



AUDIO PROCESSING

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2021/22
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: <0A>

TITOLO PROGETTO: <Connessioni Wireless>

AUTORE 1: <Cocuzza Angelo>

AUTORE 2: <Basile Lorenzo >

AUTORE 3: <Catanesi Luca >

Sommario

1. Obiettivi del progetto	2
2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici	6
3. Risultati Ottenuti / Argomenti Teorici Trattati	6

1. Obiettivi del progetto

Introduzione Generale alle varie tipologie di connessione Wireless

Wireless (dall'inglese senza fili) è un termine utilizzato in informatica e telecomunicazioni per indicare una comunicazione tra dispositivi elettronici che non fa uso di cavi. Per estensione sono detti wireless i rispettivi sistemi o dispositivi di comunicazione che implementano tale modalità di comunicazione.

I sistemi tradizionali basati su connessioni cablate sono invece detti **wired**.

Generalmente il wireless utilizza onde radio a bassa potenza; tuttavia, la definizione si estende anche ai dispositivi, meno diffusi, che sfruttano la radiazione infrarossa o il laser. La comunicazione e i sistemi wireless trovano diretta applicazione nelle reti wireless di telecomunicazioni, fisse e mobili e più in generale nelle radiocomunicazioni.

Tipologie di reti wireless

Le tipologie di rete wireless possono essere:

- WPAN (Wireless Personal Area Network), a livello domestico
- WLAN (Wireless Local Area Network) propriamente dette come il Wi-fi.
- WAN (Wide Area Network)
- BWA (Broadband Wireless Access), che sta conoscendo grande diffusione grazie alla tecnologia WiMAX

A queste si aggiungono:

- Reti Cellulari radiomobili come GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE.
- Reti satellitari

I principali standard di riferimento sono:

- Bluetooth per la connessione computer-periferiche (usato anche per connessioni tra telefoni cellulari);
- IEEE 802.11 per le reti WLAN (vedi Wi-Fi);
- HIPERLAN;
- IEEE 802.16 per le reti metropolitane W-MAN;
- GPRS, EDGE, UMTS, LTE per la trasmissione dati sulla rete telefonica cellulare GSM (e successive evoluzioni);
- HSDPA per la trasmissione di dati ad alta velocità su reti cellulari radiomobili;
- LMDS per la trasmissione digitale dei canali televisivi

le tecniche di comunicazione in modalità wireless sfruttano vari standard di trasmissione dello **spettro elettromagnetico**.

Il Bluetooth

Il **Bluetooth** è una tecnologia wireless standard per l'interscambio di dati in forma digitale a breve distanza, può offrire la capacità di trasmettere grandi quantità di dati quali musica o voce. In altre parole, due ricevitori/trasmittitori radio UHF si scambiano dati a una distanza di alcuni metri, circa una decina per il Bluetooth 1.0 e 2.0. La portata di un normale dispositivo Bluetooth è limitata a circa 9-10 metri per la ridotta potenza dei ricevitori/trasmittitori, e anche per la eventuale presenza di ostacoli che si trovano tra i due apparecchi.

lo standard Bluetooth utilizza la banda radio a onde corte (UHF) sulle frequenze che vanno dai 2.4 GHz ai 2.485 GHz e si avvale di un approccio master/slave: Il dispositivo **master** è quello che crea la rete PAN, mentre il dispositivo **slave** è quello che resta “in ascolto” nell’attesa di essere aggiunto e, se posto in modalità **rilevabile**, invia a intervalli regolari dei “segnali” per notificare la sua presenza ai master limitrofi.

Il Wi-Fi

Il WiFi è una tecnologia che consente il collegamento tra diversi dispositivi in base allo standard IEEE 802.11 e successivi upgrade (a, b, g, n, etc). Si crea in questo modo una **rete locale wireless di interscambio dei dati**, che può essere a sua volta collegata alla rete internet. **Tutti i dispositivi predisposti, computer, cellulari, tablet e altri, possono accedere alla rete WiFi** e ricevere o inviare dati. Dal punto di vista tecnico, una rete WiFi ha una struttura simile a quella di una rete cellulare locale.

Il Wi-Fi è una tecnologia estremamente interessante per le applicazioni nelle immediate vicinanze di router WLAN.

Il vantaggio principale del Wi-Fi è che questa tecnologia è in grado di usare non solo la banda di frequenze attorno a 2,4 GHz ma anche la banda da 5 GHz, che consente di raggiungere velocità di trasmissione dati molto elevate, fino a oltre 1 GBit/s (IEEE 802.11ac). Se si usano più antenne contemporaneamente per inviare e ricevere dati - **il principio MIMO** (Multiple Input, Multiple Output) - è persino possibile ottenere velocità di trasmissione ancora superiori, teoricamente fino a 6,933 Mbit/s.

il Wi-Fi assicura ancora una velocità molte volte superiore rispetto ai circa 1-3 Mbit/s offerti dal Bluetooth.

In termini di raggio operativo, le soluzioni Wi-Fi si comportano in modo simile alle soluzioni Bluetooth tradizionali che trasmettono con un segnale in uscita permesso massimo di +18 - + 20 dBm, il che significa che un router normalmente coprirà del tutto un intero appartamento o una singola abitazione unifamiliare

Tecnologie utilizzate per la connessione wireless

Le reti locali Wireless possono utilizzare come mezzo trasmissivo le onde radio, la luce infrarossa o i sistemi laser.

- **Le onde radio** vengono utilizzate dalle reti tipo Wi-Fi cioè reti che devono coprire ambienti eterogenei dove le diverse postazioni da collegare non sono necessariamente visibili; infatti, possono essere separate da muri o da intercapedini.
- **Le reti basate su infrarossi** vengono utilizzate per collegare dispositivi visibili direttamente, sono lente, spesso utilizzano dispositivi dedicati che essendo caduti in disuso, sono stati sostituiti quasi totalmente dai dispositivi **Bluetooth**.
- **Le reti basate su Laser** vengono utilizzate normalmente per collegare sottoreti costruite utilizzando altre tecnologie. Il Laser viene utilizzato per la sua elevata velocità di trasmissione. Un tipico esempio è il collegamento delle reti di due edifici vicini. Il laser ha il problema di essere sensibile alle condizioni esterne e alle vibrazioni; infatti, anche queste tipologie di dispositivi sono considerate in disuso e quasi sempre sostituiti da collegamenti via onde radio.

Come ascoltiamo la musica grazie a wi-fi e bluetooth

Con la diffusione dei **lettori portatili** e degli **smartphones** in grado di riprodurre e memorizzare qualsiasi tipo di file audio o video, negli ultimi anni sono notevolmente aumentate le vendite di **casse bluetooth** o



WiFi, collegabili a qualsiasi dispositivo mobile dotato di connettività senza fili. Questi **piccoli altoparlanti**, oltre alla connettività wireless, sono predisposti anche per un ingresso audio tramite classico cavo stereo analogico, in genere mini-jack da 3,5mm, possono quindi funzionare in realtà con qualsiasi sorgente audio esterna.

Le **casse WiFi** sono un particolare tipo di casse acustiche **senza fili** che utilizzano il router WiFi domestico per trasmettere la musica



Le casse **WiFi** sono simili alle comuni casse Bluetooth (come quelle che vedi nella foto) ma il sistema di trasmissione della **musica WiFi** è completamente differente, ma soprattutto di **altissima qualità**.

Nel sistema Bluetooth il collegamento con la cassa è diretto con lo smartphone, mentre le **casse WiFi** una volta configurate all'interno della tua abitazione diventano **indipendenti dal cellulare**.

Il rapido sviluppo della tecnologia consente di produrre dispositivi fino a poco tempo fa inimmaginabili. Ad esempio, la miniaturizzazione dei circuiti e delle batterie ha reso possibile la costruzione di auricolari wireless di dimensioni estremamente ridotte.

I vantaggi di utilizzare gli auricolari senza fili sono molti: assenza di fastidiosi cavi che si impigliano un po' ovunque, leggerezza estrema, dimensioni minime, discreti e poco visibili, durata di diverse ore in riproduzione (per i modelli recenti), possibilità di allontanarsi anche di vari metri dalla sorgente audio. Non tutti sanno che in realtà qualsiasi genere di cuffia può diventare wireless Bluetooth semplicemente collegandola a un **ricevitore Bluetooth** a batteria, acquistabile per pochi euro.



I vantaggi di questa semplice soluzione per creare cuffie wireless sono ad esempio la possibilità di utilizzare le cuffie preferite, di alta qualità o anche vintage, per ascoltare musica senza cavo proveniente anche da un impianto vintage. Collegando il cavo della cuffia al ricevitore Bluetooth, che si può tenere in tasca, si trasforma la vecchia cuffia anni '70 in wireless. Anche le cuffiette classiche in dotazione ai vari cellulari (ultimamente un po' meno disponibili) possono essere trasformate in cuffie Bluetooth sempre con questo metodo.

Anche per i ricevitori Bluetooth, tuttavia, permane quasi sempre il problema della batteria. Quando perde efficacia spesso non si può sostituire e si deve buttare tutto il ricevitore.

2. Metodo Proposto / Riferimenti Bibliografici

[https://it.wikipedia.org/wiki/Wireless#Tipologie di reti wireless](https://it.wikipedia.org/wiki/Wireless#Tipologie_di_reti_wireless)

<https://youtu.be/4MDPggtAk6o>

<https://www.aranzulla.it/bluetooth-come-funziona-1044984.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=3MUstQxdI34>

<https://www.altriprodotti.com/casse-bluetooth/>

https://www.ilsoftware.it/articoli.asp?tag=WIFI-bande-frequenze-canali-e-stream-Cosa-c-e-da-sapere_23039

3. Risultati Ottenuti / Argomenti Teorici Trattati

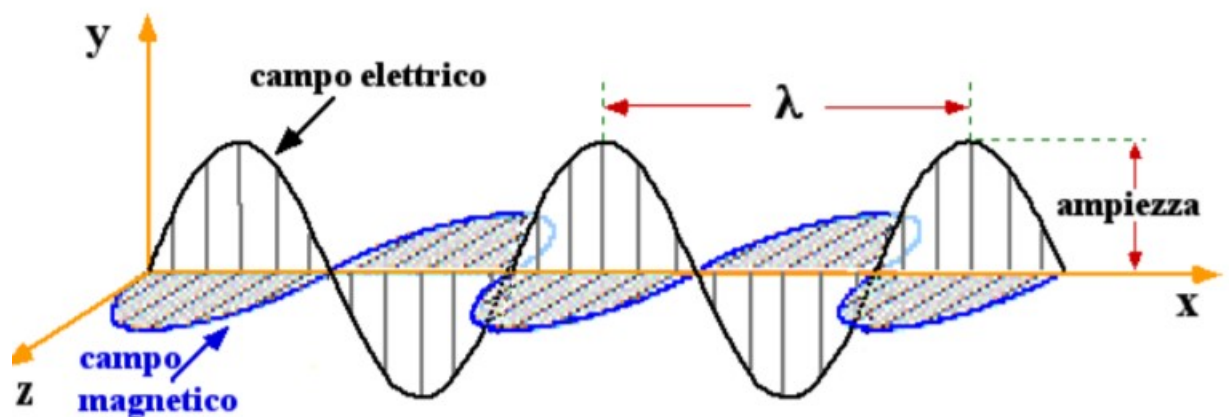
Onde elettromagnetiche

L'era dell'informazione digitale è interamente fondata sulla fisica delle onde elettromagnetiche: in ogni istante della nostra giornata siamo totalmente immersi nelle radiazioni elettromagnetiche che ci arrivano da un'infinità di sorgenti:

- **dal Sole** e dalle altre stelle dell'Universo arriva radiazione visibile (luce) ed infrarossa, prodotta dalla fusione dei nuclei d'idrogeno in nuclei di elio } dalle antenne trasmittenti arrivano onde delle televisioni, delle radio, dei telefoni cellulari, prodotte da cariche elettriche che oscillano nelle antenne trasmittenti;
- **dai corpi caldi** e da qualunque sorgente luminosa arrivano onde elettromagnetiche emesse da vibrazioni atomiche e dai salti quantici degli elettroni negli atomi;
- **dalle sostanze radioattive** (uranio, plutonio) nel suolo provengono radiazioni di alta energia (raggi gamma, raggi X) Queste onde, apparentemente così diverse, sono in realtà tutte onde elettromagnetiche, e differiscono tra loro soltanto per la frequenza!!

Un'onda elettromagnetica è l'insieme di un **campo elettrico E** e di un **campo magnetico B** perpendicolari tra loro, che viaggiano accoppiati nello spazio con velocità $c = 300000 \text{ Km/s}$ I campi oscillano nello spazio in modo sinusoidale; ovvero la direzione è fissata ma il modulo (ampiezza) ed il verso del campo disegnano una sinusoide lungo l'asse di propagazione:

- I **campi E** e **B** hanno uguale frequenza e sono in fase tra loro;
- La **direzione dei campi E** e **B** è sempre perpendicolare alla direzione di propagazione (per questo l'onda elettromagnetica è detta TRASVERSALE);
- L'onda elettromagnetica non trasporta massa ma solo **ENERGIA**;
- L'onda elettromagnetica **interagisce con la materia**: può essere assorbita oppure emessa da una qualsiasi particella carica in moto accelerato, oppure da un elettrone che transita da un guscio atomico all'altro.

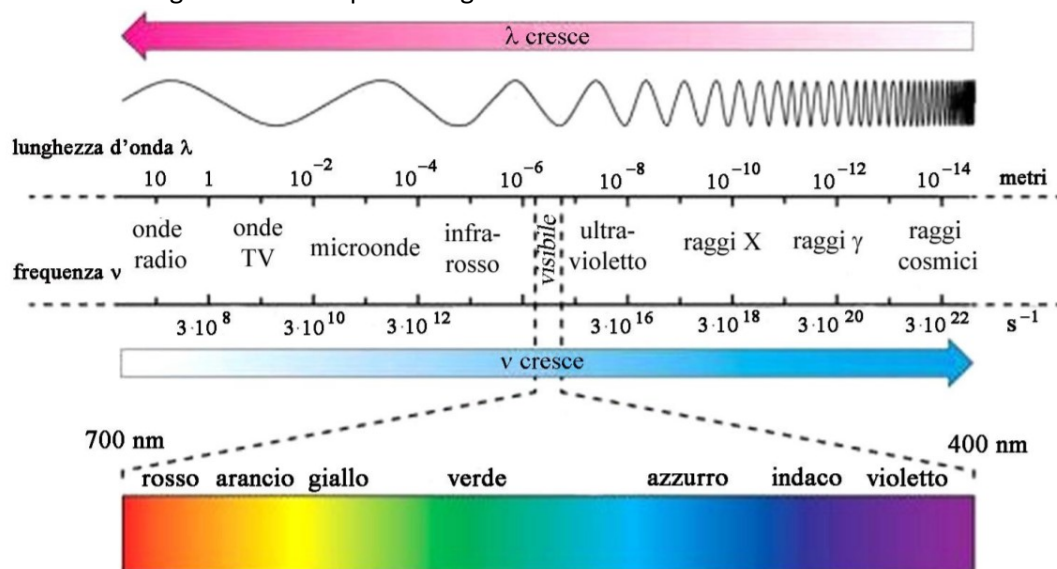


Le caratteristiche più importanti che identificano un'onda elettromagnetica piana sono:
velocità di propagazione: nel vuoto $c = 300\,000\text{ Km/s}$ (la velocità della luce)

- **lunghezza d'onda λ** ("lambda"): distanza tra due picchi consecutivi dell'onda;
- **frequenza f** : numero di oscillazioni compiute in un secondo (si misura in Hertz: un Hertz è l'inverso di un secondo);
- **ampiezza** del campo oscillante: l'energia trasportata dall'onda è proporzionale al modulo quadro del campo elettrico E^2 .

Lo Spettro Elettromagnetico

Chiamiamo **spettro elettromagnetico** l'insieme ordinato delle onde elettromagnetiche classificate in ordine di frequenza crescente (e di conseguenza lunghezza d'onda decrescente). Le onde elettromagnetiche visibili all'occhio umano rappresentano una piccolissima porzione di tutte le onde elettromagnetiche che è possibile generare ed utilizzare.



Filtri

Nell'elaborazione dei segnali si può verificare che un segnale $x(t)$ è costituito dalla sovrapposizione, cioè dalla somma di due segnali: $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$ dei quali il primo è un segnale utile, cioè portatore di informazione, mentre il secondo rappresenta solo un disturbo ineliminabile alla fonte, in questi casi quindi è fondamentale riuscire a discriminare il segnale dal disturbo. Quindi in ambito frequenziale è possibile

separare il segnale utile dal disturbo utilizzando un Sistema Lineare Stazionario con risposta in frequenza opportuna, questi sistemi si chiamano filtri.

I **filtri**, nel mondo dell'audio, si dividono in due categorie: **Filtri Semplici** e **Filtri Composti**.

La loro funzione è quella di **attenuare le frequenze** che vogliamo eliminare o, almeno, renderle meno presenti.

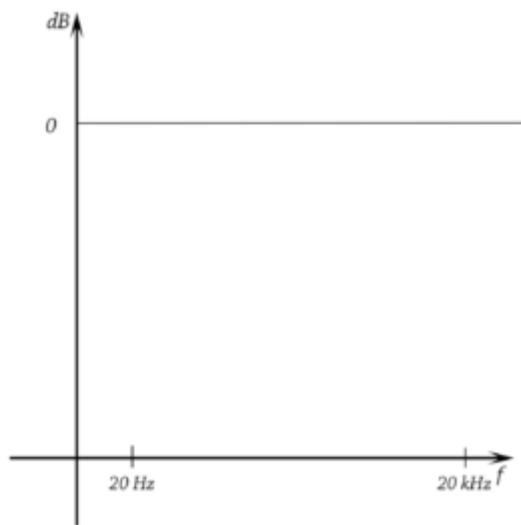
Filtri Semplici

I **filtri semplici** sono il punto di partenza dei **filtri composti**, ne abbiamo due tipi:

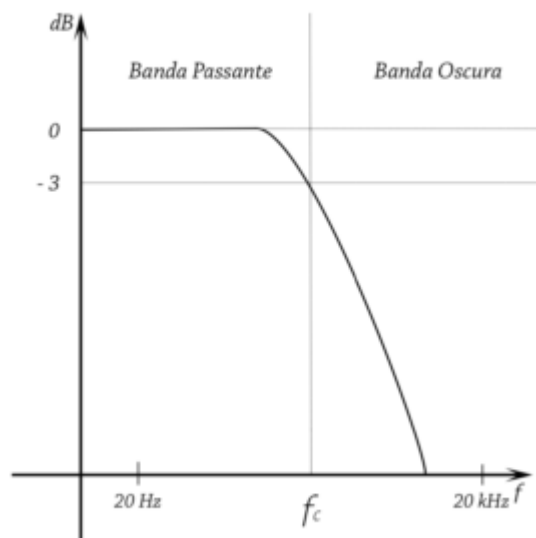
- **Filtro Passa Basso** (Low Pass Filter) o **Filtro Taglia Alto** (High Cut Filter)
- **Filtro Passa Alto** (High Pass Filter) o **Filtro Taglia Basso** (Low Cut Filter)

Ma, cosa fanno?

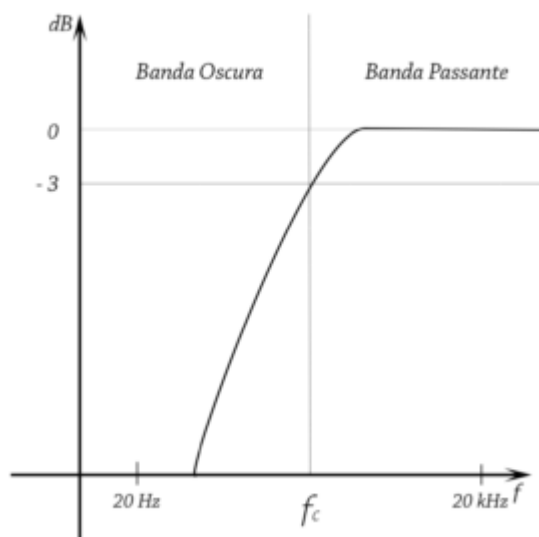
Immaginiamo di avere un **rumore bianco**, quindi un suono con tutte le frequenze alla stessa ampiezza.



Ora vogliamo **tagliare le frequenze più alte** perché c'è un fruscio fastidioso che vogliamo eliminare. In questo caso useremo un **LPF** (Filtro Passa Basso).



Se invece vogliamo **tagliare le basse frequenze**, perché c'è il condizionatore che rovina la nostra registrazione, useremo un **HPF** (Filtro Passa Alto).



Tutto quello che dobbiamo fare è decidere **da quale frequenza vogliamo iniziare a tagliare**, lo possiamo fare dando un valore al **Cutoff** (in italiano “Frequenza di Taglio”) che nelle immagini è rappresentato da **f_c**. La zona dove le **frequenze rimangono nel loro valore di ampiezza** si chiama “**Banda Passante**”, mentre la zona con le **frequenze attenuate** si chiama “**Banda Oscura**”, queste due zone vengono separate appunto dal **Cutoff**.

Il **Cutoff** avrà sempre un’attenuazione di **-3 dB**, questo perché non potremo mai andare istantaneamente da un valore “1” a un valore “0”. Questa cosa dobbiamo ricordarla bene, soprattutto se vogliamo calcolare esattamente l’attenuazione di una certa ottava nella Banda Oscura.

A proposito, **quant’è l’attenuazione** delle frequenze tagliate fuori?

Di base, l’**attenuazione delle frequenze nella Banda Oscura** è di **-6 dB per ottava** (es. Cutoff = 500 Hz | 1000 Hz = -6 dB / 2000 Hz = -12 dB), ma questo dipende dall’**ordine del filtro**.

Ordine Del Filtro

L’**ordine del filtro** non fa altro che indicarci la **pendenza** che vogliamo dare alla **curva di attenuazione**, in pratica attenua **-6 dB per ottava** in più per ogni ordine. (riprendendo l’esempio precedente con un filtro del secondo ordine Cutoff = 500 Hz | 1000 Hz = -12 dB / 2000 Hz = -24 dB)

Nei **filtri analogici** abbiamo **4 ordini standard**:

dB / Ottava	Ordine del Filtro	Numero di Poli
-6 dB	Primo	1
-12 dB	Secondo	2
-18 dB	Terzo	3
-24 dB	Quarto	4

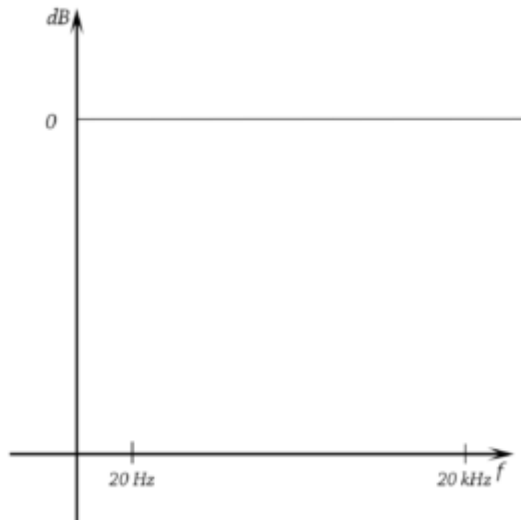
Il **numero dei poli** si riferisce all’equazione del circuito del filtro, in base al numero dei suoi componenti. Ci basta sapere che **ogni volta che il numero dei poli aumenta di uno la pendenza aumenta di -6 dB per ottava**.

Con i **filtri digitali** abbiamo degli algoritmi che possono arrivare anche a un filtro del **sesto ordine**.

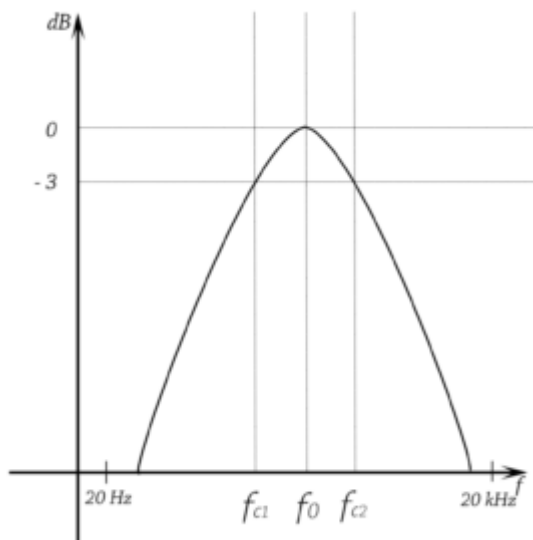
Filtri Composti

Se utilizziamo contemporaneamente i due filtri semplici possiamo ottenere altre due tipe di filtri composti: **Filtro Passa Banda** (Band Pass) e **Filtro a Reiezione di Banda** (Notch o Band Reject).

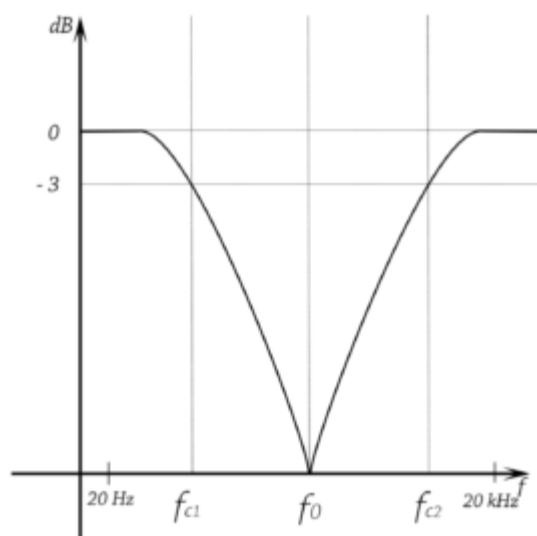
Prendiamo come esempio il **rumore bianco**.



Se vogliamo **mantenere un certo intervallo di frequenze ed escludere le altre**, abbiamo bisogno del **Filtro Passa Banda** (Band Pass).



Mentre se vogliamo **escludere un certo intervallo di frequenze e mantenere le altre**, avremo bisogno del **Filtro a Reiezione di Banda** (Notch o Band Reject).



Questa tipologia di filtri ha **due Cutoff** (essendo due filtri) che indichiamo come **fc1** e **fc2**, anche in questo caso c'è una perdita di **-3 dB** su ogni **Cutoff**. I valori di questi sono sempre **equidistanti** da **f0**.

Nel caso del **Filtro Passa Banda** (Band Pass) l'**f0** indica l'**unica frequenza che non ha perdita in ampiezza**, al contrario, nel **Filtro a Reiezione di Banda** (Notch o Band Reject), l'**f0** indica l'**unica frequenza che perde totalmente ampiezza**.

La **pendenza** delle curve di attenuazione è data dal **fattore di merito Q** (Q factor o Quality) che

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f_c}$$

possiamo **calcolare** in questo modo:

I filtri hanno svariati compiti, vediamo alcuni esempi:

- **Pulizia da rumori o fruscii**: se vogliamo eliminare i disturbi dei circuiti sulle basse frequenze, usiamo un **Filtro Passa Alto**, o viceversa per un fruscio fastidioso sulle alte usiamo un **Filtro Passa Basso**.
- **Demasking**: Nel mix di un brano abbiamo più tracce audio di vari strumenti, per renderlo più pulito possiamo tagliare via, per ogni traccia, le frequenze che non vengono riprodotte dallo strumento, possiamo usare un **Filtro Passa Banda** per smascherare i suoni.
- **De-esser**: Registrando una voce potrebbe uscire fuori il sibilo delle "s" del cantante sulle alte, possiamo fare uso del **Filtro a Reiezione di Banda** per eliminare proprio quella frequenza.

I filtri sono la base degli **Equalizzatori**, che ci permettono di rendere il suono registrato più pulito o la riproduzione di un brano chiara rispetto al proprio impianto. Sono gli strumenti che, in realtà, usiamo per i casi sopracitati.

Audio e suono

Un segnale si dice analogico quando è a tempo continuo e valori continui; invece, si dice digitale se è a tempo discreto e valori discreti.

Come la maggior parte dei segnali, anche i segnali audio vengono distinti in analogici e digitali.

L'audio è detto **analogico** quando la sua rappresentazione consiste di forme d'onda continue. I supporti più utilizzati per l'audio analogico sono stati i **dischi in vinile** e i **nastri magnetici**.

Lo svantaggio principale dell'audio analogico era rappresentato dai disturbi, da una fedeltà sonora non sempre adeguata (specialmente con i nastri magnetici) e dal fatto che i supporti soffrivano di usura molto più facilmente.

Questo tipo di riproduzione e registrazione dell'audio è stato, nella scena mainstream, completamente soppiantato dall'audio digitale; tuttavia, esiste ancora una nicchia di appassionati che ritiene che l'audio

analogico (specie per quanto riguarda i vinili) abbia una qualità di gran lunga superiore al digitale, ritenuto più freddo, piatto e meno coinvolgente.

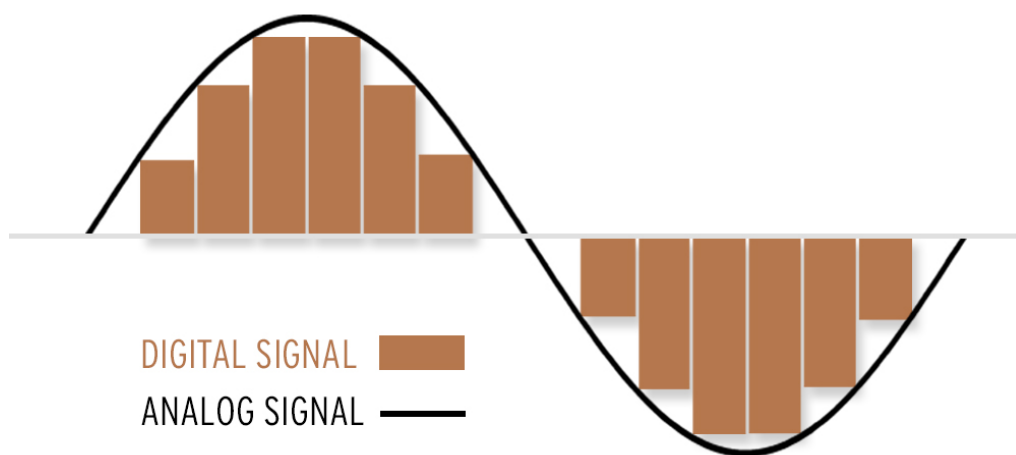
L'audio è detto **digitale** quando la sua rappresentazione è in forma digitale, cioè sotto forma numerica.

Esso ha del tutto soppiantato l'analogico nella scena mainstream. Il motivo di questo successo è da ricercarsi nella facilità e nell'immediatezza con cui l'audio digitale può essere fruito, specie oggi, alla presenza di dispositivi tascabili tecnologicamente avanzati e costantemente connessi alla rete (esempio: la combinazione di smartphone e **Spotify**).

Il suono, per diventare digitale, deve essere codificato. Paradossalmente la codifica dei suoni è sempre esistita, anche molto prima dell'avvento dell'audio digitale: nel telefono, la trasformazione della voce in segnale elettrico è una codifica, così come la traccia incisa sul disco in vinile. Le moderne tecnologie informatiche, che mettono a disposizione dispositivi in grado di elaborare enormi quantità di numeri al secondo, forniscono un'ulteriore possibilità di codifica che prevede di associare i parametri acustici analogici ad una serie di numeri. Questo processo di codifica è detto **digitalizzazione** e la rappresentazione del suono in questa forma, spesso risulta molto fedele alla forma d'onda originale. Le lunghe serie di numeri generate dal processo di codificazione sono memorizzate in supporti come CD, Bluray, DVD, memorie flash o magnetiche.

Lo stato dell'arte attuale prevede che vi siano due "fasi" di conversione: si passa da un segnale analogico ad un segnale elettrico e questo deve essere **convertito** in numeri. Il processo, nella sua forma generica, va sotto il nome di **conversione A/D (analogico/digitale)**; in particolare, il passaggio dal segnale elettrico alla forma numerica è detto **campionamento**.

Il campionamento consiste di un elevato numero per secondo di letture del segnale analogico, con sufficiente frequenza temporale. Le letture vengono dette **campioni** e se la frequenza temporale è abbastanza elevata, vi sarà una bassa perdita di informazioni dall'onda originale. Ad esempio, per lo standard del CD, la frequenza è di 44.1KHz. Il passo successivo è quello di suddividere tutto il possibile **range dinamico** (cioè il rapporto tra il più alto valore e il più basso) del segnale analogico in un numero finito di intervalli. Ognuno di questi intervalli, poi, va codificato con un valore digitale ben determinato. Queste operazioni vanno sotto il nome di **quantificazione e codifica di sorgente**.



La quantificazione è la suddivisione del range dinamico in un numero di 2^n intervalli, in modo che ogni singolo campione cadrà in ognuno degli intervalli quantificati. Questo valore si misura in bit e più è alto, più aumenta la fedeltà del segnale digitale a quello analogico. Per lo standard del CD, questo valore si attesta sui 16 bit).