



# INFORMATICA MUSICALE

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA**  
**DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA**  
**LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA**  
**A.A. 2019/20**  
**Prof. Filippo L.M. Milotta**

**ID PROGETTO: 13**

**TITOLO PROGETTO:** Perizia informatica fonica

**AUTORE 1:** Barbagallo Maria Lucia

**AUTORE 2:** Allegra Concetta

## Indice

<b>1. Obiettivi del progetto .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Risultati Attesi / Argomenti Teorici Trattati .....</b>	<b>9</b>

# 1. Obiettivi del progetto

## PULIZIA REGISTRAZIONI DAI RUMORI DI FONDO

Le registrazioni audio sono spesso corrotte da vari tipi di rumore o di disturbo. Fra questi i più frequenti sono rumori impulsivi (ad esempio i "click"), rumori a banda larga (il fruscio caratteristico dei nastri magnetici o della superficie dei dischi di vinile) o rumori di tipo armonico (ad esempio i 50Hz della linea).

Esistono numerose tecniche per la "rigenerazione" o "ripulitura" di registrazioni audio corrotte da rumore e lo scopo di questo lavoro è quello di descrivere brevemente alcuni dei principali algoritmi utilizzati in letteratura per questo scopo. Il "ripristino" delle sorgenti degradate di materiale sonoro si è negli anni consolidato.

Ogni elaborazione viene applicata con lo scopo di ottenere una copia esatta, generalmente digitale, del segnale conservato analogicamente sul supporto originale. In questa situazione non si può parlare di vero e proprio "restauro" o "ripristino", ma piuttosto di "trasferimento" dal supporto analogico a quello digitale, conseguenza diretta di questa interpretazione è che tutti i rumori, i sibili, i fruscii, i ronzii presenti sul supporto analogico originale, sono udibili anche nel nuovo supporto digitale.

Successivamente mediante l'applicazione di alcune procedure per la pulizia di tutti i rumori sovrapposti all'esecuzione originale, indotti sul supporto, dall'uso e da vari agenti esterni.

I tre passi fondamentali per una corretta e funzionale "rimasterizzazione" digitale del segnale audio, inteso come il procedimento per giungere ad una copia ottimale di supporti analogici originali, possono essere così riassunti:

- Utilizzare la miglior sorgente analogica disponibile.
- Ottimizzare la riproduzione del suono. Ad esempio, utilizzando opportune equalizzazioni che, senza snaturare la registrazione originale, compensino i disturbi indotti sui supporti analogici dal tempo e dall'usura.
- Convertire il suono su supporto digitale mediante un buon convertitore analogico/digitale (24 bit) ed assicurarsi che i livelli siano correttamente impostati, al fine di evitare saturazioni e distorsioni sul suono risultante.

Sono molte le tecniche di elaborazione applicate sul segnale audio al fine di migliorarne le caratteristiche ed è proprio su queste tecniche che si basano i programmi di pulitura dei segnali audio. Andiamo ad analizzare alcune di queste tecniche.

### • **Compressione d'ampiezza (AC – "Amplitude Compression")**

Questa procedura modifica le ampiezze relative di differenti regioni del segnale al aumentando l'ampiezza nelle regioni più deboli e lasciandola inalterata in quelle più forti. Una piccola quantità di compressione aumenta, ad esempio, l'intelligibilità del segnale vocale quando questo viene presentato in situazioni in cui è simultaneamente presente un elevato rumore di sottofondo.

### • **Eliminazione dei "click" ("DeClick")**

Con il termine "DeClick", ci si riferisce generalmente ad una procedura per l'eliminazione dei disturbi di carattere impulsivo che, mediante tecniche statistiche, si prefigge di eliminare i fenomeni non "in linea" ("outlier") con le normali caratteristiche del segnale audio in esame.

- **Eliminazione di “rumore a banda larga” di tipo statico e predefinito (“DeNoise”)**

Con il termine “DeNoise”, ci si riferisce generalmente ad una procedura per l’eliminazione di un rumore a banda larga le cui caratteristiche principali siano “statiche” e soprattutto note a priori. In una prima fase, si determina il contenuto spettrale del rumore da eliminare e, in una seconda fase, si procede alla sottrazione, da tutto il segnale, dello spettro del rumore precedentemente calcolato. Tale procedura viene definita sottrazione spettrale.

- **Eliminazione di “rumore a banda larga” (“DeHiss”)**

Con il termine “DeHiss”, ci si riferisce generalmente ad una procedura per l’eliminazione di un rumore a banda larga basato su un modello standard del rumore stesso. Questa elaborazione può essere ovviamente applicata quando “l’impronta del rumore” non è disponibile per un qualsivoglia motivo. Qualora, ad esempio, le caratteristiche del rumore sovrapposto varino nel tempo, questa procedura può portare a risultati migliori della tecnica di DeNoise precedentemente illustrata, essendo meno selettiva e anche meno sensibile alle variazioni del profilo del rumore.

- **Eliminazione di “disturbi armonici” (“DeHum”)**

Esistono, invece, dei casi in cui il rumore si presenta come un segnale molto semplice costituito da una somma di sinusoidi a frequenze multiple di una frequenza fondamentale che in genere può essere 50hz , 60hz oppure 1000hz. I rumori di questo tipo vengono chiamati in gergo “hum” e nascono tipicamente da disturbi di tipo elettrico. Con il termine “DeHum”, ci si riferisce generalmente ad una procedura per l’eliminazione di disturbi o rumori di tipo armonico che possono essere facilmente eliminati mediante filtri selettivi in grado di sopprimere il disturbo “portante” e le sue armoniche dominanti.

- **Eliminazione dei disturbi con filtraggio (“Complex-Filtering”)**

Questa procedura si riferisce a tutti quei metodi in cui il “filtro” utilizzato per la ricostruzione del segnale è progettato e personalizzato a piacere dall’utente.

Il filtraggio che è un procedimento derivato dall’equalizzazione, può essere un’operazione che invece di attenuare o aumentare alcune componenti dello spettro di un suono le elimina. In alcuni casi, può modificare in modo rilevante l’identità del suono.

- **Riduzione del rumore a banda stretta**

Per i rumori di tipo HVAC (rumori dovuti ai sistemi di aerazione), o quelli dovuti a vibrazioni, non si può fare molto se non agire sulla banda di frequenze coinvolte e attenuarle. Tuttavia si tratta di una soluzione poco pulita e da adottare in casi estremi in quanto, oltre al rumore, viene attenuato anche il segnale audio che stiamo trattando nella banda selezionata.

Generalmente, il servizio di ripulitura del suono ed eliminazione dei disturbi e rumori eseguito dal perito fonico all’interno delle perizie audio può produrre ottimi risultati, grazie ad elaborazioni eseguite direttamente sugli spettrogrammi a livello di frequenze con filtri specifici per la pulizia del suono. La pulitura dei nastri e miglioramento di registrazioni viene spesso richiesta come perizia fonica in casi d’intercettazioni telefoniche o intercettazioni ambientali disturbate da fruscii o rumori di automobile, voci, vento.

Nel caso in cui una registrazione dovesse risultare con un segnale audio disturbato, occorre procedere al filtraggio audio, con alcune operazioni tecniche sul segnale audio. L’intervento tecnico di filtraggio è un lavoro delicatissimo, quale la verifica del rapporto segnale/rumore, il riconoscimento dei vari rumori e disturbi da eliminare, campionarli e ridurli in modo da ottenere il massimo del guadagno segnale e una gradevole intelligibilità per operare nell’elaborato trascrittivo.

Per questa operazione di filtraggio è indispensabile l'utilizzo di software particolari. Tali software prendono il nome di Editor audio digitale, sono programmi che consente di modificare un segnale audio digitale tra questi i più utilizzati sono: Sound Forge, Amadeus, Felt Tip Sound Studio, Cool Edit, Audacity.

Quanto visto fino ad ora ci porta alla conclusione che il rumore è presente pressoché in ogni circostanza nella quale ci troviamo ad operare, tuttavia è qualcosa che va assolutamente eliminato, o per lo meno ridotto.

Mediante l'operazione di pulizia si separa il "suono" dal supporto che lo conserva e lo trasmette e da eventuali rumori. Si vuole, infatti, poter ascoltare il "documento sonoro" senza tutti i disturbi, indotti dal tempo e dall'uso, che corrompono le registrazioni originali. Si può affermare anche che il restauro viene progettato ed applicato al fine di "ripulire" una registrazione audio. In alcuni casi però, il disturbo che si desidera eliminare è così simile, nelle sue caratteristiche, al suono da restaurare, che deve essere mantenuto per non sacrificare, distorcendole e snaturandole, le parti del suono che desideriamo mantenere.

## **ESTRAPOLAZIONE E TRASCRIZIONE DI INFORMAZIONI SONORE**

La fase di estrapolazione di informazioni sonore segue una prima fase di pre-elaborazione la quale, consiste nel modificare il segnale, in modo da facilitare gli algoritmi di estrazione delle caratteristiche. Ad esempio, riduzione del rumore, con i metodi precedentemente indicati in base alla tipologia del rumore.

I principali metodi di analisi del suono con lo scopo di estrarre informazione dal suono. Lo scopo precedente era quello di ottenere delle rappresentazioni che ne consentissero una completa ricostruzione, senza andare a perdere, per quanto possibile nessuna caratteristica acustica o timbrica del suono. Ora lo scopo è invece quello di estrarre informazione dal suono, allora si vuole scartare tutto quello che non è rilevante al proprio scopo. Si parla allora di estrazione di caratteristiche (feature extraction). I passi principali per la estrazione di informazione sono pre-elaborazione del suono, selezione dei frames mediante finestre, estrazione di caratteristiche, post-elaborazione.

- La prima fase di pre-elaborazione consiste nel modificare il segnale, in modo da facilitare gli algoritmi di estrazione delle caratteristiche. Ad esempio, riduzione del rumore, con i metodi precedentemente indicati in base alla tipologia del rumore.
- Il secondo passo consiste nel dividere il segnale in blocchi (detti frames) parzialmente sovrapposti ed applicare una finestra per ogni blocco, come discusso nei modelli spettrali.
- Il terzo passo consiste nel ricavare, per ogni frame un vettore di caratteristiche con vari algoritmi
- Infine nella fase di post-elaborazione, si scelgono le caratteristiche più significative dal vettore, eventualmente pesandole diversamente, per dare loro maggiore o minor importanza.

Una volta che il perito forense stabilisce le parti fondamentali dell'audio per determinati scopi è necessario trascrivere la registrazione ormai sistemata.

La sbobinatura o trascrizione di un brano "parlato" è la trasposizione dell'oralità in scrittura. Tale fase fondamentale avviene solo dopo aver effettuato l'attività di pulizia del suono e dopo aver estratto le parti fondamentali della registrazione audio, il perito fonico può eseguire perizie di trascrizione di registrazioni (intercettazioni telefoniche o ambientali), tracce audio grazie alla quale viene prodotto un documento contenente le parole e frasi pronunciate dai parlanti, con distinzione del parlante per quanto reso possibile dalla qualità del suono. Il servizio di trascrizione delle registrazioni eseguita dal perito fonico trascrittore è delicata in quanto perizia fonica soggetta a errori soggettivi che si tenta di minimizzare tramite ascolto soggettivo da parte di più collaboratori esperti in ambito di audio forensics ed elaborazione del suono che

permetta di distinguere in modo corretto le lettere pronunciate, consonanti e vocali, distinguendo in caso di ambiguità anche grazie alle frequenze fondamentali e alle formanti. La fattibilità e le tempistiche del servizio di sbobinatura forense o trascrizioni foniche di tracce audio da parte del perito fonico dipende dalla qualità della registrazione da trascrivere.

Non viene utilizzato nessun tipo di trascrizione automatica o software di trascrizione e sbobinatura da parte del perito fonico trascrittore, per la fonotrascrizione audio delle parole e delle frasi pronunciate viene utilizzato personale esperto nel campo linguistico e i periti fonici che eseguono l'attività di sbobinamento del testo presente nelle conversazioni, nelle intercettazioni ambientali o telefoniche.

## COMPARAZIONE VOCALE

La comparazione vocale è uno strumento molto utile in ambito forense in quanto permette di identificare le persone attraverso registrazioni telefoniche o audio in generale.

Dopo aver registrato la voce di un indagato (ricavabile da una registrazione telefonica, audio o ottenuta attraverso un saggio fonico di alta qualità effettuabile attraverso una registrazione vocale apposita sull'indagato) si procede con il riconoscimento del parlatore:

viene confrontata la voce nota dell'indagato con la voce di un parlatore anonimo registrata, a sua volta, in un'intercettazione telefonica o ambientale.

La valutazione relativa al riconoscimento di un parlante non può essere una assoluta e certa: dato il numero di variabili presenti nella registrazione e trattandosi in ogni caso di valutazioni biometriche e statistiche che presentano sempre una certa probabilità di errore, non si può garantire una certezza assoluta. Il tecnico non dovrebbe quindi esprimere una valutazione netta ma piuttosto dare un **supporto alle ipotesi**

Esistono tre metodi di comparazione vocale:

### 1) METODO SOGGETTIVO

Il metodo soggettivo è basato sulla capacità uditiva dell'orecchio umano di distinguere e riconoscere suoni di diversa origine.

Tale metodo prevede un esame di ascolto, eseguito da un tecnico avente un udito ben addestrato a tale scopo ed effettuato attraverso cuffie e apparati audio professionali, in un ambiente insonorizzato.

Tuttavia, il metodo soggettivo è considerato poco affidabile a causa, appunto, della sua soggettività: i risultati ed i giudizi che da esse derivano sono fortemente influenzati dalla valutazione data dal tecnico, basandosi a sua volta, unicamente sulle proprie capacità sensoriali.

Spesso, ad esso, viene associato un apposito software che permette di associare all'ascolto, un'analisi spettrografica, dando al tecnico la possibilità di aiutarsi anche visivamente, oltre che uditivamente, nell'analisi del suono.

### 2) METODO SEMI-AUTMATICO

è compito del tecnico andare a stabilire la porzione di audio, detta finestra di acquisizione, in cui risulta essere più efficace la comparazione vocale, tramite l'utilizzo di opportuni programmi.



Tra questi software, alcuni vengono utilizzati per digitalizzare il segnale audio.

LPC è uno di questi e basa il suo algoritmo sull'assunzione che una voce sia calcolabile come la modulazione delle corde vocali effettuata dall'apparato fonatorio.

Tale metodo si basa, in particolare, sulle formanti.

Con formante si intende una frequenza di risonanza attorno alla quale un suono spettralmente ricco mostra un picco di ampiezza.

Attraverso l'utilizzo del software, si procederà al campionamento dei suoni vocalici e ad analizzare le componenti formanti.

Le formanti da analizzare saranno solo le prime 4, dato che le successive avranno un alto rischio d'errore.

Le **frequenze formanti** ( $f_0$ ,  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ) sono frequenze dovute alla struttura delle corde vocali e alle risonanze del tratto vocalico e dell'apparato fonatorio.

La varietà di configurazioni dell'apparato fonatorio è la causa dei differenti formati esistenti:

- la fondamentale ( $f_0$ ) è legata alla struttura della cavità faringea e delle corde vocali

- la ( $f_1$ ) dipende dall'angolo di apertura mandibolare

- la ( $f_2$ ) è legata alla posizione della lingua che modifica il tratto faringeo

Segue la misurazione dei campioni vocalici:

viene dapprima creata una selezione di almeno 10 campioni per ognuno dei 7 foni vocalici principali (a, é, è, i, o, ò, u).

Ovviamente, bisogna tenere in considerazione il fatto che una lingua diversa dall'italiano prevede foninaggi diversi, dovendosi da quelli presenti nella nostra lingua.

Per ciascun nodo, dopo aver misurato tutti i valori dei campioni, si calcola poi una media delle formanti fondamentali.

I valori medi ottenuti dall'analisi del parlatore noto (indagato) e dall'analisi del parlatore anonimo (prova audio), vengono poi confrontati.

A tale confronto verrà aggiunta un'ulteriore analisi derivante da test statistici effettuati sui valori misurati e volti a stabilire se le eventuali differenze emerse tra i campioni rilevati siano o meno significative.

Il metodo semiautomatico è sicuramente più affidabile di quello soggettivo in quanto è possibile calcolare più facilmente la probabilità di errore e la sua affidabilità.

### 3) METODO TOTALMENTE AUTOMATICO

Questo metodo prevede l'utilizzo di un software di comparazione biometrica vocale automatica.

Un software del genere, fa uso di algoritmi molto sofisticati al fine di confrontare e stabilire un eventuale corrispondenza tra la voce del parlatore anonimo con la voce del parlatore noto.

Questi software risultano essere molto utili quando la perizia fonica riguarda una notevole quantità di file oppure quando sono da eseguire comparazioni incrociate tra più registrazioni, avendo infatti la possibilità di aggiungere diversi file audio.

I risultati della comparazione sono costituiti, come per i normali sistemi biometrici, dai valori di: uguaglianza (*Matching*), falsa esclusione (*FR*) e falsa accettazione (*FA*).

## VERIFICA DI EVENTUALI MANIPOLAZIONI SU FILE AUDIO

Il perito fonico ha anche il compito di verificare e certificare l'originalità di una registrazione ed escluderne la presenza di eventuali manomissioni o di eventuali disturbi, con gradi di approssimazione variabili in base alla qualità del suono, alla frequenza di campionamento, alla profondità del segnale.

Ciò è possibile grazie all'analisi delle frequenze, dei rumori di fondo ma anche all'analisi della tipologia dei rumori e alla loro collocazione temporale.

Dopo aver acquisito la registrazione ed essere risaliti alla fonte della catena di conservazione, metadati, filesystem e tutto ciò che è contenuto all'interno e all'esterno del file audio da autenticare, si procede con l'autenticazione:

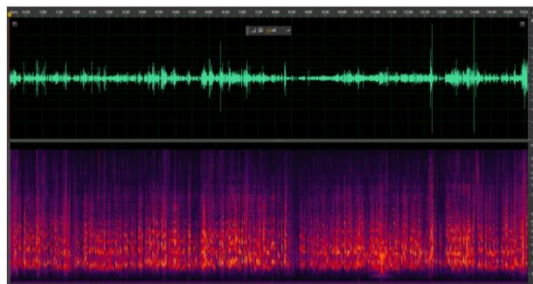
Il perito audio esegue quindi attività di verifica dell'originalità del file audio tramite analisi delle frequenze congiunta con una verifica sullo stato globale del "contenitore" che racchiude la registrazione.

Ovviamente, la verifica di autenticità di un file audio viene eseguita mediante software professionali e conoscenze maturate con l'esperienza.

In particolar modo, verranno attenzionate:

- Caratteristiche tecniche audio:
  - Verificare che lo spettrogramma presenti caratteristiche omogenee nel tempo
  - ricercare la presenza di eventuali anomalie nello spettrogramma
  - controllare che i rumori di fondo si mantengano costanti nel tempo
  - verificare la presenza di interruzioni del segnale oppure momenti anche brevissimi di silenzio assoluto nell'audio.
- Caratteristiche logiche e psicoacustiche:
  - Controllare che la conversazione prosegue in modo logico durante il corso della registrazione
  - Verificare se l'acustica dell'ambiente registrato (riverbero ambientale) si mantiene costante nel tempo
    - Caratteristiche tecniche informatiche:

Forma d'onda e spettrogramma di un file:



Metadati di un file:

Nome completo :	Recording.m4a
Formato :	MPEG-4
Profilo formato :	Apple audio with iTunes info
ID codec :	M4A (M4A/mp42/Isom)
Dimensione :	7,17MiB
Durata :	15 min 36s
Modo bitrate generale :	Costante
Bitrate totale :	64,3 kb/s
Data registrazione :	2018-05-21T19:35:51+0200
Data codifica :	UTC 2018-05-21 17:53:47
Data :	UTC 2018-05-21 17:53:48
Creato con :	com.apple.VoiceMemos (iPhone OS 7.1.2)
ID :	1
Formato :	AAC
Formato/Informazioni :	Advanced Audio Codec
Profilo formato :	LC
ID codec :	mp4a-40-2
Durata :	15 min 36s
Modalità bitrate :	Costante
Bitrate :	64,0 kb/s
Canali :	2 canali
Channel(s)_Original :	1 canale
Posizione canali :	Front: C
Frequenza campionamento :	44,1 kHz
Frame rate :	43,066 FPS (1024 SPF)
Modo compressione :	Con perdita
Dimensione della traccia :	7,02MiB (98%)
Titolo :	Core Media Audio
Data codifica :	UTC 2018-05-21 17:53:47
Data :	UTC 2018-05-21 17:53:48

- Verificare se esiste la possibilità di effettuare e certificare l'acquisizione forense del file audio direttamente dal dispositivo originale di registrazione
- Verificare se è chiara e documentata la catena di custodia del file audio
- Analizzare i metadati del file audio e vedere se fa emergere anomalie o è in linea con quanto ci si aspetterebbe dal dispositivo di registrazione

## 2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici

- <https://www.dalchecco.it/servizi/perizie/perizia-fonica/>
- <https://www.michelevitiello.it/comparazione-vocale/>
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Riconoscimento\\_vocale](https://it.wikipedia.org/wiki/Riconoscimento_vocale)

Abbiamo preso in considerazione tali siti in quanto essi trattavano in modo abbastanza accurato il vari obbiettivi scelti per il progetto.



### 3. Risultati Ottenuti / Argomenti Teorici Trattati

#### **RUMORE**

Con il termine rumore si indica l'insieme di quei suoni imprevedibili e indesiderati, che sommati agli altri li modifica e perciò è necessario liberarsene o attenuarlo. Esistono molti tipi di rumore e molte sono le cause che lo generano. Per ciascuno di essi, quindi, vengono adottate soluzioni diverse per permetterne la rimozione, o per lo meno l'attenuazione. Tuttavia si possono distinguere particolari onde sonore con uno spettro ben noto; questi sono chiamati rumori. In realtà questi rumori vengono studiati e utilizzati in maniera vantaggiosa. In particolare analizziamo il rumore: bianco, rosa, marrone, blu, viola e grigio.

#### **Il rumore a banda larga**

Per questo tipo di rumore, la banda coinvolta è teoricamente infinita. Per ovvie ragioni, si considera solo lo spettro teorico delle frequenze udibili, cioè l'intervallo 20Hz - 20KHz. Per questa tipologia di rumore considereremo:

- Il rumore termico;
- Il rumore bianco;
- Il rumore rosa;
- Il rumore marrone;
- Il rumore viola;

#### **Il rumore termico**

Questo rumore è generato dal calore insito in qualsiasi componente elettronico durante il funzionamento. Il calore fa sì che all'interno del componente si verifichino delle collisioni di elettroni in tutte le direzioni e a tutte le velocità, generando delle correnti a tutte le frequenze audio. Le intensità di queste correnti, sono mediamente costanti in quanto la direzione delle collisioni è assolutamente casuale. Il rumore termico aumenta con la temperatura in quanto aumenta con essa l'energia cinetica associata alle particelle.

#### **Il rumore bianco**

Per rumore bianco intendiamo un rumore di ampiezza costante su tutto lo spettro di frequenza e con valori di ampiezza casuali rispetto al tempo. In sostanza si tratta di un rumore termico, solo che in questo caso si intende un rumore generato artificialmente allo scopo di poter effettuare dei test. Infatti, per vedere il comportamento di un componente audio (per esempio del canale di un mixer) si invia in ingresso un rumore bianco e si esamina il segnale di uscita. L'obiettivo affinché il test abbia esito positivo, sarà quello di ottenere un segnale in uscita mediamente costante a tutte le frequenze. In questo caso diremo che il componente è affidabile a tutte le frequenze. Solitamente il rumore bianco viene usato per i test sui componenti elettronici. Il rumore bianco produce un suono piuttosto "brillante" e per questo, essendo l'orecchio umano più suscettibile alle alte frequenze, non risulta molto rilassante. E' efficace per mascherare altri suoni e in particolari circostanze è indicato per provocare allucinazioni uditive.

## **Il rumore rosa**

Il [rumore rosa](#) ha una prevalenza dell'ampiezza (e quindi dell'intensità) delle armoniche a bassa frequenza. Esso può essere ottenuto dal rumore bianco con un'apposita azione di [filtro](#) delle alte frequenze. L'intensità di tale rumore decresce nel passaggio da un'ottava all'altra come l'inverso della frequenza. Ciò significa che essa dimezza nel passaggio da un'ottava all'altra (in [scala logaritmica](#) ciò equivale ad una attenuazione di 3 dB). Il rumore rosa suona più naturale degli altri rumori ed è molto rilassante. Lo troviamo spesso in Natura e suona come la pioggia, le cascate d'acqua, le onde dell'oceano, ecc. Spesso si usa per "ambienti" musicali elettronici e come segnale test per "accordare" il rinvigorimento dei sistemi sonori (molti equalizzatori e analizzatori di spettro audio hanno generatori di rumore rosa).

## **Il rumore marrone**

il rumore marrone che ha un andamento simile al rumore rosa salvo per il fatto che si ha una caduta di 6 dB (invece di 3 dB) per ogni raddoppio di frequenza. E' un genere di rumore che sta a metà tra il rumore bianco e quello rosa, contiene una grande quantità di basse frequenze ed è il suono tipico, ad esempio, il fragore delle cascate d'acqua.

## **Il rumore blu**

Questo rumore è praticamente il complementare del rumore rosa. Esso mostra una prevalenza delle alte frequenze con un incremento delle intensità di 3dB per ottava. Ovviamente esso viene ottenuto con un azione di [filtro](#) delle basse frequenze. Suona come una sorta di sibilo, stridulo e artificiale.

## **Il rumore viola**

È il complementare del rumore marrone con una forte prevalenza dell'intensità delle alte frequenze. L'intensità cresce di 6 dB per ottava. L'effetto sibilante è ancora più fastidioso che nel rumore blu.

## DIGITALIZZAZIONE

Alla base di una perizia fonica deve necessariamente essere dapprima eseguita una digitalizzazione del segnale sonoro da dover analizzare, per poi poter eseguire le varie analisi del segnale stesso.

Un segnale è detto digitale quando è a tempo discreto con valori discreti.

Il segnale sonoro può essere descritto da un audio digitale attraverso un insieme di istanti di tempo, dove, a ciascun istante, viene associato un certo valore di ampiezza appartenente ad un numero finito di valori di ampiezza.

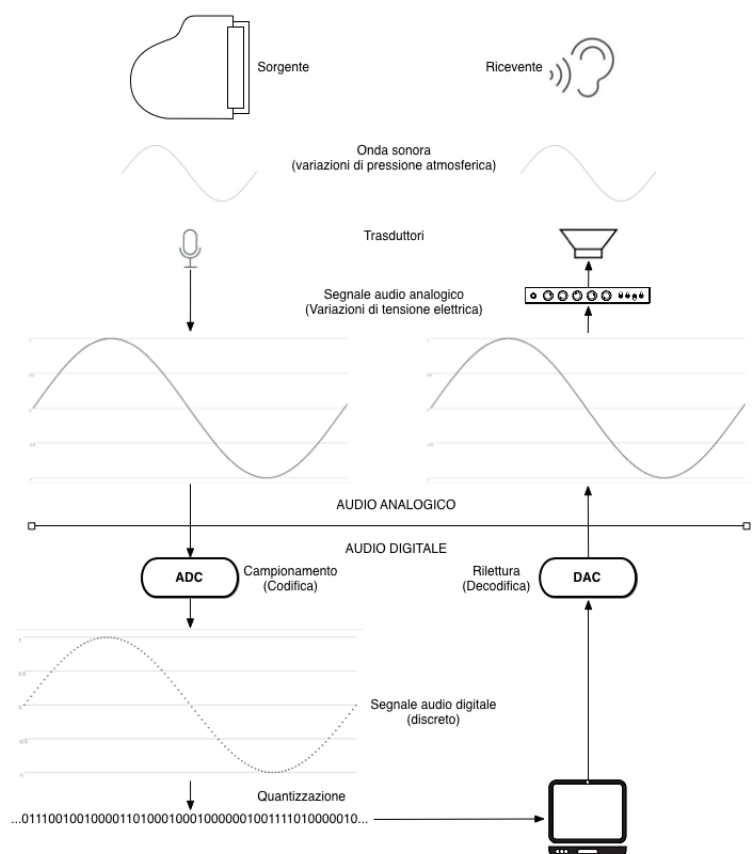
Partendo da un segnale sonoro, lo si può digitalizzare attraverso le seguenti fasi:

1) Un trasduttore trasforma le variazioni di pressione (che caratterizzano il segnale sonoro) in variazioni di tensione (onde elettriche).

2) Un convertitore Analogico-Digitale (ADC) converte il segnale prima ottenuto. L'uscita dell'ADC sarà un segnale digitale!

3) Viene scelto un formato per rappresentare il segnale digitale così ottenuto, per poi salvarlo in memoria di massa.

Ovviamente, a partire da un segnale digitale è possibile risalire al corrispondente segnale sonoro:



1) Si interpreta il formato con cui è stato salvato l'audio

2) Si invia l'output ad un convertitore digitale-analogico (DAC)

3) Un apposito dispositivo (come le casse audio) interpreta il segnale elettrico ottenuto come output del DAC, produce vibrazioni che sono alla base dell'onda sonora.