

# INFORMATICA MUSICALE

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA**  
**DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA**  
**LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA**  
**A.A. 2018/19**  
**Prof. Filippo L.M. Milotta**

**ID PROGETTO:** 29

**TITOLO PROGETTO:** LA Musica dell'Universo

**AUTORE:** Borzì Maria Grazia

## Indice

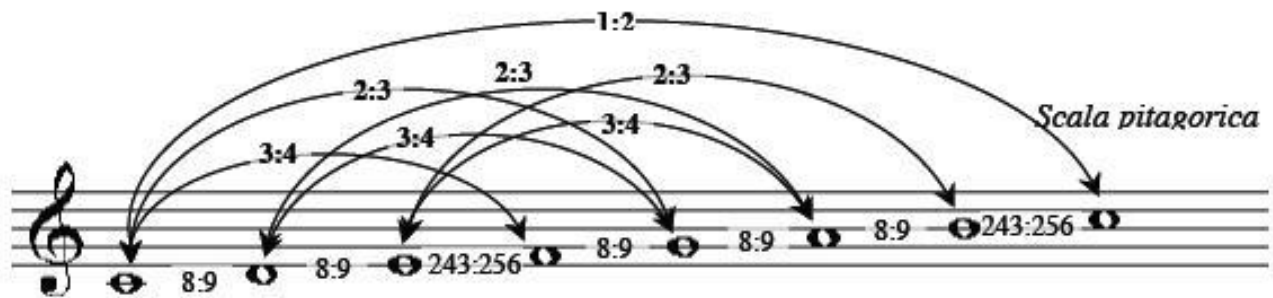
<b>1. Obiettivi del progetto</b> .....	1
1.1 Musica, Mito e Scienza .....	1
1.2 La nascita della radioastronomia.....	3
1.3 Radio Astronomy .....	4
<b>2. Riferimenti Bibliografici</b> .....	6
<b>3. Argomenti Teorici Trattati</b> .....	7

## 1. Obiettivi del progetto

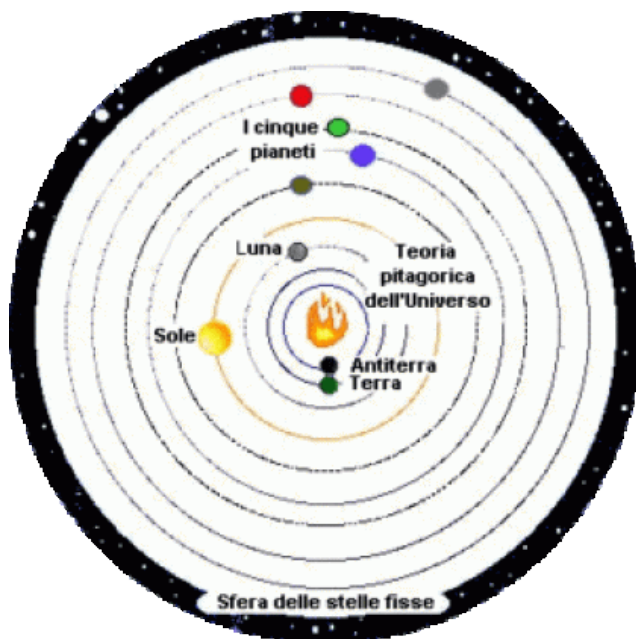
### 1.1 Musica, Mito e Scienza

Il legame tra musica e scienza ha origini molto antiche e riguardava soprattutto la cosmologia. Tra i primi a interessarsi di tale rapporto fu Pitagora, nel VI a.C. La dottrina pitagorica, accanto a credenze e pratiche religiose, diede anche particolare rilievo alle speculazioni intellettuali, in particolare all'aritmetica, alla geometria, alla musica e all'astronomia. I Pitagorici studiavano la musica e le relazioni tra le varie "consonanti" musicali attraverso il monocordo, uno strumento costituito da una corda tesa, su cui scorre un ponticello mobile. Individuando lunghezza delle corde e tensione appropriata, era possibile isolare i singoli intervalli musicali e darne un'interpretazione numerica, attribuendo loro il valore di una proporzione che descriveva il rapporto fra la lunghezza complessiva della corda e quella necessaria per individuare l'intervallo stesso. I tre intervalli fondamentali erano 2:1 ottava (Do-Do), 3:2 quinta (Do-Sol) e 4:3 quarta (Do-

Fa).



Ma qual è il legame tra musica e scienza? Ebbene, Pitagora credeva gli stessi rapporti armonici osservati sul monocordo si riproducessero anche nelle sfere celesti: le stelle e i pianeti, muovendosi emettono un suono continuo, impercettibile all'orecchio umano. Secondo il sistema pitagorico, tutti i pianeti, Terra e Sole compresi, sono fissati ognuno a una sfera che ruota da Ovest a Est attorno a un fuoco centrale, situato al centro dell'universo mentre le stelle fisse si trovano su un'unica sfera, la più esterna e la più pura: è la prima volta che nella storia dell'astronomia la Terra si muove.



Filolao, uno dei pitagorici, sosteneva che il suono prodotto dai corpi celesti sarebbe prodotto per effetto dell'attrito contro il mezzo nel quale navigano, aria, fuoco o materia eterea. Avrebbe un'altezza proporzionale alla velocità del corpo, la quale a sua volta crescerebbe direttamente alla sua distanza dal fuoco centrale; inoltre i rapporti tra le frequenze dei suoni sarebbero sempre tali da sortire accordi musicali consonanti. Tuttavia, secondo Filolao, gli uomini non sono più in grado di sentire questa armonia per assuefazione, siccome l'ascoltano sin dalla nascita.

Nonostante alcune imprecisioni, le teorie pitagoriche domineranno nel campo cosmologico per molto tempo. Grazie alla tecnologia moderna, ora sappiamo con certezza che Pitagora, in qualche modo, aveva ragione.

Così il suono della Terra nel suo movimento intorno al Sole è un DO#, ma è talmente basso che non potremmo udirlo: è posto 29 ottave più in basso del DO centrale. Venere è un LA, Marte un RE a meno 30 ottave, Giove un FA# a meno 33 ottave, e così via. Il suono dell'intero sistema solare va accelerato di 68 miliardi di volte (pari a 36 ottave) per essere udito dal nostro orecchio.

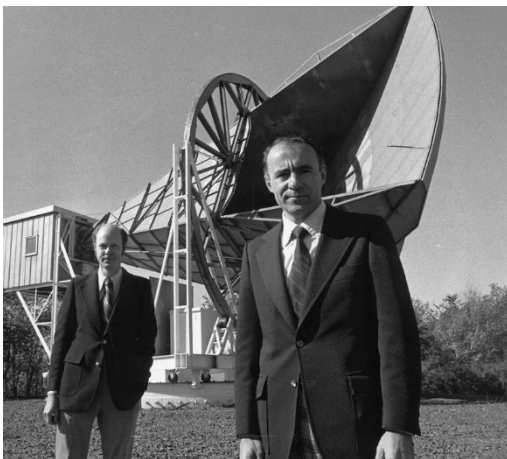
## 1.2 La nascita della radioastronomia.

Nel 1876 Alexander Graham Bell e Thomas Watson lavoravano alla costruzione del primo telefono, dotato di un cavo lungo meno di un chilometro teso sopra i tetti delle case.

Tuttavia gli inventori udivano strane interferenze per le quali non trovavano alcuna spiegazione. Certamente non erano segnali emessi dai sistemi di telecomunicazione terrestri, che ancora non erano stati inventati; in alcuni casi, i fruscii gracchianti erano causati da fenomeni noti, come i fulmini, ma c'erano anche degli strani fischi. Watson immaginò, correttamente, che stava ascoltando rumori causati da attività sulla superficie del Sole: era il vento solare che incontrava la ionosfera terrestre, il corrispettivo sonoro del fenomeno visivo delle aurore.

Nel 1928 i Bell Telephone Laboratories reclutarono un ingegnere, Karl Jansky, assegnato a un progetto volto a studiare le interferenze atmosferiche captate con la tecnologia di telecomunicazione via radio. I rumori che l'antenna riceveva erano tanti. Per molti di essi fu facile risalire alla loro causa, si trattava di fulmini o fonti di energia elettrica, ma c'era un disturbo persistente che non si riusciva a identificare: si udiva quotidianamente con una periodicità di 23 ore e 56 minuti, proprio la durata del giorno siderale, cioè il periodo di rotazione della terra misurato in base alle stelle (il tempo che la terra impiega per tornare al punto di partenza rispetto alle stelle fisse). Il giorno siderale è leggermente più breve del giorno solare (una rotazione della terra rispetto al sole), perché il pianeta, oltre che a ruotare su se stesso, si sposta rivolendo intorno al Sole e deve quindi percorrere un po' più di strada per riposizionarsi.

Puntando l'antenna verso la fonte dell'emissione, Jansky comprese che in effetti il rumore originava dal centro della nostra galassia, la Via Lattea. Nacque così la radioastronomia.



Nel 1964, sempre ai Bells Laboratories, gli ingegneri Arno Penzias e Robert Wilson studiavano la Via Lattea con un'antenna molto particolare, costruita per la telecomunicazione via satellite, ma che per le sue caratteristiche risultò perfetta per l'utilizzo in radioastronomia. Essi volevano misurare l'intensità delle onde radio emesse dalla nostra galassia al di fuori del piano della Via Latte. Ma l'"ascolto" non andò come previsto.

L'antenna infatti riceveva una grande quantità di rumore nel microonde (7.35 cm) irradiato in modo uniforme (cioè di uguale intensità) e isotropo (rilevabile in tutte le direzioni). Avendo queste caratteristiche, l'emissione non poteva provenire da una fonte precisa nella Via Lattea, ma doveva originarsi da un volume di spazio molto più ampio. Ben lontani da immaginare la potenza della loro scoperta, Penzias e Wilson attribuirono dapprima l'eccessivo rumore alla strumentazione; in effetti, una coppia di piccioni aveva fatto il nido proprio dentro l'antenna, ricoprendola di quello che Penzias con delicatezza definì "bianco materiale dielettrico". Ma anche una volta ripulita l'antenna, gli strani segnali nel microonde persistevano. Grazie al

lavoro teorico di altri scienziati, infine si comprese che il rumore, denominato poi “radiazione di fondo” era niente meno che un messaggio lanciato al momento del Big Bang, 13.7 miliardi di anni fa, sopravvissuto fino al tempo presente: i fotoni a più alta energia (radiazioni gamma), di cui era densissimo l’universo appena nato, esistono ancora, ma con l’espansione e il conseguente raffreddamento dell’Universo le loro lunghezze d’onda si sono gradualmente allungate. Oggi irradiano nel microonde, a una temperatura di 2.7 K, una frequenza bassissima che però con le strumentazioni moderne è diventata udibile.

La musica proveniente dallo spazio e il suo ascolto ha permesso di raggiungere tra i più grandi traguardi dell’astronomia e cosmologia moderna in quanto il nostro senso dell'udito è sorprendentemente acuto: "Il sistema uditivo è il miglior dispositivo di riconoscimento dei modelli che conosciamo", ha detto a Scientific American, il professore del Georgia Institute of Technology, Bruce Walker: "Se stai esaminando un set di dati e stai cercando di capire cosa sta succedendo, è spesso più facile ed efficiente ascoltarne il suono piuttosto che guardare uno schermo o una versione stampata."

Lo sottolinea anche Honor Harger, una artista e curatrice che ha dato vita al progetto Radio Astronomy, iniziativa volta a diffondere la musica di stelle e pianeti convertendo i segnali raccolti da diversi radiotelescopi sparsi in tutto il mondo. Radio Astronomy si propone appunto di conciliare arte e scienza, permettendo di apprezzare le strane, meravigliose melodie del cosmo e allo stesso tempo promuoverne la conoscenza.

### 1.3 Radio Astronomy

La radioastronomia correla i processi associati alla radiodiffusione l'osservazione e l'analisi di segnali irradiati da oggetti astrofisici. Grazie al lavoro di Radio Astronomy i segnali provenienti da pianeti e stelle vengono convertiti in audio e quindi trasmessi on-line e on-air. I radio-scopi, quindi possono essere considerati, in tale ambito, come ricevitori radio che ascoltano i segnali radio trasmessi da pianeti e stelle.

Tutti possiamo guardare allo spazio, nelle immagini in televisione, nei libri e su Internet; ma nella cultura popolare non abbiamo idea di quali suoni siano evidenti nello spazio. Nel cinema, in televisione, e in effetti nel documentario, lo spazio è di solito rappresentato come un vuoto auditivo. E in effetti, la maggior parte delle persone associa lo spazio al silenzio.

Questo è in effetti un termine improprio: una grande percentuale della nostra comprensione scientifica dello spazio è stata derivata ascoltando lo spazio attraverso i radiotelescopi.



Anche la percezione scientifica della radioastronomia è in gran parte visiva. Nonostante il fatto che gli oggetti siano osservati e registrati usando la radio, le loro emissioni sono rappresentate usando grafici, diagrammi, visualizzazioni grafiche e altri mezzi visivi. Molti oggetti, tuttavia, emettono radiazioni nella banda udibile, rendendo possibile l'ascolto dell'Universo. Lo spazio è infatti un posto molto rumoroso, con ogni pianeta, stella, nebulosa e ammasso, contenente la propria firma sonora. Eppure, pochissime persone hanno mai sentito lo spazio. Quasi nessuno di noi potrebbe descrivere il suono di un singolo pianeta o stella.

Ad esempio, la complessa interazione tra il pianeta Giove e la sua luna vulcanica, Io, produce "tempeste di rumore radio", che possono essere ascoltate sulla banda radio da circa 15 MHz a 38 MHz. Una tempesta può durare da pochi minuti a diverse ore. I radioastronomi possono ricevere due tipi distintivi di esplosioni durante una tempesta. I lampi a L (lunghe raffiche di radiazione) variano lentamente di intensità nel tempo, durano da pochi secondi a diverse decine di secondi e hanno larghezze di banda di pochi MHz. Gli scoppi di L suonano come le onde dell'oceano che si infrangono su una spiaggia. I burst di S (brevi raffiche di radiazioni) hanno una durata da pochi millesimi a qualche centesimo di secondo e possono verificarsi a velocità di decine di raffiche al secondo. Gruppi di esplosioni a S suonano come popcorn che spuntano o come una manciata di ciottoli gettati su un tetto di lamiera.

Il sole è anche un oggetto molto diffuso attraverso la radioastronomia. Quando c'è un bagliore solare sulla superficie del Sole, è spesso accompagnato da uno scoppio di energia radio proiettata nello spazio. Questa energia può essere monitorata con ricevitori radio standard ShortWave e VHF. Gli scoppi solari durano in genere da mezzo minuto a un paio di minuti e spesso suonano come un rapido sibilo seguito da una graduale riduzione al livello audio originale.



L'audio può anche essere usato per descrivere fenomeni più distanti e astratti nello spazio. Le pulsar sono un buon esempio. Una pulsar è una piccola stella di neutroni rotante che contiene un'enorme quantità di energia che le fa ruotare sul suo asse o ruotare molto rapidamente. Le pulsar ruotano tra meno di 1 volta al secondo fino a 642 volte al secondo. È molto difficile per noi capire il significato di ciò attraverso i media visivi. Ma la sonificazione dell'audio o dei dati può davvero dare vita a questo. Ad esempio, la Pulsar B0329 + 54

ruota di circa 1,40 volte al secondo. Ogni rotazione può essere ascoltata come un clic o un battito e attraverso l'audio sembra un metronomo lento e costante. La Vela Pulsar, si trova vicino al centro del residuo della supernova Vela, che è i detriti dell'esplosione di una stella massiccia circa 10.000 anni fa, ruota a circa 11 volte al secondo e quindi ha un ritmo molto più veloce.

## 2. Riferimenti Bibliografici

- [www.radio-astronomy.net](http://www.radio-astronomy.net): sito ufficiale del progetto Radio Astronomy. Fornisce informazioni interessanti sul come e sul perché è nato tale progetto.
- [www.astronomia.com](http://www.astronomia.com): fornisce conoscenze sulla storia della radio-astronomia dalle sue origini ad oggi.
- [www.curiosity.com](http://www.curiosity.com): fornisce interessanti spunti sull'importanza non solo delle immagini visive, ma anche dell'audio nel campo dell'astronomia.



### 3. Argomenti Teorici Trattati

#### Propagazione del suono, onde elettromagnetiche e audio.

Sappiamo che il suono è un'onda longitudinale che ha bisogno di un mezzo per propagarsi, quindi non può propagarsi nel vuoto, e quindi nello spazio; tuttavia l'audio, segnale elettromagnetico che trasporta l'informazione sonora, può propagarsi nel vuoto. Così gli astronomi utilizzano le onde radio e trasformano queste in suono attraverso un convertitore.

#### Nota, scala diatonica.

Parlando di Pitagora abbiamo usato il termine "consonanti musicali" e non "note musicali" in quanto la nascita delle note musicali va collocata, ufficialmente, intorno al 1000 d.C, quando un monaco di nome Guido d'Arezzo utilizzò per primo una scrittura delle note molto simile a quella attuale, ma basata su quattro linee che si chiama tetragramma. Egli, per primo, diede un nome alle note della scala diatonica che prima Pitagora e poi lo Zarlino avevano costruito.

Generalizzando, introduciamo i concetti di note e scale diatoniche: la nota non corrisponde ad un tono puro ma essa dipende dalla frequenza predominante nello spettro dell'onda sonora. La nota musicale è un simbolo utilizzato nella musica per descrivere un particolare suono.

La scala diatonica di Pitagora era però un po' differente da quella utilizzata oggi la quale fa riferimento agli studi del Clavicembalo ben temperato di Bach (da qui il nome scala temperata).

Per quanto riguarda la scala diatonica, la sua successione caratteristica viene generalmente rappresentata dalla seguente successione di intervalli: T - T - s - T - T - T - s dove T=tono e s=semitono.

La scala temperata, invece, si ottiene dividendo l'ottava in 12 intervalli uguali, detti semitoni. Un semitono consiste in un aumento di frequenza di un fattore  $2^{(1/12)}$ .

Parlando di Filolao, abbiamo detto che egli sosteneva che il suono prodotto dai corpi celesti:

1. "sarebbe prodotto per effetto dell'attrito contro il mezzo nel quale navigano."

Oggi sappiamo che le onde possono subire delle alterazioni durante la propagazione quando incontrano degli ostacoli:

**RIFRAZIONE:** è un fenomeno fisico che consiste nella deviazione di un'onda causata da una variazione nella velocità di propagazione della stessa; La velocità varia se cambia la temperatura oppure se cambia il mezzo di propagazione: nell'aria fredda la velocità del suono è più bassa, mentre nell'aria calda è più alta.

**RIFLESSIONE:** è un fenomeno fisico che consiste nella deviazione di un'onda che colpisce la superficie di separazione tra due mezzi di propagazione differenti; incapace di attraversare tale superficie, l'onda viene deviata. Affinché un suono che incontra un ostacolo sia riflesso, è necessario che la sua lunghezza d'onda sia molto più piccola dell'ostacolo.

In ogni caso il suono riflesso perderà una parte della sua energia che dipende dal materiale della superficie con cui si scontra. Se in certi ambienti si vuole evitare la riflessione, si ricorre a materiali fonoassorbenti.

Poiché un'onda riflessa torna alla sorgente, se si conosce la velocità di propagazione è possibile calcolarne la distanza:  $\Delta t = 2D/v$ . Il funzionamento dei SONAR si basa su quest'idea.

**DIFFRAZIONE:** è un fenomeno fisico che consiste nella deviazione di un'onda che incontra un ostacolo. Nel tentare di superarlo l'onda si allarga o si «spezza». Affinché un'onda sonora che incontra un ostacolo o una fenditura sia diffratta, è necessario che la sua lunghezza d'onda sia molto più grande dell'ostacolo o fenditura.

I suoni gravi o a bassa frequenza aggirano più facilmente gli ostacoli rispetto a suoni acuti o alta frequenza. Il motivo è che a frequenze più basse corrispondono lunghezze d'onda più grandi, quindi anche con ostacoli non eccessivamente piccoli si può apprezzare la diffrazione. L'assenza di diffrazione sonora nel caso di lunghezze d'onda troppo piccole rispetto ad un ostacolo prende il nome di ombra sonora.

2. "avrebbe un'altezza proporzionale alla velocità del corpo, la quale a sua volta crescerebbe direttamente alla sua distanza dal fuoco centrale."

In generale la velocità del suono in un mezzo si può ricavare mediante  $V_{m,t} = V_{m,0} + \alpha_m(T)$  dove:

- T è la temperatura in °C
- $V_{m,0}$  è la velocità del suono nel mezzo m a temperatura 0 °C ->  $V_{aria,0} = 331,45 \text{ m/s}$
- $\alpha$  è una funzione dipendente dal tempo. Ad esempio:  $\alpha_{aria}(T) = 0,62 \cdot T$

## Rumori

Durante i primi anni di studio di radioastronomia, molti fenomeni riscontrati in laboratorio venivano confusi per rumori. Il rumore è un segnale non desiderato e imprevedibile che sommandosi ad altri segnali li distorce; tuttavia molti rumori possono essere controllati e vengono usati in laboratorio per "modellare" l'audio a proprio piacimento.