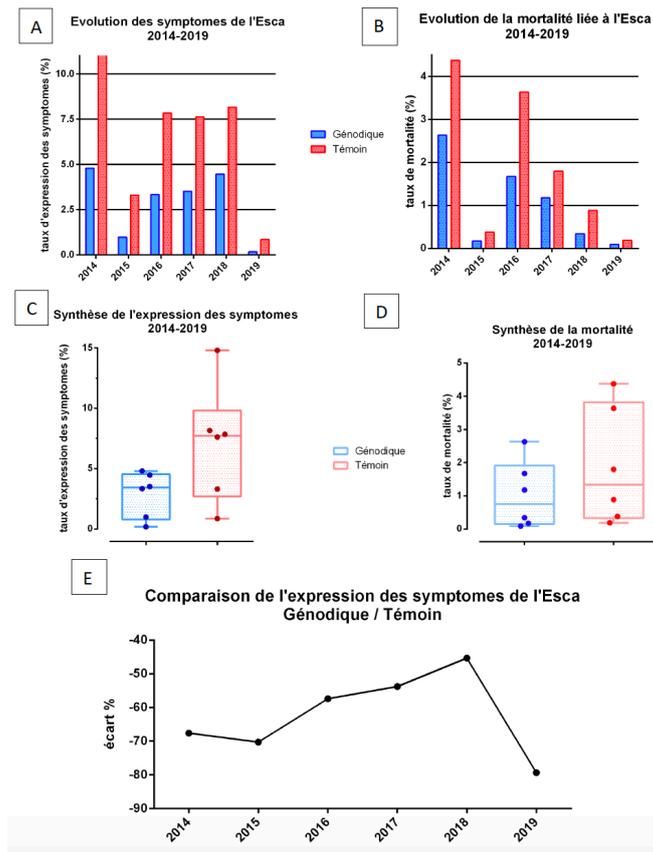


Figura 32 – Comparazione dell'evoluzione del mal dell'esca prima e dopo l'uso di musica (Prévost et al., 2020)

Gli effetti delle frequenze sulla prevenzione e riduzione degli effetti della peronospora, invece, sono stati rilevati nel 2016 su di un appezzamento di 7 ha a Château Fayau, a Cadillac. Questo vigneto ha ricevuto i trattamenti usuali per la peronospora, applicati dal viticoltore, e in più è stato posto un Box diffusore ad un'estremità del lotto.

I numeri di macchie sul grappolo legati alla presenza di peronospora sono stati contati in gruppi di 5 ceppi. Questi valori sono stati rappresentati in funzione della distanza di ciascun gruppo dall'emettitore di musica. Nel grafico (Figura 33) si può notare un aumento di numero di macchie sul grappolo a seconda della distanza, soprattutto tra le distanze da 150 a 200 metri. La regressione lineare dei dati sul grafico presenta un forte deflessione a questa distanza, che corrisponde al limite di diffusione acustica del dispositivo installato. Tra 0 e 150 metri, il numero di macchie sui grappoli è compreso tra 0 e 1, poi varia da 1 a 7 sui grappoli tra 150 e 250 metri. La correlazione tra la vicinanza al dispositivo e il numero di macchie è rappresentata dalla curva di regressione lineare, nell'intervallo di confidenza del 99% mostrato in linee tratteggiate sul grafico. Questi risultati suggeriscono un maggiore impatto della peronospora sui grappoli quando ci si allontana dall'emettitore di frequenze, con un aumento percepibile da 150 metri in poi dal diffusore.

Nombre de taches de mildiou sur grappe par groupe de 5 cepes  
 en fonction de la distance à l'appareil de diffusion  
 IC 99% - N=83 groupes / 415 cepes

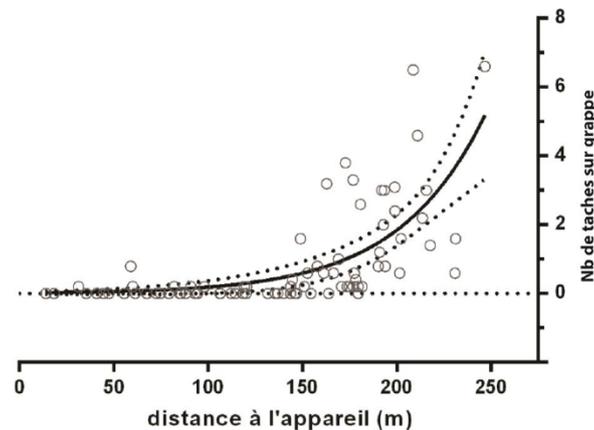


Figura 33 – Numero di macchie di muffa sul grappolo, legate alla presenza di peronospora, a seconda della distanza dal dispositivo di diffusione (Prévost et al., 2020)

Attraverso questi studi, quindi, è emerso che l'effetto della diffusione delle frequenze sulle piante di vite consente un forte calo di mortalità legata al mal dell'esca (tra il 50 e il 70%) e una riduzione della proliferazione della peronospora sul grappolo, di un fattore 6.

Le viti non sono le uniche a beneficiare della dolcezza delle note; la musica classica viene diffusa anche nelle sue cantine, al fine di “mescolare note e sapori. È attraverso le vibrazioni che si possono raggiungere i lieviti presenti nelle bottiglie per attivare la diffusione degli aromi nel vino” (Dujardin, 2013). Al Domaine Jessiaume, a Santenay, Mozart funge da assistente durante la vinificazione. Il dominio della Borgogna trasmette ogni giorno *La Petite Musique de Nuit* durante la fermentazione malolattica, perché secondo quanto riportato dalle prove di Marc e Jean-Baptiste Jessiaume, questa “musicoterapia” produce “risultati sorprendenti durante la fermentazione dei vini” (Dujardin, 2013).

### 3.6 Conseguenze degli ultrasuoni sui precursori tiolici delle uve

Lo studio di Roman et al. (2020) è stato svolto per verificare la possibilità di sostituire la macerazione prefermentativa di uve bianche aromatiche con un breve trattamento con ultrasuoni. L'OIV ha recentemente inserito la tecnologia ad ultrasuoni tra le pratiche ammesse nel trattamento delle uve pigiate per estrarre i composti presenti nelle bucce (Risoluzione OIV-OENO 616-2019).

Utilizzando questa tecnica si diminuiscono notevolmente i potenziali rischi legati alla macerazione, quali lo sviluppo di microrganismi dannosi per la qualità finale del vino, e si ottimizzano le risorse frigorifere e volumetriche, in vasca o in pressa, che si hanno a disposizione.

L'indagine è stata svolta inizialmente con un prototipo industriale, poi, dati i risultati particolarmente soddisfacenti che sono stati ottenuti, ne è stata permessa la continuazione in scala di laboratorio.

Gli studi sono stati effettuati sulle uve di Sauvignon Blanc, lavorate in due cantine situate in zone differenti; la prima si trova in Friuli-Venezia Giulia, nella zona di denominazione d'origine Collio, mentre la seconda è locata in Catalogna, appartenente alla denominazione d'origine Penedès.

Il prototipo industriale utilizzato è stato prodotto dall'azienda veneta Padovan, il quale ha lavorato in continuo sul prodotto in uscita dalla pigiadiraspatrice.

L'alimentazione in entrata del prototipo è stata realizzata in continuo a valle della diraspatrice adoperando una valvola ad "Y", che permetteva di alimentare in modo omogeneo l'impianto ad ultrasuoni ed il testimone in macerazione, assicurando la confrontabilità tra le due differenti prove (Roman et al., 2020).

L'impianto ad ultrasuoni ha eseguito un trattamento di due minuti, alla frequenza di 27kHz, con un'amplitudine degli ultrasuoni del 90%. Il campione sottoposto ad ultrasuoni (US) è stato indirizzato direttamente alla pressa pneumatica, mentre quello non sonificato (TEST) ha subito otto ore di macerazione prefermentativa in un serbatoio refrigerato a 15 °C. Per entrambi i campioni sono stati seguiti gli stessi protocolli e le stesse condizioni di vinificazione, compresa la pressatura, fino alla valutazione sensoriale dei vini, che ha concluso l'esperimento.

Le valutazioni organolettiche dei diversi vini sono state eseguite da un panel di undici enologi esperti nella produzione di Sauvignon Blanc, che hanno espresso una preferenza in termini qualitativi sui vini, degustati alla cieca. È stato poi effettuato un test sensoriale da un gruppo di trenta esperti che hanno valutato, su una scala da 1 a 9, l'intensità dei parametri relativi a colore, olfatto e gusto dei vini.

La valutazione sensoriale è stata condotta all'incirca sei mesi dopo la fine della fermentazione. I risultati non hanno riportato differenze significative tra i due vini per nessuno dei descrittori utilizzati. La mancata differenza fra i parametri gustativi e olfattivi delle due prove conferma che il trattamento con ultrasuoni può realmente sostituire la macerazione prefermentativa usata tradizionalmente per le uve bianche aromatiche.

Per quanto riguarda il giudizio preferenziale dato dal gruppo degli undici enologi, è emerso che tra i vini prodotti nel Penedès non vi era differenza fra i due protocolli di vinificazione applicati, mentre tra i vini del Collio circa il 70% dei degustatori ha espresso una preferenza per il campione trattato con ultrasuoni, e un 10% non ha riportato alcuna preferenza.

Alla fine dell'affinamento è stato quantificato il contenuto di tioli totali, espressi come glutatione. I risultati hanno mostrato pressochè un'uguaglianza dei valori fra i trattamenti applicati ai vini del

Penedès (TEST 37mg/L; US 38mg/L), invece nei vini del Collio, il campione sonicato US è risultato più dotato del campione TEST, rispettivamente con 100mg/L e 60mg/L.

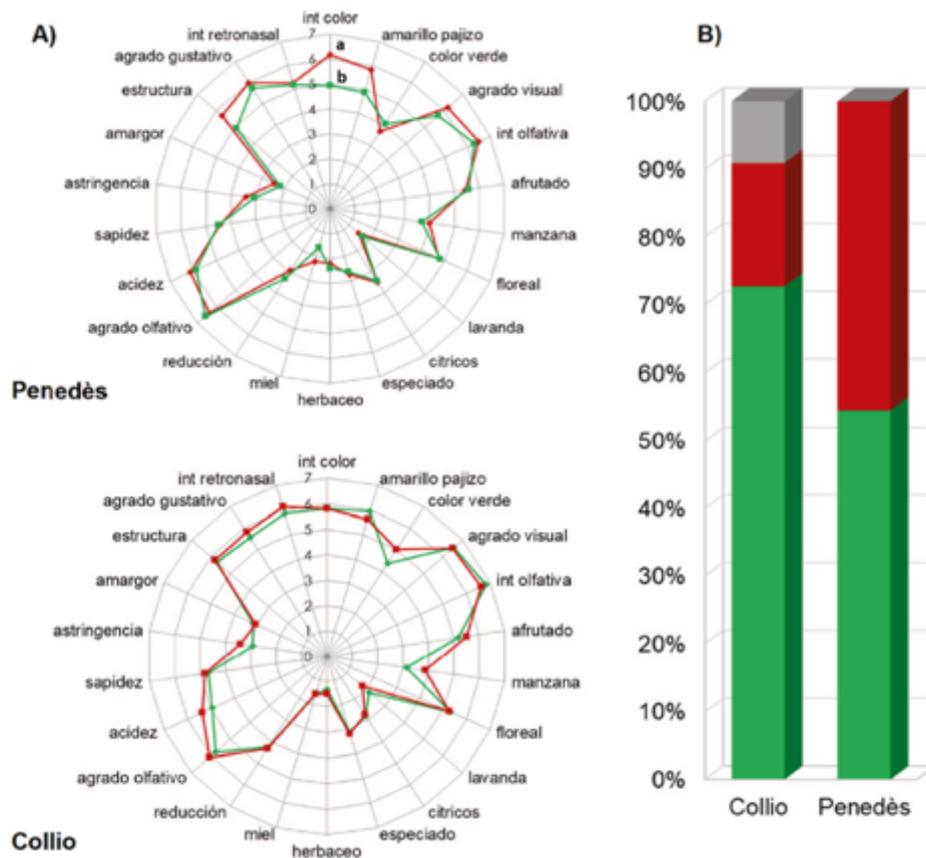


Figura 34 – Rappresenta il valore medio dei descrittori aromatici (A) e del test di preferenza (B) all’analisi sensoriale dei vini prodotti nel Penedès e nel Collio applicando la macerazione tradizionale del pigiadiraspato (■) o gli ultrasuoni (■). In relazione al test di preferenza, il colore grigio (■) indica l’assenza di preferenza espressa dai degustatori (Roman et al., 2020)

Per verificare l’efficacia estrattiva degli ultrasuoni sui precursori tiolici, è stata eseguita una verifica con due varietà tipicamente note per le loro caratteristiche aromatiche, il Sauvignon Blanc e il Gewürztraminer. Sono stati utilizzati cinque campioni per ogni singola varietà, per un totale di dieci campioni, diraspati manualmente e mantenendo il pedicello, in modo tale da mantenere l’integrità della bacca e limitare la formazione di precursori aromatici. Dopo omogeneizzazione, tre repliche di ciascun campione sono state pigiate manualmente e sonicate per 3 e 5 minuti a 20kHz di frequenza, 153µm di ampiezza e con un’uscita nominale di 200W. Per ogni campione sono stati analizzati alcuni parametri della componente fenolica, quali catechine, polifenoli totali, acidi idrossicinnamiltartarici e tannini totali, e la conduttività, per indicare l’efficacia estrattiva del trattamento. I risultati evidenziano che, per entrambe le varietà, i valori degli indicatori fenolici e

minerali di estrazione utilizzati è cresciuto con l'aumentare del tempo di sottoposizione alla sonicazione. Gli unici che non hanno mostrato grosse differenze sono stati i tannini.

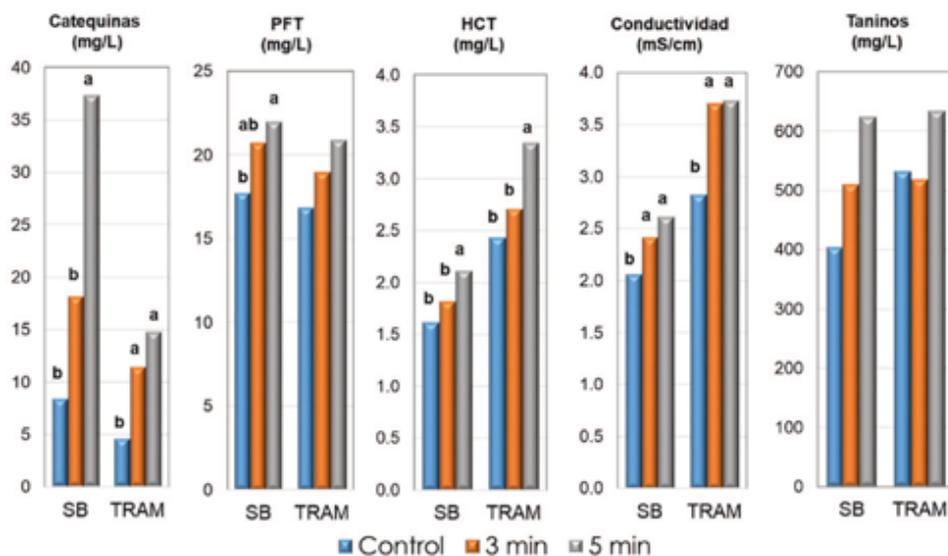


Figura 35 – Indica l'evoluzione della concentrazione media (n=5) degli indicatori estrattivi fenolici e della conduttività in funzione del tempo di trattamento con ultrasuoni. PFT: Polifenoli totali; HCT: Acidi idrossicinnamiltartarici (Roman et al., 2020)

Per quanto riguarda il Gewürztraminer, nessun campione ha fatto registrare dei valori di precursori del 4MMP oltre al limite di quantificazione, dato anche il fatto che la sua presenza è alquanto limitata nei mosti trentini di Gewürztraminer (Nicolini et al. 2020).

Il precursore cisteinillato del 3MH, invece, ha presentato un andamento crescente con il tempo di applicazione degli ultrasuoni, in particolare valori differenziati trascorsi cinque minuti di trattamento. Non si ha lo stesso risultato per il precursore glutantiolato GSH-3MH, la cui concentrazione rimane quasi invariata. Lo stesso si osserva per il Cys-3MH e per tutti gli altri precursori tiolici nel Sauvignon Blanc, in cui non si riscontrano notevoli cambiamenti.

In conclusione, si può affermare che i risultati provenienti dall'analisi di degustazione di questa ricerca hanno permesso di evidenziare la possibilità di sostituire la tecnica di macerazione fermentativa con il trattamento ad ultrasuoni del pigiato, minimizzando i rischi di sviluppo di microrganismi indesiderati legati a questa pratica enologica, e fare un uso migliore dei volumi e degli impianti frigoriferi disponibili per la macerazione. A comprovare la possibilità di modulare il trattamento a seconda degli obiettivi enologici prefissati vi sono la conferma dell'effetto positivo sui meccanismi di estrazione dalle uve della frazione fenolica e la dipendenza dal tempo di trattamento.

Gli esperimenti condotti in laboratorio hanno poi evidenziato la possibile degradazione dei precursori tiolici tramite l'uso degli ultrasuoni, soprattutto per i composti legati al glutatione e alle condizioni di pH più basse. Questa degradazione comporta anche un aumento dei composti tiolici aromatici liberi 3MH e 4MMP.

L'ultimo step dello studio è quello di approfondire l'interazione e gli effetti degli ultrasuoni applicati a livello industriale, in modo tale che i risultati ottenuti da queste prove possano essere utilizzati in qualsiasi protocollo di vinificazione a seconda di quella che sarà la varietà utilizzata, per poter migliorare l'espressione aromatica e tutte le caratteristiche varietali dei vini caratterizzati da questo gruppo di composti.

## 4. Discussione

Prendendo in considerazione gli articoli esposti nei capitoli precedenti, l'uso della musica all'interno di un vigneto è sicuramente una tecnica che può ampliare il concetto di sostenibilità all'interno di un ecosistema.

L'uso di questi segnali vibrazionali ha permesso di interagire su molti aspetti che influenzano la viticoltura, come la gestione del vigneto, lo sviluppo delle piante e le caratteristiche qualitative finali dei vini.

L'incidenza più significativa viene rappresentata dall'interruzione degli accoppiamenti dello *Scaphoideus titanus*, vettore della flavescenza dorata. I dati scientifici hanno riportato che il numero di accoppiamenti all'interno di campi sonorizzati viene limitato ad un numero tra il 4 e il 9%, a differenza dei campi non sonorizzati dove il tasso di accoppiamento si aggira intorno l'80%. Questa incidenza è molto importante da tenere in considerazione per limitare gli interventi contro la fitoplasmosi trasmessa dal Cicadellide. È risaputo che contro questo insetto bisogna effettuare obbligatoriamente due interventi annuali per evitarne la diffusione, ma facendo uso di emissioni musicali si può arrivare ad evitare questo tipo di intervento. Questo permetterebbe quindi di inquinare meno l'ambiente, oltre che salvaguardare gli equilibri dell'agroecosistema.

A tal proposito, recentemente è stata sollevata una forte discussione riguardo al bollettino del 16 giugno 2021, rilasciato dalla Fondazione Mach-Centro trasferimento tecnologico. Al suo interno si parla della flavescenza dorata e in particolare della sua forte influenza, ormai difficile da contenere. Nel bollettino vengono indicati due trattamenti da svolgere in due fasi separate tra l'inizio e la fine di giugno, e tra i prodotti utilizzabili è stato inserito il Trebon, a base di etofenprox, che è particolarmente nocivo per gli insetti utili (Figura 36), oltre che per l'uomo. Il maggior impatto lo ha verso le api, una specie che sappiamo essere essenziale per il funzionamento di un ecosistema.

"Gli insetticidi di origine chimica possono essere molto specifici, ma hanno un elevato potere abbattente e sono molto tossici". Queste le parole di Clementina Balter, presidente del Consorzio vignaioli del Trentino, e Matilde Poggi, presidente Federazione italiana vignaioli indipendenti Fivi (Fin, 2021). Questi prodotti infatti alterano sensibilmente l'agroecosistema che del vigneto, e c'è poi da considerare il fatto che nonostante abbiano un'azione diretta sulla fitoplasmosi, non la risolvono, ma la combattono in maniera temporanea.

L'unica via per evitarne la diffusione è la eradicazione dell'intera pianta infetta.



Figura 36 – Immagine proveniente dall'articolo G. Fin 2021.

Quindi, considerando che le vibrazioni vanno a interferire sull'accoppiamento della specie *Scaphoideus titanus*, vettore della fitoplasmosi, si può pensare di arrivare a ridurre gli accoppiamenti dei cicadellidi con un'incidenza tale da non dover applicare in vigneto i prodotti chimici proposti per il contenimento della malattia della vite.

Si avrebbe quindi un minor impatto sugli insetti pronubi, i quali possono svolgere il loro ciclo vitale senza alcun impedimento, riuscendosi anche a sviluppare grazie all'interazione che si va a creare con le specie spontanee e ornamentali naturalmente presenti o impiantate. Una tra queste, particolarmente sfruttata dagli impollinatori, è la sulla (Figura 37), che deve essere sfalciata se in fiore, come tutto il manto erboso presente, prima dei trattamenti obbligatori contro lo *Scaphoideus titanus*. Le api vanno a cibarsi del polline di questa specie, andando poi a produrre il miele di sulla, utile per loro oltre che per l'utilizzo gastronomico che si può trarre, perciò è bene preservarla.



Figura 37 – Pianta di sulla in fioritura.

Trae molto giovamento della presenza di questa pianta anche il terreno; il suo apparato radicale si sviluppa molto in profondità, creando numerosi canalicoli, che alla morte della pianta rimangono

vuoti e permettono il passaggio dell'acqua e dell'aria a buone profondità. Permette quindi alle piante di vite di trarre nutrimento e di riuscire a sviluppare in maniera molto più estesa il loro apparato radicale, considerazione molto utile sapendo che l'incidenza della desertificazione sta fortemente aumentando negli ultimi anni.

La Protéodie ha permesso di agire anche sul mal dell'esca, dove in Francia la mortalità delle piante causata da questa malattia fungina è stata ridotta fino al 70%.

Il mal dell'esca non può essere curato se non con prodotti ad azione preventiva, come il Remedier o il Tessior, dei biofungicidi che agiscono per competizione nei siti d'infezione dei funghi patogeni.

Per poter distribuire questi prodotti, però, si deve far uso di operatori in campo, i quali su grandi superfici necessitano di attrezzature come trattori con atomizzatori. Questo comporta, oltre ad un numero maggiore di spese, sia per i prodotti che per gli operai, un maggior impatto sul suolo. Il passaggio di mezzi agricoli può infatti compromettere la struttura superficiale del suolo, causando uno stress a livello del terreno che comporta una minor crescita del manto erboso, una minor percolazione dell'acqua del terreno, oltre che un forte impatto sulle specie animali presenti.

Andare ad evitare tutto questo con l'emissione di musica agisce positivamente sul mantenimento della struttura del suolo, oltre che su sprechi monetari per la manutenzione dei mezzi agricoli, per i biofungicidi da distribuire e gli operatori aziendali. C'è anche da considerare il fatto che i biofungicidi non hanno azione sulla malattia già in corso sulla pianta, perciò se il mal dell'esca non viene individuato nel momento giusto, e di conseguenza non vengono distribuiti nel momento corretto i prodotti indicati, si possono avere forti ripercussioni. L'impiego della musica non ha dei tempi prestabiliti, come accade invece per i trattamenti, ma viene emessa durante tutto l'anno. Questo permette di riuscire sempre ad agire sui funghi responsabili della malattia, riducendo quindi i rischi di non riuscire ad intervenire in maniera tempestiva.

In cantina, l'aspetto più interessante da considerare adottando questa tecnica "musicale" riguarda la possibilità di poter velocizzare il ciclo produttivo, evitando la tecnica prefermentativa di macerazione delle uve.

Poter sottrarsi in cantina di questo trattamento di macerazione riduce notevolmente l'incidenza dei fenomeni di ossidazione, a cui sono particolarmente soggette le uve di varietà bianca, solitamente più aromatiche. Evitare la formazione di PPO (Polifenolossidasi) permette di ridurre le cause di imbrunimento a cui questi prodotti sono particolarmente soggetti, oltre che di diminuire caratteristiche gustative negative che possono formarsi, migliorandoli dal punto di vista tecnologico.

Inoltre, sostituendo la tecnica di macerazione con una ad uso di vibrazioni si riesce a ridurre l'impatto economico che grava sull'azienda. La macerazione prefermentativa è un ciclo può protrarsi per diverse ore, a differenza del processo di sonicazione che necessita di un paio di minuti; per la macerazione servirebbe quindi un uso più prolungato di un determinato spazio di cantina, oltre che di un certo numero di fonti elettriche che possono non essere sprecate.

Si ha quindi l'opportunità di velocizzare i processi di produzione dei vini, avendo un impatto positivo anche sulle risorse energetiche che l'azienda ha a disposizione.

Probabilmente, se applicata in un appezzamento dove si ha una conduzione di tipo biodinamico o basato sui principi dell'agroecologia, questo genere di approccio innovativo basato sull'emissione di frequenze musicali riuscirà a creare una ricchezza e una complessità tale all'interno del sistema da arricchire ogni singola parte presente al suo interno. Si consiglia infatti di irrorare le piante con soluzioni naturali (EM, alghe, preparati biodinamici) durante o subito dopo la stimolazione sonora, per poter migliorare ed avere un'efficacia maggiore di questa tecnica.

Gli autori più idonei per l'adozione di musica all'interno dei vigneti sono quelli classici, ma si può far uso anche della Protéodie, degli ultrasuoni e dei minishaker vibrazionali.

Per lo sviluppo di questa pratica biosonora va sicuramente valutato l'aspetto economico. Tutte le attrezzature, dai minishaker, alle casse, agli strumenti che si possono applicare in campo e in cantina, sono relativamente costosi. Non essendoci una grande richiesta di mercato, le aziende hanno ancora un forte impatto monetario sull'utilizzo di queste attrezzature. C'è però da considerare che la loro durata viene ripagata dall'investimento sostenuto, quindi se si sceglie di investire a lungo termine per la propria azienda, probabilmente quello del prezzo non sarà un fattore limitante.

Si deve anche considerare il momento migliore per andare a riprodurre i suoni; può avere un riscontro negativo la riproduzione di musica a mezzogiorno durante il periodo estivo, in quanto può stimolare l'apertura degli stomi e aumentare la perdita di acqua per evaporazione. Se si fa uso di ultrasuoni invece, è bene sfruttarli con moderazione, soprattutto tra le 5 e le 9 del mattino, dato che essi stimolano gli enzimi e la respirazione delle piante e dei semi.

Sicuramente, riprodurre questi suoni con delle casse di buona qualità porta a dei risultati migliori.

Ritengo sia importante che il futuro riservi tempo e spazio per l'agricoltura biosonora. Dati i risultati positivi riportati negli studi affrontati nel corso di questa tesi, sarebbe bello vedere una maggiore apertura e un forte impegno da parte di più viticoltori nella sperimentazione di questa pratica innovativa. Avrebbe sicuramente un impatto vantaggioso sulla gestione degli agroecosistemi; ridurre

i trattamenti e le operazioni, sia in campo che in cantina, per una gestione più improntata su una visione conservativa e rispettosa della natura favorirebbe la riduzione di principi di desertificazione e soprattutto di inquinamento.

La musica non è solo bella, non fa solo bene al cuore, ma anche alle piante. Diamole il giusto spazio al di fuori dei teatri in cui è solita esibirsi; la sua “magia” potrebbe sorprenderci.

## 5. Conclusioni

La vita, in ogni sua manifestazione, è il risultato di una danza meravigliosa in cui tutto è vibrazione. Adoperando specifiche frequenze musicali si può favorire un aumento nella capacità produttiva dei sistemi agrari ed una potenziale riduzione nell'impiego dell'uso di pesticidi e fertilizzanti che alterano la biodiversità degli ecosistemi, favorendo così un maggior benessere per le piante, gli animali e gli esseri umani.

L'indagine bibliografica condotta ha evidenziato che l'uso della musica e degli ultrasuoni consente di:

- agire contro lo *Scaphoideus titanus*, insetto nocivo per la vite, inibendone l'accoppiamento tramite interferenze vibrazionali;
- aumentare in modo significativo gli elicitori e le molecole di resistenza naturali delle piante;
- ridurre le incidenze delle principali malattie delle piante di vite, quali flavescenza dorata, mal dell'esca, peronospora, malattia di Pierce e botrite;
- agire in modo specifico sulla biosintesi delle proteine, e in particolare sulle sequenze aminoacidiche, facendo uso della Protéodie;
- favorire un incremento nel rilascio di sostanze polifenoliche e aromatiche dalle uve grazie a processi di sonicazione ad ultrasuoni in cantina.

In virtù dei riscontri positivi, l'uso della musica e degli ultrasuoni merita di essere tenuto in considerazione tra le pratiche strategiche da poter includere in viticoltura.

I meccanismi implicati negli effetti osservati sono degni di approfondimento da parte dei ricercatori, oltre che dei viticoltori, perché possono avere un ruolo fondamentale nello sviluppo dell'agroecologia.

## Bibliografia

- Giorgio Riviaccio, *La sezione aurea - Il linguaggio matematico della bellezza*. RBA Italia S.r.l., 2011.
- Silvia Bencivelli, *Perché ci piace la musica*. Sironi editore, 2015.
- Daniele Schön, *Il cervello musicale*. Il Mulino, 2018.
- Carlo Cignozzi, *L'uomo che sussurra alle vigne*. Rizzoli, 2010.
- Pierrick Bourgault, *Vini insoliti*. Edizioni JonGlez, 2015.
- Vigneti <<vibranti>> contro i parassiti. *L'Adige*, 2016.
- J. C. Bose, *Response in the Living and Non-living*, London, New York & Bombay: Longmans, Green & Co., 1902.
- J. C. Bose, *Plant Response as a means of Physiological Investigation*, London, New York & Bombay: Longmans, Green & Co., 1906.
- *Scienza e conoscenza* n°57, *La musica delle cellule: intervista a Carlo Ventura*. Valerio Pignatta, 2016.
- Osella, M. C.; Panichi, M.; Bergamasco, L. *Il benessere nei canili rifugio; problematiche etologiche, medico-legali e soluzioni*. Supplemento (Dicembre 2005) a *Veterinaria*, Anno 19, n. 4, Agosto 2005.
- Prisa, D.; Gullino, P. *La musica che fa crescere le piante*. Edizioni lulù, 2018.
- Creath K., Schwartz G. E., "Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay", *J. Alt. And Complementary Medicine*, vol. 10(1), pp. 113-122, 2004.
- Singh A., Jalan A., Chatterjee J., "Effect of sound on plant growth", *Asian Journal of Plant Science and Research*, vol. 3(4), pp. 28-30, 2013.
- Qin Y., Lee W., Choi Y., Kim T., "Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures", *Ultrasonics*, vol. 41(5), pp. 407-411, 2003.
- Gagliano M., "Green symphonies: a call for studies on acoustic communication in plants", *Behavioral Ecology*, pp. 1-7, 2013.
- Virant et al., *Biotremology: from basic research to application*. PheroFip, 2019
- Mazzoni, V.; Lucchi, A., *Dieci anni di studio sulla comunicazione vibrazionale in *Scaphoideus titanus*: dalla teoria alla pratica*. ATTI DELL'ACCADEMIA NAZIONALE ITALIANA DI ENTOMOLOGIA. RENDICONTI, 62: 209-214, 2014.
- Wang B., Yiyao L., Xuefeng L., Chuanren D., Sakanishi A., "Effects of sound field on the growth of *Chrysanthemum callus*", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Volume 24, Issues 3-4, pp. 321-326, 2002.

- Krugner R.; Gordon Shira D., Mating disruption of *Homalodisca vitripennis* (Germar) (Hemiptera: Cicadellidae) by playback of vibrational signals in vineyard trellis. Pest Management Science. Volume 74, Issue 9 p.2013-2019, 2018.
- Wassermann, B.; Korsten, L.; Berg, G., Plant Health and Sound Vibration: Analyzing Implications of the Microbiome in GrapeWine Leaves. Pathogens 2021, 10, 63.
- Choi, B.; Ghosh, R.; Gururani, M.A.; Shanmugam, G.; Jeon, J.; Kim, J.; Park, S.-C.; Jeong, M.-J.; Han, K.-H.; Bae, D.-W.; et al. Positive regulatory role of sound vibration treatment in *Arabidopsis thaliana* against *Botrytis cinerea* infection. Sci. Rep. 2017, 7, 1–14.
- Mishra, R.C.; Ghosh, R.; Bae, H. Plant acoustics: In the search of a sound mechanism for sound signaling in plants. J. Exp. Bot. 2016, 67, 4483–4494.
- Anindita Roy Chowdhury; Anshu Gupta, Effect of Music on Plants – An Overview, International Journal of Integrative Sciences, Innovation and Technology (IJIT), 4(6), 30 – 34, 2015.
- T. Roman et al., Indagini sugli effetti del trattamento con ultrasuoni sui precursori tiolico delle uve, [www.infowine.com](http://www.infowine.com), N. 9/3, 2020.
- Polajnar, J.; Eriksson, A.; Virant-Doberlet, M.; Mazzoni, V., Mating disruption of a grapevine pest using mechanical vibrations: from laboratory to the field. Journal of Pest Science 89, 909-921, 2016.
- Prévost et al., Synthèse decampagnes d’expérimentation *in situ* et utilisations pratiques de la méthode de regulation épigénétique de la synthèse protéique développée par J. Sternheimer, dans le domaine agricole: Étude des cas Vigne (champignons: Esca et Mildiou), Endive (bactérie: Erwinia) et Courgette (virus: WMV2, ZYMV), <https://www.researchgate.net/publication/338479404>, 2020.
- Gullino P.; Cerrano S., Piante Edibili, Piante Incredibili, Piante innovative. Vol. II. Associazione culturale Natura Maestra, 2017.
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Successione\\_di\\_Fibonacci](https://it.wikipedia.org/wiki/Successione_di_Fibonacci)
- <https://la-plumeria.com/2015/06/05/meristemi-e-fibonacci/>
- <https://auralcrave.com/2018/06/20/la-sezione-aurea-in-musica-le-canzoni-della-proporzione-divina/>
- <https://www.musica-spirito.it/musica-2/filosofia/sequenza-di-fibonacci-e-note-musicali/>
- <http://revolutionbug.blogspot.com/2015/09/1-ordine-del-caos.html>
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Rapporto\\_tra\\_musica\\_e\\_matematica](https://it.wikipedia.org/wiki/Rapporto_tra_musica_e_matematica)
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Sezione\\_aurea#Musica](https://it.wikipedia.org/wiki/Sezione_aurea#Musica)
- [http://www.giovanaspantigati.it/cleve\\_backster.html](http://www.giovanaspantigati.it/cleve_backster.html)

- <https://corrierequotidiano.it/ambiente/agricoltura-biosonora-le-coltivazioni-del-futuro-alle-piante-piace-mozart/>
- <https://www.fmach.it/CTT>
- <https://www.vitisphere.com/actualite-61857-Viticulture-la-proteodie-ou-la-mise-en-musique-de-la-protection-des-vignes.htm>
- <http://blog-appuntamento-con-l-omeopatia.it/larmonioso-suono-dellomeopatia/>
- <https://www.ildolomiti.it/ambiente/2021/insetticida-trebon-sulle-viti-i-vignaioli-forti-effetti-sullecosistema-e-molto-tossico-per-le-api-non-possiamo-pensare-che-questa-sia-lunica-soluzione-puntare-sulla-ricerca>

## Ringraziamenti

Grazie a tutti voi.

A mamma e papà, per avermi amato e sostenuto incondizionatamente.

A Elisa, il mio angelo custode. Senza di te non avrei sconfitto nemmeno metà delle mie paure.

Alla musica, mia fonte di vita e di gioia. La mia forma di espressione più bella, che anche oggi mi accompagna.

A Luca e Chiara, i miei compagni di cammino. Grazie per essere qui con me oggi, grazie per esserci sempre stati fino alla fine e per non aver mai mollato. Nessuna vetta mai ci sfuggirà se saremo insieme.

A Valeria, che nonostante i 551 chilometri di lontananza ha saputo confortarmi e donarmi l'allegria di cui avevo bisogno, giorno dopo giorno.

A Lela, Gege, Manu, Baldo, e a tutti gli amici del Centro Giovani Flood. Grazie per avermi fatto ridere e avermi dato la forza di andare avanti e combattere.

A Manisha, per avermi dato il coraggio di resistere e di credere in me stessa. Hai aperto le mie ali, nascoste ormai da troppi anni.

A Valentina, splendida musicista, per il suo prezioso aiuto e la sua dolcezza infinita.

Alla mia famiglia, a tutti gli amici e alle persone che, anche solo di passaggio, hanno fatto parte di questo mio percorso.

Al Professore Adamo Domenico Rombolà, per i suoi insegnamenti e soprattutto per avermi accompagnato e sostenuto in questo mio ultimo progetto universitario. Alla docente Alessandra Lombini e ad Arleen per il supporto e le attenzioni durante le ultime fasi di stesura della tesi.

E infine, a me stessa. Ce l'hai fatta, nonostante tutto sei riuscita ad arrivare in fondo al traguardo. Smettila di pensare ai "se" e ai "ma"; ciò che importa è il qui e ora, e non cosa diranno o penseranno gli altri. Conta solo quello in cui credi tu.

Non avere paura, ce la puoi fare. Anzi, ce la fai.