



INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2020/21
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: 02

TITOLO PROGETTO: L'Auto Tune

AUTORE 1: Claudio D'Errico

AUTORE 2: Enrico Granata

AUTORE 3: Raffaele Fazio

Indice

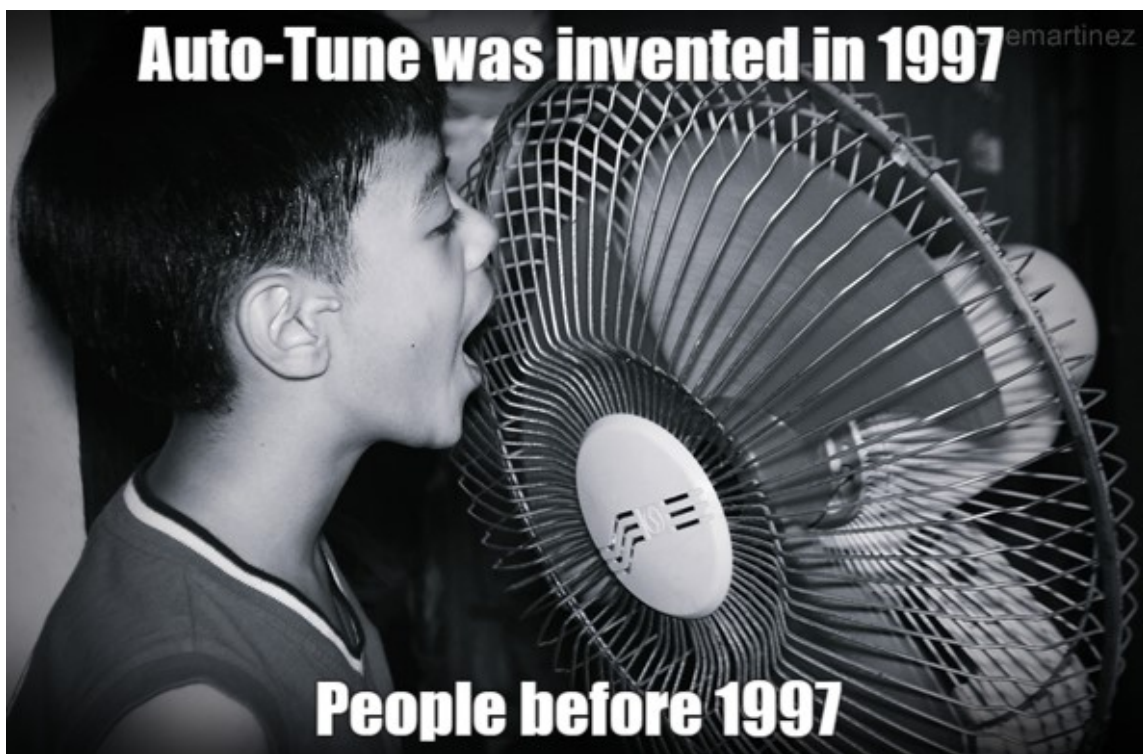
1. Obiettivi del progetto	1
1.1 L'Auto-Tune: Come funziona e come è cambiato nel tempo	
1.2 Registrazione del suono: Come funziona e principali strumenti di registrazione	
1.3 Conoscenza della frequenza delle note	
2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici	6
2.1 Auto-Tune - Wikipedia	
2.2 Registrazione sonora – Wikipedia	
2.3 Frequenze Suoni Note Musicali	
3. Risultati Attesi / Argomenti Teorici Trattati	7
3.1 Spettro	
3.2 Audio Analogico, Audio Digitale, Da Analogico a Digitale	
3.3 Equalizzatore	

1. Obiettivi del progetto

1.1 L'Auto-Tune: Come funziona e come è cambiato nel tempo.

L'Auto-Tune è un software privato prodotto dalla Antares Audio Technologies nel 1997. Hildebrand scoprì che i suoi metodi per interpretare i dati sismici potevano essere usati per rilevare, analizzare e modificare il tono nei file audio, cosa che per i vari ingegneri del settore musicale avevano ritenuto poco pratico a causa dell'enorme sforzo computazionale richiesto.

Auto-Tune riconosce le note di cui è composta la traccia registrata e sposta leggermente la tonalità al più vicino semitono corretto. Ciò significa che trascina una determinata nota cantata al più vicino semitono puro. L'Auto-Tune viene usato per creare l'effetto della distorsione della voce umana quando la tonalità viene alzata o abbassata molto, che salta di nota in nota come se prodotta da un sintetizzatore.



L'auto-tuning è definito come la procedura per la determinazione dei valori dei parametri di un regolatore senza l'intervento dell'operatore

Auto-Tune viene gestito da un controllore che prende il nome di PID = Controllo Proporzionale-Integrale-Derivativo

Il PID acquisisce in ingresso un valore da un processo e lo confronta con un valore di riferimento, nel nostro caso il valore è la traccia in ingresso e i valori di riferimento sono i semitoni puri.

Il programma che si occupa della determinazione dei valori dei parametri prende il nome di AUTOTUNER

Le fasi compiute dall'autotuner sono:

1. Stimolazione del processo da controllare con segnali noti (gradino, treno di impulsi, senoide...). Dalla risposta del sistema a fronte di queste perturbazioni si traggono valutazioni e si ricavano parametri caratteristici del modello del processo.
2. Valutazione e verificabilità delle specifiche di controllo in modo da raggiungere il compromesso ottimale.
3. Calcolo dei parametri che il regolatore deve avere, sfruttando le regole di tuning.

Originariamente Auto-Tune è stato creato per intervenire sull'imprecisione della voce e sull'intonazione stessa poiché è in grado di gestire la curva dell'audio. In questo modo non si registrano note calanti o sbavature sonore.

Con la canzone "Believe – Cher" l'Auto-Tune fa il suo ingresso nel mondo della musica come strumento per distorcere la voce umana. (<https://www.youtube.com/watch?v=nZXRv4MezEw>).

Il suo utilizzo in maniera esponenziale comincia nel 2005 con il genere Hip-Hop/R&B([T-Pain - I'm Sprung \(Official HD Video\) - YouTube](#)). Utilizzato poi negli anni 2010 nel mondo della TRAP.

Tuttavia, ultimamente si è molto parlato dell'utilizzo di Auto-Tune come strumento di facilitazione per i Cantanti tanto che sono stati accusati di non essere in grado di cantare.

Infatti citando le parole di Orietta Berti riguardo i concorrenti del Festival di Sanremo 2021

"Noi non usiamo dei mezzi sofisticati. Siamo all'antica. Vogliamo le spie, l'auricolare, il microfono normale. Così uno se sa fare, sa fare. Se non sa fare va a casa"



1.2 Registrazione del suono: Come funziona e principali strumenti di registrazione.

La registrazione del suono è un processo elettrico, digitale o meccanico di acquisizione e ricreazione delle onde sonore.

Ci sono 2 tipi di tecnologie di registrazione:

Analogico: Il segnale analogico viene inciso sulla superficie per via di variazione di pressione dell'aria oppure per variazione del campo magnetico.

Digitale: Converte il segnale audio in un flusso di numeri discreti che rappresenta il cambiamento nel tempo della pressione dell'aria, questo numero viene salvato. Per poter sentire la registrazione i suoni vengono riconvertiti nel loro audio analogico originale.

La registrazione del suono inizia come un processo puramente meccanico, tuttavia il punto chiave della registrazione del suono è stato quello della registrazione elettrica nella quale un microfono veniva usato per convertire il suono in un segnale elettrico poi amplificato e usato per azionare la puntina di registrazione.

Tutto questo ha portato a registrazione più chiare e corpose estendendo l'uso del range delle frequenze audio.

Principali strumenti di registrazione:

Microfono: dispositivo che converte la variazione di pressione di un'onda sonora in un segnale elettrico.

I più comuni sono: Microfoni dinamici, Microfoni a condensatore, Microfono piezoelettrico.

Microfoni dinamici: che utilizzano una bobina di filo sospesa in un campo magnetico.

Microfoni a condensatore: un tipo di microfono che sfrutta l'effetto di variazione capacitiva. Le due lamine che compongono la capsula sono sollecitate dalle variazioni di pressione che un suono provoca nel mezzo di propagazione.

Microfono piezoelettrico: detti anche a cristallo, sfruttano le proprietà dei materiali piezoelettrici, che reagiscono alle onde sonore generando un segnale elettrico.

Si può pensare che esistano i microfoni muniti di Auto-Tune, in realtà non è così perché il suono registrato dal microfono in input viene alterato e quindi mandato in output.



1.3 Conoscenza della frequenza delle note

Conoscere la frequenza delle note è importante perché Auto-Tune trascina una particolare nota cantata ad una nota di riferimento con frequenza specifica creando l'effetto della distorsione.

La nota è un segno grafico utilizzato nelle notazioni musicali per rappresentare un suono.

Le note musicali più conosciute sono quelle della scala diatonica e sono otto:

Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si, Do.

Esistono altre scale come la scala temperata con 12 semitoni e 13 note:

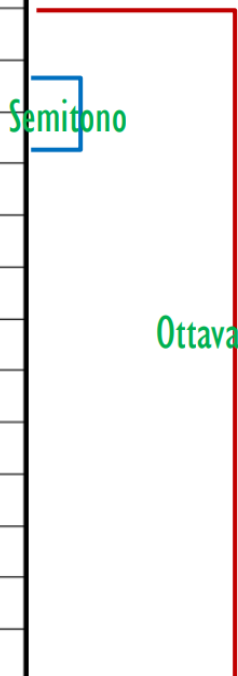
Do, Do#, Re, Re#, Mi, Fa, Fa#, Sol, Sol#, La, La#, Si, Do.

In una scala i toni e i semitoni rappresentano i possibili intervalli tra due suoni consecutivi nell'ordine della scala musicale. Es. Do-Re(**tono**), Si-Do(**semitono**). Il semitono è l'intervallo più piccolo che intercorre tra due suoni consecutivi nella scala, l'unione di due semitoni forma un tono.

Le note sono raggruppate in ottave, ogni ottava ha inizio con il Do. Le ottave rappresentano gli intervalli tra due note uguali con frequenza doppia l'una rispetto all'altra. Ogni nota ha una specifica frequenza, infatti, un suono ad alta frequenza risulterà acuto mentre sarà grave se ci troviamo a basse frequenze. La frequenza fondamentale per le note è associata al La₄ che equivale a 440 Hz da cui è possibile ricavare tutte le frequenze delle altre note, secondo la seguente formula:

$$f_n = f_{ref} \times 2^{\frac{n}{12}} \quad \text{con} \quad f_{ref} = 440 \text{ Hz}$$

Note	Notazione Anglossassone	Frequenza (Hz)
la	A	440.0 = 440 x 2 ^{0/12}
la#	A#	466.2 = 440 x 2 ^{1/12}
si	B	493.8 = 440 x 2 ^{2/12}
do	C	523.2 = 440 x 2 ^{3/12}
do#	C#	554.4 = 440 x 2 ^{4/12}
re	D	587.3 = 440 x 2 ^{5/12}
re#	D#	622.2 = 440 x 2 ^{6/12}
mi	E	659.2 = 440 x 2 ^{7/12}
fa	F	698.4 = 440 x 2 ^{8/12}
fa#	F#	740.0 = 440 x 2 ^{9/12}
sol	G	784.0 = 440 x 2 ^{10/12}
sol#	G#	830.6 = 440 x 2 ^{11/12}
la	A	880.0 = 440 x 2 ^{12/12}



Una nota qualsiasi potrebbe sembrare un tono puro (...) ma la stessa può essere percepita in maniera differente dallo strumento da cui è prodotta e allo stesso tempo essere percepita differentemente. In realtà la nota dipende dalla frequenza predominante nello spettro, poiché lo spettro di un suono ne caratterizza il timbro.

2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici

1.1 L'Auto-Tune: Come funziona e come è cambiato nel tempo.

[Auto-Tune - Wikipedia](#)

<https://alexlacava.com/autotune-cose-e-come-funziona/>

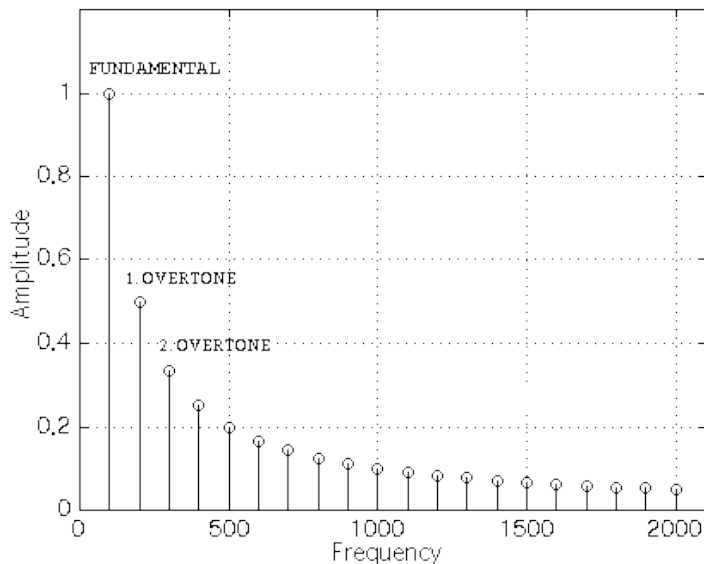
1.2 Registrazione del suono e strumenti di registrazione

[Sound recording and reproduction - Wikipedia](#)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Microphone>

3. Risultati Ottenuti / Argomenti Teorici Trattati

- Spettro:
 - L'insieme delle frequenze delle onde elementari, con relativi contributi (A_n), che costituisce un'onda complessa prende il nome di spettro. Può essere indicato con $Y(f)$. Viene rappresentato da un grafico Frequenza-Ampiezza.



Lo spettro caratterizza il timbro.

Timbro = caratteristiche che permettono di distinguere due suoni anche a parità di ampiezza e frequenza, ad esempio la voce umana e uno strumento musicale pur producendo la stessa nota con la stessa frequenza avranno un timbro diverso (riconosceremo la voce rispetto allo strumento musicale)

La caratterizzazione del timbro dipende dal numero e dal contributo delle varie frequenze, inoltre si può usare il timbro per identificare il tipo di sorgente sonora.

- Audio Analogico:
 - Un segnale si dice analogico quando è a tempo continuo e valori continui. Il suono viene rilevato da un trasduttore che trasforma le onde di pressione in onde elettriche.
 - La traccia registrata segue l'andamento della curva dell'ampiezza, dopo che questa è stata convertita in segnale elettrico.
 - Il segnale così ottenuto viene registrato su un supporto analogico.
 - Il suono originale può essere riprodotto interpretando le variazioni delle grandezze fisiche presenti sul supporto (profondità dei solchi o variazione del campo magnetico).
 - Ogni volta che il suono viene registrato c'è sempre un certo errore. Questo errore si propaga fino alla riproduzione dell'audio che sarà diverso rispetto al segnale di partenza. Questo prende il nome di RUMORE.

- **Audio Digitale:**

Un segnale si dice digitale quando è a tempo discreto e valori discreti.

Il suono viene rilevato da un trasduttore che trasforma le onde di pressione in onde elettriche

Il segnale così ottenuto viene pretrattato e mandato ad un convertitore Analogico-Digitale (ADC)

Il formato in cui è memorizzato l'audio viene interpretato e l'output inviato ad un convertitore Digitale analogico

Le variazioni della grandezza elettrica vengono interpretate da un dispositivo per produrre una vibrazione

- **Conversione Analogico-Digitale:**

Richiede il passaggio da domini continui a domini discreti:

- Trasformare un segnale a tempo continuo in uno a tempo discreto;
- Trasformare un segnale a valori continui in uno a valori discreti.

Il primo processo si fa tramite il campionamento, il secondo tramite la quantizzazione e infine la codifica.



1. **Campionamento:** Si descrive cioè il segnale, utilizzando solo un numero limitato di campioni.
2. **Quantizzazione:** Ad ogni valore originale sarà associato un nuovo valore in un insieme discreto di livelli.
3. **Codifica:** Analizza i campioni discreti, li converte in codice binario e quindi permette di allocarli in memoria.

- **Equalizzatore:** è un insieme di filtri passa-banda. Si occupa del bilanciamento delle frequenze di un segnale audio. Permette di attenuare le frequenze in abbondanza e di aggiungere energia dove il segnale è carente
Esistono due tipi di equalizzatori

- **Parametrici**

- Filtri Passa Alto (HPF) = Annulla le basse frequenze
 - Filtri Passa Basso (LPF) = Annulla le alte frequenze
- In questi si hanno due parametri

1. Frequenza
2. Pendenza

- Filtri Low Shelving = Enfatizzano o Attenuano le basse frequenze
 - Filtri High Shelving = Enfatizzano o Attenuano le alte frequenze
 - In questi si hanno tre parametri
 1. Frequenza
 2. Pendenza
 3. Guadagno/Attenuazione in dB
 - Filtri di Peaking = Enfatizzano o Attenuano la frequenza selezionata
 - In questi si hanno tre parametri
 1. Frequenza
 2. Ampiezza
 3. Bandwidth = indica quanto è stretta la campana della curva di Guadagno/Attenuazione
- Grafici = dividono l'intero spettro musicale in più porzioni e l'utente può regolare per mezzo dei regolatori a cursore il livello di quella determinata porzione
 - Filtri Peaking con frequenza e bandwidth fissa.

In particolare l'equalizzatore è utile ai fini dell'auto-tuning perché attua una pulizia del segnale per rendere più chiaro l'effetto di distorsione dell'auto-tune.