



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
SUOR ORSOLA
BENINCASA

DIPARTIMENTO DI
SCIENZE FORMATIVE, PSICOLOGICHE E DELLA
COMUNICAZIONE

CORSO DI LAUREA

SCIENZE DELLA FORMAZIONE PRIMARIA

TESI DI LAUREA
IN
ELEMENTI DI FISICA

SUONO, MUSICA E ONDE NELLA SCUOLA PRIMARIA
Il cervello musicale tra arte e scienza

Relatore

Ch.mo Prof. Emilio Balzano

Candidato
Di Lorenzo Anna Lisa

Matricola 208002172

Anno Accademico 2019-2020

*A mio padre.
Il mio primo maestro di musica,
il mio eterno maestro di vita.*

INDICE

INTRODUZIONE	5
---------------------------	---

CAPITOLO I

L'IMPORTANZA DELLA MUSICA NELLO SVILUPPO DEL BAMBINO: IL CONTRIBUTO DELLE NEUROSCIENZE.

1.1 L'universo sonoro nella vita prenatale.....	9
1.2 Effetti della pratica musicale nell'infanzia.....	12
1.3 Musica e linguaggio.....	14
1.4 Musica e dislessia.....	18
1.5 Musica, movimento, ritmo e sincronizzazione.....	20
1.6 Musica e memoria.....	22
1.7 Musica ed emozioni.....	24
1.8 L'intelligenza musicale.....	29
1.9 Musicoterapia e disturbo dello spettro autistico.....	31

CAPITOLO II

LA DIDATTICA DELLA MUSICA: I METODI SPERIMENTALI

2.1 I limiti del metodo tradizionale.....	34
2.2 La "Music Learning Theory" di E. Gordon.....	36
2.3 La cultura orientale: il metodo Suzuki.....	38
2.4 Il metodo Yamaha.....	40
2.5 Dalcroze e l'educazione al ritmo.....	41
2.6 La pedagogia musicale di Kodaly.....	44

CAPITOLO III

LA FISICA NELLA MUSICA

3.1 Dall'onda al suono.....	49
3.2 Dal suono alla musica.....	54
3.3 Combinazioni di suoni.....	59
3.4 Gli strumenti musicali e la risonanza.....	64
3.5 La riflessione del suono: l'eco, il riverbero e l'acustica degli ambienti.....	68
3.6 La diffrazione del suono: gli scherzi della voce.....	70

CAPITOLO IV

IPOTESI PROGETTUALI DI ATTIVITA' DIDATTICHE

4.1 Come vedere le onde sonore.....	73
4.2 La propagazione delle onde sonore.....	78
4.3 La percezione del suono.....	86
4.4 Concerto per bottiglie, ocarina e flauto di Pan.....	89
4.5 La risonanza e i battimenti.....	96
4.6 I segreti delle corde musicali: sperimentare con il monocordo.....	101
4.7 Costruire strumenti musicali didattici.....	106

CONCLUSIONI.....	109
-------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA.....	112
--------------------------	------------

INTRODUZIONE

“Se non fossi un fisico, sarei probabilmente un musicista.

Io penso spesso in musica.

Io vivo i miei sogni quotidiani in musica.

Io vedo la mia vita in termini musicali”

-Albert Einstein

Per generazioni l'educazione musicale a scuola è stata vista come un insieme di ore di noia in cui i bambini tentavano di suonare Fra' Martino campanaro alla diatonica o L'inno alla gioia al flauto dolce. Durante la mia esperienza come tirocinante mi sono scontrata con la scarsa importanza che viene attribuita all'educazione musicale nella scuola primaria e, d'altro canto, con la scarsa importanza che le famiglie attribuiscono a questa debolezza formativa. A tal proposito, Nicola Piovani ha dichiarato che “La mancanza di educazione musicale nelle scuole italiane non è solo un errore ma è qualcosa di criminale, perché in quella fase i bambini sono ricettivi e abituandosi alla musica si abituano alla ricchezza del linguaggio”. Per Piovani, nonostante l'importanza dello studio di uno strumento, l'insegnamento dovrebbe incentrarsi fondamentalmente sull'abitudine all'ascolto: saper ascoltare è il punto di partenza imprescindibile per qualsiasi attività, e in special modo per la musica. Dobbiamo ridisegnare un curriculum che insegni ai bambini ad amare la bellezza, a cogliere lo stupore. Come suggeriva il maestro Ezio Bosso:

“Bisognerebbe portare i bambini ad ascoltare la musica. Lasciare che lo stupore si impossessi di loro. Questa, secondo me, è la vera magia. Non costringerli a cantare e a ballare solo per il piacere della zia di turno”.¹

¹ Intervista al Corriere di Bologna, Ezio Bosso ha spiegato l'importanza dell'insegnamento della musica ai bambini, fin da piccoli. Il musicista ha pubblicato un libro, scritto con Guido Crainz e Ugo De Siervo, intitolato “I miei primi 2 giugno” (edizioni L'io e il mondo di TJ) dedicato alla musica ed ai bambini.

La musica ha profondi effetti su ogni individuo, qualunque sia il genere che si ascolta. Stimola le capacità cognitive, i ricordi e l'attività motoria. Ha potenzialità terapeutiche e preventive, in particolare verso chi soffre di disturbi neurologici. La musica è la seconda lingua che ogni nazione parla, si tratta di un medium espressivo universale ed estremamente democratico, tutti possiamo comprenderla e identificarci in essa, è infatti possibile risalire alla cultura di un popolo, senza conoscerne il linguaggio, ma, semplicemente ascoltandone la musica. Alla luce di questo, una corretta educazione musicale fin dalla tenera età, ascoltare musica e soprattutto fare musica, è un diritto che appartiene ad ogni essere umano, proprio perché attraverso di essa possiamo comunicare ed esprimere la nostra identità, la nostra cultura. Prima di addentrarmi all' interno dello sconfinato mondo che è la musica, è doveroso da parte mia chiarire che non sono una musicista professionista, ma da musicista autodidatta credo sia giusto indagare tutti gli aspetti di una disciplina, anche i più tecnici, per poter giungere a una resa progettuale che sia il più efficace possibile. La musica è una passione di famiglia, ed essendo da sempre una parte fondamentale della mia vita non poteva non essere anche parte del mio percorso universitario.

Nel primo capitolo, ho analizzato il ruolo chiave che la musica ricopre nello sviluppo del bambino, alla luce degli importanti studi e ricerche avvenuti in ambito neuroscientifico. Le ricerche su cui ho maggiormente soffermato la mia analisi sono quelle compiute dalla prof. Alice Mado Proverbio, dell'università degli studi Milano Bicocca, autrice del libro "Neuroscienze cognitive della musica". Come afferma Riccardo Muti, la musica ha una destinazione. Non esiste la musica ferma. La musica racconta una storia, è evocativa senza mai essere invadente. La sua natura evocativa lascia libero ciascuno di noi di sentirne il messaggio attraverso il filtro soggettivo. Un po' come la poesia. In altre parole, la capacità evocativa della musica deriva dall'interazione tra la sequenza delle note ed il vissuto individuale, lo stato emozionale, l'esperienza di ciascuno. Ciò, agli occhi di chi studia il cervello ed i meccanismi neurali, è estremamente affascinante. Vi è poi un'altra cosa che accomuna la musica alla scienza: la creatività. Albert Einstein definisce la creatività come l'intelligenza che si diverte. Esiste un'estetica della musica ma esiste anche

un'estetica della scienza. Entrambe ricercano continuamente e guardano al profondo delle cose. Lo stesso Einstein diceva che è possibile esprimere il bello con la scienza, attraverso una formula fisica o matematica. Basta pensare a Bach ed alla struttura delle sue composizioni per ritrovare analogie così vicine alla matematica da lasciarci ancora oggi affascinati. Insomma, creatività, intuizione ed espressione artistica rappresentano i livelli più alti delle capacità cognitive umane ed è bello poterli riunire insieme in un'attività come la ricerca in ambito musicale.

Il secondo capitolo tratta delle innovazioni sulla didattica della musica di maestri quali Suzuki, Dalcroze, Gordon, tutti accomunati dal desiderio di un ritorno alla concretezza degli apprendimenti. La loro proposta didattica infatti è focalizzata sull'attenzione verso i processi di apprendimento dei bambini, sulle implicazioni sociali che la musica comporta, ma soprattutto alle loro reali passioni e interessi. Lo scopo della didattica non è l'abilità tecnica, bensì lo sviluppo delle abilità espressive, l'autonomia critica e il fare musica in rapporto con gli altri. I loro studi ed i loro metodi richiamano concetti importanti pedagogici, ci troviamo infatti nel panorama novecentesco, la generazione della pedagogia della Montessori e di Piaget. L'allievo è quindi spinto a far pratica con la musica prima di un qualsiasi approccio teorico, in modo da assimilare gli elementi costitutivi della stessa, per mezzo di attività ludiche che stimolino il reale interesse dei bambini e la partecipazione. Viene data maggior rilevanza al canto, a giochi ritmici corporei che coinvolgono e stimolano la musicalità presente in ogni essere umano. In sintesi la centralità della didattica non è più volta a stimolare il talento, bensì a una formazione completa del bambino.

Il terzo capitolo tratta la natura fisica della musica, dalle fondamenta dell'acustica musicale alle sue applicazioni, all'analisi di elementi dell'universo musicale le cui basi sono da ricercare nella matematica e nella fisica. Se penso a come nasce una scala musicale, alla teoria delle stringhe che sembrano vibrare come le corde di un violino, o al parallelismo tra le teorie rivoluzionarie di Albert Einstein ed Arnold Schonberg, che mettono in discussione ciò che si erano sempre ritenuti i

centri di riferimento, non posso non pensare a come l'arte e la scienza, la fisica e la musica, siano un continuo ed affascinante intreccio.

Il quarto ed ultimo capitolo è incentrato su delle ipotesi progettuali didattiche che purtroppo non ho potuto sperimentare in presenza a causa dell'emergenza Covid19. Si tratta di sperimentazioni pensate per le classi 4° e 5° della scuola primaria, che trattano la propagazione delle onde sonore, la percezione del suono, l'osservazione dei fenomeni fisici come la risonanza ed i battimenti, la conoscenza delle proprietà fisiche degli strumenti musicali per cimentarsi nella costruzione di strumenti musicali didattici.

CAPITOLO I

L'IMPORTANZA DELLA MUSICA NELLO SVILUPPO DEL BAMBINO

La musica ha un effetto terapeutico in tutto il corso della nostra vita. Dal momento in cui la percepiamo per la prima volta dentro il grembo materno, fino a quando siamo in grado di scegliere noi stessi le sonorità e le nostre canzoni preferite, la musica è quel linguaggio universale che unisce e che comunica emozioni, anche senza l'uso della parola. Per i bambini la musica e i suoni sono i primi stimoli di divertimento e di approccio ritmico. La musica è di grande aiuto anche per lo sviluppo del linguaggio oltre che nei primi incontri interpersonali, per questo è importante che sia proposta ai bambini fin dalla scuola dell'infanzia proprio a scopo di far relazionare i nuovi arrivati. L'importanza della musica nello sviluppo del bambino è fondamentale.

1.1 L'UNIVERSO SONORO NELLA VITA PRENATALE

*“ La musica è dentro al bambino,
prima che intorno ad esso ”.*

Edgar Willems

L'apprendimento nei bambini inizia ancora prima della loro nascita, specialmente quello sonoro. L'udito, infatti, è il primo dei cinque sensi che si sviluppa nel feto; gli studiosi affermano che l'orecchio è quasi totalmente formato a partire dal quarto mese e mezzo di gestazione ed è affascinante pensare che già da così piccolo, con tutti gli organi ancora da formare, il feto inizi a sentire la voce della sua mamma, che poi alla nascita saprà riconoscere. Attorno alla quinta settimana, le sonorità che giungono ai recettori acustici del bambino vengono scortate tramite la vibrazione del ventre materno e successivamente filtrate dal liquido amniotico e spogliate dalle frequenze gravi. Tale vibrazione, che varia la pressione del liquido amniotico, genera nel bambino contemporaneamente una stimolazione sia tattile sia uditiva. A

partire dalla 16-18 settimana di gestazione, quando il feto inizia a percepire i primi suoni esterni, vi è la possibilità che anche la musica venga assimilata come tale e non semplicemente come un sottofondo confuso, come si potrebbe invece pensare. Il feto, oltre alla melodia, è in grado di percepirne il grado di apprezzamento da parte della madre, così come percepisce tutte le emozioni. La musica al bambino arriva tramite due meccanismi, uno è l'udito vero e proprio e l'altro è la vibrazione ossea. Entrambi sono validi ed importanti aiuti per metterlo in contatto con l'esterno, motivo per il quale la musica in gravidanza è importante e consigliata per stimolare la crescita celebrale del bambino. Uno degli studiosi che a tale riguardo ha fornito un vasto contributo è Alfred Tomatis, con numerose ricerche riguardo la comunicazione tra il feto, la madre e mondo esterno. Tomatis si ispirò ad un'affermazione di un famoso autore inglese di fine 1900, Negus, il quale affermava che se "le uova degli uccelli canterini covate da uccelli che non cantano danno origine ad uccelli privi della capacità di cantare"². Tomatis ha concentrato le sue ricerche sullo studio dell'ambiente sonoro nel quale è immerso il bambino. È noto che il fenomeno acustico individuale non necessariamente corrisponde alla manifestazione sonora nelle sue caratteristiche effettive, poiché ogni suono viene interpretato e viene modificato in base alle proprie peculiarità dell'apparato uditivo. Nelle sue prime ricerche, Tomatis cercò di capire come il feto coglie la voce materna attraverso il liquido amniotico dal quale è circondato. Ciò che lo studioso in questione volle provare è che le abilità linguistiche hanno basi prenatali, in altre parole il feto inizia già ad organizzare la sua comunicazione verbale prima di venire al mondo. Ma come percepisce i suoni il feto? Sente le stesse frequenze di noi adulti? Ebbene no, nel suo universo sonoro l'udito del feto è collegato alle frequenze filtrate dal liquido amniotico, il quale trasmette esclusivamente specifiche frequenze che giungono dal mondo esterno, la maggior parte delle quali va oltre gli 8000 Hz. Dopo la nascita, per circa dieci giorni, l'orecchio conserva al suo interno una quantità del liquido, mantenendo dunque il bambino in una situazione simile a quella uterina, dopodiché l'orecchio perde il liquido ed il neonato non percepisce più gli acuti, non sentendo quasi nessun suono; per diverse

² Negus *Purposive use of sound*. La frase di Negus è tratta da A. Tomatis *Dalla comunicazione intrauterina al linguaggio umano*, trad it di L. Merletti, ibis, Como 2001, pag 26.

settimane il suo orecchio, in maniera molto naturale, si allena nuovamente a percepire i suoni, partendo proprio dalla voce materna, che rimane scolpita nella sua memoria prenatale. Alla luce di ciò, potremmo dire che l'orecchio funziona meglio nella vita intrauterina poiché, dopo la nascita, non percepisce più certe frequenze che ormai non gli sono più necessarie. I lattanti, soprattutto per quanto riguarda il range delle frequenze gravi (al di sotto dei 2000 Hz), necessitano tali frequenze da discriminare vengano prodotti con un'intensità maggiore, soprattutto quando devono individuare un suono in presenza di ulteriori eventi acustici che disturbano. Il bambino è in grado di riconoscere benissimo da tutti gli altri rumori la voce della sua mamma, e questa lo accompagnerà per tutta la vita uterina ed è sulla base di questa che si preparerà il suo linguaggio futuro. Infatti è proprio il rapporto speciale instaurato con la madre ed il loro dialogo che fa desiderare al piccolo di comunicare con il mondo circostante, ed è un fattore assolutamente necessario per lo sviluppo delle strutture linguistiche postnatali. Se dovesse verificarsi la mancanza della voce materna nel periodo di gestazione, questo potrebbe compromettere la capacità di ascolto e di linguaggio del nascituro, come se mancassero le fondamenta portanti di tale processo. L'embrione è soggetto a influenze sonore che influenzano in maniera permanente le strutture basilari e il ritmo del linguaggio futuro. Il primo linguaggio assoluto è proprio questo, ossia questa "intima comunicazione fra madre e feto" che ha inizio con l'empatia in grembo. Tomatis scrive: «la voce materna costituisce, indubbiamente, l'impasto sonoro sul quale si modella il linguaggio. Il primo linguaggio, rivolto alla madre, per gli adulti non è che un balbettio, grazioso sì, ma privo di risonanza evocatrice, mentre è certamente la traduzione fonica della comunicazione intrauterina.»³ Infatti madre e figlio sono in grado di comprendersi anche solo con un'espressione del viso, uno sguardo, un piccolo suono, il loro è un dialogo davvero straordinario. Inoltre le mamme con il loro incredibile istinto materno mutano in maniera istintiva e naturale il timbro della voce quando si rivolgono al loro bambino "assumendo delle tonalità acute e rallentandone il ritmo"⁴ ed in questo modo il loro discorso diviene quasi una cantilena.

³ A. Tomatis, *La notte uterina, la vita prima della nascita il suo universo sonoro*. Red edizioni, Milano 1996, 2009. p. 147

⁴ D. N. Stern. *Diario di un bambino*. Mondadori, Milano, 1991. p. 77

1.2 EFFETTI DELLA PRATICA MUSICALE NELL'INFANZIA

“ La musica è la seconda lingua che ogni nazione parla. Proprio per questo noi dovremmo avere diritto e accesso obbligatorio, a scuola, alla musica. È un diritto che compete a ogni bambino. Questo ci permetterebbe di esprimerci e di raccontare quello che abbiamo da raccontare ”.

Mauro Pagani

Per i nuovi piccoli venuti al mondo, la musica continua a rivestire una potente forza stimolante per ciò che riguarda lo sviluppo del cervello e di tutte le capacità cognitive. Quindi non solo una cantilena o la solita ninna nanna sono adatte per i neonati, ma anche la simulazione di dolci ritmi alternati. Questo sembra infatti comportare uno stimolo positivo per sviluppo dei neuroni e dei loro collegamenti. Anche cantare le tradizionali filastrocche, o semplicemente delle canzoncine dalle semplici parole, aiuta il bambino, anche se piccolissimo, a percepire ed a memorizzare il linguaggio che, se pur semplice, verrà in seguito metabolizzato. Tutto ciò è un importante aiuto alla comprensione e all'elaborazione delle prime parole. Quando inizia l'età scolare, quindi dalla prima scuola dell'infanzia, il suono, il ritmo e la musica vengono proposti come un'attività ludico-didattica, con la chiara coscienza che ciò stimoli ed accresca un ampio ventaglio di capacità nei bambini. A partire dall'invitare i bambini alla ripetizione di frequenze ritmiche - musicali con veri e propri strumenti, al ballo di gruppo, per imparare a coordinare i movimenti all'unisono, alla ripetizioni di filastrocche ritmate per stimolare lo sviluppo del linguaggio e per migliorare i piccoli problemi di pronuncia, la musica pare essere il miglior metodo di crescita per un bambino. Numerosi esperimenti e ricerche hanno provato che lo studio della musica fin dai primi anni di vita riporta un notevole miglioramento nello sviluppo cognitivo in primis, ma anche affettivo e motorio. Maria Montessori, grande pedagoga ed educatrice, aveva basato la sua didattica sulla stimolazione dei sensi, tra i vari materiali didattici ricordiamo le famose “scatole dei rumori” o, ancora, la “serie di campanelli”. La Montessori era

convinta che la musica aiuti e potenzi la capacità di concentrazione e aggiunga un nuovo elemento alla conquista dell'ordine interiore e dell'equilibrio psichico del bambino.⁵ L'utilizzo della musica era uno degli elementi cardine del metodo montessoriano. La Concordia University di Montreal ha condotto una ricerca dalla quale si evince che imparare a suonare uno strumento nel periodo dell'infanzia facilita la conquista di abilità motorie, soprattutto per quanto riguarda la coordinazione e la scioltezza. Durante questo studio sono stati sottoposti ad una particolare risonanza del cervello 36 musicisti di età adulta, durante lo svolgimento di un test motorio. Metà dei partecipanti avevano iniziato ad imparare a suonare prima degli otto anni, l'altra metà più tardi. Dalle risonanze è emerso che coloro che avevano iniziato a studiare musica presto avevano maturato un numero maggiore di connessioni cerebrali. I ricercatori hanno poi reso lo studio ancora più accurato, assicurandosi che i sottoposti si fossero dedicati all'attività per lo stesso periodo di tempo ed è emerso, ancora una volta, che i musicisti che avevano iniziato prima dei sette anni avevano un sistema cerebrale più sviluppato con una quantità maggiore di sostanza bianca nel corpo calloso, che mette in connessione i due emisferi con risultato il potenziamento delle attività motorie. Le ricerche di Chang e Tehub indicano che già a cinque mesi i bambini sono sensibili alle strutture sequenziali⁶. Ciò è stato confermato da un loro esperimento nel quale hanno presentato ai bambini una melodia atonale di sei note in ripetizione, per poi proporre loro successivamente una leggermente diversa, a seguito della quale hanno attraverso delle misurazioni rilevato una destabilizzazione del ritmo cardiaco⁷. In altre ricerche successive, gli stessi autori, hanno scoperto che i bambini in questa fascia di età sono sensibili anche alle variazioni di ritmo. Intorno ai nove anni di vita, concludendosi la maturazione cerebrale, non è più possibile influenzare le potenzialità musicali del bambino. Nella tradizione culturale del nostro paese, la gamma di stimoli musicali sottoposti ai bambini risulta assai scarsa, i repertori ai quali vengono sottoposti sono costituiti quasi esclusivamente di melodie in modo maggiore (raramente in minore) e in metro binario. Ciò dimostra che è dunque

⁵ <http://musicoterapiadiversabile.blogspot.it/p/metodo-montessori.html>

⁶ J.A. Sloboda. *La mente musicale. Psicologia cognitivista della musica*. Il Mulino, Bologna, 1988. p 308

⁷ Chang A., Livingstone S.R., *Body sway reflects leadership in Joint music performance*, 2017

inadeguata la convenzionale convinzione che ai bambini debbano essere proposte musiche e canzoncine semplici, poiché procedendo in questo modo, escludendo la differenziazione ritmica e tonale nelle melodie, si elimina un momento essenziale dell'apprendimento ovvero quello che deriva dall'imparare dalle differenze. Più stimoli differenti tra loro potrà ascoltare il bambino e più, discriminandoli, potrà sviluppare la sua capacità selettiva.

1.3 MUSICA E LINGUAGGIO

*“La melodia non imita solamente, essa parla;
e il suo linguaggio inarticolato
ma vivo, ardente, appassionato,
possiede cento volte più energia
della stessa parola”*

J.J Rousseau

La musica rappresenta un vero e proprio modo di comunicare ed è essenziale che al giorno d'oggi i bambini acquisiscano tutte le capacità comunicative possibili. Un importante contributo nello studio dell'apprendimento musicale lo ha dato Beth Bolton, professoressa e preside della “Facoltà di Music Education and Therapy” dell'università di Philadelphia. Bolton ritiene che dando un'adeguata educazione comunicativa musicale si arricchisca la società stessa e che contribuirà nella vita del bambino e soprattutto nelle sue relazioni presenti e future. La dottoressa ricorda come i bambini ancora prima di apprendere il linguaggio abbiano la capacità di elaborare aspetti della lingua stessa molto complessi già dai primi mesi di vita. Beth Bolton, che per molti anni ha lavorato al fianco di Gordon, rivolgendosi alla musica come vero e proprio linguaggio, durante un'intervista che le è stata fatta in un soggiorno in Italia Bolton, ha affermato:

«Se si guarda alla musica come ad un altro tipo di linguaggio perché è una stimolazione uditiva del bambino, perché ha un'organizzazione, ha una sintassi simile alla lingua, la musica per la prima infanzia fornisce al

*bambino un'opportunità di imparare un modo diverso di elaborare informazioni uditive che può contribuire alla crescita del cervello in termini di elaborazione audio orale, che può contribuire alla sua vita in termini di arricchimento, la musica è un modo per comunicare, e può invero assistere lo sviluppo del linguaggio».*⁸

Il gioco musicale nel bambino facilita l'acquisizione della lingua madre e delle lingue straniere, aumentando la consapevolezza fonologica, ovvero l'abilità per esempio di stabilire se “palla” fa rima con “balla”, o se la parola “albero” contiene la /b/. In uno studio di Zhao e Kuhl (2016)⁹, alcuni bambini di nove mesi sono stati assegnati in modo casuale a 12 sessioni di gioco musicale oppure non musicale (gruppo di controllo). Il training musicale verteva sull'apprendimento della struttura temporale della terzina, tipica del valzer, che risulta tipicamente difficile da acquisire per i bambini, e incorporava esperienze multimodali, sociali e ripetitive – caratteristiche della musica infantile – per massimizzare l'apprendimento. I bambini del gruppo di controllo si intrattenevano anch'essi con giochi multimodali, sociali e ripetitivi simili, ma senza la componente della musica. Alla fine delle sessioni di gioco, i bambini sono stati sottoposti a registrazioni dei loro potenziali magnetici indotti sia dalla musica (toni) sia dal linguaggio (fonemi) mediante magnetoencefalografia. Il paradigma usato era quello della discrepanza (mismatch), che consiste nella presentazione di stimoli uguali e ripetitivi seguiti da uno stimolo deviante. Tanto più la rappresentazione corticale uditiva degli stimoli è sofisticata, tanto più ampia sarà la risposta alla devianza. Le risposte registrate nel gruppo sperimentale erano maggiori, infatti, di quelle dei bimbi che avevano fatto attività non musicali, in risposta a violazioni musicali sia tonali sia fonetiche. Il training musicale sulla terzina era quindi in grado di migliorare l'elaborazione della struttura temporale di informazioni fonetiche sui bambini di nove mesi di età, il che dimostra concretamente una forte interazione tra rappresentazione corticale della musica e del linguaggio nella corteccia uditiva.

⁸ Intervista a Beth Bolton: http://www.youtube.com/watch?v=_ja18DNtqi

⁹ Zhao T.C., Kuhl P.K. *Musical Intervention enhances infants neural processing of temporal structure in music and speech*, Proc Natl Acad Sci USA, 2016

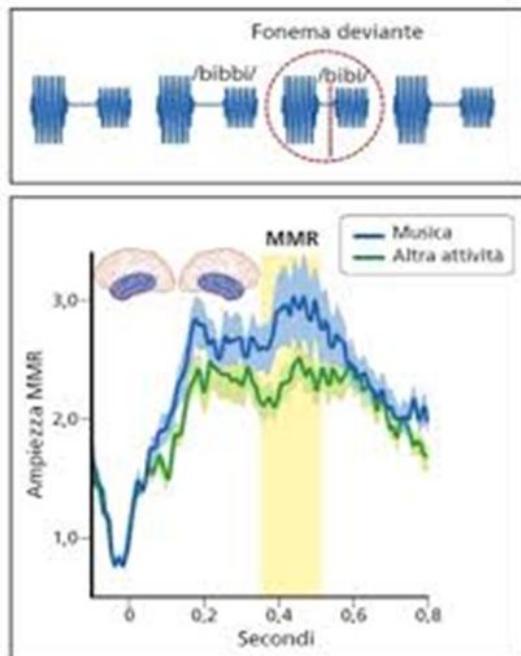


Figura 1.1

Sequenza di fonemi standard (bibbi/ e devianti /bibi) utilizzati nello studio di Zhao e Kuhl. La presentazione del fonema deviante elicitava una risposta alla discrepanza fonetica più ampia nei bambini che avevano fatto sessioni di attività musicale rispetto al gruppo che aveva fatto attività non musicale.

Diversi studi hanno dimostrato che la musica e il linguaggio sono accomunati da molte caratteristiche sia dal punto di vista formale che comportamentale. Entrambi rappresentano peculiarità proprie dell'uomo, vengono percepite attraverso l'udito e manifestate attraverso la voce. Tra le caratteristiche comuni tra musica e linguaggio possiamo annoverare il fatto che nei bambini sembra esserci una capacità naturale di assimilare le regole di ambedue, inoltre sia il linguaggio che la musica hanno la capacità di formare illimitatamente delle sequenze sempre differenti ed in genere entrambe sono raffigurate attraverso una rappresentazione scritta costituita da simboli grafici. I legami più stretti sono legati alla struttura melodica di entrambe, infatti a seguito di diverse ricerche è emerso che linguaggio e musica costituiscono il loro quadro melodico in maniera analoga. È possibile individuare altre similarità tra musica e linguaggio, infatti entrambi sono mezzi di comunicazione per trasmettere dei messaggi di differenti tipologie inoltre entrambi hanno elementi come il ritmo, la durata l'accento e quant'altro. In sintesi, il gran numero di caratteristiche in comune tra il linguaggio verbale e linguaggio musicale, evidenzia l'importanza della loro correlazione e l'efficacia del ruolo di rinforzo che l'uno rappresenta per l'altro nel corso dello sviluppo. Un importante studio guidato da Nina Kraus, direttrice del Laboratorio di neuroscienze uditive, con un gruppo di ricercatori del Northwestern University attraverso test proposti ad un centinaio di

studenti delle scuole superiori. In questo studio venne dimostrato il forte collegamento tra capacità di linguaggio, senso del ritmo e musica. Gli studiosi per la prima volta dimostrarono l'esistenza di un collegamento neurobiologico tra capacità di tenere il ritmo e quella di codificare i suoni della lingua parlata, con significative ricadute, per quanto è possibile prevedere, sulle capacità di lettura. Da questo esperimento venne rilevato che i bambini che si dimostravano migliori nel mantenere il ritmo erano anche quelli che pronunciavano le sillabe nel miglior modo. Spiega Kraus:

«Questa correlazione ha una precisa base neurobiologica. Le onde cerebrali che misuriamo con l'elettrocefalogramma hanno origine da un centro cerebrale di elaborazione delle informazioni uditive con connessioni reciproche con i centri motori. Quindi un'attività che richiede coordinazione dell'udito e del movimento, probabilmente, è collegata a una solida e accurata comunicazione tra diverse regioni cerebrali.»¹⁰

I ricercatori sono giunti alla conclusione che un'istruzione di tipo musicale nei bambini sia fondamentale, ponendo una particolare attenzione al ritmo, in modo da stimolare un efficace sviluppo del sistema uditivo, cosicché il bambino possa arrivare a delle associazioni suono-significato più solide che risultano di importanza basilare sia per l'apprendimento in genere sia per la capacità di lettura. Sono diversi, infatti, gli studiosi che hanno dichiarato positiva l'influenza che hanno le canzoni nell'apprendimento e nella lettura, e hanno sottolineato l'importanza di favorire l'apprendimento attraverso la motivazione intrinseca, ovvero quel tipo di motivazione che viene direttamente dal bambino, dal suo piacere e dalla sua curiosità, che facilmente una canzone riesce a provocare. Le canzoni risultano molto utili nella lettura, non solo per la motivazione intrinseca che ne scaturisce, ma anche perché mettono in funzione entrambi gli emisferi del cervello, che viene contemporaneamente esposto all'elaborazione della musica e delle parole, in modo globale e analitico nello stesso momento. Inoltre l'utilizzo di canzoni consente agli

¹⁰ http://www.lescienze.it/news/2013/09/18/news/musica_ritmo_linguaggio_parlato-1813249/

insegnanti di coinvolgere tutti i bambini indipendentemente dalla loro personale forma di intelligenza e, soprattutto, di insegnare con divertimento.

1.4 MUSICA E DISLESSIA

La dislessia fa parte dei disturbi specifici dell'apprendimento o DSA (manuale DSM-5) ed è una condizione caratterizzata da problemi con la lettura e la diagnosi che si formula è indipendente dall'intelligenza della persona¹¹. E' un deficit che affligge bambini con capacità cognitive ed intelligenza normale, e secondo i neuroscienziati, va dunque considerato come un disturbo specifico della lettura, comprensivo della difficoltà di comprensione del testo. Non deve essere sovrapposta e confusa con altri eventuali deficit.

Lo studio della musica rende più sofisticata l'elaborazione delle informazioni fonetiche ed uditive, linguistiche e non linguistiche come, ad esempio, i fonemi, oppure parole fonologicamente complesse. Da queste premesse risulta comprensibile ed ovvio come la formazione musicale precoce possa essere un valido aiuto per prevenire e curare la dislessia nei bambini geneticamente a rischio – con un parente dislessico tra gli stretti familiari – specialmente per ciò che riguarda l'elaborazione uditiva, la consapevolezza fonologica, l'elaborazione spettrotemporale rapida e l'elaborazione metrica. A questo proposito, Bishop-Lieber ed altri (2014) hanno messo a confronto musicisti con dislessia e senza confrontando la loro capacità di elaborazione temporale con quella di individui dislessici ma non musicisti di pari abilità cognitive. Complessivamente, i musicisti dislessici esibiscono una sensibilità uditiva maggiore dei dislessici, al pari dei loro colleghi senza dislessia. Questo vantaggio riguardava la soglia di sensibilità all'intensità, alla durata, al ritmo ed alla frequenza del suono. Inoltre, dato ancora più interessante, il beneficio si estendeva alla consapevolezza fonologica di denominazione ed alla memoria per i numeri (digit span)¹². Recentemente è stato condotto uno studio da un gruppo di scienziati dell'Università Milano Bicocca e dall'Istituto Bioimmagini e Fisiologia Molecolare del Cnr di Milano al quale sono

¹¹ NINDS Dyslexia Information Page, su National Institute of Neurological Disorders and Stroke, National Institutes of Health, 30 settembre 2011.

¹² Bishop-Lieber P., *Auditory temporal processing skills in musicians with dyslexia*, 2014 pag 261-279

stati sottoposti 30 soggetti, 15 musicisti professionisti e 15 privi di conoscenze musicali ma allo stesso livello culturale e d'età. Il campione preso in esame è stato sottoposto ad una dettagliata analisi durante la lettura parallela di note e testi, e quindi la rispettiva rielaborazione del cervello. Dall'analisi dei due gruppi è emerso che i musicisti durante la lettura sia di note che di parole utilizzavano zone cerebrali appartenenti ad entrambi gli emisferi, mentre i non musicisti durante la lettura impiegavano solamente le zone specifiche dell'emisfero sinistro. In particolare, i musicisti, a differenza delle altre persone che si sono sottoposte all'esperimento, utilizzavano dunque le cortecce visive di entrambi gli emisferi cerebrali, dando vita ad un meccanismo neurale in parte comune per l'analisi delle parole e delle note del pentagramma. Per la comprensione delle note è infatti necessaria una raffinata analisi spaziale di tipo globale in cui eccelle l'emisfero destro.¹³

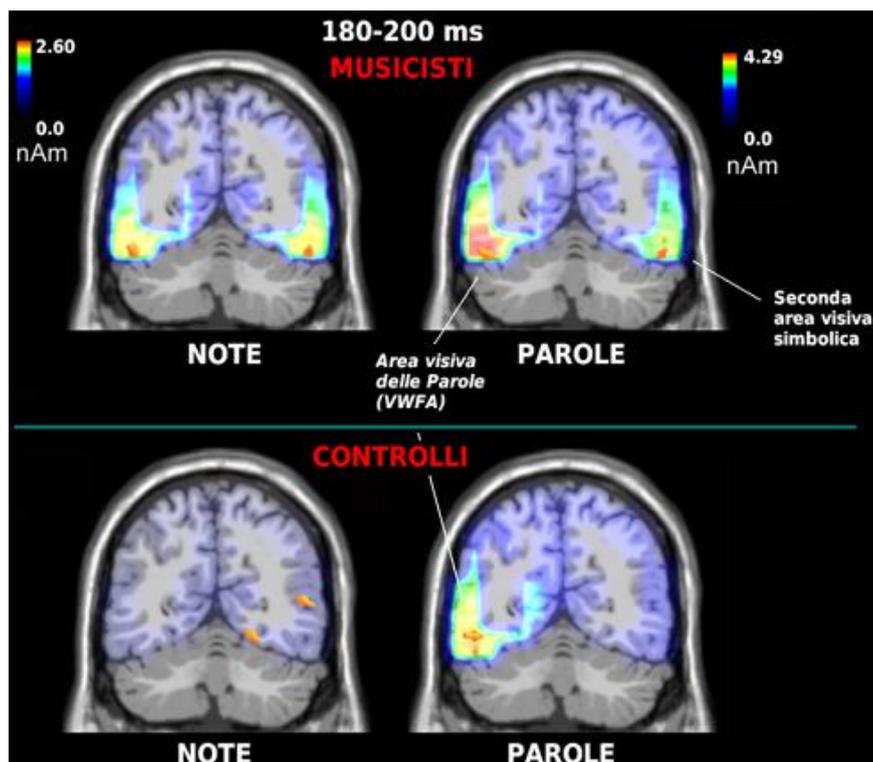


Figura 1.2

Visione coronale delle sorgenti elettromagnetiche attive registrata durante l'elaborazione di parole e note nei musicisti e nei controlli. I diversi colori rappresentano le differenze nella grandezza del segnale elettromagnetico. Proverbio,2013

¹³ <http://www.buonenotizie.it/salute-e-benessere/2013/01/07/studiare-musica-antidoto-contro-la-dislessia/>

Questi risultati possono avere interessanti applicazioni per bambini a rischio dislessia, in cui la regione visiva per le parole di sinistra si attiva in modo atipico o insufficiente. La dimestichezza con la lettura più complessa come quella degli spartiti musicali può costituire una risorsa importante e realmente inedita per quanto riguarda il trattamento della dislessia. L'impiego di entrambi gli emisferi nei bambini dislessici potrebbe rimediare al deficit proprio della regione cerebrale normalmente utilizzata nella lettura di parole. È quindi possibile curare la dislessia con lo studio della musica? Sembra proprio di sì. Numerosi studi ci dimostrano come lo studio della musica all'inizio dell'alfabetizzazione sviluppi un centro di analisi visiva simbolica¹⁴ – riconoscimento di caratteri associati arbitrariamente ad un singolo significato semantico – anche a destra, attivando un circuito cerebrale comune per la lettura di note e parole.

1.5 MUSICA, MOVIMENTO, RITMO E SINCRONIZZAZIONE

Suonare uno strumento musicale o cantare non impiega soltanto la corteccia motoria e premotoria, deputata alla programmazione ed esecuzione del movimento. Sono coinvolti anche sistemi di regolazione del feedback uditivo, visivo e proprioperceptivo, quelli attentivi e di controllo, i sistemi di memoria ed i sistemi di codifica delle emozioni: in sostanza, l'intero cervello.¹⁵ Per favorire lo sviluppo del senso del ritmo dei bambini è molto importante iniziare con il movimento. La marcia risulta essere pertanto una delle attività più naturali che contiene due elementi primordiali: tensione e distensione. Questi elementi appartengono anche alle pulsazioni che derivano dai movimenti corporei come l'oscillazione delle braccia, il bilanciamento del corpo, della testa, ecc. Ascoltando la musica saranno i bambini stessi a scoprire altri movimenti simili a quelli precedentemente citati, sviluppando in questo modo il senso metrico corrispondente al tempo (inteso come evento sonoro regolare la cui velocità è determinata dalla lunghezza del silenzio tra un colpo e l'altro) che non va confuso con il ritmo (in cui i colpi si susseguono in modo assai più variato e diverso rispetto a quelli del tempo).¹⁶ Un simpatico

¹⁴ Stella G., "La dislessia. Aspetti clinici, psicologici e riabilitativi" Franco Angeli, Milano, 1996

¹⁵ A.M. Proverbio, *Neuroscienze cognitive della musica*, Zannichelli, 2019, pag 111

¹⁶ <https://www.maestroalessandro.it/ritmo-e-movimento/>

espediente che ho utilizzato per avvicinare i bambini alla musica, durante il mio percorso da tirocinante, e sensibilizzarli alla scoperta del ritmo sono le Musicastrocche, filastrocche a tema musicale, che stimola la fantasia dei bambini nell'apprendimento della musica. L'approccio alla musica per i bambini deve essere un momento di assoluto piacere e divertimento per stimolare la loro capacità d'immaginazione, fantasia ed apprendimento. Anche la percezione del ritmo e l'andare a tempo apportano notevoli benefici nel neurosviluppo dei bambini. Sincronizzare l'emissione del movimento coinvolge il talamo, i gangli della base ed il cervelletto. Analogamente, quando ascoltiamo sequenze ritmiche, come nella musica, per sincronizzare i movimenti del corpo al ritmo percepito, il nostro cervello rileva delle regolarità nello schema temporale dei suoni. Per percepire questa regolarità è necessario che le durate dei suoni siano uguali o proporzionali in termini di rapporti interi, principalmente binari. Recentemente è stata avanzata un'ipotesi "motoria" per spiegare queste abilità, specificamente umane, di andare a tempo: altri primati come gli scimpanzé forniscono infatti una prestazione molto scadente. Secondo Patel e Iversen (2014) alle capacità di andare a tempo e sentire il ritmo contribuirebbero processi di simulazione di movimento periodico che hanno luogo nelle aree di pianificazione motoria: essi fornirebbero un segnale neurale che aiuterebbe il sistema uditivo a prevedere l'occorrenza temporale dei battiti imminenti.¹⁷ Questa simulazione dell'azione per la previsione uditiva si basa sulle connessioni che la via uditiva dorsale possiede con le regioni della pianificazione motoria attraverso la corteccia parietale. Patel e Iversen ipotizzano che queste connessioni siano più forti nella specie umana rispetto agli altri primati a causa dell'evoluzione della capacità fonarticolatoria, che è strettamente basata sul ritmo. La tendenza a muoversi in sincronia con un ritmo musicale, per esempio tramite il dondolio della testa, il battito delle mani o del piede, è universale nella specie umana e dipende da uno stretto legame tra i circuiti uditivi e quelli motori. Questa sincronizzazione avviene nel talamo, in particolare nel suo nucleo laterale, che combina stimoli uditivi, visivi e somatosensoriali. Il ritmo stimola il movimento agendo sulla corteccia e sui gangli della base, deputati all'avvio del movimento,

¹⁷ Patel A.D., Iversen J.R., *The linguistic benefits of musical beat in nonhuman animal*, 2009, pag 827-830

traducendosi in un effetto energizzante per l'umore e stimolante per il comportamento pro-sociale.

1.6 MUSICA E MEMORIA

È comune a tutti quanto un testo accompagnato da musica rimanga più impresso nella memoria rispetto ad un testo in prosa ed è altrettanto comune come i bambini stessi siano facilitati da tale pratica nel ricordare. Una delle spiegazioni di questo fenomeno è che si ha la capacità di ricordare meglio quando ciò che dobbiamo imparare ha un notevole impatto su noi stessi, ovvero quando i contenuti in questione rispondono ai nostri desideri, i quali possono essere comunicativi, affettivi o anche fisici. Le frasi e le parole accompagnate dalla musica vengono ricordate con meno difficoltà e sono assimilate più velocemente, poiché le aree cerebrali deputate dalla musica sono adiacenti e diverse rispetto a quelle del linguaggio ma i percorsi modulari seguono vie simili e, in parte, comunicanti. Oltre ciò, per quanto concerne la memoria, anche il lobo superiore temporale destro del cervello quando elabora la melodia compie un'attività fondamentale nell'associare musica e lingua. I testi e le melodie imparati nell'infanzia poi rimangono inglobati in modo permanente nella propria memoria. Numerosi studiosi, in particolare neuroscienziati e psicologi, sostengono che nel contesto semantico la musica è implicata in modo particolare nella memoria a lungo termine e a quella episodica, infatti essa risulta estremamente valida nel recupero di ricordi, consci e inconsci, riportando al presente il momento stesso, il contesto proprio nel quale è stata appresa quella melodia. La memoria semantica a lungo termine è agevolata dall'utilizzo della musica anche grazie ad alcuni meccanismi propri di tutte le culture come: la ripetizione di canti in determinate circostanze che comporta la memorizzazione del testo, la “tecnica di *contrafactum*”¹⁸ ossia l'atto di sostituire il testo di una canzone nota con un altro testo per rendere il testo più semplice da ricordare, infine il cantare delle canzoni in determinati momenti in modo da rinforzare la memoria episodica, tale azione comporta un rafforzamento delle emozioni legate al senso di identità e comunità. La musica unisce parole e intere

¹⁸ 3 E. Maule, S. Cavagnoli, S. Lucchetti, *Musica e apprendimento linguistico*, pag. 25

frasi e aggiunge forza e efficacia attirando l'attenzione degli ascoltatori. Non è da trascurare il fatto che nella memoria rimangono incamerati anche i principi di organizzazione musicale e il sistema di riferimento (scale, accordi, tonalità, nel caso della musica occidentale ecc), principi continuamente riutilizzati poi dal soggetto per strutturare altri successivi eventi sonori. Soprattutto per quanto riguarda i bambini, nell'apprendimento del linguaggio si è rivelato molto efficace utilizzare canti e filastrocche poiché permettono l'utilizzo di strategie per ridurre la complessità e difficoltà delle strutture percepite. Tali sistemi sono delle vere e proprie strutture sonore costituite da una segmentazione evidente, a differenza di un testo in prosa. Nel mio percorso da tirocinante, ho avuto modo di sperimentare questa realtà dalle piccole cose, come la facilità con cui i bambini per memorizzare le regole della convivenza in sezione abbiano imparato una canzoncina. In generale, la memoria è il processo mentale attraverso il quale consolidiamo le informazioni rilevanti, necessarie o che ci hanno colpito, le manteniamo e siamo in grado di accedervi. I nostri ricordi risiedono nel cervello sotto forma di collegamenti sinaptici tra i neuroni, nelle regioni che normalmente codificano quella tipologia di informazioni. I ricordi più duraturi sono disseminati in varie parti della neocorteccia, l'ippocampo contiene gli indirizzi che ci consentono di accedere a questi ricordi. Un malfunzionamento o danno dell'ippocampo determina l'impossibilità di accedere ai ricordi (amnesia retrograda) e formarne dei nuovi (amnesia anterograda). L'ippocampo è proprio la regione cerebrale maggiormente coinvolta nel consolidamento della memoria a lungo termine. Il ricordo uditivo di un brano musicale è custodito nella corteccia uditiva. Il ricordo motorio di come si suona un brano, detto memoria procedurale risiede in alcuni circuiti includenti il cervelletto, i gangli della base, la corteccia motoria e premotoria. Il ricordo del testo di una canzone, la cosiddetta "memoria dichiarativa semantica"¹⁹, che risiede nella regione frontotemporale sinistra, è molto più soggetto ad oblio rispetto al ricordo di come la si suona, poiché la memoria procedurale è molto più resistente. Pazienti affetti da demenza come l'Alzheimer, ad esempio, preservano la capacità di

¹⁹ W. Edward Craighead e Charles B. Nemeroff, Squire, Larry R., in *The Corsini encyclopedia of psychology and behavioral science.*, vol. 4, New York, Wiley, 2002, p. 1611.

suonare uno strumento musicale pur avendo perduto la capacità di riconoscere come familiari dei brani a loro tempo noti (memoria episodica).

1.7 MUSICA ED EMOZIONI

*La musica è la stenografia dell'emozione.
Emozioni che si lasciano descrivere a parole
con tali difficoltà
sono direttamente trasmesse nella musica,
ed in questo sta il suo potere ed il suo significato”.*

Lev Tolstoj

La musica rievoca ricordi e questi, a loro volta, evocano emozioni. Di tutte le arti, la musica è quella più capace di evocare emozioni. Ascoltare musica coinvolge le aree cerebrali deputate all'elaborazione delle emozioni, come l'amigdala e l'ippocampo. Che sia gioia, commozione, serenità, eccitamento, malinconia, nessuna emozione è assente dalla tavolozza della musica. Gli effetti emotivi della musica sono generati dalle note e dal ritmo, che si misura in battiti al minuto.

- Tempi inferiori a 60 battiti hanno un effetto tranquillizzante.
- Tempi sotto i 30-40 battiti diventano addirittura rattristanti e deprimenti (spesso infatti è il tempo utilizzato nelle marce funebri).
- Tempi superiori agli 80 battiti hanno un effetto attivante. Ad esempio la musica trasmessa in discoteca non è mai inferiore ai 120 bpm.

Questi valori sono relazionati all'attività cardiaca umana, che, come sappiamo, a riposo si aggira tra i 60 e gli 80 battiti per minuto. Abbiamo visto nel paragrafo 1.1 che importante per il bambino è la frequenza cardiaca della mamma. Un bambino abbracciato al petto della madre, riesce a sentire il suo cuore. Frequenze normali lo tranquillizzano, gli comunicano che va tutto bene. Per le note, invece, il discorso è un po' più complicato. Ci sono armonie, ossia più note suonate insieme, che

risultano gradevoli, allegre mentre altre più sgradevoli o tristi. I cosiddetti accordi maggiori sono percepiti come allegri, mentre gli accordi minori come tristi. Anche sequenze di note, le melodie, possono generare medesimi effetti.

Storicamente l'uomo si è accorto molto presto di come la musica influisca sul suo animo. Il potere della musica venne colto immediatamente: basta pensare alle danze tribali con ritmi ossessivi, le musiche religiose per momenti di raccoglimento, le musiche ritmiche esaltatrici e le marce militari per euforizzare. La musica oggi è intesa come intrattenimento, ma nelle società primitive la pratica musicale era legata all'esigenze primarie. La musica incide sul nostro livello psicologico, essa agisce sull'energia che a sua volta incide sull'uomo. La musica possiede una capacità trasformativa non solo perché trattiene un intenso rapporto con il corpo, ma anche perché produce mutamenti di tipo emotivo del tutto soggettivi. Pertanto, la capacità trasformativa della musica non si esaurisce nella funzione d'induzione senso-motoria, ma consiste anche nella funzione attivatrice di emozioni.²⁰ Quest'ultima fa riferimento, quindi, agli aspetti soggettivi delle esperienze emozionali provocate dalla musica. La musica è contenitore di proiezioni, in quanto in essa sono proiettate le variabili del nostro inconscio, vi si associano immagini, concetti e sensazioni. La musica ha inoltre una sotto-funzione chiamata "mnestica", essa riguarda unicamente il processo ricettivo: la musica può attivare facilmente ricordi ed emozioni, relativi anche a situazioni, a persone anche molto lontane nel tempo. Tutto ciò è possibile perché esistono una serie di fattori tra i quali la natura simbolica della musica e il suo potere impressivo. La capacità del linguaggio musicale di entrare nelle profondità della memoria ha un duplice effetto: allontana l'ascoltatore dalla quotidianità e ridà vita a situazioni del passato. Anche l'esperienza estetica musicale non è estranea alle neuroscienze cognitive. La neuroestetica è un settore di ricerca relativamente giovane nell'ambito delle neuroscienze e si dedica all'identificazione dei meccanismi neurali alla base dell'apprezzamento estetico²¹. L'esperienza estetica musicale consiste di tre diversi aspetti: emozioni estetiche come, per esempio, il divertimento, l'interesse, la nostalgia ("questa canzone è triste", "mi sento nostalgico"); giudizi estetici, cioè la

²⁰ Cano C. *La Musica nel Cinema*, 2002, p. 157

²¹ <https://www.stateofmind.it/2016/12/neuroestetica-correlati-neurali/>

valutazione della bellezza di un brano musicale o della piacevolezza di una performance musicale (“questa canzone è bella”, “il cantante ha una bella voce”); manifestazioni di preferenza quali il gradimento o l’antipatia verso una canzone, un autore o un genere musicale (“adoro Chopin”). Le emozioni suscitate dall’ascolto musicale dipendono da caratteristiche strutturali del brano, da chi ascolta e dal contesto di ascolto. Ad esempio, assistere ad un concerto con gli amici può essere molto più gratificante di un ascolto solitario in cuffia. Da una ricerca condotta da Zentner nel 2008, è emerso un modello per descrivere le emozioni indotte dalla musica. Il GEMS (acronimo di Geneva Emotional Music Scale) è il primo strumento appositamente ideato per misurare le emozioni evocate musicalmente. Contiene 45 etichette che si sono dimostrate coerentemente scelte per descrivere stati emotivi evocati musicalmente attraverso una gamma relativamente ampia di musica e campioni di ascoltatori. Questi stati possono essere raggruppati in 9 diverse categorie: meraviglia, trascendenza, tenerezza, nostalgia, tranquillità, potere, gioia, tristezza, tensione. A loro volta, queste emozioni sono raggruppabili in tre macrocategorie estetiche: una positiva (musica sublime), una negativa (musica che mette disagio o non piace) ed una riferita alla dimensione calmo/agitato ed al potere della musica di stimolare il movimento. Secondo le neuroscienze, l’ascolto della musica gradita all’ascoltatore, che induce emozioni a valenza positiva, attiva l’aria tegmentale ventrale, la corteccia striata, il circuito della ricompensa e la corteccia orbitofrontale. Insomma, le regioni che supportano il piacere e la soddisfazione. Al contrario, provare nostalgia o dolore è associato all’attivazione cerebrale dell’insula (dolore psicologico), della corteccia cingolata (empatia e connotazione emotiva di eventi) della corteccia prefrontale e dell’ippocampo (memoria episodica, dunque la rievocazione dei ricordi). Infine, il senso di agitazione e le forti emozioni come la tensione, l’eccitazione o l’ansia, attivano l’amigdala e le aree sensoriali motorie. L’armonia musicale conferisce al brano una forte espressività e potenza espressiva. Ad esempio, la “Primavera” di Vivaldi è la più primavera delle altre Quattro stagioni poiché è caratterizzata da toni acuti e brillanti, dal punto di vista armonico è in tonalità maggiore, dunque si presenta come un brano allegro e gioioso. Per renderci conto della forza comunicativa della musica, basta pensare al suo uso nelle colonne sonore dei film. La musica è in grado

di modulare emotivamente l'elaborazione di un personaggio, di caratterizzarlo moralmente come buono o minaccioso. Nel libro "La musica nel cinema" Cristina Cano (2002) elabora una riflessione sul ruolo della musica nel cinema, l'interazione di essa con gli altri linguaggi (visivo, narrativo, filmico). La musica nel cinema occupa un posto importante perché essa possiede alcune qualità strutturali, semantiche e pragmatiche. La musica coinvolge il sistema somato-sensitivo, essa produce degli effetti fisiologici ed emozionali e agisce in maniera immediata sull'uomo. L'autrice ci espone alcune sinestesie che riguardano la musica (sinestesie visive, tattili). Una di esse è quella riguardante la polarità piccolo-grande. I suoni acuti evocano sensazioni di oggetti piccoli, al contrario suoni gravi evocano oggetti grandi. Anche l'intensità e il timbro possono modificare la percezione. Se un suono è ad alta intensità e bassa frequenza viene percepito come voluminoso. Altra polarità è quella del chiaro/scuro, all'aumentare della frequenza sonora aumenta anche la chiarezza. La percezione del caldo/freddo è legata a fattori acustici di acuità e gravità del suono. Alcuni strumenti, come il contrabbasso, avendo un suono di estensione grave esprimono calore. Il pesante/leggero dipende da fattori di altezza, di gravità e di acuità del suono, mentre vicino/lontano è correlato alla intensità del suono. La polarità aperto/chiuso è legata alla qualità del suono e dai gesti implicati nella produzione del suono (esempio: uso della sordina). Tutti questi aspetti vengono presi in considerazione quando si crea una colonna sonora per un film o un cartone animato.

Un altro interessante esperimento è quello condotto dall'università di Milano Bicocca, coordinato dalla professoressa Alice Mado Proverbio, che ha dimostrato che un meccanismo neurale comune che permette di percepire la musica come triste oppure allegra nello stesso modo in cui cogliamo le emozioni espresse dalla voce umana sotto forma di linguaggio verbale o di vocalizzazioni. Le sue ricerche, pubblicate su "European Journal of Neuroscienc"e e "iScience", partono dalla registrazione della risposta bioelettrica cerebrale spontanea (combinata con immagini anatomiche di risonanza del Montreal Neurological Institute) da 128 sensori metallici posti sul cuoio capelluto di 60 studenti universitari maschi e femmine, mentre altri 32 studenti hanno valutato la componente emotiva degli stimoli stabilendone la valenza negativa oppure positiva, per un totale di 92

partecipanti al progetto, durato più di 2 anni. Gli stimoli erano di carattere verbale, vocale o musicale. Si trattava di 200 enunciati verbali con valenza emotiva (per es.: “Tutti mi disprezzano...”, oppure “Assolutamente fantastico!”, oltre a 25 frasi neutre contenenti un nome, tutti pronunciati da speaker professionisti. Inoltre sono stati proposti ai partecipanti 64 file audio di vocalizzazioni spontanee di uomini e donne adulti e bambini (gridolini di gioia, grida di sorpresa, risate, pianti, grida di paura, lamenti di tristezza). Sia le voci che il linguaggio sono stati poi trasformati digitalmente in melodie eseguite al violino o alla viola/violoncello e presentati in cuffia. È risultato che i partecipanti erano in grado di riconoscere le sfumature emotive distinguendole in negative e positive. A partire da tale istante il cervello esibiva risposte bioelettriche simili per i 3 tipi di segnale (voce, musica, linguaggio), nella comprensione del loro significato emotivo. La notazione ottenuta trasformando i segnali acustici in note musicali ha mostrato come i suoni emotivamente negativi tendevano ad essere in tonalità minore o a contenere più dissonanze di quelli positivi.

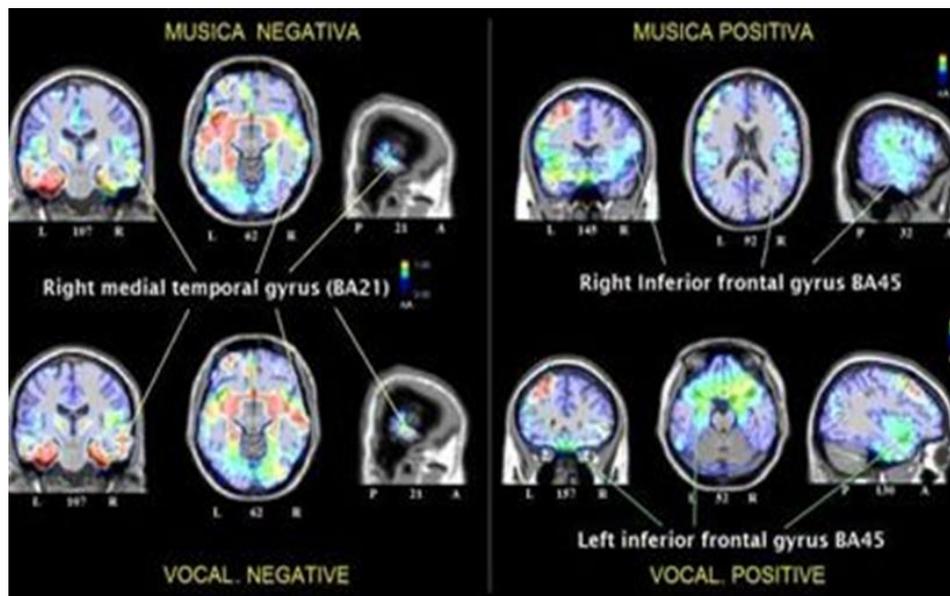


Figura 1.3

Dall’analisi dei generatori cerebrali è emerso che solo per la musica si attivavano: area paraippocampale destra, lobo limbico e corteccia cingolata destra; solo per le vocalizzazioni: corteccia temporale superiore sinistra; solo per il linguaggio verbale la corteccia temporale superiore sinistra. Le aree comuni che, a prescindere dalla tipologia di suoni, erano attive nel comprendere la loro natura emotiva erano: per gli stimoli negativi il giro temporale mediale dell’emisfero destro, e per quelli positivi la corteccia frontale inferiore.

«Questi dati mostrano - dice la professoressa Proverbio - come il cervello sia in grado di estrarre e comprendere le sfumature emotive dei suoni attraverso popolazioni neurali specializzate della corteccia fronto/temporale, e dedicate a comprendere il contenuto prosodico e affettivo delle vocalizzazioni e del linguaggio umano. Questo spiega la relativa universalità di certe reazioni innate alla musica, che prescindono dall'età e dalla cultura dell'ascoltatore».²²

1.8 L'INTELLIGENZA MUSICALE

E' noto che Einstein iniziava la sua giornata di studio suonando il violino. Oggi sappiamo che in quel modo favoriva lo sviluppo della creatività, connessa con quella che Howard Gardner definisce l'intelligenza musicale. Gli effetti erano molteplici: calma e tranquillità, rilassamento, rafforzamento dei circuiti neuronali, ristrutturazione delle sequenze logiche e, infine, attivazione del processo generativo del risultato. Gardner vede l'intelligenza come "un'utile finzione che ci permette di parlare di processi e capacità ma è convinto del fatto che non esista un'intelligenza generica, bensì capacità intellettive relativamente autonome, che permettono all'uomo di risolvere problemi per mezzo di metodi adeguati o di creare nuove conoscenze attraverso la scoperta di problemi e la loro corrispondente risoluzione"²³. Egli ha così scovato sette intelligenze autonome, oltre all'intelligenza linguistica, quella logico-matematica e spaziale vi è infatti l'intelligenza corporea-cinestetica, quella musicale, quella intrapersonale e interpersonale. L'intelligenza musicale è l'attività dello spirito umano che si manifesta prima. È stato provato che i nati, già nei primi giorni di vita riescono a distinguere la voce della loro mamma da quella di altre persone. Per dimostrare ancora una volta l'esistenza di un'intelligenza musicale basta pensare ai numerosi casi di bambini prodigio. Bambini che studiano uno strumento già da piccolissimi (due anni) e dopo pochi anni si esibiscono come veri professionisti. È evidente che c'è un legame tra tutte le intelligenze, ma nessuna intelligenza ha tanti collegamenti con le altre intelligenze come quella musicale. Weber afferma che la musica è al

²² <https://www.unimib.it/comunicati/cervello-riconosce-linguaggio-delle-emozioni-nella-musica>

²³ Weber, 2006, p. 23

centro, essa si collega a tutte le intelligenze gardneriane, essa ha un ruolo fondamentale nella vita dell'uomo.

E' importante sviluppare l'intelligenza musicali nei bambini. I collaboratori di Gardner all "Harvard's project Zero" hanno scoperto che è il coinvolgimento attivo con la musica –non l'ascolto passivo- a sviluppare l'intelligenza musicale.²⁴ Ma come si può sviluppare l'intelligenza musicale nel bambino? È bene cominciare presto. Poiché l'altezza dei suoni ed il ritmo sono i due elementi più nettamente definiti della musica, il canto contribuisce notevolmente nello sviluppo dell'intelligenza musicale del bambino. È quindi importante cantare al bambino e con il bambino. È importante fare musica insieme. Tra gli Anang, una tribù della Nigeria con un notevole strumento musicale, i padri modellano speciali tamburi per i loro piccoli. Non si deve necessariamente comprare un'attrezzatura o suonare uno strumento per aiutare i bambini a sentire la musica dentro. Bastano dei cucchiaini di legno o delle bacchette per portare insieme il tempo, o creare delle maracas mettendo dei fagioli secchi o del riso in una lattina. Oltre a fare musica, è importante ascoltare musica dal vivo. Non c'è bisogno che siano necessariamente concerti sensazionali e costosi, l'importante è mostrare che la musica è un'attività che conduce a risultati concreti. L'esposizione precoce alla musica classica può dare impulso al ragionamento matematico e spaziale ed in qualche modo favorire il successo scolastico? Ascoltare Mozart aiuta a sviluppare il QI di un bambino? Questo è il presupposto alla base del cosiddetto "effetto Mozart", la controversa teoria scientifica dell'educatore Don Campbell secondo la l'ascolto della Sonata in re maggiore per due pianoforti (KV 448) di Wolfgang Amadeus Mozart avrebbe causato un temporaneo aumento delle capacità cognitive di un gruppo di volontari.²⁵ Nel 1998 la popolarità di questa teoria convinse il Governatore della Georgia Zell Miller a proporre l'utilizzo di fondi pubblici per acquistare multicassette e CD di musica classica per tutti i bambini nati nel suo stato. Questa iniziativa portò però accuse di pseudoscienza. Le polemiche sull'Effetto Mozart continuano ma le recenti ricerche ed i contributi delle neuroscienze chiariscono sempre di più le ragioni per cui ha senso favorire le abilità musicali nei bambini.

²⁴ <http://www.pz.harvard.edu/who-we-are/people/howard-gardner>

²⁵ <http://medmedicine.it/articoli/news-medicina/effetto-mozart>

1.9 MUSICOTERAPIA E DISTURBO DELLO SPETTRO AUTISTICO

L'autismo è un disturbo del neurosviluppo caratterizzato dalla compromissione dell'interazione sociale e da deficit della comunicazione verbale e non verbale che provoca ristrettezza d'interessi e comportamenti ripetitivi ed assorbenti.²⁶ I soggetti che presentano un disturbo autistico, lo manifestano già in età infantile. Sono caratterizzati dalla presenza di quella che viene definita la triade del comportamento autistico, ovvero uno sviluppo anomalo nella sfera dell'interazione sociale, nella comunicazione e una particolare ristrettezza nel repertorio di attività e interessi. Un soggetto autistico presenta marcate difficoltà nella ricerca e condivisione di emozioni interessi e obiettivi, chi è a contatto con lui trova ostacoli nello stabilire delle relazioni poiché non c'è la capacità, o è molto compromessa, d'interpretare i segnali sociali. La musica però riesce a superare anche grandi ostacoli come quello di una comunicazione così compromessa.

La musicoterapia è l'uso clinico e basato sull'evidenza di interventi musicali per realizzare obiettivi individualizzati all'interno di una relazione terapeutica da parte di un professionista accreditato che ha completato un programma di musicoterapia approvato. La musicoterapia è una professione consolidata in cui la musica viene utilizzata all'interno di una relazione terapeutica per affrontare i bisogni fisici, emotivi, cognitivi e sociali degli individui. Attraverso il coinvolgimento musicale nel contesto terapeutico, le capacità dei clienti vengono rafforzate e trasferite in altre aree della loro vita. La musicoterapia fornisce anche percorsi di comunicazione che possono essere utili a chi ha difficoltà ad esprimersi con le parole. La ricerca nel campo della musicoterapia ne supporta l'efficacia in molti ambiti quali: la riabilitazione fisica generale e la facilitazione del movimento, l'aumento della motivazione delle persone a impegnarsi nel trattamento, il sostegno emotivo per i clienti e le loro famiglie, lo sbocco per l'espressione delle emozioni. La Musicoterapia costituisce allora un intervento mirato alla lettura in chiave sonoro-musicale di tutte le informazioni rilevabili da un soggetto autistico, grazie alle competenze sonoro-musicali appunto, insite in ogni essere umano. Nel caso dei bambini autistici, il cui sguardo risulta sempre sfuggente, la musica gioca un ruolo

²⁶ Militerni R., *Neuropsichiatria infantile*, Idelson-Gnocchi, 2015

fondamentale. In diversi esperimenti, bambini autistici non si voltano se vengono chiamati attraverso la voce ma si voltano se ascoltano il suono di uno strumento musicale, che si rivela un efficace stimolo per la loro attenzione. Questo è il punto di partenza per l'instaurarsi di una relazione. Per fare ciò è necessario instaurare una relazione intersoggettiva basata sull'empatia, quindi sulla comunicazione affettiva. Attraverso il "gioco" improvvisativo musicale, dove non ci sono regole restrittive e si è in balia dell'imprevedibile, si creano quegli attimi di ascolto in cui l'altro, tramite uno sguardo o un movimento, ci farà capire che è comunque presente, che non riesce a nascondere di essere sensibile al "bello" e ci mostrerà come abbia bisogno di quella cosa così impalpabile ma potente che è la musica. Alla base vi è il concetto di sintonizzazione affettiva, la musicoterapia agisce quindi sulle competenze più primitive e basilari di ogni essere umano. Queste competenze fanno parte delle abilità innate di ogni persona e su quella base si strutturerà sia il linguaggio verbale che musicale. La musica può cambiare l'umore del soggetto autistico ed il suo comportamento. Ma è importante scegliere con cura gli stimoli sonori, in quanto possono anche diventare un mezzo per evadere dalla realtà, una forma di isolamento con funzione regressiva. La scelta della musica per il trattamento di un soggetto autistico è molto delicata. Dai diversi studi svolti a riguardo, è emerso che la maggior parte sembra avere una preferenza per la musica di Mozart, Schubert, Chopin. Alcuni preferiscono la musica eseguita direttamente dal terapeuta e si divertono sia a guardare sia ad ascoltare, altri preferiscono premere loro l'avvio o lo stop sul registratore, in modo da sentirsi partecipi attivamente nell'esercizio. Secondo Benenzon (1998), la musica può svolgere il ruolo di oggetto mediatore tra il bambino e la realtà esterna, rappresentando uno strumento comunicativo a valenza terapeutica. La musicoterapia è naturalmente legata anche alla psicomotricità. Benenzon a tale riguardo ritiene che sia utile abbinare lo stimolo sonoro ad uno o più movimenti, fino a che non si giunga alla coordinazione tra l'uno o gli altri. Quando ciò avviene, significa che il soggetto sta rispondendo positivamente alle stimolazioni, che esiste rapporto tra lui e la realtà esterna e che il messaggio ha penetrato la barriera che avvolge il bambino.²⁷

²⁷ Benenzon R., *Manuale di musicoterapia. Contributo alla conoscenza del contesto non-verbale*, 1998

CAPITOLO II

LA DIDATTICA DELLA MUSICA: I METODI SPERIMENTALI

John Paynter, compositore ed educatore musicale scomparso nel 2010, ha coniato il termine “ascolto creativo”²⁸, come un’attività consapevole, maturata attraverso un’educazione all’ascolto, tramite il quale si insegna ai bambini a individuare i mezzi espressivi, le peculiarità artistiche e tecniche della melodia, comprenderne la reale validità artistica in termini di espressione e innovazione. Il bambino è invitato dall’educatore a decodificare la forma e la struttura, smontandola e rimontandola quasi come fosse un giocattolo, per individuarne il fondamento ritmico e melodico che lo fa funzionare. Si tratta di un’abilità che il bambino ha già sperimentato ben prima della scuola, con l’utilizzo di giochi creativi, puzzle e la mescolazione dei colori, il processo di applicazione e composizione di forme e colori può essere traslato in chiave musicale. La tradizione ha sempre visto negativamente le nuove pratiche educative per la didattica musicale, considerandole, imperfette, fuorvianti e prive di metodo. La didattica classica impone dei blocchi significativi, vincolati a uno studio metodico, che risulta inevitabilmente noioso e demotivante per un bambino. Bisogna prendere in considerazione come punto di partenza ciò che è innato e pregresso nel bambino, le sue abilità cognitive e interpretative, come esse mutano e si evolvono nel tempo, in quali strutture più ordinate e complesse si trasformano. Un docente che decide di prendere in considerazione e assecondare questi processi spontanei, aiuta il bambino nell’esplorazione e nell’organizzazione dei suoni e lo accompagna in ogni tappa del processo creativo, avendo cura di considerare e rispettare la naturale evoluzione delle percezioni del bambino. I materiali e le tecniche, così come i rigidi programmi didattici costituiscono solo l’oggetto, è il soggetto che rielaborandoli e filtrandoli attraverso la propria personalità, li trasforma in materia viva. L’espressività musicale è da sempre vista dalla tradizione come un passo successivo nel percorso didattico, dapprima è fondamentale per l’allievo padroneggiare con la teoria e la tecnica per poter giungere a un livello espressivo consapevole. Viceversa, con un approccio pratico,

²⁸ Paynter J. (1996), *Suono e struttura. Creatività e composizione musicale nei percorsi educativi*, EDT, Torino.

il bambino comprende fin da subito le potenzialità espressive che la musica gli mette a disposizione, assume un ruolo attivo e creativo, è invogliato a sperimentare e giocare con i suoni, a costruire la sua identità sonora.

2.1 I LIMITI DEL METODO TRADIZIONALE

Nella storia della didattica, ed in modo particolare nell'insegnamento della musica, il metodo è sempre stato un concetto vincolante, mantenendo il suo forte grado di oggettività ed efficacia a prescindere dalla soggettività dell'insegnante e dell'allievo. Il docente aveva un ruolo autoritario, doveva innalzarsi a un livello superiore, per garantire una risposta collettiva efficace, come una sorta di direttore d'orchestra rigido e intransigente. Una delle prerogative del metodo è stata sempre quella di essere universale, lo caratterizza l'utopia di poter insegnare a bambini di classi sociali, culture e sesso differenti sfruttandone appunto la componente oggettiva universale. Il metodo tradizionale per l'apprendimento musicale, applicato nella maggior parte delle scuole prevede rigorosamente un approccio dapprima strettamente teorico, solo in un secondo momento (talvolta anche mai) si giunge all'atto pratico di suonare uno strumento. Questo approccio teorico all'educazione musicale porta inevitabilmente a suscitare noia e svogliatezza nello studente e lo tiene lontano dal comprendere fin da subito le potenzialità artistico-espressive della musica. In linea generale, il corso di musica nelle scuole pubbliche è strutturato in modo da dare agli studenti un'infarinatura generale di teoria e storia della musica, i testi contengono una raccolta di spartiti e canzoni della cultura popolare italiana che, gli studenti analizzano e riproducono con semplici strumenti musicali, il flauto soprano è lo strumento più diffuso nelle scuole elementari. La rigidità e l'adattamento di metodi derivanti da discipline di natura diversa, allontanano la didattica dal considerare la naturale predisposizione alla musica che ogni individuo possiede e le potenzialità in essa contenute, la soggettività lascia il posto a un piatto risultato oggettivo. Inoltre la tradizione impone che venga messo l'accento sui risultati ottenuti e il corretto perseguimento degli obiettivi didattici, ed è chiaro che non tutti i bambini possiedono una predisposizione tale che permetta loro di ottenere gli stessi risultati, la maggior parte dei bambini avrà bisogno di più

tempo e saranno proprio questi che abbandoneranno gli studi poiché “privi di talento”.

“Ogni bambino suona il suo strumento, non c’è niente da fare. La cosa difficile è conoscere bene i nostri musicisti e trovare l’armonia. Una buona classe non è un reggimento che marcia al passo, è un’orchestra che prova la stessa sinfonia...

*E se hai ereditato il piccolo triangolo che sa fare solo tin tin, o lo scacciapensieri che fa soltanto bloing bloing, la cosa importante è che lo facciano al momento giusto, il meglio possibile, che diventino un ottimo triangolo, un impeccabile scacciapensieri, e che siano fieri della qualità che il loro contributo conferisce all’insieme. Siccome il piacere dell’armonia li fa progredire tutti, alla fine anche il piccolo triangolo conoscerà la musica, forse non in maniera brillante come il primo violino, ma conoscerà la stessa musica. Il problema è che vogliono farci credere che nel mondo continuo solo i primi violini”.*²⁹

Così scrive Daniel Pennac nel suo diario di scuola. Invece la scuola dell’inclusione è la scuola di tutti e di ciascuno. L’inclusione a scuola ha lo scopo di condurre tutti al raggiungimento di un obiettivo comune, cercando sempre più di valorizzare le differenze presenti nel gruppo, includendo i bambini con bisogni educativi speciali e disturbi specifici dell’apprendimento. Il talento musicale appartiene alla sfera cognitiva di ogni bambino, ovviamente non è presente in egual misura in ogni individuo, ma è dovere morale dell’insegnante e della scuola fare in modo che venga correttamente coltivato e che la musica sia liberamente accessibile e fruibile da tutti. I metodi didattici sperimentali affrontati nei paragrafi successivi hanno come obiettivo una diffusione epidemica della musica e delle pratiche legate ad essa, la musica assume, al pari di altre discipline un ruolo importantissimo nella formazione e nella crescita del bambino fin dal momento della nascita, lo accompagna per tutta la vita, rendendolo critico e indipendente

²⁹ Pennac D., *Diario di scuola*, Feltrinelli, 2008

2.2 LA MUSIC LEARNING THEORY DI GORDON

*Il potenziale musicale del bambino
non è mai stato così alto
come al momento della nascita”.*

Edwin Gordon

La Music Learning Theory è un'importante teoria ideata da Gordon dopo oltre 40 anni di ricerche sull'apprendimento musicale nel bambino, in particolare nel neonato. Il materiale didattico che viene proposto con tale teoria è costituito, per prima cosa, da canzoni e canti ritmici senza testi che rispondono a tre criteri fondamentali: varietà, complessità e ripetizione. È fondamentale non utilizzare solamente canzoni in modo maggiore o metro binario, (utilizzati nella maggior parte del repertorio musicale per bambini perché ritenuto più semplice) ma canzoni e ritmi differenti tra loro, in tutti i modi e metri possibili fin dalla tenera età del bambino. Importante nel suo metodo è anche l'uso del corpo e della voce più che l'uso di veri e propri strumenti musicali. La sua metodologia è basata sull'attitudine musicale e sulla capacità di Audiation³⁰. La teoria di Gordon arriva a spiegare, dunque, come viene appresa la musica e fornisce all'insegnante un metodo sistematico per trasmetterla attraverso l'Audiation, il termine che Gordon ha utilizzato per indicare il pensiero musicale. L'Audiation è la capacità basilare per comprendere la musica, in particolare la sintassi della quale è composta, e per l'arte dell'improvvisare, ovvero esprimersi liberamente in musica; è un processo cognitivo attraverso il quale il cervello dà significato ai suoni musicali. Le varie sonorità non sono di per sé musica ma lo diventano attraverso questa capacità che permette di attribuire un significato, sicuramente tale significato può variare in base al periodo d'età del soggetto, al grado di attitudine musicale e al livello di educazione alla musica ma soprattutto cambierà in base alla persona stessa. Attraverso le sue numerose ricerche Gordon ha scoperto che una buona educazione

³⁰ Dispensa a cura di A. Sangiorgio, Introduzione alla Music learning theory di Edwin E. Gordon, teoria e prassi dello sviluppo e del pensiero musicale. CDM onlus- Centro Didattico Musicale. P 1. Tratto da: <http://musica.istruzioneveneto.it/musicaveneto/wp-content/uploads/2009/09/Gordon-Dispensa-MLT.pdf>

musicale permette, inoltre, di sviluppare altri aspetti come la comunicazione dei sentimenti ed emozioni, facilita la concentrazione di rendimento, favorisce le capacità cognitive e sociali, può prevenire i problemi legati al linguaggio, facilita la percezione tattile e cinestetica e influisce sull'apprendimento della sintassi e prosodia. Lo studioso, infatti, sostiene che l'apprendimento musicale avviene in modo analogo a quello linguistico, entrambi vengono proposti ai bambini inizialmente in maniera indiretta, in seguito direttamente; quindi anche musicalmente parlando il bambino apprende in maniera spontanea tramite il processo di imitazione e interazione, la musica è un vero e proprio linguaggio. Nella teoria dell'apprendimento musicale di Gordon possiamo vedere che il bambino transita da una prima fase chiamata di "acculturamento", che avviene a circa 2-4 anni, nella quale si effettua "l'assorbimento" ossia il piccolo come una spugna raccoglie e immagazzina tutti gli input auditivi che riceve, in un secondo momento risponde con il corpo alle sonorità ma senza connessione ad esse, infine il bambino dà una risposta finalizzata cercando una relazione tra il suo movimento e il rapportarsi con l'ambiente. La seconda fase, di "imitazione", avviene circa dai 2 ai 5 anni, durante questo periodo il piccolo ha un'interazione consapevole con l'ambiente circostante, avviene la perdita dell'egocentrismo e abbandona i vecchi modi di comportamento imitando sempre con più precisione i pattern musicali ai quali viene sottoposto. L'ultima fase dell'audiation è chiamata "assimilazione" e va dai 3 ai 6 anni, il bambino consegue un'interazione cosciente con l'ambiente, percepisce sé stesso ed arriva ad una buona coordinazione tra canto, respiro e movimenti, queste tre fasi portano il bambino a pensare musicalmente. Gordon stesso in un'intervista tenuta da Andrea Apostoli, presidente dell'A.I.G.A.M., afferma: «Io voglio aiutare i bambini a diventare buoni fruitori di musica, ascoltatori intelligenti e attraverso la "Music Learning Theory" noi possiamo farli diventare tali.»³¹

³¹ Da AIGAM: <http://www.youtube.com/watch?v=FnE-2A78MQ0>

2.3 LA CULTURA ORIENTALE: IL METODO SUZUKI

*“ Teaching music is not my main purpose.
I want to make good citizens.
If children hear fine music from the day of their birth
and learn to play it,
they develop sensitivity, discipline and endurance.
They get a beautiful heart. ”*

Shinichi Suzuki

Shinichi Suzuki è stato un musicista e insegnante di violino. Trasferitosi in Europa negli anni '20, ha conosciuto Albert Einstein, divenendo uno dei suoi amici più intimi, ed entra in contatto con gli studi sull'educazione di Maria Montessori, avvicinandosi alla didattica pedagogica con approccio scientifico, ma anche di Jean Piaget. Il suo obiettivo venendo in Europa era ben più ampio rispetto al solo studio del violino; egli era venuto per una ricerca: comprendere il reale significato dell'Arte. Il metodo Suzuki probabilmente non sarebbe mai esistito se egli, un gentile giapponese con un alto istinto musicale e morale, non fosse venuto in contatto con l'ambiente culturale europeo. Non a caso, il repertorio appreso dagli studenti del metodo Suzuki, dai pezzi più semplici fino ai brani da concerto, si rifà interamente al patrimonio compositivo classico dell'Europa, principalmente Germania, Italia e Francia. La profonda indagine compiuta dal maestro giapponese sul bambino inteso come “soggetto”³² unico e autonomo, lo porta a sintetizzare il suo metodo che ancora oggi porta il suo nome, ed è utilizzato da molte scuole di musica di tutto il mondo, e diffuso in Italia dall'Istituto Suzuki con sede a Milano. Il metodo Suzuki si diffonde in Europa, intorno agli anni 70 e in Italia nel 75 ed è meglio noto come “metodo della lingua madre”. La culla in cui nasce e si sviluppa è la cultura orientale, nella quale la formazione del bambino fin dai primi anni di età è di fondamentale importanza, non a caso il termine “Kodakara” nella lingua

³² Domenico Cutrì, Crescere suonando. L'educazione musicale nel Metodo Suzuki, Musica pratica e Didattica Attiva, Torino 2014 (1ª ed. 2012)

giapponese significa “bambino tesoro”. L’oriente è anche la patria della filosofia Zen, che persegue il raggiungimento dell’obiettivo senza sforzo, attraverso una naturale padronanza della forma, lasciando fluire l’energia attraverso il corpo e raggiungendo la perfezione in ogni singolo gesto. Questi sono i punti chiave dai quali si sviluppa il metodo Suzuki, basato sulla ripetizione e sulla memoria, un’abilità tecnica che diviene spirituale. Alla base del suo metodo vi è il presupposto che ogni bambino possiede un talento musicale innato, poiché la musica è un arte legata indissolubilmente all’essenza di ogni essere umano e tutti i bambini possiedono le facoltà necessarie per accedere all’educazione musicale. Egli diceva infatti: “non c’è bambino senza talento, tutto dipende dall’educazione”. Da questa sorta di democrazia del talento musicale, inteso come “universale”, Suzuki sosteneva che il linguaggio della musica potesse essere appreso dal bambino in modo analogo a quello verbale, che si potesse “suonare come parlare”³³. Infatti, la sua è definita una didattica per “imitazione”. Suzuki sosteneva che attraverso un ascolto attento e attivo, e la ripetizione per imitazione di un vocalizzo o di una melodia, il bambino potesse imparare e assimilare in modo naturale e automatico gli elementi fondanti della musica: Le note, il ritmo e la melodia. L’apprendimento di tipo imitativo raggiunge il picco più alto intorno ai 3 anni, in questa fase si interviene con la ritmica integrale, attraverso la quale i bambini, insieme ai genitori apprendono melodie, ritmiche ed esercizi più o meno complessi in preparazione del successivo studio strumentale. L’apprendimento del ritmo avviene tramite l’ascolto condiviso di brani prettamente di repertorio classico, suddivisi in ritmiche sempre più complesse. Successivamente, in una seconda fase i bambini sono invitati a riprodurre il brano appena ascoltato utilizzando lo strumento che conoscono meglio, il loro corpo, attraverso battiti di mani per la ritmica e vocalizzi per la parte melodica. L’utilizzo del corpo in questa fase prepara gli allievi ad acquisire abilità di coordinazione motoria, e li predispone al successivo apprendimento strumentale (il metodo tradizionale Suzuki prevede l’utilizzo del violino). Intorno ai 6 anni, frequentando la scuola il bambino acquisisce gradualmente l’autonomia dal genitore, la coscienza di se stesso, come individuo autonomo pensante, ed è proprio

³³ Enrico Massimino, Omaggio a Shinichi Suzuki, in «A tutto arco», (rivista ufficiale di ESTA Italia-European String Teachers Association), anno 1, numero 2, 2008, pp. 24–27

in questa fase che verrà introdotta la lettura delle note sul pentagramma e la pratica strumentale. La sintesi di questo "apprendimento", avvenuto in un ricco e variegato panorama culturale, si riassume alla fine nella sua frase: "L'arte non è qualcosa che sta sopra o sotto di me, l'arte è legata alla mia essenza più profonda".

2.4 IL METODO YAMAHA

Sviluppato sulle orme e sugli insegnamenti del maestro Suzuki, il metodo Yamaha prende avvio dalla consapevolezza che la musica è un linguaggio spontaneo insito nel bambino, già predisposto di particolari abilità di apprendimento e si basa essenzialmente su giochi di squadra, dinamiche di gruppo e attività pratiche, attraverso i quali i bambini attingono al loro unico e personale talento. Questo metodo prende il nome ed è promosso fin dagli anni 50 dalla Yamaha, famosa casa giapponese, produttrice di strumenti musicali. Inizialmente si sviluppò all'interno delle piccole classi musicali e negli store Yamaha, giungendo successivamente alla fondazione di vere e proprie scuole. Tale metodo oggi è diffuso ed utilizzato in tutto il mondo per l'educazione musicale. La didattica Yamaha ha rivoluzionato l'insegnamento della musica dando spazio prima alla pratica e solo successivamente alla teoria, cosa assolutamente impensabile e rivoluzionaria per l'epoca. Principalmente, il metodo Yamaha enfatizza il potenziale della creatività. L'obiettivo è rendere l'apprendimento della musica, facile, immediato e soprattutto divertente, basato su dinamiche ludiche, con fasi di ascolto, di canto e di pratica strumentale. I corsi di musica Yamaha hanno una struttura costruita sulle esigenze della fascia d'età a cui si rivolgono. Music wonderland (3-4 anni), Junior music (4-6 anni), Junior extension (6-8 anni), Junior advanced (8-10 anni). Non sono corsi solamente strumentali, ma hanno l'obiettivo di dare competenze che porteranno a fare musica in modo creativo. È il percorso di apprendimento più naturale possibile, che ripropone la stessa modalità messa in atto per imparare una seconda lingua madre. Come affermato in precedenza, il percorso termina intorno ai 10 anni, dunque al termine della scuola primaria, e il bambino sarà in grado di scomporre e ricomporre semplici melodie e quindi pronto a intraprendere se lo vorrà, un percorso musicale più approfondito.

Da circa un anno si è avviata una collaborazione tra Yamaha, MIUR e CNAPM (Comitato Nazionale per l'apprendimento pratico della musica per tutti gli studenti); l'obiettivo comune è quello di diffondere l'apprendimento pratico e di qualità della musica sempre più su larga scala, affinché tutti possano godere degli innumerevoli benefici che lo studio della musica può dare.³⁴

2.5 DALCROZE E L'EDUCAZIONE AL RITMO

*“ Il ritmo dipende esclusivamente dal movimento
E trova l'esempio perfetto nel nostro sistema muscolare,
colui che lavora con la ritmica si trova in contatto
con lo spazio, il tempo e l'energia ”*

Emile Jack Dalcroze

Émile Jaques-Dalcroze, è stato un pedagogo e compositore svizzero. La sua importanza risiede in particolare nello sviluppo dell'euritmica, un metodo per insegnare e percepire la musica attraverso il movimento. La sua pedagogia prende avvio dallo studio dei metodi didattici di Pestalozzi. Egli ha sviluppato nel 1910 un metodo didattico per i suoi studenti, ponendo l'accento sulla componente ritmica, successivamente ribattezzata e utilizzata come “ritmica Dalcroze”³⁵. Il suo metodo ha influenzato profondamente la didattica musicale e si colloca all'origine dei nuovi sistemi d'insegnamento della musica di questo secolo. L'obiettivo di Dalcroze era appunto quello di sviluppare un metodo didattico alternativo, per ovviare alle difficoltà di percezione e codificazione del ritmo e amplificare le capacità di ascolto dei suoi studenti. La ritmica Dalcroze consente di avvicinarsi alla musica in modo creativo, globale ed effettivo. Essa mira a sviluppare la consapevolezza corporea, le capacità di coordinamento, la musicalità, e le abilità di esecuzione vocali, strumentali e corporee. Uno dei principi fondamentali della ritmica è la creazione di immagini motorie chiare e definitive mediante l'automatizzazione dei ritmi

³⁴ https://it.yamaha.com/it/news_events/2020/Musica_per_tutti.html

³⁵ Dalcroze E. *Il ritmo, la musica e l'educazione*, Torino, Eri, 1986

naturali del corpo, e l'identificazione delle azioni muscolari con i movimenti sonori. Quest'immagine motoria è interiorizzata soltanto dopo aver acquisito una consapevolezza corporea, raggiunta mediante una partecipazione attiva, percettiva e globale dell'allievo alle varie esperienze. La teoria musicale si apprende partendo dalla pratica, attraverso un approccio sperimentale: l'analisi e la codificazione di un elemento musicale avvengono soltanto dopo averlo sperimentato e studiato attraverso il movimento. Gli allievi acquisiscono così capacità tecniche ma anche creative ed espressive applicabili in vari campi: quello musicale (esecuzione strumentale, insegnamento), dello spettacolo (danza, teatro), della terapia (musicoterapia, logopedia, psicomotricità). Dunque, Dalcroze, come Gordon, individua nel corpo umano, lo strumento ritmico per eccellenza. Attraverso il corpo si scandisce il tempo. Una percezione del tempo di tipo corporeo è presente in ogni individuo, anche e soprattutto nei bambini. In sintesi, la ritmica Dalcroze mette in relazione i movimenti naturali del corpo, con una determinata composizione musicale. Sappiamo, come già affermato in precedenza, che l'elemento che lega musica e movimento è il ritmo. Lo studio ritmico di Dalcroze migliora il rapporto fra percezione e azione, al fine di raggiungere un'unione completa fra corpo e mente, attraverso la musica. Il lavoro di ricerca di Dalcroze ebbe considerevoli ripercussioni nell'ambito del ballo e della coreografia musicale. Vediamo adesso in dettaglio come si struttura e si articola il metodo ritmico di Dalcroze. Si tratta esclusivamente di lezioni in gruppo, nelle quali ogni singolo studente è essenziale per la crescita collettiva. Il brano musicale viene percepito ed espresso con il movimento, l'insegnante stimola i suoi allievi attraverso un'improvvisazione vocale o strumentale, che varia in funzione del livello, delle capacità e dei progressi compiuti dagli allievi. Infatti, una particolare attenzione viene attribuita proprio all'aspetto pedagogico: l'insegnante parte sempre dall'allievo e dalle sue capacità, per fare gradualmente nuove proposte. Ogni allievo reagisce e si esprime diversamente, a seconda delle proprie possibilità e peculiarità. Questo contribuisce ad instaurare un rapporto di fiducia reciproca e un'atmosfera di serenità, collaborazione e solidarietà nel gruppo. Questo stile d'insegnamento mette gli studenti in grado di far luce sul loro pensiero, non fornendo soluzioni ma ponendo domande e proponendo particolari esercizi corporei, per sviluppare l'ascolto

interiore e la capacità di sentire, di interiorizzare e proiettare pensieri, sentimenti e capacità d'insieme. Tra gli obiettivi educativi del metodo vi è quello dell'educazione ed armonizzazione del sistema nervoso mediante esercizi quali:

- reazione rapida: la realizzazione rapida di un'azione (o di una serie di azioni) musicale su un segnale verbale dato o su uno stimolo che può essere uditivo, visivo, tattile.

- incitamento: l'uso di energia per stimolare ulteriormente un'azione fisica o mentale senza spezzare, interrompere o perdere il tempo (musicale)

- inibizione: l'uso di energia per bloccare o trattenere un processo fisiologico o mentale senza interrompere il tempo.

Questo tipo di esercizi, oltre a richiedere all'allievo una partecipazione percettiva e attiva globale dove attenzione, (ciò che stimola) e intenzione (ciò che decidi di fare in rapporto allo stimolo) si adattino al movimento che si sta eseguendo, contribuisce a creare una corrente continua tra sistema afferente, (informazione al cervello) ed efferente (informazione dal cervello al corpo). Analizziamo adesso le diverse fasi della didattica, che si struttura su 3 livelli differenti:

1. La ritmica Dalcroze: (3 anni) Il bambino è invitato a riprodurre con il proprio corpo qualità del suono quali: la frase, l'altezza e il ritmo. Questi esercizi sono finalizzati all'apprendimento e l'acquisizione spontanea dei parametri musicali di base, studiando il ritmo il bambino viene educato alla musica attraverso la musica.

2. Solfeggio Dalcroze: (6 anni) Gli esercizi di educazione ritmica e armonica divengono più complessi, mirano a fornire al bambino strumenti per riconoscere ed analizzare la materia musicale in tutti i suoi aspetti. Attraverso l'ascolto vengono potenziate le abilità dell'attenzione, della concentrazione e della memorizzazione.

3. Improvvisazione: (10 anni) Inizialmente è proposta come attività ludica, favorisce la crescita di capacità di invenzione spontanee e di espressione, già presenti nel bambino.

2.6 LA PEDAGOGIA MUSICALE DI KODALY

*"La Musica è cibo intellettuale
che non può essere sostituito da nient'altro.
Chi non se ne ciba vive e muore in anemia spirituale.
Non c'è vita spirituale sapida senza musica;
ci sono regioni dell'anima dove solo la musica porta luce."*

Zoltan Kodaly

Ungherese di nascita, Zoltan Kodaly è stato uno dei maggiori compositori del suo paese, anche lui mosso da una profonda passione per la didattica musicale per bambini. Profondo conoscitore degli studi pedagogici dell'epoca, ha scritto e pubblicato numerosi testi didattici ed esercizi oggi utilizzati ancora in tutto il mondo.

Kodaly struttura la sua "pedagogia musicale", articolandola sugli stessi concetti base dei metodi sperimentali descritti fino adesso, ovvero che la musica è innata in ogni essere umano e può essere appresa in modo analogo al linguaggio verbale. La musica è ritenuta da Kodaly di primaria importanza nello sviluppo intellettuale dell'essere umano. L'innovazione di Kodaly sta nel fatto che, oltre alla componente puramente artistica ed espressiva, studia la simbologia e la semiotica della musica. Esattamente come Gordon, Kodaly riteneva che l'educazione musicale dovesse iniziare fin dai primi anni di vita, fase in cui l'elasticità e la plasmabilità della musicalità del bambino sono massime. Avvicinare i bambini alla musica significa anche ricercare quelli che sono i punti di maggior impatto formativo, uno di questi è fare musica in gruppo, l'altro è l'utilizzo della voce come legante universale. Il canto in coro è un'attività "attiva" e partecipativa, il mezzo di espressione è la voce. Kodaly ritiene che la voce sia il più potente dei mezzi didattici, poiché permette di vivere la musica come momento altamente performativo e favorisce lo sviluppo dell'orecchio musicale. La voce è la manifestazione dell'attività orale dell'uomo nell'arco della sua storia, il fulcro linguistico ed espressivo, oltre che il mezzo principale di adattamento e socializzazione. Nella didattica di Kodaly il canto

svolge un ruolo essenziale nella prima fase, tutte le percezioni e le acquisizioni passano dalla voce, attraverso l'esperienza concreta data da essa, i bambini assimilano in modo automatico e naturale strutture ritmiche e melodiche mentali, propedeutiche all'educazione musicale vera e propria, abbandonando qualsiasi approccio di tipo teorico per poi giungere a uno studio pratico più consapevole. Un altro elemento essenziale nella pedagogia Kodalyana è la formazione ritmica. Per quanto concerne l'educazione al ritmo, Kodaly si discosta del tutto dalle pratiche teoriche della lettura e del solfeggio. Il ritmo è indubbiamente legato al saper contare in musica e alla matematica, ma ha anche una base mentale e psicologica. E' proprio da questo che prende avvio la pedagogia di Kodaly per educare i bambini ad avere un pensiero e una coscienza ritmica. Saper codificare il ritmo consiste nello spezzare un continuum temporale in singole entità, questo processo avviene in modo automatico attraverso un'educazione di tipo ritmico-motoria. In accordo con l'educazione al ritmo di Dalcroze, la didattica di Kodaly inizia con la percezione della pulsazione e la sincronizzazione della stessa con eventi regolari della quotidianità, proprio per stimolare e accrescere il senso ritmico attingendo dalla realtà non tangibile, bensì "udibile". L'educazione ritmica prevede delle esemplificazioni mnemo-tecniche, l'utilizzo di sillabe ritmiche per segmentare il tempo:

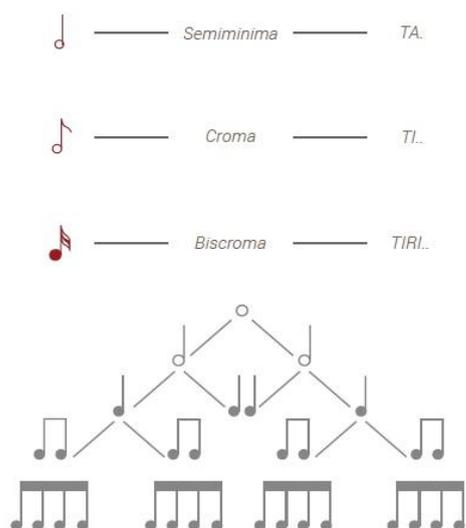


Figura 2.1
 Schema di sillabazione delle figure musicali nella pedagogia Kodaly. Le figure musicali, nella notazione tradizionale descrivono la durata di ogni singola nota sul pentagramma.

TA per le semiminime,

TI per le crome

TIRI per le biscrome.

In questo modo le sillabe andranno a trascrivere in modo semplice e intuitivo la durata delle note nelle attività di gruppo, scandite da movimenti ritmici e battiti di mani, su un brano scelto dal docente insieme ai suoi allievi. Una volta assimilate queste semplici figure ritmiche, gli studenti potranno scomporle e ricomporle e costruire degli ostinati ritmici.

La suddivisione della classe in due gruppi, permetterà successivamente di armonizzare gli ostinati ritmici, attraverso esercizi di poliritmia corporea, i due gruppi eseguiranno gli ostinati a distanza di una battuta. Oltre che sulla componente ritmica Kodaly si concentra anche sullo studio di sistemi che permettano ai bambini di riconoscere e rappresentare le note in modo più intuitivo, semplice ed efficace, trovando uno strumento efficace nella Solmisazione, pratica inventata dallo stesso Kodaly. La base di partenza è che la suddivisione delle note musicali nella scala modale non è definita dalla frequenza assoluta delle singole note, ma dalle relazioni che si instaurano fra le varie frequenze.

L'orecchio avverte le altezze di un suono e le codifica solo in relazione a quello successive, non si tratta di una percezione assoluta, ma relativa, avviene lo stesso con la percezione del colore, che può cambiare drasticamente in base al colore al quale lo affianchiamo. Partendo dal presupposto della relatività della percezione sonora, Kodaly scrive le sillabe di solmisazione relativa utilizzando le lettere minuscole (d - r - m - f - s - l - t). Il passaggio alla lettura sul pentagramma avviene in modo graduale, dapprima vengono utilizzate solo le sillabe di solmisazione (altezza delle note) disposte su una linea in modo sfalsato, in base alla loro altezza, successivamente vengono posti sulle sillabe i gambi indicanti il ritmo. Inizialmente Kodaly sceglie delle melodie caratterizzate da una estensione limitata; aggiungendo una seconda linea, l'ambito dell'estensione si allarga. Successivamente introduce una terza linea marcandone una per indicare la posizione del DO (anticipazione di quello che sarà l'uso del DO mobile sul pentagramma). Solo dopo aver raggiunto la giusta dimestichezza con almeno tre linee, introduce il primo esercizio di lettura sul pentagramma, utilizzando la scala pentatonica (d-r-m-s-l), senza ancora inserire il ritmo. La scala pentatonica viene trascritta da Kodaly ponendo DO nelle diverse posizioni, anche negli spazi. Giunti a questo punto del programma, Kodaly propone di scrivere sul pentagramma una melodia, indicando: il metro all'inizio della battuta e i valori ritmici delle note, posizionando i gambi sopra le sillabe di solmisazione. L'insegnante chiederà agli allievi d'intonarla. Un' altro espediente didattico messo appunto da Kodaly, si identifica nel gesto musicale, e prende il

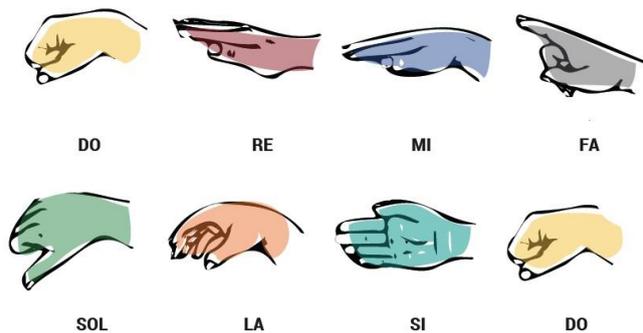


Figura 2.2

Dettato chironomico: attraverso precisi gesti delle mani Kodaly identificava ciascuna nota

nome di Chironomia. Ad ogni nota corrisponde un preciso segno gestuale, questo fa sì che lo studente assimili più facilmente quella specifica nota. Attraverso il dettato chironomico, una sorta di solfeggio gestuale cantato, i bambini intonano una determinata nota e ne restituiscono il segno gestuale

corrispondente. L'utilizzo di un codice visivo favorisce secondo Kodaly, la rapida assimilazione delle note musicali, poiché il bambino collega un gesto semplice alla frequenza della nota, vedendola e ascoltandola sviluppa l'orecchio musicale.³⁶

³⁶ *Musico, Gioco didattico per l'apprendimento della musica*, Politecnico di Milano

CAPITOLO III

LA FISICA NELLA MUSICA

Andrea Frova, fisico, divulgatore scientifico, scrittore ed accademico italiano, afferma che il pieno apprezzamento della musica può dipendere anche dalla comprensione dei suoi aspetti scientifici. Alla domanda “cos’è la musica?” non esiste una risposta immediata, né dal punto di vista musicale né dal punto di vista scientifico. Vi è invece una molteplicità di aspetti particolari, senza esaminare i quali non si può giungere alla formulazione di concetti generali che esprimano in maniera univoca il messaggio acustico, quella forma di energia che percepiamo attraverso l’apparato uditivo ed elaboriamo a livello della mente. È così che la musica viene ad assumere quei caratteri che la fanno divenire musica e non semplicemente *muzak*³⁷, ossia quel prevedibile susseguirsi di suoni che oggi si confeziona in quantità missive per i supermercati o per le hall degli hotel. Nella definizione di ciò che è vera musica, deve giocare un ruolo determinante l’interplay tra suono musicale e fisica.

Storicamente, siamo abituati a considerare i vari suoni come singole cellule di un organismo più complesso, cioè come elementi dipendenti dal contesto musicale nel quale sono inseriti. L’articolazione dei suoni nel tempo dà vita alla forma musicale. La musica è proprio questo: pensiero che si fa suono, costante feedback tra emozione ed estremo rigore che si manifesta attraverso l’organizzazione di cellule musicali in un lasso di tempo. Immaginiamo ad esempio di percuotere un enorme tam-tam, di chiudere gli occhi e di ascoltare come il timbro evolve progressivamente e disegna una “storia” musicale ben delineata: basterebbe già a convincerci di quanto questa prospettiva sia affascinante. Fare musica significa costruire con i suoni. Se, dopo un attento e reiterato ascolto, dovessimo “raccontare” quel che succede nel II movimento della sonata per pianoforte *Appassionata* di L. van Beethoven, non ci sfuggirebbe l’enunciazione di un tema, poi sottoposto ad un ciclo di artifici variativi di carattere melodico, ritmico ed armonico, prima della

³⁷ Frova A., *Fisica nella musica*, Zanichelli, pag. 4

riapprodo finale alla cellula originaria. È quello che in una struttura musicale si definisce come tema e variazioni.

3.1 DALL'ONDA AL SUONO

Il suono è un fenomeno fisico, non un oggetto. Per esistere ha bisogno di una sorgente, cioè di un corpo vibrante e di un mezzo elastico di propagazione in cui le onde possano viaggiare. Aria, acqua, legno, metalli, cemento, mattoni e vetro possono vibrare e propagare le onde sonore. Abbiamo quindi un primo dato di fatto: all'origine del suono c'è un corpo vibrante. Vibrando, questo corpo trasmette le proprie vibrazioni al mezzo che lo circonda (nel nostro caso, l'aria). L'energia sonora, quindi, è un'energia meccanica (o cinematica) che, partendo dalla sorgente, si irradia sotto forma di onde attraverso il mezzo di propagazione fino all'ascoltatore, senza trasporto di materia. Per potersi trasmettere a distanza, il suono, a differenza delle onde elettromagnetiche, richiede la presenza di un mezzo materiale, che è tipicamente l'aria. La sorgente di un suono può essere qualsiasi corpo sottoposto ad occasionale deformazione, ad esempio un tavolo su cui vengono battute le nocche delle dita. Gli strumenti musicali sono sorgenti sonore in cui la parte vibrante può essere una corda percossa (come nel pianoforte) o strofinata con un archetto (come nel violino), una membrana, una barra, un piatto percosso (come nelle percussioni), o una colonna d'aria la cui vibrazione è comandata del fiato dello strumentista (come negli strumenti a fiato). Anche le nostre corde vocali che sono fatte vibrare dall'aria che esce dai polmoni e danno origine alla voce, dunque, sono sorgenti sonore. Le molecole di aria che si trovano a contatto con la superficie del corpo raccolgono tale perturbazione e trasmettono lo stato vibratorio via via a quelle più lontane. Nel vuoto invece, in assenza di particelle, l'onda acustica non si avvia proprio. Il primo a verificare sperimentalmente che il suono non si propaga nel vuoto fu Robert Boyle, inglese, nel XVII secolo. L'esperimento classico consiste nel far suonare un campanello all'interno di una campana da vuoto e successivamente iniziare l'evacuazione della stessa, verificando il graduale affievolimento e poi scomparsa del suono, pur nel pieno mantenimento della condizione di lavoro della sorgente. È immediato arguire

che l'intensità del suono che ci perviene è legata al livello di pressione dell'aria, naturalmente in senso inverso.

Che tipo di onda è associata ad un'oscillazione di carattere meccanico, qual è quella che da luogo alla sensazione sonora? Notiamo che non tutte le oscillazioni meccaniche generano suoni, poiché noi siamo in grado di avvertire la perturbazione solo se l'onda di pressione che colpisce il timpano cade in una gamma di frequenze comprese tra 26 e 20000 Hz (questo limite massimo varia nel corso della vita, essendo massimo nei giovani e riducendosi negli anziani). Nella pratica musicale si utilizza un più ristretto intervallo di frequenze, dai 20 Hz ai 4000 Hz, che precisamente corrisponde alle sette ottave del pianoforte. L'orecchio infatti è maggiormente sensibile proprio in questa regione dello spettro sonoro, fatto da cui possiamo dedurre che la musica, attività evidentemente artificiale, è stata prodotta dalla civiltà umana entro le possibilità del nostro sistema percettivo con un meccanismo non di selezione naturale, come direbbe Darwin, bensì di selezione culturale. Il sistema percettivo si è naturalmente strutturato in modo da essere in grado di percepire quei suoni naturali (es. l'avvicinarsi di una preda, lo stormire delle fronde, il respiro) la cui rilevazione permetteva la maggior possibilità di sopravvivenza. È infatti affascinante notare la differenza con cui tale meccanismo si sia sviluppato nelle differenti specie animali. Si noti la differenza che si riscontra nei delfini e nei pipistrelli dovuta al fatto che hanno sviluppato meccanismi di localizzazione e di comunicazione basati sulla proprietà di "sentire" onde sonore ad

Animale	Intervallo di frequenza (Hz)
cane	10-10000
pipistrello	1000-100000
gatto	100-10000
delfino	10000-100000

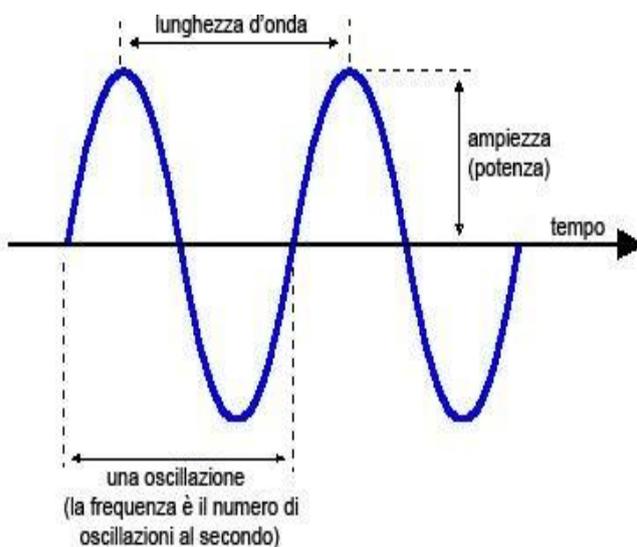
Figura 3.1

Gli intervalli di frequenze, in Hz, di suoni uditi da alcune specie animali. Dal sito <http://fisicaondemusica.unimore.it/>

elevata frequenza. Al di sopra della gamma di frequenze udibili si apre la zona degli Ultrasuoni (che appunto i cani sembrano udire e di cui i pipistrelli si servono come sonar per l'orientamento). Al di sotto, si apre la zona degli infrasuoni, come le onde sismiche. Si ha la percezione di singole compressioni del timpano, una sorta di martellamento ripetitivo, non di un suono continuo. Un esempio noto è quello del battito delle ali di un colibrì (in inglese, non a caso,

hummingbird, uccello ronzante) che è talmente rapido (oltre i 50 Hz) che è possibile percepirne il movimento come onda sonora.

Le onde possono essere di tipo trasversale o longitudinale. Nel primo caso, l'oscillazione delle particelle avviene in direzione perpendicolare rispetto a quella in cui l'onda si propaga, nel secondo caso, in direzione parallela. Il suono è un'onda



longitudinale caratterizzata da alcune proprietà fondamentali:

- L'ampiezza
- Il periodo
- La frequenza
- La lunghezza d'onda
- La velocità con cui la perturbazione avanza nel mezzo

Figura 3.2
rappresentazione grafica dell'onda sonora

Per Ampiezza dell'onda si intende lo spostamento massimo di un punto dalla posizione di equilibrio. L'ampiezza delle fluttuazione della pressione sonora è la caratteristica che ci permette di distinguere i suoni forti da quelli deboli; in pratica quello che comunemente chiamiamo il "volume" del suono.

L'altezza percepita dei suoni dipende dalla frequenza (f), cioè dal numero delle oscillazioni che si verificano in un dato tempo (un secondo). Quanto più numerose esse sono, tanto più acuto è il suono. La frequenza si misura in "Hertz" [Hz]; il termine Hertz si riferisce al nome del fisico tedesco che per primo studiò questi fenomeni. Un Hertz corrisponde ad un'oscillazione completa nel tempo di un secondo. Dire che un suono è di 300 Hz significa che il corpo che lo produce vibra 300 volte al secondo.

Si definisce periodo (T) il tempo necessario per compiere un ciclo completo, anche definito come inverso della frequenza.

La Lunghezza d'onda (λ) è la distanza percorsa dall'onda in un periodo T o la minima distanza tra due punti in cui lo spostamento dalla configurazione di equilibrio assume lo stesso valore.

Il suono si propaga con una velocità costante che dipende dal mezzo del materiale e dalle condizioni fisiche di tale mezzo (pressione e temperatura). Ad esempio, nell'aria, alla temperatura di 20° C e alla pressione di 1 atm, la velocità del suono è di circa 340 m/s.

Noi siamo circondati da suoni diversissimi tra loro, acuti o bassi, intensi o fievoli, morbidi o stridenti. Per distinguere i suoni, si prendono in considerazione tre caratteristiche principali:

- L'altezza
- L'intensità
- Il timbro

I suoni possono essere di altezza più grave o più acuta. In termini fisici, un suono più acuto ha frequenza maggiore, un suono più grave ha frequenza minore. L'intensità, che si identifica anche con il volume negli strumenti che riproducono suoni, dipende dall'ampiezza dell'onda, in definitiva, dall'energia trasportata dall'onda. Il *timbro*, invece, dipende dalla particolare forma dell'onda periodica emessa dalla sorgente sonora e permette di distinguere le note di due diversi strumenti musicali, anche nel caso in cui questi abbiano la stessa frequenza fondamentale. Quando si suona una nota (la frequenza fondamentale) con uno strumento musicale, in realtà si producono anche altri suoni che hanno frequenze multiple di quella fondamentale e sono dette frequenze armoniche. La somma di questi suoni determina il timbro caratteristico di uno strumento musicale e la corrispondente forma dell'onda. Il timbro è il parametro di un suono che ci permette di distinguere due suoni che hanno la stessa altezza e la stessa intensità, in parole povere è la qualità del suono che ci permette di distinguere la voce di un violino da quella di un flauto, quando i due strumenti stiano emettendo una stessa nota. Dunque, come abbiamo accennato, per capire cos'è il timbro è fondamentale capire cos'è un'armonica. Nel 1701 il fisico francese Joseph Sauveur (1653-1716) realizzò la prima dimostrazione sperimentale circa l'esistenza dei suoni armonici; egli utilizzò il sonometro (ossia una cassa armonica, con più corde) ponendo dei

cavalierini leggerissimi in vari punti della corda in modo da determinare la posizione di ventri e nodi, termini da lui introdotti insieme alla locuzione armonica superiore.

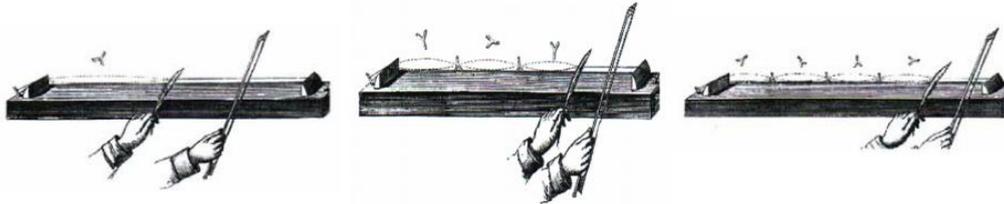


Figura 3.3
rappresentazione di un sonometro

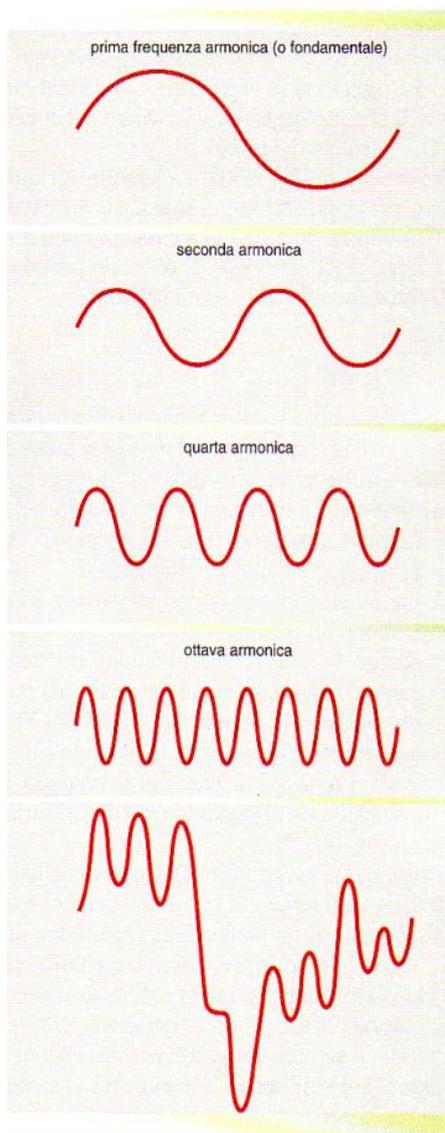


Figura 3.4: timbro come risultato della composizione delle armoniche naturali

In pratica, un singolo suono, prodotto da un qualsiasi strumento musicale o dalla voce, non consiste nella isolata vibrazione caratterizzata da un'unica frequenza, ma nella simultanea sovrapposizione di più suoni con frequenze e intensità diverse. Le frequenze delle vibrazioni che compongono un suono non sono casuali, ma soggette a un vincolo armonico: sono multipli della frequenza della vibrazione più lenta ossia del suono chiaramente percepito.

Se invece pensiamo alla corda vibrante, i primi sei armonici sono proprio quelli prodotti dalla divisione della corda in 2, 3, 4, 5, 6 parti. La conoscenza del fenomeno acustico degli armonici, ebbe grande importanza nella costituzione delle scale e della tonalità, e costituì la base naturale sulla quale si svilupparono tutte le leggi dell'armonia. Se noi infatti sovrapponiamo insieme armonicamente, i primi sei suoni di una qualsiasi serie armonica, otterremo un accordo perfetto maggiore. Da ciò si desume che l'accordo perfetto maggiore, base della moderna tonalità, è diretta emanazione del

fenomeno acustico degli armonici, la cui pratica applicazione aprì la via alla trasformazione della polifonia contrappuntistica del Cinquecento in armonia dei secoli posteriori. Inoltre ogni strumento musicale è caratterizzato dal fatto che, nei suoni che produce, prevalgono alcune armoniche rispetto ad altre. Ecco perché si dice che il diverso "peso" sonoro delle armoniche determina il timbro degli strumenti.

3.2 DAL SUONO ALLA MUSICA

Se prendiamo in considerazione il più banale dei rumori, quello che in fisica si chiama *rumore bianco*, ad esempio quel poco gradevole sibilo che emette una radio FM lasciata in posizione intermedia tra due stazioni, ci accorgiamo che il livello del suono varia nell'intervallo di tempo in maniera del tutto casuale e scorrelata. Si ha a che fare con una perfetta assenza di significato e di intenzioni, di una piatta imprevedibilità statistica, di una grave monotonia. La parola "rumore" nel linguaggio quotidiano indica qualcosa di indistinto e caotico. Tuttavia in ambito scientifico diversi tipi di rumore possono essere quantitativamente caratterizzati studiandone il contenuto spettrale. Se un rumore è costituito da uno spettrogramma sostanzialmente "piatto" con onde di tutte le frequenze e di intensità simile ad ogni frequenza, esso si dice rumore bianco. Il rumore bianco, ricco di alte frequenze suona "stridulo", ha un eccesso di brillantezza che ci infastidisce. Ciò che sembra caratterizzare il suono rispetto al rumore è la sua descrizione in termini di un'onda periodica. Lo spettrogramma deve contenere solo suoni puri di frequenza multipla di una frequenza fondamentale. In definitiva, ciò che distingue un suono dal un rumore è il fatto che ad un'onda periodica, quale il suono, si associa un'altezza ben definita, mentre al rumore bianco non sembra possibile attribuirlo.

Come abbiamo detto, fare musica significa costruire con i suoni e le prime costruzioni in tal senso hanno origini antichissime. Cominciamo con una visita ai Greci, i quali, circa 500 anni prima dell'inizio dell'era cristiana, costruirono un semplice strumento, il *monocordo*, che li portò a cogliere direttamente il nesso tra l'altezza del suono e la sua lunghezza d'onda. Il termine monocordo deriva dal greco monòchordon (mònos, "unico" e chordê, "corda") e significa "strumento a

corda unica". È uno strumento composto da una sola corda, tesa sopra una cassa di risonanza tra due ponticelli, e posata su un terzo ponticello intermedio che può essere spostato. Il risultato che si ottiene, a tensione fissa, è che l'altezza del suono è inversamente proporzionale alla lunghezza della parte di corda che è in azione. Dall'osservazione del monocordo, Pitagora, pronunciò la celebre frase: il segreto dell'armonia sta nel magico potere dei numeri", poiché si accorse di come negli aspetti musicali avessero validità le proporzioni matematiche, arrivando a definire concetti quali:

- Intervallo: fintanto che si mantiene costante il rapporto tra le lunghezze delle corde oscillanti, resta costante il rapporto tra le altezze dei suoni, anche se le loro altezze sono variate.
- Ottava: mettendo la corda in vibrazione Pitagora provò a dimezzarne la lunghezza mediante il ponte mobile, e si produsse un suono, cioè la medesima nota ma più acuta. Questa differenza, dovuta al fatto che la seconda nota rispondeva alla vibrazione della metà della lunghezza della corda, pur essendo la stessa nota, si spiega col fatto che essa ha una frequenza esattamente doppia della prima nota ed è detta ottava. La parola "ottava" nasce dal fatto che nella cultura occidentale, tra due Do consecutivi si hanno 8 intervalli, 5 di un tono e 2 di un semitono (tra mi-fa e si-do, nella scala di Do maggiore).
- Quinta: sempre con la stessa tensione, Pitagora accorciò la corda secondo la "sezione aurea" dei due terzi, ottenendo una nota che è in relazione con gli altri due ed è detta quinta perfetta, che corrisponde al rapporto $3/2$ tra le lunghezze della corda vibrante (do-sol).

Sempre con rapporti di frazioni semplici, Pitagora ha osservato il rapporto della quarta di una nota (do-fa, con rapporto di lunghezze $4/3$). Basandosi su questi concetti emersi dall'armonia del monocordo, Pitagora propose la scala musicale maggiore diatonica (ossia composta da 7 note). Nei secoli successivi, Tolomeo riconoscerà i rapporti di terza maggiore, (do-mi con rapporto $5/4$), note fondamentali nella composizione degli accordi e nell'armonia musicale. Per gli antichi greci, armonia significava gamma e logica successione di suoni. In parole povere, indica una consonanza di suoni, un equilibrio. Se infatti ascoltiamo simultaneamente suoni che tra loro compongono uno stesso accordo, le loro

frequenze risultano al nostro udito come gradevoli e piacevoli, non sono stonate. In musica, l'armonia consiste nel modificare le note, in termini di intervalli di tono sia simultanei che susseguenti, di arpeggio, di progressione e di struttura generale del brano. L'armonia individua e determina la tonalità del brano, le scale in uso e l'utilizzo degli accordi. Assieme al ritmo ed alla melodia, è uno dei tre elementi costitutivi della musica.

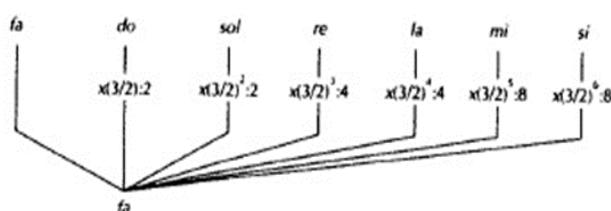


Figura 3.5

Costruzione della scala diatonica pitagorica in do maggiore, per innalzamenti di intervalli di quinta (fattore $3/2$) ed abbassamenti di intervalli di ottava (fattore $1/2$).

La musica è composta da sequenze di suoni le cui frequenze hanno rapporti semplici e ben definiti. La percezione dei rapporti tra suoni consecutivi nel tempo corrisponde alla percezione della melodia. Quando fischiattate una musica che vi è rimasta impressa, o che vi piace, tipicamente ne state riproducendo la melodia. Dal greco *mélōs* (canto), la melodia è ogni singola "voce" che costituisce una composizione musicale. La percezione dei suoni simultanei, invece corrisponde al senso dell'armonia. L'armonia non è "fischiettabile", perché non corrisponde ad una singola "voce" in una composizione, ma piuttosto all'insieme di tutte i suoni che, istante per istante, sono percepiti simultaneamente. L'armonia, quindi, nasce dalla fusione di tutte le "voci". Sin dall'antichità ci si accorse che era possibile far suonare contemporaneamente più di uno strumento producendo comunque suoni globalmente gradevoli. La necessità di mettere d'accordo, da cui accordare, strumenti diversi perché suonando insieme non fossero dissonanti, spinse a formalizzare la scelta delle note da utilizzare. Da questa esigenza nacquero le varie scale musicali che si sono succedute nella storia della musica. Quasi tutte le scale musicali sono basate su intervalli di ottava. Storicamente, nella musica occidentale è stata selezionata una sequenza particolare di frequenze che definiscono le note della scala musicale temperata. La scala temperata possiamo definirla come l'evoluzione della scala pitagorica. La difficoltà d'uso della scala Pitagorica emerge

quando si cerca di traslare uno scritto musicale da un tono all'altro. La gradevolezza di un brano musicale è legata al rapporto tra le note che lo compongono, e non al valore assoluto delle loro frequenze, purché queste rimangano nei limiti dell'udibilità. È capitato a tutti di cantare una canzone partendo da una nota ed incontrando difficoltà a riprodurre la melodia, perché l'estensione della voce non riusciva a raggiungere certe note, di ricominciare a cantare la melodia partendo da una nota più bassa o più alta. Questo significa che lo stesso brano musicale risulta egualmente gradevole se suonato spostando tutte le note che lo compongono dello stesso fattore moltiplicativo. Si può, ad esempio pensare di trasformare una melodia che parte in Do facendola partire dal Re. Supponiamo che le prime note della melodia siano Do e Mi. Il rapporto tra queste frequenze è di $81/64$. Moltiplicando la frequenza di Re di $9/8$ per $81/64$ si ottiene $729/512$, che è la frequenza di una nota che non si trova nella scala definita precedentemente. Chiameremo Fa# (diesis) questa nuova nota, la cui frequenza si trova tra il Fa e il Sol. Queste note, sulla tastiera del pianoforte vengono suonate premendo i tasti neri. Supponiamo che la melodia che stiamo trasportando di un tono abbia un passaggio tra Si e Fa che dà $(729/512)-1$ in termini di rapporto di frequenza. Questo passaggio fatto partendo dal Do, di frequenza 2, porta ad una nota con frequenza $1024/729$, che chiameremo Solb (bemolle).

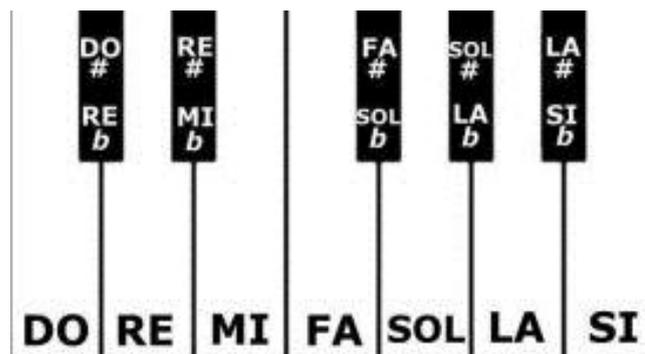


Figura 3.6
Un'ottava della tastiera di un pianoforte.

Anche questa nota si trova tra Fa e Sol ma ha frequenza differente da quella del Fa#. D'altra parte sul pianoforte c'è un solo tasto nero tra i tasti bianchi del Fa e del Sol. Dunque sia Fa# e Solb necessitano di avere la stessa frequenza, in quanto ci stiamo riferendo allo stesso tasto, alla stessa nota. Questo esempio mette in

evidenza la difficoltà intrinseca nell'uso della scala pitagorica. Ogni cambiamento di tono produce nuove note le cui frequenze non sono presenti nelle scale precedentemente definite. Se si usasse la scala Pitagorica per uno strumento a tastiera, tra due tasti bianchi ci sarebbero numerosi tasti neri, ognuno costruito per rappresentare una nota ottenuta partendo da una tonalità differente. E a questo punto entriamo nel controverso argomento della consonanza e della dissonanza: perché certi intervalli (unisono, ottava, quinta giusta) risultano decisamente consonanti decisamente dissonanti? La risposta pitagorico-numerologica `e che i primi sono "molto razionali", i secondi pochissimo, e gli ultimi "una via di mezzo": si tratta di un modo di descriverli aritmeticamente. La risposta, molto più moderna, di von Helmholtz (1800), è che il grado di consonanza dipende dal numero di armonici che i due suoni hanno in comune, magari pesando anche l'ampiezza di ciascun armonico.³⁸

³⁸ Michel Meulders, *Helmholtz, dal secolo dei Lumi alle neuroscienze*, Bollati Boringhieri, Torino 2005, pp. 274.

3.3 COMBINAZIONI DI SUONI

Normalmente, i suoni musicali sono sovrapposizione di onde armoniche di varie frequenze. Consideriamo, ad esempio, il caso di una corda vibrante con le due estremità bloccate, come indicato nella *Figura 3.7*.

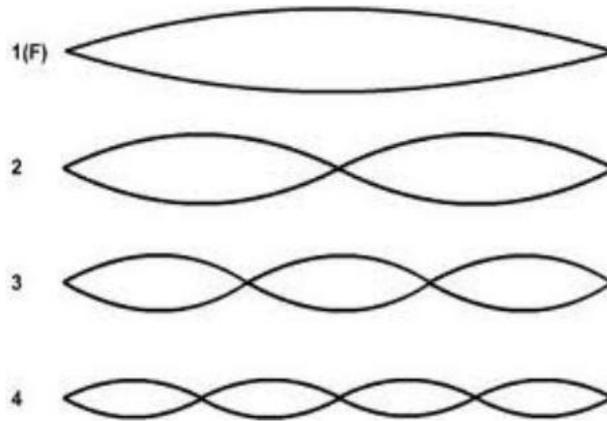


Figura 3.7

Vibrazione di una corda vincolata ad entrambi gli estremi. In alto si mostra la frequenza principale, prima armonica, poi le successive.

Vibrazioni di una corda vincolata ad entrambi gli estremi. In alto si mostra la frequenza principale, prima armonica, poi le armoniche successive. La vibrazione principale della corda è indicata nella parte in alto della figura. Questa vibrazione, detta principale, anche perché normalmente è quella che ha l'ampiezza maggiore, sfrutta tutta la lunghezza della corda. Quando si fa vibrare una corda, questo non è il solo modo di vibrazione. In aggiunta alla vibrazione principale, ci sono altri modi di vibrazione nei quali alcuni punti rimangono fissi. Questi punti sono detti nodi. Nel secondo modo di vibrazione indicato dalla Figura 11, la corda vibra sfruttando solo la metà della sua lunghezza, e ha un nodo. Come abbiamo visto, la frequenza è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda, quindi dimezzando la lunghezza d'onda si hanno moti oscillatori di frequenza doppia. C'è anche un moto nel quale appaiono due nodi. In questo caso si hanno vibrazioni che sfruttano un terzo della lunghezza della corda, quindi, per questi modi di vibrazione la frequenza è tripla. Il suono finale è dato dalla somma di tutte queste semplici vibrazioni

armoniche. L'armonica con la frequenza principale è quantitativamente la più importante, seguita poi dalle armoniche con frequenze più alte il cui contributo diminuisce con l'aumentare della frequenza. Questo è vero per i suoni prodotti da strumenti musicali, quindi per vibrazioni armoniche. Alcuni strumenti musicali sono costruiti per produrre solo un suono, come ad esempio tamburi, campane. La maggior parte degli strumenti può produrre note differenti. Questo può avvenire perché lo strumento ha in dotazione un grande numero di elementi vibranti, come succede per il pianoforte, il clavicembalo, l'arpa e l'organo a canne. Molto più spesso la produzione di diverse armoniche dominanti avviene cambiando le dimensioni dell'entità vibrante. Negli strumenti a corda, questo avviene premendo la corda, quindi riducendo la lunghezza della parte vibrante. Negli strumenti a fiato si cambia nota aprendo le chiavi, permettendo all'aria di uscire da fori laterali e quindi modificando, riducendola, la lunghezza del tubo vibrante. Il nostro apparato uditivo (l'orecchio, ma soprattutto la corteccia uditiva) si è "abituato" a percepire suoni periodici e quindi, quando viene esposto a suoni che appartengono alla stessa serie armonica, li classifica come se fossero generati da un singolo strumento e attribuisce a questa percezione la nota che corrisponde al fondamentale di quella serie, spesso anche se il fondamentale non è effettivamente presente (il cosiddetto fondamentale mancante).

Il principio di combinazione di più suoni di diversa frequenza, con produzione di suoni non emessi dalla sorgente ed avente frequenza pari alla somma o alla differenza delle due frequenze primitive fu espresso per la prima volta da Giuseppe Tartini nel 1714. Egli chiamò il risultato di questa combinazione come *terzo suono*. Quando due vibrazioni si combinano in un mezzo, ad esempio un corpo solido come la cassa di risonanza degli strumenti, avviene che, oltre alla consueta sovrapposizione additiva, si può avere, in grado maggiore o minore, un effetto di controllo sulle ampiezze. In altre parole, l'ampiezza della prima oscillazione viene modulata dalla presenza della seconda oscillazione, attraverso l'azione che questa esercita sulla proprietà del mezzo, e viceversa. Il terzo suono si può udire con chiarezza se i suoni primari sono forti e non distano tra loro molto più di un intervallo di quinta perfetta. Inoltre, essi devono essere acuti, in modo che la frequenza non scenda nella zona di scarsa sensibilità uditiva l'ascolto di un suono

monocromatico mette in gioco tutti i neuroni della sua serie armonica (e subarmonica), spiegando il terzo suono, e anche i criteri di consonanza di Helmholtz: a questo proposito questo ragionamento ci permette di definire in termini neurali il significato di consonanza e dissonanza: un suono monocromatico o dotato di armonici stimola n neuroni, due suoni distanti un'ottava stimolano (in misura leggermente diversa) gli stessi neuroni, due suoni distanti una quinta stimolano (circa) $1.5n$ neuroni, due suoni in rapporto irrazionale ne stimolano $2n$; all'aumentare del numero di neuroni coinvolti in una percezione musicale aumenta il "lavoro computazionale" che il cervello deve compiere per decifrare quello stimolo e diminuisce la sensazione di consonanza.

Un caso molto noto legato alla sovrapposizione di suoni di diversa frequenza è quello dei *battimenti*. Il primo esempio che mi viene in mente pensando ai battimenti è l'accordatura degli strumenti, infatti i battimenti servono per individuare la presenza di note calanti o crescenti quando si intona uno strumento. I battimenti sono un fenomeno chiaramente percepibile quando le frequenze dei due suoni sovrapposti differiscono di poco. L'effetto dei battimenti consiste nell'alternarsi nel tempo di un'interferenza costruttiva e distruttiva che si manifesta come un salire e scendere dell'intensità del suono. La frequenza dei battimenti è uguale alla differenza delle due frequenze primitive. A prima vista sembrerebbe che i battimenti siano semplicemente una manifestazione del principio di sovrapposizione: sommando due onde si ottiene una nuova onda con caratteristiche differenti. Non è così. Di fatto il fenomeno del "battimento" manifesta appieno la sua importanza solo nel campo dell'acustica. Non a caso il nome stesso del fenomeno è dovuto alla lenta fluttuazione dell'intensità percepita che fa somigliare il suono ad una pulsazione regolare. Nel caso delle onde sonore, infatti, il nostro sistema uditivo percepisce la sovrapposizione di due suoni in modo molto differente, a seconda della distanza tra le frequenze dei suoni componenti. In musica, il fenomeno dei battimenti lo ritroviamo spessissimo. Un chitarrista che cerca di accordare la sua chitarra pizzicando alternatamente due corde vicine. Tendendo o rilasciando la corda da accordare, la pizzica ripetutamente fino a quando non ritiene che i due suoni ottenuti siano all'unisono; oppure ascoltare il

meraviglioso effetto di un coro di canto gregoriano in una cattedrale gotica, o un organo che suona nel registro vox humana. Il suono sembra lentamente "pulsare" con un lento alternarsi nel tempo dell'intensità; o ancora un pianoforte giocattolo (o scordato) produrre suoni aspri e così dissonanti da assomigliare a quelli che emette un "modem" gracchiante alla ricerca della connessione. Tutti questi fenomeni sono esempi di battimenti. Il caso del pianoforte, da questo punto di vista, è più complesso e più interessante. Infatti, nel pianoforte due o tre corde identiche vengono percosse simultaneamente dal martelletto per produrre una singola nota, ed esse, per dare l'unisono perfetto devono produrre meno battimenti possibile. Tuttavia le tre corde corrispondenti ad un singolo tasto del pianoforte non sono oscillatori indipendenti, ma accoppiati attraverso l'anima, e ogni volta che due oscillatori sono accoppiati le frequenze proprie del sistema cambiano, e, in particolare, sono possibili modi di vibrazione in cui l'energia passa da un oscillatore all'altro periodicamente. Questi modi corrispondono ai battimenti acustici. Secondo Hermann von Helmholtz, la massima dissonanza corrisponderebbe a suoni che producono 30-40 battimenti al secondo.

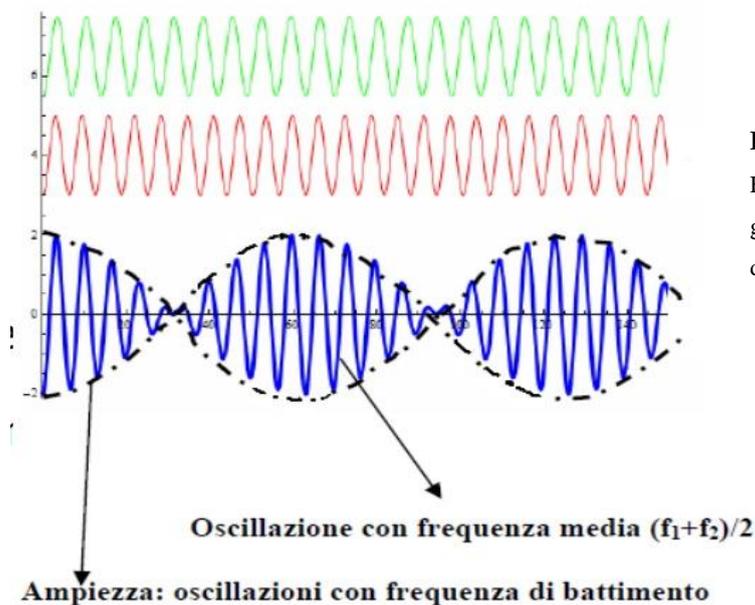


Figura 3.8

Esempio di battimenti b) generati dall'interferenza di due onde sinusoidali a).

Il concetto di consonanza degli intervalli di Pitagora, le considerazioni di natura fisica di Galileo, le brillanti idee e sperimentazioni di von Helmholtz, che assegnano al fenomeno dei battimenti l'origine delle dissonanze, non sono sufficienti a

verificare taluni aspetti dell'armonia classica che invece vengono esplicitati nel celebre *Traité de l'harmonie* di Jean Philippe Rameau, del 1722. Nella visione di Rameau, il nocciolo dell'armonia classica si può riassumere nei seguenti concetti: le note costituenti l'accordo devono avere un numero di parziali comuni, e l'effetto della combinazione di questi suoni deve produrre all'orecchio come risultato altre parziali dell'accordo non emesse dalla sorgente. In particolare, devono dar vita a quello che Rameau identifica come *basso fondamentale*, ossia quel denominatore comune necessario all'omogeneità tra melodia ed armonia. La consonanza dell'accordo perfetto trova, secondo Rameau, un fondamento in natura: l'accordo maggiore, che si compone di una terza maggiore più una terza minore, si ritrova nella divisione armonica di una corda vibrante; l'accordo minore, composto dalla sovrapposizione di una terza minore e una terza maggiore, si può ricavare da una divisione aritmetica. Per Rameau gli accordi, siano essi in posizione fondamentale o di rivolto, hanno un "centro armonico": sono generati da un suono unico, che costituisce la nota di riferimento (che è proprio il "basso fondamentale"). È proprio questa nota che conferisce all'accordo un'identità e una funzione precisa e sono i rapporti tra i bassi fondamentali che regolano la successione delle armonie. Nel *Traité de l'harmonie*, inoltre, i fenomeni della consonanza e della dissonanza sono razionalmente ricondotti nell'alveo di una teoria degli affetti: una passione come la gioia richiede consonanze o dissonanze preparate, altre, come l'ira o la disperazione vogliono dissonanze prive di preparazione.

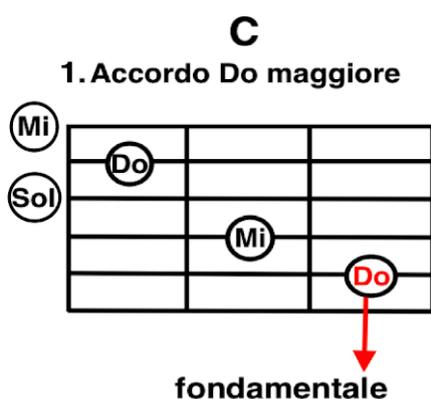
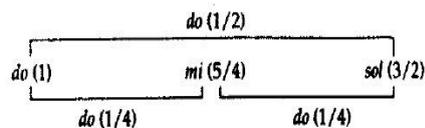


Figura 3.9
 tablatura della posizione dell'accordo di do maggiore alla chitarra. È evidenziato il Do, basso fondamentale che dà il nome all'accordo.

Ad esempio, nell'accordo triadico di Do maggiore, do-mi-sol, assumendo nota fondamentale Do con frequenza $f=1$, emerge la consonanza tra i toni fondamentali della triade, un insieme di suoni che parlano lo stesso linguaggio, quello avvolgente della tonica.



3.4 GLI STRUMENTI MUSICALI E LA RISONANZA

Uno strumento musicale, dal punto di vista di un fisico è un sistema atto a generare onde sonore ed irradiarle nell'ambiente.

Esso può essere scomposto in:

1. Un elemento vibrante, che è la prima fonte di oscillazioni in un mezzo elastico parte dello strumento (corde, lastre, membrane, aria, ecc.);
2. Un risuonatore con la funzione di selezionare alcune frequenze di vibrazione e dare una forma definita all'onda sonora. Ad esempio, nei fiati la canna è accordabile con funzione di intonazione, tramite i fori, mentre negli archi l'intonazione avviene agendo direttamente sull'elemento vibrante (le corde), e il risuonatore è il corpo dello strumento;
3. Uno o più adattatori di impedenza che favoriscono la trasmissione dell'energia meccanica tra le diverse parti vibranti dello strumento, e, infine, tra lo strumento e l'aria circostante;

I tre elementi indicati sono funzionali, e non necessariamente corrispondono ad elementi strutturali distinti in ciascuno strumento. A volte essi sono raggruppati in uno stesso elemento, altre volte l'adattatore finale manca, oppure servono diversi adattatori interni, oltre a quello finale con l'aria. Ogni strumento musicale genera vibrazioni meccaniche grazie ad un elemento in grado di oscillare attorno ad una posizione di equilibrio quando viene eccitato dallo strumentista.

L'elemento vibrante iniziale può essere ad esempio:

- Una corda nei cordofoni. Essa può essere pizzicata, percossa, strofinata.
- Una lamina, negli aerofoni ad ancia;
- Le labbra dello strumentista per lo più negli ottoni;
- Direttamente l'aria, come nel flauto o nell'organo a canne;
- Una membrana nelle percussioni a membrana;
- Le corde vocali nel caso della voce umana.

Negli strumenti musicali, è fondamentale il ruolo del risuonatore. Il risuonatore di uno strumento musicale è tipicamente il corpo stesso dello strumento, ed è in genere costituito da una o più cavità. Ne sono esempi le cavità della bocca e del

naso nel corpo umano, la cassa armonica negli strumenti a corda, le canne negli strumenti a fiato.

La funzione del risuonatore è quella di attenuare o esaltare la vibrazione dell'oscillatore iniziale in modo selettivo in frequenza.

Il risuonatore è in grado di assorbire energia da una sorgente (in questo caso l'elemento vibrante dello strumento) in modo particolarmente efficiente solo in una determinata banda di frequenze corrispondenti alle sue frequenze proprie. Nel caso degli strumenti musicali il risuonatore assorbe sempre energia dall'elemento vibrante primario, e la trasmette all'aria circostante lo strumento. Un risuonatore acustico funge da amplificatore in quanto si creerà al suo interno una serie di vibrazioni caratterizzate da frequenze tipiche delle caratteristiche geometriche e meccaniche del risuonatore. Il fenomeno della risonanza coinvolge sia l'elemento vibrante che il risuonatore, in maniera più o meno complessa a seconda della conformazione dello strumento. Ma cosa si intende esattamente per Risonanza?

Ci sarà capitato di notare che una piccola spinta ad un'altalena la fa oscillare ad una frequenza ben precisa, detta frequenza propria che dipende dalla lunghezza dell'altalena, ma non dai dettagli della forza somministrata durante la spinta. Se anziché applicare la spinta una sola volta la ripetiamo periodicamente nel tempo possiamo studiare come l'altalena risponde al variare della frequenza della nostra spinta. Troveremo che, se la forza applicata dall'esterno ha una frequenza prossima alla frequenza propria dell'altalena, quest'ultima tende ad oscillare in modo sempre più ampio. La frequenza naturale di oscillazione (o frequenza propria) è perciò anche la frequenza per cui una forza esterna trasferisce energia al sistema oscillante nel modo più efficiente. Se pensiamo ad un bambino che dondola su quest'altalena, notiamo che egli muoverà le parti del suo corpo (braccia, gambe, busto, capo) in sintonia con l'oscillazione dell'altalena. In tal modo riesce a contrastare gli attriti meccanici e a prolungare il gioco divertente. Questo fenomeno in fisica è appunto la *Risonanza*. Si dice risonanza il fenomeno per cui un sistema oscillante è in grado di assorbire energia da una sorgente esterna in modo particolarmente efficiente solo ad una (o più) frequenze ben precise. L'esempio comune è quando, avendo due diapason vicini intonati alla stessa frequenza (che solitamente è 440 Hz, corrispondente alla nota del La), percuotendone uno solo, udiremo il suono

prodotto anche dal secondo, che sarò appunto entrato in risonanza con il primo. Questo fenomeno è molto comune in musica, soprattutto negli strumenti a corde, che si dice comunemente che inizino a “vibrare per simpatia”.

Il fenomeno della risonanza ha applicazioni importanti nella nostra quotidianità. Permette l'amplificazione o la selezione di un segnale. È il caso della radio, del laser, dei filtri. La risonanza permette di sintonizzare l'apparecchio, cioè di ottimizzarne la risposta in una o più bande di frequenze ben precise. Assistere ad un concerto Rock può essere un'esperienza emozionante e coinvolgente anche da un punto di vista strettamente fisico: il nostro corpo, letteralmente, vibra in risonanza con i suoni prodotti ed amplificati elettronicamente. Ci sono voluti lunghi studi sugli strumenti musicali e , più recentemente, grazie all'elettronica , sulla possibilità di creare con i sintetizzatori, suoni originali per farci provare emozioni e sensazioni così intense. Uno dei casi più celebri di risonanza nel mondo musicale è quello dei bicchieri di cristallo. Un bicchiere di cristallo è dotato di una struttura interna abbastanza regolare e ripetitiva. È comune l'esperienza di far suonare il bicchiere, toccandolo oppure strofinandone leggermente il bordo con la punta bagnata del dito, come movimenti circolari e costanti. Ciò che in realtà avviene è che si induce la struttura interna del bicchiere ad oscillare con una determinata frequenza, che è la frequenza di risonanza. Concentrando molta potenza con frequenze prossime a quella di risonanza, il bicchiere può essere mandato in frantumi, a causa del grande assorbimento di energia in queste condizioni. Infatti spesso le cantanti liriche per enfatizzare il potere dei loro acuti “rompono” i bicchieri di cristallo. Tuttavia tali eventi non hanno un grande sostegno e fondamento scientifico, poiché la potenza della voce umana, a meno che non sia amplificata artificialmente, non è certamente sufficiente ad innescare le oscillazioni di risonanza fino a provocare la rottura dei legami molecolari del cristallo. Inoltre, come spiegato nel capitolo precedente, sappiamo che benché in apparenza venga emesso un solo suono, in realtà esso è il risultato della combinazione di diversi suoni, ciascuno con una determinata frequenza, che disturbano diminuendo quindi l'effetto della risonanza.

Come abbiamo detto, uno strumento musicale in fisica è considerato come una cavità risonante. Le proprietà della cavità contribuiscono alla voce dello strumento,

cioè al suo timbro. Idealmente una cavità risonante non è altro che uno spazio chiuso. Al suo interno vengono prodotte onde di qualche tipo, e le pareti che delimitano la cavità sono tali da riflettere completamente le onde, che, pertanto, rimangono completamente intrappolate all'interno. Questo principio è fondamentale, in acustica, poiché tutti gli ambienti chiusi sono cavità risonanti per le onde sonore. Dunque, comprenderne il funzionamento significa poter progettare ambienti con una buona acustica architettonica. Il primo ad esplorare il concetto di cavità risonante fu Hermann von Helmholtz, nel 1860, per lo studio del suono e della sua percezione. Egli osservò che quando dell'aria in eccesso viene forzata attraverso una cavità, la pressione all'interno della stessa aumenta. Una volta che la forza esterna che ha causato la forzatura dell'aria cessa, l'aria a maggior pressione presente all'interno della cavità tenderà a fuoriuscire dallo stesso punto da cui era entrata. Comunque, questo flusso di aria in uscita tenderà a sovracompensare, e la cavità rimarrà ad una pressione leggermente inferiore a quella esterna, provocando un risucchio d'aria. Questo processo si ripete con intensità decrescente della sovracompensazione, fino a smorzarsi. Infatti, quando si soffia delicatamente attraverso il collo di una bottiglia vuota, il suono prodotto è dovuto alla risonanza di Helmholtz. Anche alcuni strumenti musicali come il flauto di Pan, l'hang (o handpan) e l'ocarina basano il loro funzionamento su questo principio.



I risuonatori di Helmholtz possono essere semplicemente costruiti come dei recipienti di metallo (in genere sferici o cilindrici) di varie dimensioni, con una stretta apertura preceduta da un breve e stretto collo.

Figura 3.10

Un risuonatore di Helmholtz in ottone, basato su disegno originale del 1890-1900

3.5 LA RIFELSSIONE DEL SUONO: L'ECO E IL RIVERBERO

Se lanciamo un grido di fronte alla parete di una montagna rocciosa, spesso capita di poter riascoltare nitidamente le parole pronunciate. L'onda sonora è stata riflessa dalla parete rocciosa. In fisica, questo fenomeno è l'*eco*. Poiché la velocità del suono nell'aria è la stessa per l'onda emessa e per l'onda riflessa, esiste tra la distanza d della parete, la velocità v del suono ed il tempo t impiegato dai suoni per percorrere nei due sensi la distanza che ci separa dalla parete tale semplice relazione: $T = 2d/v$.

Riflettendo su questa relazione, ci accorgiamo che affinché il nostro orecchio senta distintamente sia la parola gridata da noi sia quella riflessa, è necessario che il tempo impiegato dal suono riflesso per raggiungerci sia di almeno un decimo di secondo. In questo lasso di tempo il suono percorre circa 34 metri, sapendo che l'onda sonora si propaga con una velocità di circa 340 m/s. Quindi, perché si verifichi l'eco, l'ostacolo deve trovarsi almeno a 17 metri di distanza da noi. Se la distanza è minore si udirà solo un fastidioso rimbombo. Lo stesso Newton utilizzò il fenomeno dell'eco per una prima determinazione della velocità del suono: egli ottenne misure incredibilmente precise (entro l'1% del valore noto oggi) utilizzando il porticato della Neville's Court nel Trinity College, Cambridge, dove aveva studiato, lungo ben 65 metri. Nel caso in cui non si verificassero le condizioni per avere l'eco, ovvero il suono riflesso arrivasse all'osservatore in un tempo inferiore a un decimo di secondo dopo quello emesso, si ha il *riverbero*, ovvero una sensazione sonora più intensa e causata dal fatto che il suono riflesso si sovrappone al suono di "partenza" generando un'impressione di minor nitidezza e di più difficile localizzazione e della sorgente sonora e dell'ostacolo. L'eco ed il riverbero hanno come principio di base la riflessione delle onde sonore. La riflessione delle onde è il fenomeno per cui un'onda che incide sulla superficie di separazione tra due mezzi differenti non attraversa l'interfaccia, ma cambia direzione di propagazione ritornando nel mezzo da cui è venuta. In generale l'onda incidente viene in parte assorbita e in parte riflessa. Per la legge della riflessione, l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

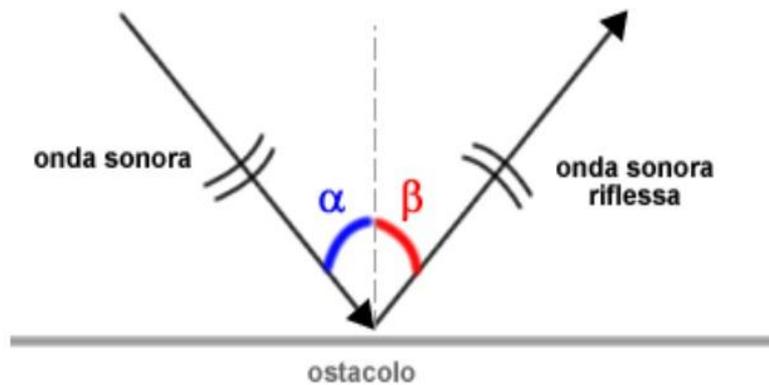


Figura 3.11

L'angolo di riflessione β dell'onda sonora è uguale all'angolo di incidenza α .

La capacità di un pipistrello (o di un sottomarino) di rilevare la presenza di un ostacolo, sono conseguenze di tale fenomeno (o del suo effetto complementare, cioè l'assorbimento del suono). Questo fenomeno di riflessione delle onde sonore viene anche sfruttato in alcuni strumenti come il megafono (per potenziare il suono) e il sonar (per misurare in acqua la distanza degli oggetti). La riflessione gioca un ruolo fondamentale nella formazione delle onde stazionarie nelle corde e nei "tubi" degli strumenti musicali.

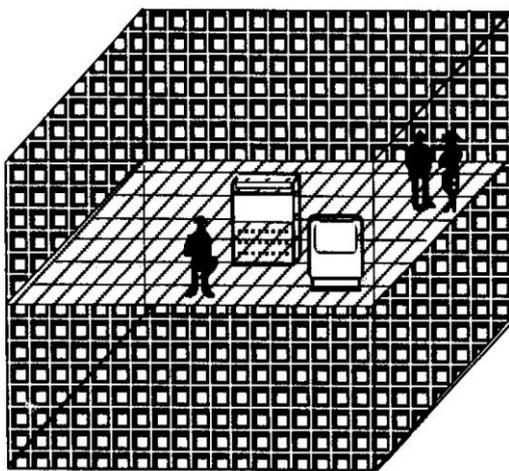


Figura 3.12

Camera anecoica, priva di riflessione del suono.

Per la sperimentazione acustica o per la calibrazione dei microfoni si utilizzano camere anecoiche³⁹, le cui pareti laterali, il soffitto, i pavimenti, sono completamente insonorizzati, tramite cassettoni e cavi disposti a nido d'ape, costituiti da materiale assorbente, così da intrappolare e non riflettere alcun suono che le colpisca. All'interno di una camera anecoica, due persone che parlino senza rivolgersi direttamente l'una all'altra,

³⁹ Frova A., *Fisica nella musica*, Zanichelli Editore, 1999, pag.54

sono impossibilitate ad udirsi. La camera anecoica è una componente essenziale delle strutture di un laboratorio musicale.

Il fenomeno della riflessione gioca un ruolo fondamentale per l'acustica degli ambienti. Andrea Frova, nel suo volume "Fisica nella musica" fa infatti una distinzione tra suono diretto e suono riverberato, in una sala da concerto. A differenza dello spazio aperto, in una sala, il suono che raggiunge l'ascoltatore è solo una frazione di quello che gli perviene complessivamente, il quale comprende le onde riflesse dal pavimento, dal soffitto, dalle pareti e quelle che subiscono riflessioni ripetute. Il suono riverberato è di fondamentale importanza nelle sale di grandi dimensioni, che non permetterebbero di udire in modo diretto, se non dalle prime file, i suoni più deboli. Invece, grazie alle riflessioni, una buona sala consente di avere un livello di suono relativamente uniforme e proporzionale a quello generato, indipendentemente dalla sua intensità. Le prime onde riflesse, quelle che pervengono all'udito in circa un decimo di secondo, risultano a tutti gli effetti sovrapposte al suono diretto ed hanno l'effetto di rafforzarlo. Inoltre, esse contribuiscono a creare la sensazione di più intimo rapporto tra esecutore e ascoltatore. Perché attenuano l'effetto estraniante della distanza e allargano spazialmente la sorgente.

3.6 LA DIFFRAZIONE DEL SUONO: GLI SCHERZI DELLA VOCE

A differenza della riflessione, la diffrazione delle onde sonore è quel fenomeno fisico che permette di udire un suono anche se tra sorgente ed ascoltatore si interpongono ostacoli. Diffrazione deriva dal latino "diffractus" che significa rompere. Ma si può rompere un suono? Come ogni altro tipo di onda, il suono ha la capacità di arginare la barriera, e ciò avviene in maniera tanto più efficace quanto quest'ultima non è troppo estesa, in rapporto alla lunghezza d'onda del suono stesso. Un primo effetto della diffrazione è la direzionalità dei suoni acuti rispetto ai suoni bassi: è per questo motivo che è molto più semplice identificare la posizione di una sorgente sonora se questa emette frequenze acute. Di questo fenomeno tengono conto le apparecchiature Hi-fi, nelle quali le basse frequenze non necessitano di diffusione stereofonica. Quando un'onda incontra un ostacolo di

dimensioni piccole rispetto alla lunghezza d'onda (suono grave, ostacolo piccolo), il suono viene diffratto e riesce a superare l'ostacolo. Nel caso contrario (suono acuto, ostacolo grande) il suono non riesce a superare l'ostacolo e si crea una zona d'ombra. Questo avviene perché le onde sonore sono maggiormente riflesse che diffratte.

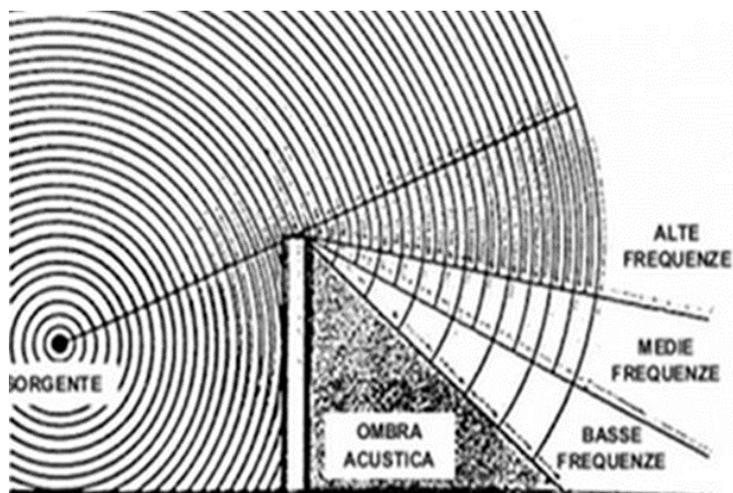


Figura 3.13

Quando l'onda sonora deve passare per un corpo semipiano più piccolo di essa (parliamo di una bassa frequenza), essa si rigenera come l'ostacolo non fosse esistito. Al contrario quando parliamo di un'alta frequenza l'ostacolo riesce a far creare una zona d'ombra del suono.

Questo fenomeno spiega perché è difficile capire il parlato ponendosi dietro ad una persona, nonostante si percepisca comunque il suono: sono le basse frequenze quelle che maggiormente riescono ad aggirare l'ostacolo. In ogni caso gli ostacoli della vita di tutti i giorni (un albero, un muretto, una colonna) hanno dimensioni piccole rispetto a gran parte dei suoni usati nel parlato e nella musica. È per tale motivo che il suono li aggira facilmente.

Nel caso degli strumenti musicali, il fenomeno della diffrazione si evince se proviamo a registrare il loro suono ponendo il microfono davanti ai musicisti o alle loro spalle. Se sperimentiamo tale situazione con un trombettista, la modifica percepibile del timbro dello strumento è da imputarsi proprio alla diversa capacità delle varie frequenze di aggirare l'ostacolo rappresentato proprio dalla testa del trombettista. L'effetto della diffrazione è responsabile del tipo di propagazione della voce: essendo l'apertura della bocca sufficientemente piccola rispetto alle frequenze di emissione sonora, le onde sonore hanno propagazione sferica. Inoltre la direzionalità della voce è rinforzata dall'effetto di un secondo fenomeno, legato

al comportamento delle onde in presenza di ostacoli (nel caso della voce l'ostacolo è la testa dello stesso parlante). Quando giudichiamo la nostra voce registrata diversa da quando la ascoltiamo dal vivo nell'atto del parlare, assistiamo al fenomeno della diffrazione attorno al capo delle onde sonore vocalmente emesse. Non si tratta di particolarità nella registrazione, poiché questo accade quando ascoltiamo la nostra voce, non quella degli altri. Innanzitutto, è grazie alla diffrazione che le nostre orecchie possono ricevere i suoni emessi dalla bocca. La voce, uscendo, non si propaga soltanto in avanti ma viaggia anche lateralmente, aggirando l'ostacolo costituito da labbra e guance per essere raccolta dai padiglioni auricolari e convogliata ai timpani. Naturalmente alle nostre orecchie giungono anche i suoni riflessi dalle pareti e dagli oggetti che caratterizzano l'ambiente circostante. Le dimensioni della bocca e della testa sono nella scala dei 15 cm, ed una lunghezza d'onda siffatta corrisponderebbe ad una frequenza di circa 2200 Hz, vale a dire circa il terzo Do sopra quello centrale del pianoforte. Il tono fondamentale della voce umana copre la gamma di frequenze da 50 Hz (basso profondo di un monaco tibetano) ad oltre 1000 Hz (acuto di un soprano), ma in realtà le corde vocali emettono simultaneamente anche ipertoni che arrivano oltre i 5000 Hz: questi intervengono in modo essenziale nella definizione del timbro vocale e quindi nella riconoscibilità della voce. Il meccanismo della diffrazione attorno al nostro capo è dunque equivalente all'introduzione di un filtro con frequenza di taglio poco sopra i 2000 Hz. È la nostra testa ad essere filtrante. Poiché, come abbiamo detto precedentemente, il timbro della voce è determinato dall'insieme di tutte le frequenze emesse, una tale perdita induce nella voce una notevole alterazione. Dunque, nell'udire la nostra voce al registratore, senza filtri, questa ci appare diversa. È possibile studiare il fenomeno della diffrazione costruendo in proprio un semplice ondoscopio ad acqua, congegno in cui si produce la diffrazione di onde sull'acqua.⁴⁰

⁴⁰ Frova A. *La fisica sotto il naso*, 2001, pag.188

CAPITOLO IV

IPOTESI PROGETTUALI DI ATTIVITA' DIDATTICHE

4.1 COME VEDERE LE ONDE SONORE

Vedere l'onda sonora e gli effetti dovuti alla sua propagazione è per i bambini un'esperienza importante non solo perché rappresenta un'esperienza nuova, ma perché rende concreti concetti che per loro appaiono astratti.

Margaret Watts-Hughes ha inventato nel 1885 un dispositivo chiamato Eidophone⁴¹ che consiste in una camera di risonanza in legno con una estremità aperta sulla quale è tesa una membrana di gomma, cosparsa di sabbia o altro. La camera di risonanza era collegata ad un tubo nel quale era previsto cantare.



Figura 4.1

Eidophone di M. Watts Huges

Fonte: <https://www.lapappadolce.net/48-esperimenti-scientifici-visualizzare-le-onde-sonore-piastre-di-chladni-eidophone/>

Per realizzare un Eidophone si può utilizzare un vaso di fiori, la gomma di un palloncino, e un tubo di plastica, insomma materiale di facile recupero.

Per costruire l'Eidophone bisogna forare il vaso a circa metà dell'altezza. Il diametro del foro deve essere di poco maggiore del diametro del tubo, per non fare uscire l'aria, in caso contrario bisogna chiudere le fessure con un po' di plastilina.

Dopo aver fatto il buco bisogna infilare il tubo di plastica fino a farlo entrare per

⁴¹ Margaret Watts Hughes, *Le figure vocali dell'Eidofono: forme geometriche e naturali prodotte dalle vibrazioni della voce umana*, "Christian Herald" Company, Limited. 1904

circa 7cm. Per completare l'Eidophone bisogna rivestire il foro del vaso con la gomma di un palloncino oppure con della pellicola trasparente avendo cura di tirarla molto bene, aiutandoci con dello scotch (la pellicola trasparente non deve avere nessuna piega, altrimenti non si vede la forma del suono). A questo punto si deve stendere al centro della pellicola un po' di farina (circa un cucchiaino). Per vedere la forma del suono bisogna emettere un suono acuto all' interno del vaso attraverso il tubo stando attenti a non soffiare. Il risultato di questo esperimento (*figura 4.2*) fa vedere che il suono si propaga attraverso delle vibrazioni, che in base alla frequenza conferiscono ai granelli di farina una forma diversa.



Figura 4.2

L'effetto morfogenetico delle onde è l'argomento di studio della Cimatologia⁴², il nome Cimatologia deriva dal greco "chima", cioè onda. La Cimatologia è una scienza che studia le forme prodotte dalle onde ossia dalle frequenze che possono essere vibratorie, sonore, elettromagnetiche. Tale teoria è stata designata dagli studi dello studioso svizzero Hans Jenny, traendo ispirazione dalle esperienze compiute dal musicista e fisico tedesco Ernst Chladni nel XVIII secolo. Chladni osservò che i modi di vibrazione di una membrana, o di una lastra, possono essere visualizzati cospargendo la superficie vibrante con polvere sottile (ad esempio polvere di licopodio, o anche semplice farina o sabbia fine).

⁴² Hans Jenny, *Kymatic*, Vol. 1, 1967

La polvere, infatti, si sposta per effetto della vibrazione e si accumula progressivamente nei punti della superficie in cui la vibrazione è nulla. Nel caso di una vibrazione stazionaria, questi punti formano un reticolo di linee, dette linee nodali del modo di vibrazione. Con l'ausilio di un archetto di violino che sfregava perpendicolarmente lungo il bordo di lastre lisce (*figura 4.3*), egli realizzò gli schemi e le forme che oggi vanno sotto il nome di "figure di Chladni".

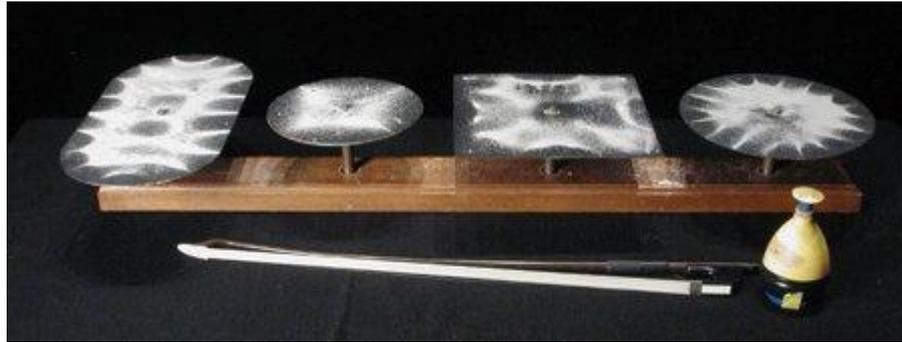


Figura 4.3

Piastre di Chladni.

Fonte <https://www.lapappadolce.net/48-esperimenti-scientifici-visualizzare-le-onde-sonore-piastre-di-chladni-aidophone>

Chladni dimostrò che il suono di fatto influisce sulla materia fisica e che ha la prerogativa di creare schemi geometrici. Per esempio, determinati suoni corrispondono sempre alle stesse figure. Inoltre, è affascinante scoprire che acclamando i suoni di antichi linguaggi, come il sanscrito o l'ebraico, le figure che si producevano, disegnavano il simbolo alfabetico che si pronunciava. Chladni osservò inoltre che:

- Ogni ventre è separato da un altro ventre tramite una linea nodale.
- La lastra vibra diversamente al variare del modo di eccitazione. Fissando più punti si ottengono figure più complesse poiché maggiori sono le linee nodali.
- La posizione delle linee nodali muta al variare della forma delle piastre, delle loro dimensioni, dal modo in cui esse vibrano e dalla frequenza.
- Più è acuto il suono della vibrazione tanto maggiori sono le linee nodali che una stessa piastra produce.

- Le linee nodali si caratterizzano per la simmetria. La stessa piastra posta in vibrazione nelle medesime condizioni riproduce sempre le stesse linee nodali.



Figura 4.4

È affascinante notare come la simmetria delle figure di Chladni abbia influito sulla costruzione degli strumenti musicali, ad esempio la chitarra, il violino, la viola ed il violoncello.

La chitarra classica viene progettata e costruita per vibrare al meglio e garantire un'ottima risposta vibrazionale in un ampio range di frequenze.

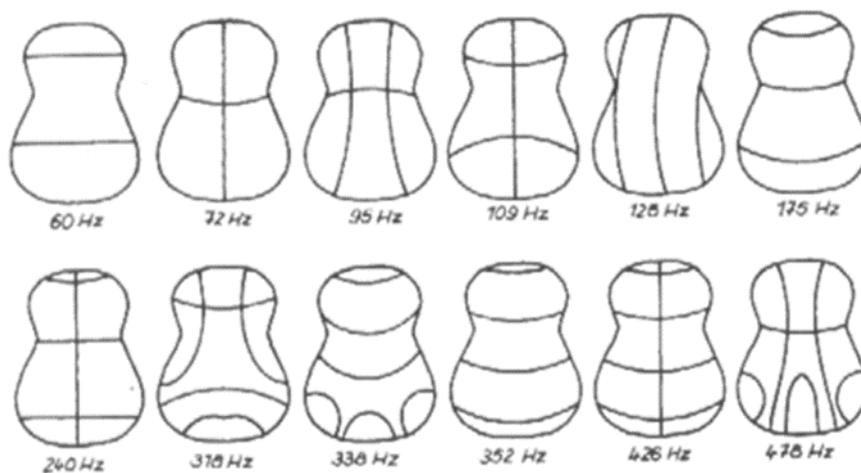


Figura 4.5

Linee di Chladni sul dorso di una chitarra http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Chladni_Gitarre.png

Ci sono alcune frequenze proprie di risonanze della chitarra che determinano il carattere dello strumento e sono le risonanze più basse, tra cui il modo di vibrazione della tavola armonica, basata proprio sulle figure di Chladni, che mettono in evidenza le zone della tavola armonica che oscillano, dalle zone che rimangono ferme.



Figura 4.6

Se con un palloncino riempiamo la cavità della cassa della chitarra, escludiamo la frequenza di Helmholtz, ossia la risonanza dell'aria racchiusa nella nostra chitarra (*figura 4.6*). In questo modo, afferrando la chitarra dal manico in modo che la cassa sia libera di vibrare e dando dei colpetti con il polpastrello esattamente in mezzo al ponticello ed il suono prodotto sarà proprio il suono dell'intonazione della tavola armonica della chitarra.

4.2 LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE SONORE

Quando gettiamo un sasso in uno specchio d'acqua, vediamo formarsi sulla superficie, a partire dal punto in cui il sasso l'ha colpita una serie di onde concentriche. Se sull'acqua galleggia un pezzetto di legno questo, al passaggio delle onde, si solleva e si abbassa ma non si allontana dal posto in cui si trova; la propagazione delle onde avviene infatti senza che le particelle d'acqua subiscano uno spostamento orizzontale ma solo verticale. Qualcosa di simile avviene nell'aria quando è colpita da una vibrazione emessa da una sorgente sonora. I suoni si propagano anche nei solidi e nei liquidi, ma non si propagano nel vuoto. In quanto onda meccanica, il suono necessita di un mezzo fisico (acqua, aria, metallo, ecc...) per poter essere trasmesso. Non può infatti viaggiare nel vuoto, come può essere dimostrato con un semplice esperimento. Se si inserisce un comune campanello all'interno di una campana di vetro chiusa ermeticamente e la si collega ad una pompa per il sottovuoto, si può notare come, via via che la quantità di aria al suo interno diminuisce, il suono del campanello si attenuerà sempre di più, fino a non essere più udibile una volta risucchiata tutta l'aria dentro al recipiente.

Il suono si propaga attraverso un determinato mezzo con una velocità costante.

Come accade durante un temporale, il tuono viene udito qualche istante dopo la vista del fulmine: il suono viaggia più lentamente della luce e la sua velocità dipende strettamente dalle proprietà fisiche del mezzo attraverso il quale si propaga. In particolare, due sono gli aspetti principali:

- La velocità del suono è strettamente correlata alla temperatura del mezzo. Più la temperatura è alta, più il suono sarà veloce. Per esempio, la sua velocità nell'aria a 0°C è di 331m/s, mentre se l'aria è a 22°C è pari a 344m/s.
- La velocità del suono diminuisce passando da un mezzo solido ad uno gassoso.

Possiamo osservare quanto appena enunciato attraverso una semplice sperimentazione. Perché inalando dell'elio la voce cambia?

È un esperimento che cattura molto l'attenzione dei bambini e che ogni volta che l'ho proposto durante il mio lavoro di animatrice ha sempre affascinato i bambini ed è interessante spiegare loro il perché.

Quando parliamo, l'aria viaggia dai polmoni e attraverso la laringe, dove incontra le corde vocali. La vibrazione delle corde eccita le molecole d'aria nel tratto vocale e imposta frequenze di risonanza. La vibrazione delle corde vocali influenza il tono della voce; la vibrazione dell'aria nel tratto vocale influenza il timbro della voce e la manipolazione del tratto vocale – muovendo la lingua, le labbra, etc- crea diverse frequenze di risonanza e permette di creare i diversi suoni della parola, come “ooh” e “aah”. Il suono emesso dalle corde vocali è abbastanza debole e diventa più corposo grazie alla faringe ed alla bocca, che fungono da cassa di risonanza. La voce lascia la bocca sotto forma di onde, oscillazioni di pressione trasmesse attraverso un mezzo. L'azoto, che costituisce la maggior parte dell'aria, ha una massa circa sette volte maggiore di quella dell'elio. Poiché l'elio è più leggero dell'aria, le onde sonore lo attraversano più velocemente. In una stanza, il suono viaggia a 344 metri al secondo attraverso l'aria, ma a 927 metri al secondo attraverso l'elio. Quando inspiriamo elio, stiamo cambiando il tipo di molecole di gas nel tratto vocale e aumentando la velocità del suono della voce. Quando il tratto vocale è pieno di elio, le corde vocali vibrano alla stessa frequenza solita. In realtà è il timbro che cambia, perché le molecole di elio più leggere dell'aria consentono al suono di viaggiare più velocemente e modificare le risonanze del tratto vocale, rendendolo più sensibile ai suoni ad alta frequenza e meno reattivo ai bassi.



Figura 4.7

Il risultato è una voce simile a quella di Donald Duck, il personaggio di Paperino tanto amati dai bambini. Abbiamo quindi dimostrato che il timbro sonoro è direttamente proporzionale alla velocità del suono, che è maggiore nell'elio che nell'aria. Tuttavia, inalare grandi quantità di elio per un lungo periodo può causare danni ai polmoni e al cervello, quindi l'esperimento sarà effettuato solo una volta.



Figura 4.8

Con una successiva sperimentazione, dimostriamo che il suono si propaga anche nei liquidi. Per attuare quest'esperimento ho utilizzato un diapason ed un bicchiere. Mettiamo il diapason in vibrazione battendolo contro un tavolo e poi lo inseriamo subito nel bicchiere pieno d'acqua. Possiamo osservare che sulla superficie si formeranno delle piccole onde e che addirittura delle goccioline d'acqua si alzeranno dal bicchiere (*figura 4.8*).

Le vibrazioni del diapason si trasmettono all'acqua e diventano visibili. Nel momento in cui inseriamo il diapason in acqua sentiamo un breve suono: l'acqua e il bicchiere fungono da cassa di risonanza.

Un'altra sperimentazione che ho effettuato per dimostrare che le onde sonore si propagano nei liquidi è stata quella di porre una vaschetta piena di acqua sulla cassa musicale collegata alla tastiera.



Figura 4.9



Figura 4.10

Si nota la differenza tra l'agitazione delle molecole d'acqua nelle due immagini. Nella prima immagine (*figura 4.9*) non stavo suonando, nella seconda sì (*figura 4.10*).



Figura 4.11



Figura 4.12

In particolare si è potuto osservare il diverso modo dell'acqua di reagire alle diverse frequenze dovute alle diverse combinazioni di note. La *figura 4.11* mostra le onde generate da una combinazione di suoni tra loro consonanti (do-mi), mentre nella *figura 4.12* sono riportate onde generate suonando simultaneamente note tra loro dissonanti (do-do#).

Studiare la propagazione delle onde sonore nell'acqua è interessante ed una proposta didattica interessante per i bambini è quella di suonare con loro con dei bicchieri e scoprire che riempiendo un bicchiere con diverse quantità di acqua si possono ottenere diverse note. Un bicchiere pieno è più pesante, vibra più lentamente e produce suoni più bassi, viceversa un bicchiere vuoto è più leggero, vibra di più e produce suoni a frequenze più acute. Per sperimentare è sufficiente munirsi di un bicchiere di cristallo, di acqua e di un accordatore. Una descrizione accurata di quest'effetto ci è pervenuta anche da Galileo Galilei (egli suonava il liuto ed aveva una grande curiosità per i fenomeni sonori).

Egli affermava:

*“Nel far suonare il bicchiere, dentro il quale sia dell'acqua, fregando il polpastrello del dito sopra l'orlo... l'acqua contenuta con regolatissimo ordine si vede andar ondeggiando : e meglio ancora si vedrà l'istesso effetto fermando il piede del bicchiere nel fondo di qualche vaso assai largo, nel quale sia dell'acqua sin presso all'orlo del bicchiere; chè parimente , facendolo risonare con la confricazione del dito, si vedranno gl'increspamenti dell'acqua regolatissimi , e con gran velocità spargersi in gran distanza intorno al bicchiere: ed io più volte mi sono incontrato , nel fare al modo detto sonare un bicchiere assai grande e quasi pieno d'acqua, a vedere prima le onde nell'acqua con estrema egualità formate, ed accadendo tal volta che 'l tuono del bicchiere salti un'ottava più alto, nell'istesso momento ho visto ciascheduna delle dette onde dividersi in due : accidente che molto chiaramente conclude la forma dell'ottava esser la dupla”.*⁴³

Con ciò Galileo intende affermare che un dimezzamento dell'ottava del suono emesso corrisponde ad un dimezzamento della lunghezza delle onde del liquido

⁴³ Galilei G., *Opere di Galileo Galilei nobile fiorentino, Nuova Edizione coll'aggiunta di vari trattati dell'istesso autore non più dati alle stampe*, Tomo Secondo, pag. 540



Figura 4.13



Figura 4.14



Figura 4.15



Figura 4.16

All'aumentare della quantità di acqua contenuta nel bicchiere, i suoni corrispondono a note sempre più basse. Percuotendo il bicchiere vuoto otteniamo la nota Do# della settima ottava (*figura 4.13*), percuotendo lo stesso bicchiere quasi completamente riempito otteniamo la nota La della sesta ottava (*figura 4.16*), dunque una nota di 4 semitoni più bassa .

Disponendo di diversi bicchieri possono quindi essere suonate facili melodie, come Fra Martino Campanaro o L'Inno alla Gioia di Beethoven. Benjamin Franklin realizzò uno strumento basato su questo principio e lo chiamò "glassharmonica" (figura 4.17). Tale strumento è costruito sul modello del glasspiel, lo strumento musicale primitivo costituito da una serie di bicchieri di diversa grandezza e riempiti in varia misura da acqua in modo tale che sfregando un dito inumidito sul bordo di ciascuno di essi si produca una nota musicale. Iniziò ad essere seriamente utilizzato in musica nel XVIII secolo. La glassharmonica utilizza, in luogo di normali tasti da pianoforte, una serie di calotte di vetro poste orizzontalmente in ordine di grandezza e quindi d'intonazione. Queste calotte sono attraversate da un'asta girevole e inserite l'una nell'altra perché siano vicine tra loro senza che si tocchino. Tramite un motore elettrico o un pedale l'asta viene fatta girare a velocità costante e l'esecutore produce il suono poggiando le dita, opportunamente inumidite con acqua, sulle varie calotte producendo per sfregamento un suono vellutato e cristallino al tempo stesso. Le calotte più grandi sono alla sinistra del suonatore e producono un suono più basso, le calotte più piccole producono invece un suono più acuto. Le coppe che producono le alterazioni (diesis o bemolle) sono segnate da una striscia colorata per orientare l'esecutore. La glassarmonica è oggi pressoché sconosciuta, anche se si sta cercando di renderla più nota. Tra gli artisti che ne hanno fatto uso i Pink Floyd, che l'hanno utilizzata per rinforzare il "tappeto" di suono di Shine On You Crazy Diamond.



Figura 4.17

Armonica in vetro costruita con il design di Benjamin Franklin. I dischi di vetro rotanti (ciotole) su un albero comune sono disposti con le note inferiori (dischi più grandi) a sinistra e le note più alte (dischi più piccoli) a destra.

L'ultima sperimentazione riguarda la propagazione delle onde sonore nei solidi. Proponiamo ai bambini la costruzione di un telefono meccanico fatto di bicchieri. Il telefono meccanico è un dispositivo acustico (non elettrico) per trasmettere la voce a distanza costituito da due bicchieri di carta o oggetti di forma simile attaccati alle estremità da un filo o una corda tesa.



Figura 4.18



Figura 4.19

Quando la corda è tesa e qualcuno parla in uno dei bicchieri, come mostrato nella *figura 4.19*, il fondo del bicchiere agisce come un diaframma, converte le onde sonore in vibrazioni meccaniche longitudinali che variano la tensione della corda. Queste variazioni di tensione costituiscono le onde longitudinali nella corda che viaggiano verso la seconda lattina, causando nel suo fondo una vibrazione simile alla prima e permettendo alla seconda persona di ascoltare la voce della prima persona.

4.3 LA PERCEZIONE DEL SUONO



Figura 4.20

Se facciamo vibrare un diapason liberamente ci accorgiamo che il suo suono, privo di una cassa di risonanza, è apparentemente debole. Per poterlo ascoltare meglio, lo mettiamo a contatto con un tavolo o su una superficie che diventi la sua cassa di risonanza, oppure lo poniamo vicino al nostro orecchio. Notiamo che, infatti, anche il nostro orecchio ha la struttura di una perfetta cassa di risonanza.



Figura 4.21
Anatomia dell'orecchio umano

Il comportamento è molto simile a quello del telefono meccanico, costruito nel precedente intervento. Anche nell'orecchio, il suono entra nel “bicchiere” dall'orecchio esterno, ossia dal padiglione auricolare ed il condotto uditivo.

Sul fondo del “bicchiere” vi è la membrana elastica del timpano, che viene messa in vibrazione. A questa membrana sono attivati degli ossicini (che svolgono il ruolo dello spago nel nostro telefono meccanico) che fanno vibrare la struttura a forma di conchiglia chiamata coclea, che si trova nell'orecchio interno, nella nostra testa, connessa ai nervi uditivi. Nel 900, Georg von Békésy, fisico ungherese, incentrò i suoi studi sulla funzione uditiva, particolarmente sulle vibrazioni della membrana cocleare e la conduzione dello stimolo attraverso il percorso osseo, la reciprocità tra sensazione uditiva correlata alla vibrazione a livello epiteliale. Possiamo sperimentare il nostro modo di percepire il suono, costruendo attraverso un filo vibrante un modello meccanico della coclea, sulla base degli studi di Békésy. Speliamo un filo elettrico da collegare allo stereo. In questo modo avrà la funzione di una piccola cassa ma noi non sentiremo il suono, poiché vibrando sposta poca aria. Colleghiamo adesso i due capi del filo ad un motorino elettrico, come quello di un vecchio asciugacapelli, attorcigliandolo negli anellini per creare il contatto. Inseriamo un tubicino nell'albero motore, come mostrato nella *figura 4.22*. Il contatto deve essere ben saldo, non deve esserci gioco. Colleghiamo poi gli altri due capi al nostro stereo, come mostrato nella *figura 4.23*.



Figura 4.22

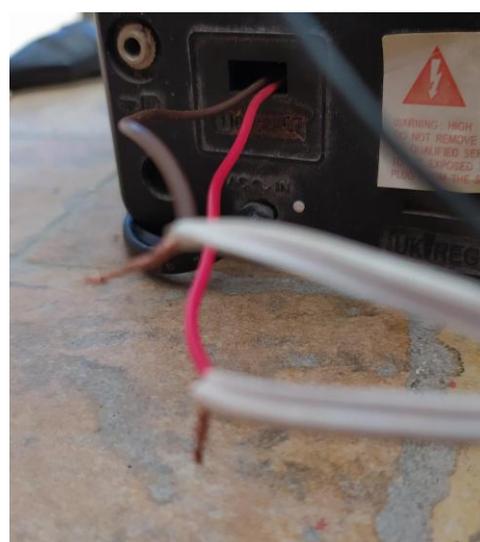


Figura 4.23



Figura 4.24

Quando accendiamo lo stereo, regolando il volume sentiamo che il tubicino ed il motorino stanno vibrando. Se accostiamo un imbuto al tubicino, come mostrato in *figura 4.24*, possiamo sentire la radio.

Ma possiamo sentire solo attraverso l'orecchio?

Beethoven, diventando sordo, chiamava il trombettista e mordeva la sua tromba per sentire la musica. Noi sperimentiamo che è possibile sentire il suono anche facendo vibrare l'orecchio interno attraverso le vibrazioni della nostra struttura ossea, letteralmente mordendo il suono. Con il tubicino vibrante collegato allo stereo o alla radio è possibile fare un curioso esperimento, diffuso in molti musei scientifici. È quello di mordere un oggetto vibrante e sentirne il suono senza passare per il timpano, ma



Figura 4.25

mettendo in vibrazione direttamente la coclea facendo vibrare tutta la struttura ossea del cranio. Prendiamo quindi una cannuccia e mordiamo il bastoncino, come mostrato nella *figura 4.25*. Tutta la nostra struttura ossea vibra e vibra il nostro orecchio interno. Avvolgendo il bastoncino con dei tovagliolini monouso o con una cannuccia, facciamo provare ai bambini, che ne rimarranno affascinati. Se tappiamo le orecchie la percezione del suono sarà ottimizzata.

4.4 CONCERTO PER BOTTIGLIE, OCARINA E FLAUTO DI PAN:

DIRIGE IL MAESTRO VON HELMHOLTZ!

Un fenomeno noto a tutti è l'apparente rumore del mare che si sente quando si accosta all'orecchio una grossa conchiglia. Così come accade nella conchiglia del nostro orecchio, qualsiasi perturbazione sonora attorno alla conchiglia, inclusi i fruscii dell'aria contro il lato esterno delle pareti, pone in vibrazione l'aria contenuta dentro la conchiglia, la quale sostiene e amplifica le oscillazioni che avvengono alle sue frequenze di risonanza, definite dalle dimensioni della cavità, lasciando invece estinguere ogni altra. Rumori altrimenti impercettibili vengono così rafforzati. Le sfere di Helmholtz, inventate dal tedesco Hermann von Helmholtz, sono basate sul principio della conchiglia.

I risonatori emettono un suono unico la cui frequenza dipende dal volume, dalla cavità e dalla superficie dell'apertura. Il suono si rafforza soltanto per la frequenza che coincide con quella di risonanza della sfera prescelta, determinata dal suo raggio. Perciò nelle sfere più grandi si percepiscono note più basse, mentre in quelle piccole note più alte. Possiamo far sperimentare questo fenomeno ai bambini con un concerto di bottiglie.

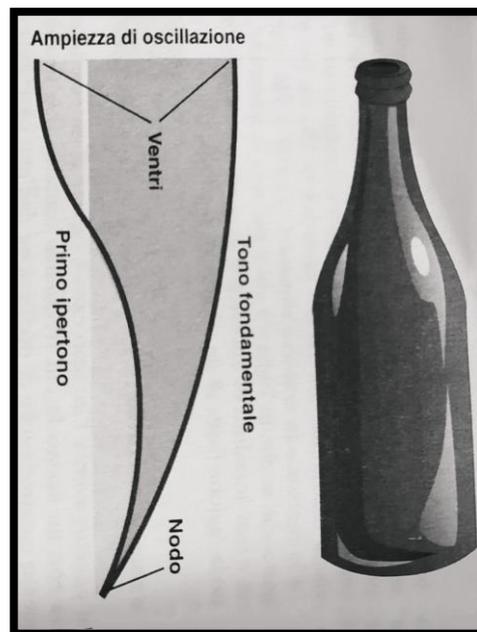


Figura 4.26

Onde corrispondenti ai primi due modi di risonanza della colonna d'aria in una bottiglia. Immagine presa da Frova A. *La fisica sotto il naso*, 2001, pag.196

Il soffio all'interno di una cavità, in questo caso di una bottiglia, pone in agitazione le molecole d'aria che si trovano presso la bocca della bottiglia, le quali a loro volta trasmettono l'oscillazione a tutta la colonna d'aria generando le onde. Poiché la bottiglia ha precise dimensioni, delle tante onde possibili vengono favorite quelle che rappresentano i modi normali della cavità, ovvero le risonanze proprie. In particolare, dato che si tratta di una cavità aperta ad un estremo e chiusa all'altro, hanno ampiezza nulla al fondo (nodo) e massima alla bocca (ventre). Oltre al modo fondamentale – il tono- si hanno altri modi di oscillazione di lunghezza d'onda minore, vale a dire di frequenza d'onda più elevata, e sono gli ipertoni, cosicché il suono prodotto è complesso, risultando dalla sovrapposizione di più onde, che determinano l'ampiezza percepita. Questo comportamento è comune allo strumento del clarinetto e nelle canne d'organo tappate.

Sperimentando un concerto di bottiglie ci accorgiamo che è valida la risonanza di Helmholtz, in quanto a bottiglie con un diametro maggiore corrisponde un suono più basso, mentre a bottiglie con un diametro minore corrisponde un suono più acuto. Infatti l'accordatore musicale rileva alla bottiglia con il diametro minore la frequenza della nota La (*figura 4.27*), alla bottiglia con diametro intermedio la frequenza della nota Sol (*figura 4.28*) ed alla bottiglia con diametro maggiore la frequenza della nota Do# (*figura 4.29*).

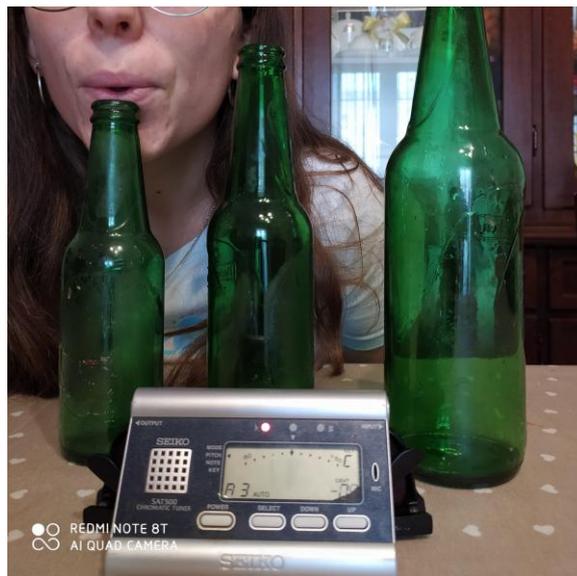


Figura 4.27

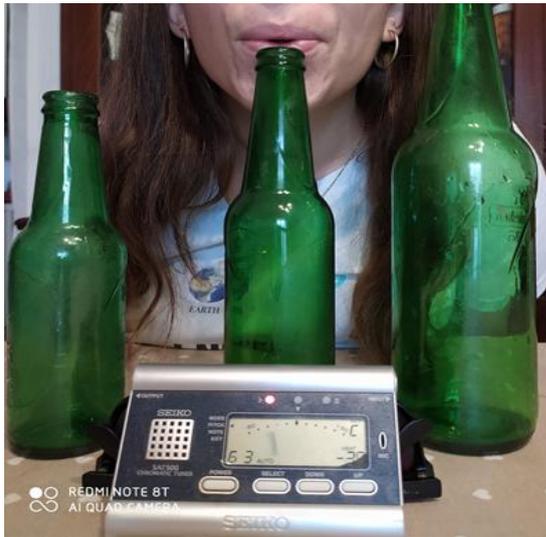


Figura 4.28



Figura 4.29

Uno strumento che sfrutta questo principio è l'ocarina (*figura 4.30*). Con la sua imboccatura corta legata ad un corpo ovoidale puntellato di fori, sembra un flauto panciuto, eppure riserva una sorpresa: per cambiare nota, quello che conta non è tanto la posizione dei buchi aperti (come nel caso del flauto dolce), bensì il loro numero e la loro dimensione.



Figura 4.30 Ocarina

L'ocarina ha una caratteristica originale rispetto agli altri tipi di flauto: si tratta di un flauto globulare, ovvero ha una camera di risonanza tondeggiante e chiusa, non

cilindrica ed aperta come la maggior parte dei flauti. Si tratta dunque di un risonatore semplice, in cui è l'intera massa dell'aria contenuta nello strumento a vibrare. Questo significa che l'intonazione dipende dal rapporto fra la superficie aperta (numero e diametro dei fori aperti) ed il volume dello strumento (e dunque dalla pressione interna), mentre la posizione dei fori è relativamente ininfluyente sull'intonazione.



Figura 4.31

I risonatori di Helmholtz si rivelano così un'occasione di gioco e di apprendimento. Infatti essi dicono molto sulla relazione tra le dimensioni di un oggetto vibrante e le frequenze a cui esso è capace di risuonare.

Possiamo divertirci con i bambini nella costruzione di un Flauto di Pan. Un flauto di Pan è una tipologia di strumento musicale aerofono a fiato, costituito da più canne, il cui numero può variare, di lunghezza diversa e legate o unite tra loro. Per ottenere il suono si soffia trasversalmente sulle aperture superiori delle canne. Due bottiglie della stessa altezza ma di forma diversa possono generare note differenti, ma entrambe più gravi di quelle prodotte da un tubo di flauto di Pan perfettamente cilindrico e della stessa taglia. Infatti una bottiglia ed una canna hanno proprietà acustiche diverse. Possono produrre la stessa nota anche se hanno lunghezze molto differenti. Questo accade poiché un tubo cilindrico chiuso ad un'estremità contiene in tutta la sua lunghezza un quarto della vibrazione del suono prodotto con un nodo della vibrazione dell'aria all'estremità chiusa ed un ventre all'estremità aperta. Nel

caso invece di un tubicino aperto ambo i lati, la lunghezza dell'onda armonica o tono fondamentale risonante in ciascun tubo è pari al doppio della sua lunghezza.



Figura 4.32

Con l'accordatore musicale possiamo facilmente perfezionare il suono della canna. Se la frequenza risulta troppo calante, accorciando la lunghezza della canna possiamo limare il suono fino ad ottenere la frequenza desiderata.



Figura 4.33

Dalla *figura 4.33*, possiamo facilmente notare come la lunghezza della canna e l'altezza del suono siano due grandezze inversamente proporzionali. In particolare, riguardo la componenti armoniche, possiamo notare che il flauto di Pan si comporta come un clarinetto, ossia cambiando l'impostazione del soffio, con la stessa canna (nel caso del clarinetto con la stessa posizione, tappando gli stessi fori), otteniamo

il suono della nota fondamentale oppure della quinta (do-sol). Tale fenomeno invece non accade con l'ocarina, il cui suono che ne risulta è molto caratteristico ed è sostanzialmente privo di armonici: la ragione di questo è che le dimensioni della cavità sono in genere molto inferiori rispetto alla lunghezza d'onda della frequenza fondamentale prodotta, per cui le frequenze degli armonici superiori amplificati effettivamente dalla piccola camera sono molto elevate, dunque non udibili perché a svariate ottave più in alto.

Un'altra sperimentazione consigliata per i bambini è quella di attrezzare una canna come quelle utilizzate per il nostro flauto di Pan, o un tubo, con dei manicotti, tali da permettere di variare a piacere la lunghezza della canna. Possiamo verificare che la nota suonante scende giù gradualmente man mano che la canna si allunga e che si può produrre un bel glissando se lo scorrimento del manicotto è fatto velocemente. Su questo principio si basa lo strumento musicale del trombone a coulisse, che grazie all'abbondante scorrimento di un tubo all'interno di un altro, riesce a coprire un'ampia gamma di frequenze. Possiamo sperimentare ciò con un tubo ed un bastoncino alla cui sommità fissiamo un pezzo di sughero tale da tappare perfettamente il tubo (*figura 4.34*). In questo modo, infilando il bastoncino col tappo nel tubo, possiamo variare la lunghezza della cavità e di conseguenza la frequenza della nota emessa suonandola.



Figura 4.34

Dalla *figura 4.35* si evince che l'accordatore rileva una frequenza di Re della quinta ottava del pianoforte, mentre nella *figura 4.36*, inserendo più profondamente il bastoncino ed accorciando quindi la lunghezza del tubo sonante, l'accordatore rileva la frequenza della nota Do dell'ottava superiore, quindi un suono notevolmente più acuto.



Figura 4.35



Figura 4.36

4.5 LA RISONANZA E I BATTIMENTI

Il diapason è uno strumento acustico per generare una nota standard sulla quale si accordano gli strumenti musicali. La frequenza alla quale il diapason oscilla dipende dalle proprietà elastiche del materiale di cui è costituito, dalla lunghezza e dalla distanza fra i rami della forcella. Il più comune è il diapason in La, che oscilla a una frequenza di 440 Hertz, corrispondente al La della quarta ottava del pianoforte, ed è utilizzato per accordare gli strumenti. Con una coppia di Diapason, entrambi accordati alla frequenza di 440 Hz, possiamo osservare il fenomeno della risonanza. Infatti, percuotendo il primo diapason, dopo un breve intervallo di tempo il secondo inizierà anch'esso a vibrare. Questo accade perché un corpo capace di vibrare con una determinata frequenza, se viene investito da un'onda della stessa frequenza inizia a vibrare.

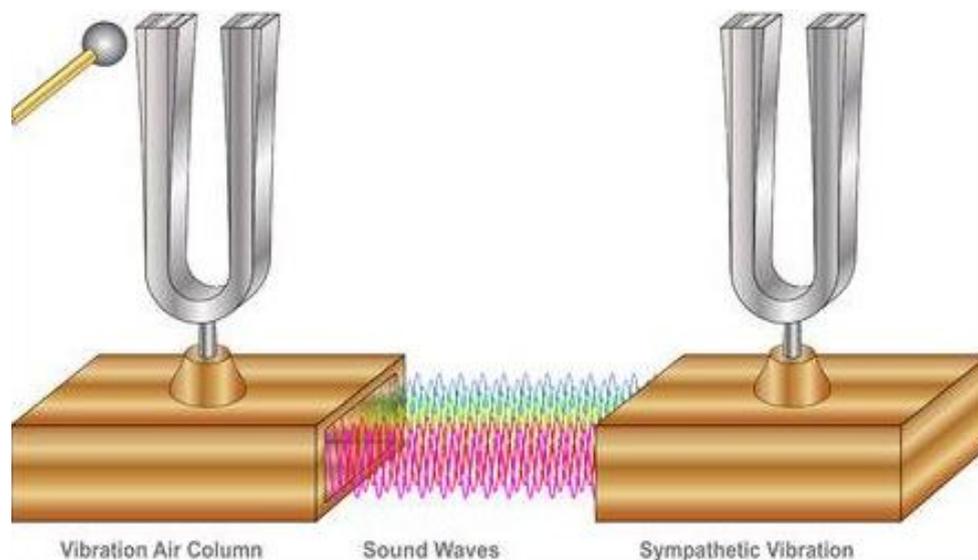


Figura 4.37
Diapason che vibrano in simpatia.
Fonte: <https://it.123rf.com/>

Il suono che si ascolta è uniforme e, arrestando uno dei due, il suono diminuisce improvvisamente di intensità ma rimane con lo stesso tono. Se si registra con il microfono la sovrapposizione dei due suoni si ottiene, infatti, un segnale sinusoidale con la medesima frequenza di ognuno dei due diapason.

Per osservare il fenomeno dei battimenti basterà fissare ai rebbi dei diapason il manicotto, in modo da ridurre la frequenza. Quando si colloca il manicotto su uno

dei rebbi dei due diapason è necessario che il manicotto sia fissato strettamente, per evitare un rapido smorzamento del suono. Come si può prevedere e verificare, effettuando più prove, la variazione di frequenza dovuta al manicotto è tanto maggiore quanto più questo viene collocato in alto. Si misura la frequenza del suono emesso da ciascuno dei due diapason e la frequenza dei battimenti. Si verifica che la frequenza dei battimenti è pari alla differenza tra le frequenze dei due diapason. Anche all'ascolto si avverte distintamente che con due diapason di frequenze poco diverse l'intensità del suono non è uniforme, ma si alza e si abbassa rapidamente; arrestando con una mano la vibrazione di uno dei due diapason il suono ritorna uniforme.



Figura 4.38
Coppia di diapason per esperimenti sperimentare i battimenti
Fonte: 3BScientific

Possiamo effettuare misurazioni per sperimentare questo fenomeno attraverso diverse applet. Effettuiamo misurazioni utilizzando il rilevatore di frequenze Soundcard oscilloscopio. Inseriamo due suoni di frequenza molto vicina, in un determinato intervallo di tempo. Le frequenze scelte sono quella di 440 hz (diapason puro) e nel secondo canale mettiamo una frequenza di 441 hz (*figura 4.39*). Possiamo udire, riproducendoli contemporaneamente, la fluttuazione e possiamo anche misurare tale fluttuazione.

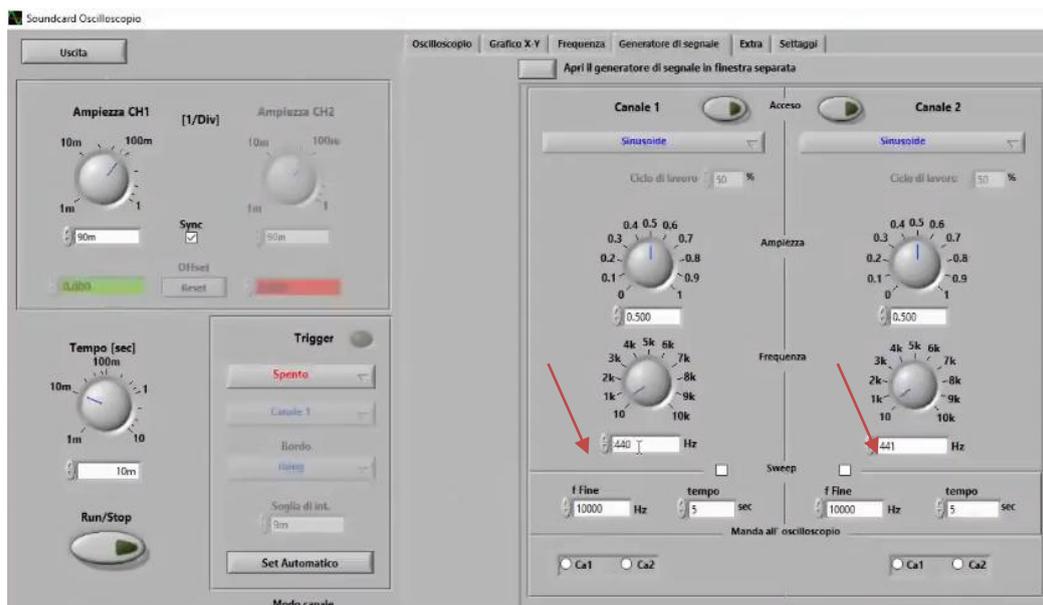


Figura 4.39

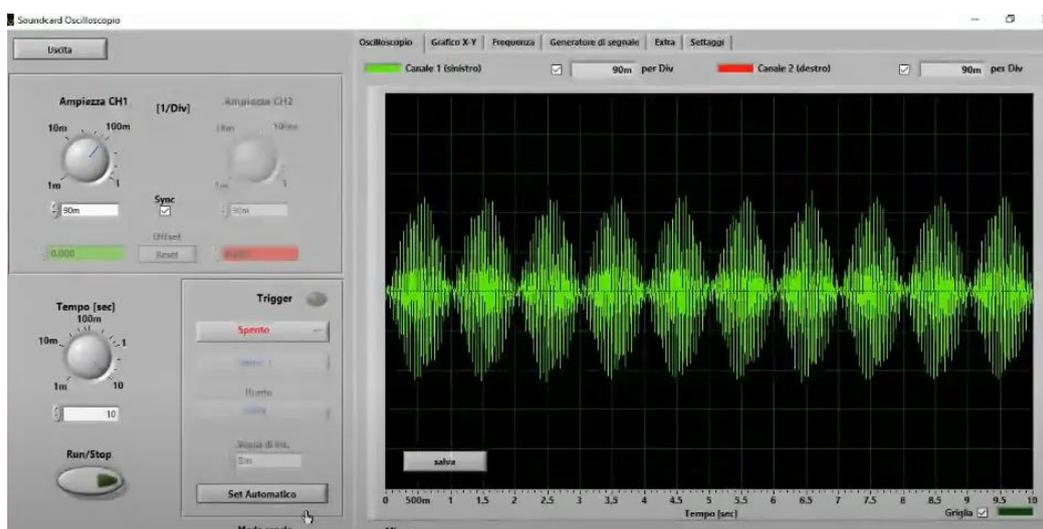


Figura 4.40

Il risultato è la forma d'onda dei battimenti (figura 4.40). La sovrapposizione di un'onda a 440 hz con un'onda a 441 hz in un intervallo di tempo di 10 secondi. Possiamo infatti contare 10 fluttuazioni, dunque con la frequenza di un'oscillazione al secondo. La frequenza del battimento infatti è data da 441 hz meno 440 hz , ossia la differenza delle due frequenze di base. I fenomeni della risonanza e dei battimenti sono comuni tra i musicisti, soprattutto per quanto concerne l'accordatura degli strumenti. Possiamo osservare i diversi casi di risonanza negli strumenti musicali, ad esempio quando le corde iniziano a vibrare “per simpatia”.

Suonando la chitarra e premendo sul quinto tasto la sesta corda (Mi basso), alzeremo di cinque semitoni la nota corrispondente, quindi suoneremo la frequenza della nota La (figura 4.41). La corda sottostante, ossia la quinta corda, è la corda che suonata vuota corrisponde proprio alla nota La.



Figura 4.41

Dunque quest'ultima, senza essere pizzicata, sarà investita da un'onda pari alla sua frequenza propria ed inizierà a vibrare per simpatia, come mostrato nella figura 4.42



Figura 4.42

Possiamo fare un'ulteriore sperimentazione inerente al fenomeno della risonanza, riguardante il timbro degli strumenti musicali. Come sappiamo, il timbro di uno strumento è determinato dallo spettro armonico (dato dalle sempre differenti distribuzioni di energia delle armoniche). Le armoniche di un suono musicale fondamentale, detto anche primo armonico, sono frequenze che si sviluppano insieme al fondamentale e si presentano sempre nella medesima successione (serie schematica senza intervalli) e sono sempre delle addizioni della frequenza originaria ma di variabili intensità.

Anche le armoniche che costituiscono il timbro dello strumento sono soggette al fenomeno della risonanza e vibrano per simpatia. Possiamo dimostrare questo fenomeno con il pianoforte.



Figura 4.43

Premiamo molto delicatamente il tasto del Do della 5° ottava, senza farlo suonare. Possiamo notare dalla *figura 4.43* che l'accordatore non rileva alcuna frequenza, perché premendo il tasto delicatamente il martelletto urta la corda in maniera impercettibile quindi non si produce suono.



Figura 4.44

Successivamente, lasciando premuto il tasto del Do precedente, facciamo suonare il tasto del Do della 4° ottava, per un breve intervallo di tempo. L'accordatore rileva appunto la frequenza C4 (*figura 4.44*).



Figura 4.45

Quando smettiamo di suonare il tasto del Do della quarta ottava, l'accordatore rileva il suono del Do della quinta ottava (*figura 4.45*). Nonostante noi siamo rimasti fermi ed il tasto prima non emettesse suono, adesso l'armonica è entrata in risonanza e vibra per simpatia.

4.6 I SEGRETI DELLE CORDE MUSICALI: SPERIMENTARE CON IL MONOCORDO

Costruire un monocordo è molto semplice e può essere un'attività interessante da proporre ai bambini. Si prende una tavola di legno spessa mezzo centimetro, larga 15 cm e lunga 50. Si collega ad un piolo metallico, piantato ad un estremo della tavola, un filo di acciaio di diametro di circa mezzo millimetro (si può facilmente acquistare nei negozi di strumenti musicali). Si fa passare questo filo in una piccola incisione sopra un cuneo di materiale rigido, fissato all'estremo della tavola, e vi si appende un secchiello da spiaggia. Infine, si pone tra il piolo ed il ponte un altro cuneo rigido, che si chiamerà cavaliere, in grado di poter scorrere avanti e indietro, in modo da variare la lunghezza della corda tesa attiva (ossia la corda tra il cavaliere ed il ponte). L'altra parte della corda sarà smorzata con un panno, in modo che non suoni. Se nel secchiello poniamo 1,5 kg di sabbia, allora la corda genera una nota con frequenza 220 Hz, ossia la metà di 440 Hz (la fondamentale), che quindi corrisponde al La dell'ottava inferiore.



Figura 4.46 Costruzione del Monocordo

Facendo avanzare il cavaliere verso destra, quindi riducendo la lunghezza della corda attiva, si noterà che la nota innalza progressivamente, dunque ha una frequenza maggiore. In particolare, se dimezziamo la lunghezza, si ha un raddoppio di frequenza, quindi la nota sale di un'ottava. Il monocordo permette ai bambini di osservare due relazioni:

- 1) L'altezza del suono emesso e la lunghezza della corda in vibrazione, a tensione fissa.
- 2) Il peso variabile del secchiello, che consente di stabilire la relazione tra altezza del suono e tensione della corda.

Per stabilire l'altezza dei suoni, possiamo far ascoltare ai bambini la stessa nota generata da uno strumento ad esempio il flauto dolce, oppure con un accordatore che ne rileva la frequenza (sono disponibili diverse app con questa funzione, nel caso in cui non si disponga di questo strumento).

Generalmente i bambini di classi quinte sanno prendere le note basilari al flauto dolce, quindi sarebbe maggiormente coinvolgente se fossero loro ad attuare il confronto tra i due suoni.



Figura 4.47

La *figura 4.47* mostra che facendo vibrare la corda libera, l'accordatore rileva la frequenza della nota A2, corrispondente al LA della seconda ottava del pianoforte.

Ponendo il cavaliere esattamente nel mezzo, la corda attiva produce una vibrazione di cui l'accordatore rileva la frequenza della nota A3, corrispondente al LA dell'ottava superiore, come mostrato nella *figura 4.48*.



Figura 4.48

In seguito, si può passare a sperimentare questo principio alla base degli strumenti musicali più comuni, come la chitarra. Le corde musicali sono uno dei molti temi in cui fisica e musica si intrecciano finemente. La chitarra è uno strumento composto da sei corde: la prima corda è la più sottile ed ha un suono più acuto. Prendiamo come riferimento la tastiera della chitarra: tra una nota di partenza e la sua Ottava corrispondente, ci sono altre dodici note. Per suonare l'Ottava si deve premere la corda al dodicesimo tasto, che corrisponde esattamente alla metà della lunghezza della corda stessa. Premendo gli altri undici tasti che ci stanno in mezzo, ottieni tutte le altre note. Infatti, un'Ottava è composta di 12 Semitoni. Ogni tasto della Chitarra corrisponde a 1 Semitono.

Prendiamo per esempio la Sesta corda (cioè il Mi basso). Se la pizzichiamo con la mano destra a vuoto (cioè senza premere alcun tasto con la mano sinistra) otteniamo appunto un Mi basso. Ma se la pizzichiamo tenendola premuta con la mano sinistra

all'altezza del 12° tasto, otteniamo un altro Mi, ma più acuto, esattamente con frequenza doppia: questa è la sua Ottava.



l = lunghezza totale della corda

nota corrispondente: **mi**



$$l_1 = \frac{1}{2} l$$

$$f_1 = 2 f_0$$

nota corrispondente: **mi**



$$l_2 = \frac{2}{3} l$$

$$f_1 = 1,5 f_0$$

nota corrispondente: **si**



$$l_4 = \frac{3}{4} l$$

$$f_1 = 1,3 f_1$$

nota corrispondente: **la**

Questo farebbe notare ai bambini anche la ricetta base dell'armonia classica: due note suonate insieme producono una sensazione di naturale consonanza solo quando le lunghezze delle corde stanno fra loro come piccoli numeri interi, $1/2$ per l'ottava (mi-mi), $2/3$ per la quinta (mi-si), $3/4$ per la quarta (mi-la).

4.7 COSTRUIRE STRUMENTI MUSICALI DIDATTICI

Alla luce di ciò che abbiamo appreso e sperimentato, possiamo cimentarci con i bambini nella costruzione di strumenti musicali didattici. Lo scopo di questa ipotesi progettuale non è solo quella di dotare ogni bambino di uno strumento musicale e mettere in pratica le conoscenze fin ora acquisite e trasformarle dunque in competenze, ma anche caricare affettivamente l'oggetto costruito, che risulta molto più familiare di uno strumento anche più costoso estraneo al bambino ed utilizzato svogliatamente o addirittura maltrattato.

Dalle sperimentazioni musicali sul monocordo, calcolando i rapporti tra le diverse lunghezze delle corde possiamo costruire una *cetra da tavolo* . La cetra da tavolo è uno strumento musicale popolare, appartenente alla famiglia dei cordofoni, in uso in Germania meridionale, Slovenia, Tirolo e Paesi limitrofi. Per realizzarla con i bambini, sono sufficienti una scatola di legno (ma anche compensato o cartone) , un filo di nylon e delle viti ad occhiello. Forando la nostra scatola la trasformeremo in una cassa di risonanza. Come sappiamo, l'ottava corda dovrà avere una lunghezza pari alla metà della prima corda (Do), infatti a parità di tensione della corda otteniamo il suono del DO dell'ottava superiore. In questo caso infatti la prima corda ha una lunghezza di 27 cm, l'ottava di 13,5 cm. Con gli altri rapporti noti, partendo dalla lunghezza della prima corda, misuriamo la lunghezza della quinta (sol) pari ai suoi $\frac{2}{3}$ e della quarta (fa) pari ai suoi $\frac{3}{4}$.

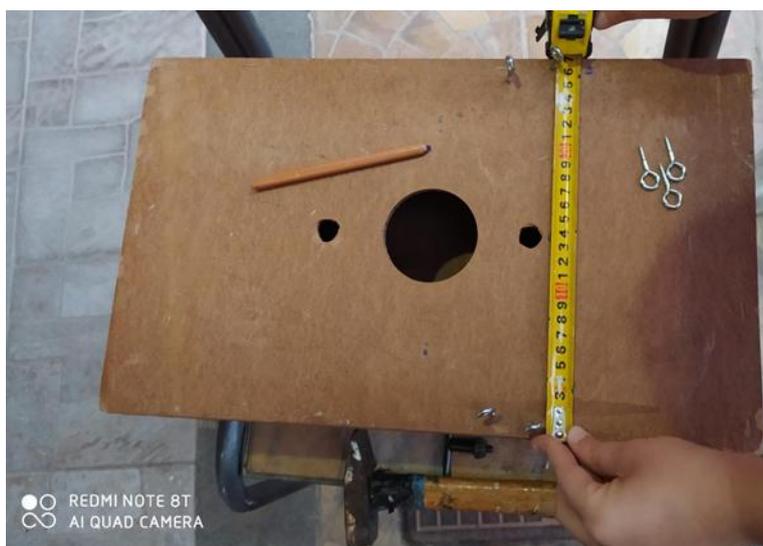


Figura 4.49 Costruzione di una cetra da tavolo ad 8 corde in Do maggiore



Figura 4.50

Il filo di nylon viene avvolto in senso antiorario intorno alla vite di sinistra ed in senso orario intorno alla vite di destra. Per accordare lo strumento, basta variare leggermente la tensione del filo (come accade per l'accordatura della chitarra) regolando le viti ad occhiello: se una nota è calante, bisogna rendere leggermente più teso il filo, viceversa, quando è crescente, rendere il filo meno teso. Se gli occhielli risultano difficili da regolare a mano, si può usare una matita o una chiave.

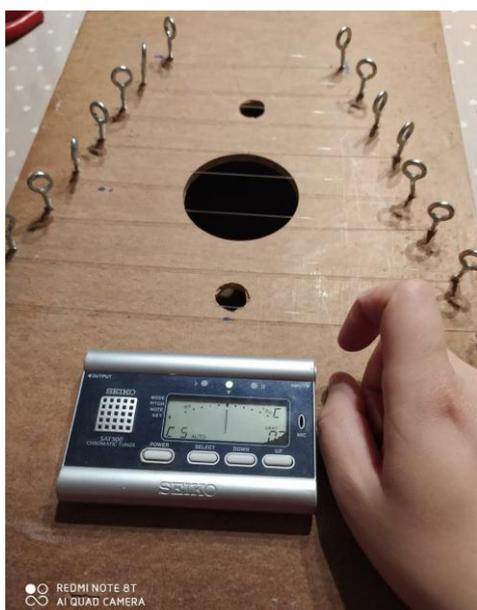


Figura 4.51 suonando la prima corda, della lunghezza di 27 cm, otteniamo la nota Do della quinta ottava del pianoforte.



Figura 4.52 suonando l'ultima corda, della lunghezza di 13,5 cm, otteniamo la nota Do della sesta ottava del pianoforte.

Sapendo che questa proporzione è valida non solo per le corde, possiamo con lo stesso criterio costruire uno xilofono.



Figura 4.53 costruzione di un flauto realizzato con una canna di bambù.

Possiamo proporre ai bambini la costruzione di un flauto. È necessario un tubo o una canna di diametro di circa 20 cm, alla cui sommità facciamo aderire della pelle di tamburo o anche della carta velina. Realizziamo con un succhiello 7 fori sulla superficie del flauto corrispondenti alle 7 note musicali. In questo caso, non abbiamo una corda vibrante ma una membrana vibrante. Quando suoniamo, spingiamo dell'aria che per uscire dal tubo mette continuamente in vibrazione la membrana. Tappando i fori dello strumento è

come se ne stessimo variando la lunghezza. Abbiamo infatti note più acute se non tappiamo i fori più inferiori, come se avessimo un tubo più corto. Viceversa abbiamo un tubo più lungo se tappiamo tutti i fori, da cui quindi risulteranno meno vibrazioni ed un suono più grave.

CONCLUSIONI

Al termine della stesura di questa tesi, ho tanta voglia di sperimentare il più presto possibile ciò che ho descritto in queste ipotesi progettuali didattiche. Purtroppo, spesso si pensa che i temi scientifici siano argomenti troppo ostici e da non proporre agli alunni, in realtà sono fondamentali per lo sviluppo delle competenze trasversali e per la vastità dei collegamenti multidisciplinari che possono offrire.

Inoltre, molte insegnanti considerano le attività laboratoriali come un accessorio della pratica didattica quando invece queste ne costituiscono le fondamenta. La didattica laboratoriale gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo delle competenze. Lo svolgimento dell'attività in forma laboratoriale risulta coerente con le attuali concezioni costruttiviste dell'apprendimento, in quanto consente di avviare un rapporto positivo tra il fare ed il pensare: si parte dall'esplorazione e dell'esperienza, si costruiscono i concetti e si ritorna alla realtà concreta mediante l'azione diretta, promuovendo così il passaggio dalle conoscenze alle competenze. E' una modalità di lavoro che riveste anche una forte potenzialità motivazionale, in quanto coinvolge gli alunni rendendoli protagonisti di attività significative e consapevoli, del senso e dell'importanza di quanto vanno imparando. Sarebbe, perciò, necessario cambiare modo di fare ma, soprattutto, di pensare all'insegnamento favorendo una metodologia che si radichi nel metodo di esplorazione e modellizzazione delle esperienze scientifiche e che si ponga come obiettivo quello di sviluppare le capacità riflessive e di indagine degli alunni. Per me un esempio perfetto di didattica laboratoriale sono stati sia il corso di Elementi di Fisica tenuto dal prof. Emilio Balzano sia il laboratorio Onde ed Oscillazioni, tenuto dal prof. Luigi Cerri. Questo modo di fare didattica rendendo concreti concetti che erano sempre parsi astratti, capire quanta fisica abbiamo sotto il naso e quanto sia affascinante scoprirla, mi ha subito ispirata. Questo lavoro infatti unisce le mie tre grandi passioni: la scienza, la musica e la didattica. Sfogliando qualsiasi buon libro di Didattica si legge che ci deve essere un chiaro rapporto con l'importanza pratica di ciò che si apprende, nell'apprendimento si dovrebbe creare la stessa soddisfazione che genera una scoperta, si parla di "emozione

nell'apprendere". I fattori interni come la motivazione e la soddisfazione personale sono condizioni che permettono allo studente di "star bene a scuola", di essere motivato, di aumentare l'autostima.

Albert Einstein diceva: "Se non lo sai spiegare in modo semplice, non l'hai capito abbastanza bene", ed infatti pensare ipotesi progettuali che potessero spiegare attraverso esperienze concrete e semplici concetti come le onde, le frequenze, ai quali i bambini non hanno mai avuto modo di approcciarsi, ha notevolmente accresciuto le mie capacità di mediazione didattica, di crescita personale e professionale. La fisica infatti fornisce agli studenti, ma anche agli insegnanti, quell'abilità di imparare ad imparare che fa parte del bagaglio del longlife e del lifewide learning, finalità ultima della mission educativa europea. La scienza e l'arte, la fisica e la musica, con la loro pregnanza nella nostra quotidianità, devono diventare pilastri della formazione. Queste hanno tra loro un legame inscindibile e costituiscono sempre nuove opportunità di imparare e di capire il mondo.

I bambini di oggi sono nativi dell'epoca digitale e dunque sono attratti dall'uso delle tecnologie. L'insegnante deve sapersi avvalere di strumenti interattivi e tecnologici per facilitare l'apprendimento e questo è reso possibile grazie a diverse applet a servizio della didattica che offrono la possibilità di giocare con la scienza. Nelle ipotesi progettuali descritte in questo lavoro di tesi è infatti previsto l'uso di applet o programmi come l'oscilloscopio Soundcard.

Le esperienze didattiche proposte non mirano a rendere i bambini né musicisti professionisti né raffinati ascoltatori, bensì attraverso la loro partecipazione attiva invogliarli a scoprire il mondo e rendere concreti fenomeni che magari apparivano sempre astratti o lontani. Questo è ciò che fa la fisica, apre la finestra per guardare lontano. Quello che vediamo non fa che stupirci. Ci rendiamo conto che la nostra immagine intuitiva del mondo è soltanto parziale, perché il mondo continua a cambiare sotto i nostri occhi, man mano che lo vediamo meglio. Apprendere in termini di fisica significa chiedersi, osservando un fenomeno, "queste sono le condizioni, ora che succede?". Spesso ci troviamo, anche nella vita quotidiana, davanti a fenomeni o problemi ai quali vogliamo dare una risposta. Qui dobbiamo trovare le strategie, la strada migliore per arrivare a capire. Questo atteggiamento che è tipico dello scienziato, del ricercatore a mio avviso deve essere trasferito ai

bambini per una loro buona formazione. Quello che conta spesso non è nemmeno arrivare ad una risposta definitiva, precisa ma piuttosto l'interesse, il percorso che si compie, l'approccio mentale. Lo scopo primario è quello di accendere le intelligenze, trasformare un sapere ornamentale in un sapere strategico. Inoltre, vorrei che i bambini scoprissero quanta dose di scienza hanno sotto il naso, dietro ciò spesso appare così familiare e scontato, rivisitando le idee ed i pensieri che avevano condotto i grandi scienziati del passato a formulare le spiegazioni degli eventi osservati ed a porre i fondamenti del metodo scientifico. Spesso si cade nell'errore di considerare la conoscenza scientifica come una raccolta fissa e immutabile di fatti e formule senza relazioni tra loro e con scarsi collegamenti col mondo reale, il cui apprendimento sembra consistere nel memorizzare i fatti e le formule. Così facendo, gli studenti tendono ad apprendere in modo passivo. Le loro strategie di apprendimento pongono un'enfasi eccessiva sulle abilità quali la memorizzazione, l'uso acritico di modelli matematici e tutto appare come un insieme di cose noiose e difficile. La fisica invece si può presentare anche sotto forma di gioco, i laboratori non necessitano di strumenti costosi e sofisticati dove tutto è già pronto ed impacchettato. Nelle ipotesi progettuali didattiche ho infatti preferito lasciare che fossero proprio i bambini a cimentarsi nella loro costruzione. Lo stesso Newton descrisse i suoi straordinari conseguimenti scientifici paragonandoli "ai giochi di un bambino sulla spiaggia, che si bea nel trovare ogni tanto un sassolino levigato o una conchiglia, mentre il grande oceano della verità si stende sconosciuto di fronte a lui".⁴⁴

Questo perché è importante non solo educare al suono e alla musica, ma educare con il suono e con la musica. Come diceva Albert Einstein: «Esiste una passione per la comprensione proprio come esiste una passione per la musica. È una passione molto comune nei bambini, ma che poi la maggior parte degli adulti perde. Senza di essa non ci sarebbero né la matematica né le scienze». Ritroviamo per noi stessi ed educiamo i nostri ragazzi a questa passione che in loro era naturalmente sbocciata ma che poi è avvizzita.

⁴⁴ Da *Il Vangelo secondo la Scienza*, Piergiorgio Odifreddi, Einaudi Tascabili, Torino 1999

BIBLIOGRAFIA

- ❖ *Bocci F., “Gli insegnanti osservano, si osservano, si fanno osservare”, 2003*
- ❖ *Boyes Braem P., Bram T. “A pilot study of the expressive gestures used by classical orchestra conductors”, 2000*
- ❖ *Cano C., “La Musica nel Cinema”, Gremese Editore, 2002*
- ❖ *Dalcroze E. “Il ritmo, la musica e l’educazione”, Torino, Eri, 1986*
- ❖ *Frova A. “Fisica nella musica”, Zanichelli, 1999*
- ❖ *Frova A. “La fisica sonno il naso”, 2001*
- ❖ *Frova A. “Perché accade ciò che accade”, 2000*
- ❖ *Goleman D., “Emotional intelligence”, Bentam Books, New York, 1995*
- ❖ *Levitin D., “Il mondo in sei canzoni. Come il cervello musicale ha creato la natura umana, Codice Edizioni”, Torino, 2009*
- ❖ *Maor E. “La musica dai numeri. Musica e matematica da Pitagora a Schoenberg”, 2018*
- ❖ *Meini C., Guiot G., Sindelar M.T., “Autismo e Musica”, 2000*
- ❖ *Miles T.R., “Musica e dislessia. Un approccio positivo”, 2018*
- ❖ *Morganti A., “Intelligenza emotiva e integrazione scolastica”, Carocci, Roma, 2012*
- ❖ *Odifreddi P., “Il Vangelo secondo la Scienza”, Einaudi Tascabili, Torino 1999*
- ❖ *Patel A.D, Iversen J.R., “ The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory prediction hypothesis” 2014*
- ❖ *Patel A.D, Iversen J.R., “The linguistic benefits of musical abilities”, 2007*
- ❖ *Paynter J., Suono e struttura. Creatività e composizione musicale nei percorsi educativi, EDT, Torino, 1996*
- ❖ *Pennac D., Diario di scuola, Feltrinelli, 2008*
- ❖ *Proverbio A. M., “Neuroscienze cognitive della musica”, 2019*
- ❖ *Righini P. “La musica per il musicista. Fondamenti fisici della musica”, 1994*
- ❖ *Rizzo A.L., “Musica e inclusione. Teorie e strategie didattiche”, 2016*
- ❖ *Rizzo A.L., Lietti M., Musica e DSA. La didattica inclusiva dalla scuola dell’infanzia al conservatorio, 2015*
- ❖ *Rizzolatti G., Luppino G: “The cortical motor system”, 2001*

- ❖ Sandri P., *“La didattica del tempo convenzionale. Riflessioni e percorsi per la scuola dell’infanzia e la scuola primaria”*, Franco Angeli, Milano, 2007
- ❖ Shon D., Vecchi T., Lilach A. K., *“Psicologia della musica”*, Carocci Editore, 2018
- ❖ Stella G., *“La dislessia. Aspetti clinici, psicologici e riabilitativi”* Franco Angeli, Milano, 1996
- ❖ Tomatis A., *Dalla comunicazione intrauterina al linguaggio umano, trad it di L.Merletti , ibis, Como 2001*
- ❖ Tomatis A., *La notte uterina, la vita prima della nascita il suo universo sonoro. Red edizioni, Milano 1996, 2009*
- ❖ Valle A., *“La notazione musicale contemporanea. Aspetti semiotici ed estetici”*, 2003
- ❖ Wille A. M., *“La musica nella terapia psicomotoria. Esperienze e proposte di intervento”*, 2016
- ❖ Zentner M., Grandjean D., Scherer, *“Emotions evoked by the sound of music: chatacterization, classification, and measurement”*, 2008

SITOGRAFIA

- ❖ <http://fisicaondemusica.unimore.it/>
- ❖ <http://musicoterapiadiversabile.blogspot.it/p/metodo-montessori.html>
- ❖ <http://www.buonenotizie.it/salute-e-benessere/2013/01/07/studiare-musica-antidoto-contro-la-dislessia/>
- ❖ <http://www.les.unina.it/>
- ❖ http://www.lescienze.it/news/2013/09/18/news/musica_ritmo_linguaggio_parlato_-1813249/
- ❖ <http://www.strapparts.com/didattica-musicale/strumentario-didattico-musicale-autocostruito/>
- ❖ <http://www.universita.it/bambini-studiare-musica-migliora-sviluppo-cervello/>
- ❖ <https://www.conibambini.org/>
- ❖ <https://www.stateofmind.it/2016/12/neuroestetica-correlati-neurali/>
- ❖ <https://www.unimib.it/comunicati/cervello-riconosce-linguaggio-delle-emozioni-nella-musica>

RINGRAZIAMENTI

L'università è un percorso di formazione, ma anche un percorso di crescita. In questi 5 anni ho imparato molto. Ho imparato che la cosa più importante che l'università ci rilascia non è la laurea, non è un voto, non è un pezzo di carta, ma la consapevolezza di ciò che siamo davvero. L'università mi ha insegnato che, nella vita, ciò che conta è divenire persone fatte di argomenti, che danno più importanza al cammino che alla meta, che non hanno l'esigenza di trovare scorciatoie bensì quella di lasciare il segno. Tra i tanti esami sostenuti, ci sono stati quelli da cui sono rimasta piacevolmente sorpresa e quelli dai cui sono rimasta delusa. Sono stati proprio questi a farmi capire che l'università è il luogo in cui ci si misura prima di tutto con se stessi, attraverso gli esami, il rispetto per le scadenze, l'impegno nello scrivere una tesi, la determinazione ed il senso di responsabilità. Si diventa persone consapevoli delle proprie capacità e dei propri limiti. Si diventa anche persone consapevoli di chi ci sta intorno e capaci di guardare la nostra vita da una prospettiva diversa e più nitida.

Non posso non iniziare ringraziando i miei genitori, che mi hanno supportata ma soprattutto sopportata in questo percorso.

Ringrazio mio padre, la mia ancora non solo in questo lavoro di tesi, ma in tutto il mio percorso universitario. Lui è stato la povera vittima innocente del mio essere intrattabile nei periodi intasati dal lavoro e dalla sessione e con lui ho condiviso l'ansia prima di ogni esame mentre mi accompagnava alla stazione, ma anche la gioia e la liberazione quando veniva a prendermi al ritorno.

Ringrazio mia madre, che ci è rimasta male perché non è stata inserita nella dedica iniziale, ma sa bene che, anche se non le dimostro quasi mai il mio affetto o la mia gratitudine, è una delle persone più importanti della mia vita. Il suo essere premurosa, talvolta anche assillante, sono la traduzione concreta dell'amore e della dolcezza più naturale e sincera che ci sia. Perché senza i quotidiani ed immancabili "tutto bene?", "sei arrivata?", "hai mangiato?", "a che ora torni?", questo viaggio non sarebbe stato lo stesso.

Ringrazio le mie amiche di sempre, Maddalena e Raffaella, che nonostante i chilometri che troppo spesso ci tengono divise, non sono mai state davvero lontane. Loro rappresentano gli anni più belli, le mie ragazze del liceo, le mie piccole donne.

Ringrazio il mio amico, collega e fratello Andrea, che mi ha sempre strappato un sorriso anche nei periodi di maggiore stress ed avvillimento, sperando di poter tornare a lavorare fianco a fianco, non più come due bravi animatori ma come due bravi maestri.

Ringrazio la Gi.Fra di Mondragone, che non mi ha mai fatta sentire sola e che mi ha insegnato l'arte del vivere come fratelli. Mi sono scoperta come parte di un disegno d'amore, del quale loro rappresentano i colori più belli.

Ringrazio Salvatore, che mi è stato accanto nella prima parte di questo percorso universitario, perché la sua passione per la fisica ed il suo impegno con i PONYS hanno ispirato questo lavoro di tesi, insegnandomi che l'educazione scientifica è capire il mondo partendo da ciò che abbiamo sotto il naso.

Ringrazio Imma e Marzia, senza le quali molto probabilmente non sarei qui a scrivere questi ringraziamenti, bensì ancora a disperarmi sull'esame di letteratura.

Ringrazio i miei animatori dello staff più squilibrato che ci sia, che mi hanno insegnato che per farti amare da un bambino non devi far altro che essere te stesso, che la prima regola per far divertire è che sia tu stesso a divertirti e che niente è più serio di un gioco per bambini.

Ringrazio Andrea, l'altra metà del mio cuore, la cui passione per la musica che da sempre ammiro e la cui intelligenza spiccata e brillante sono la dimostrazione di quanta verità ci sia nelle pagine di questo lavoro. La musica ci ha sempre legati, da una "sana" competizione ai tempi delle medie a ciò che siamo diventati. Lo ringrazio per avermi ispirata, incoraggiata e per la sua pazienza, sconfinata quanto il bene che ci unisce.

Per finire, ringrazio il mio relatore, il professor Emilio Balzano, una combinazione perfetta di impeccabile professionalità ed immensa umanità. In questi 5 anni mi è stato insegnato che un buon insegnante deve saper motivare, saper accendere nei suoi alunni “il desiderio di essere” ed il “piacere della scoperta” ed il prof Balzano, a differenza di molti altri docenti, è proprio questo. Nelle lezioni del corso di Elementi di fisica ha sempre riempito l’aula di strumenti e coinvolto attivamente noi studenti nelle sperimentazioni, rendendo il nostro apprendimento piacevole e significativo. La sua didattica e la sua umanità sono stati per me esemplari, ispirando sia la stesura di questa tesi sia l’insegnante che vorrò essere.