



INFORMATICA MUSICALE

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: 0E

TITOLO PROGETTO: Delfini: Comunicazione mediante SONAR biologico

AUTORE 1: Baccaro Francesco

AUTORE 2: Leanza Daniele

AUTORE 3: Leocata Giuseppe



Sommario

1. Obiettivi del progetto	3
A. Introduzione al sonar e alla sua variante biologica	3
i. Principio di funzionamento del sonar	3
a) Cenni storici	3
i. Ecolocalizzazione	3
c) Cenni storici	3
d) Ecolocalizzazione nei delfini	4
B. Trattazione del suo utilizzo da parte del delfino Tursiope	4
i. Adattamenti fisiologici	4
a) Anatomici	4
b) Neurologici	4
ii. Generatori del suono nei delfini	5
iii. Prestazioni del sistema di ecolocalizzazione	5
C. Analisi dei segnali sonori emessi dai delfini attraverso software appositi	5
i. Raccolta dati e inserimento in software di analisi matematica	5
ii. Analisi forma d'onda e spettro	6
a) Segnali burst [descrizione]	6
b) Segnali click [descrizione]	6
c) Esempi audio e successiva analisi	6
2. Riferimenti Bibliografici	9
A. Slide «lez04»:	9
B. ieee-dataport.org :	9
C. neuronresearch.net :	9
D. acousticstoday.org :	9
3. Argomenti Teorici Trattati	10
A. Acustica: deviazioni delle onde sonore	10
B. Spettro e forma d'onda del segnale	10

1. Obiettivi del progetto

A. Introduzione al sonar e alla sua variante biologica

i. Principio di funzionamento del sonar

a) Cenni storici

Con Sonar (acronimo di Sound Navigation and Ranging, ossia “navigazione sonora e raggio d'azione”) si intende la tecnica di propagazione del suono sott'acqua per la rilevazione di oggetti. Tuttavia, gli strumenti che adottano questa tecnica sono detti anch'essi sonar, intendendoli, appunto, come dispositivi di rilevazione acustica.

La storia dietro all'invenzione di quest'ultimi è legata alla Prima guerra mondiale in quanto proprio durante il primo conflitto di portata mondiale è stata introdotta una nuova arma di battaglia: il sottomarino, e di conseguenza era necessario poterli individuare.

b) Funzionamento alla base del dispositivo

I Sonar, in breve, sfruttano il fenomeno della riflessione delle onde sonore: questo emette impulsi acustici tramite un dispositivo irradiante detto **proiettore**, per poi captare quanto riflesso da eventuali ostacoli per mezzo di un **trasduttore**.

Più è grave il suono emesso dal proiettore, più è bassa la frequenza e più in lontananza si propaga. Questa tipologia di sonar che emette suoni proprio è detta **attivo**, ma ne esiste anche una tipologia **passiva** che si limita ad ascoltare i suoni che attraversano le acque. Di solito sono equipaggiati con un computer che possiede un archivio ordinato di rumori e che, per confronto, consente di riconoscere il suono di un determinato genere di nave o di un siluro. Sonar di questo tipo servono anche per studiare la comunicazione tra i cetacei.

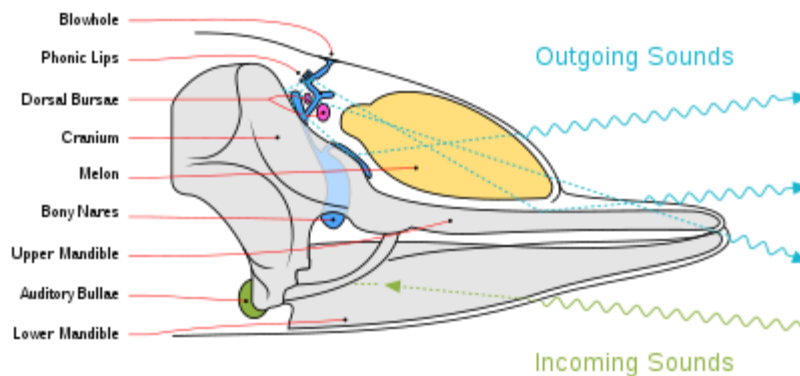
i. Ecolocalizzazione

c) Cenni storici

Il primo studioso che si interessò di questi aspetti affascinanti della natura fu **Donald Redfield Griffin**, etologo e docente statunitense, i cui studi furono principalmente condotti nella prima metà del ventesimo secolo (esprese le sue teorie nel suo trattato **The Question of Animal Awareness**).

Altri studi sono stati condotti dal gruppo di ricercatori guidati dal professore **Bruno Diaz Lopez**: i loro studi hanno permesso di decodificare, almeno in parte, il linguaggio di alcune specie di delfini. Si è scoperto, infatti, che i delfini della specie tursiope siano in grado di comunicare tra di loro attraverso un linguaggio molto complesso e di questo vasto “repertorio” sono stati scoperti ben **14 segnali differenti**.

d) Ecolocalizzazione nei delfini



I delfini emettono un **raggio focalizzato di click ad alta frequenza** nella direzione in cui punta la loro testa: I suoni vengono generati dal passaggio di aria dalle ossa delle narici attraverso le **labbra foniche** per poi essere riflessi da un organo grasso chiamato "**melone**".

Le eco vengono ricevute in prima istanza dalla **mandibola**, da cui vengono trasmesse all'orecchio interno.

I suoni laterali vengono invece ricevuti da lobi che circondano gli orecchi.

Vi sono infine casi particolari in cui i delfini si trovano in prossimità dell'oggetto di loro interesse, e quindi si proteggono dagli echi più forti abbassando l'intensità dei suoni emessi.

B. Trattazione del suo utilizzo da parte del delfino Tursiope

Il biosonar nel delfino Tursiope è un sistema molto sofisticato ad alte prestazioni, che continua a superare di gran lunga ogni altro dispositivo creato dall'uomo. Il delfino Tursiope appare essere quello con il sistema di ecolocalizzazione più sviluppato, sono noti infatti per la loro capacità di ecolocalizzazione attiva e di comunicazione. Sono dotati di due tipi distinti di biosonar, di tipo-impulso o tipo-click, usati per la localizzazione di precisione e anche 'imaging' di prede nel raggio di 100 metri.

i. Adattamenti fisiologici

a) Anatomici

Molti membri dei Cetacei, come anche i delfini, hanno sviluppato la loro capacità di ecolocalizzazione acustica. Dato il loro habitat acquatico, hanno rimpiazzato la struttura morfologica detta "outer ear" con una struttura totalmente diversa, costituita da una 'antenna', che fornisce un'eccellente emissione omnidirezionale ad alte prestazioni, senza ridurre la velocità in movimento dell'animale.

I delfini usano la laringe ed aprono la cavità orale per emettere i suoni, facendo passare l'aria attraverso delle labbra 'foniche' (poste lungo lo sfintere). Hanno anche un nuovo sistema di riutilizzo dell'aria, così da poter emettere suoni senza effettivamente espellere aria.

I delfini dunque sono dotati di un trasmettitore acustico posto sulla parte superiore-frontale della testa e due zone dove sono posti i ricevitori acustici, è possibile trovarle nella parte sottostante alla bocca dell'animale.

b) Neurologici

I delfini seguono il piano neurologico degli altri mammiferi. Nonostante ciò hanno significanti e differenti adattamenti di questo sistema.

L'animale impiega un sistema di ecolocalizzazione di precisione (P.E.S.) per determinare distanza e direzione angolare di un relativo 'obiettivo'. La maggior parte del P.E.S. si trova nella paleocorteccia del cervello.

ii. Generatori del suono nei delfini

I delfini emettono un raggio (focalizzato) di 'click' ad alta frequenza, nella direzione in cui punta la loro testa. Questi suoni sono riflessi da un denso osso concavo del cranio e da una sacca aerea alla sua base. Il raggio è modulato da un grande organo chiamato melone. (è costituito da lipidi di diverse densità).

La frequenza con la quale vengono emessi i click permettono di differenziare i vari tipi di delfino. Il delfino tursiope infatti genera i latrati, guaiti e i ringhi.

Le onde eco vengono ricevute dapprima dalla mandibola e poi trasmesse all'orecchio interno (tramite un condotto composto da un corpo grasso). Alcune ricerche hanno portato a pensare che quando i delfini si avvicinano all'oggetto interessato, essi si proteggano dagli echi più forti abbassando l'intensità dei suoni emessi.

iii. Prestazioni del sistema di ecolocalizzazione

L'apparato uditivo e vocale del delfino tursiope sembrano essere equivalenti a quelli degli esseri umani per quanto riguarda la comunicazione interspecie. Anche il sistema uditivo binaurale è paragonabile a quello dell'essere umano, la differenza sta nel range esteso di alte frequenze che il delfino tursiope riesce a percepire. La combinazione di alte frequenze in emissione (vocale) e ricezione (uditiva) fa sì che il delfino tursiope abbia un sistema ineguagliabile nel regno animale.

La capacità del delfino di emettere e rispondere nell'alto range di frequenze, permette al delfino tursiope di comunicare a distanza che eccedono i 200 metri. Questo sistema permette inoltre un'eccellente capacità di misurazione di frequenza doppler.

Il delfino ha la capacità aggiunta di riuscire a misurare la profondità degli oggetti grazie all'acustica, come fossero traslucidi nell'ambito visivo.

C. Analisi dei segnali sonori emessi dai delfini attraverso software appositi

i. Raccolta dati e inserimento in software di analisi matematica

Dopo aver presentato i modi e i sistemi di ecolocalizzazione del delfino Tursiope abbiamo effettuato, attraverso un software di analisi matematica (nello specifico MATLAB) e delle funzioni preprogrammate, un'analisi dei segnali sonori emessi dai cetacei in questione, in modo da poterne studiare i loro andamenti in ambito temporale e frequenziale.

I suoni sono stati registrati in un acquario a Varna, in Bulgaria, con un misuratore di suono e vibrazioni tra i più sofisticati al mondo, formato da un idrofono e un amplificatore. Il dataset che abbiamo analizzato comprende 11 file wav non compressi, lossless e con frequenza di campionamento di 250kHz, normalizzati in ampiezza.

Per analizzare i segnali abbiamo utilizzato due estensioni del software MATLAB, una è la Signal Compression Toolbox, che ci permette di visualizzare i segnali nei domini del tempo e della frequenza e ci permette di effettuare una elaborazione avanzata per trascurare componenti non desiderate, e infine di estrarre dal segnale parametri descrittivi del segnale come i RMS, i punti di massimo e minimo del tempo (per analizzare i picchi), l'altra è quella di Machine Learning Toolbox, per effettuare l'analisi dei pattern del segnale emesso dai delfini e confrontarlo con varie sue registrazioni.

ii. Analisi forma d'onda e spettro

a) Segnali burst

Abbiamo già presentato come i cetacei possono emettere una ricca varietà di suoni, e le loro capacità di localizzazione sono molto più avanzate di qualsiasi altro sonar o radar creato dall'uomo.

Questi fattori sono specialmente visibili e studiabili nel delfino Tursiopo, oggetto del nostro studio. Le capacità di localizzazione di questa specie di delfini vanno oltre la ecolocalizzazione acquatica e arrivano a schermare entità presenti sulla terraferma con una precisione assoluta e ancora non raggiungibile dai vari strumenti a disposizione dell'uomo.

I delfini Tursiopi sono "equipaggiati" con due tipi diversi di biosonar: uno basato su segnali burst (dall'inglese getto, definizione data dal fatto che il suono che emettono ha durata non trascurabile) utilizzato per un ecolocalizzazione a lungo raggio, basato sul fischio, attraverso un suono continuo che riesce a comunicare e a rintracciare entità con meno precisione ma con raggio di 600 metri. Questo biosonar offre, come precedentemente esposto, un raggio elevato ma a causa della sua bassa frequenza offre una risoluzione angolare del bersaglio inferiore.

b) Segnali click

Il secondo tipo di biosonar viene usato con segnali click (cioè segnali ad impulso). Esso viene utilizzato dai delfini per rilevamenti a corto raggio e, con alta probabilità, per l'imaging (schermatura caratteristiche di un bersaglio). Il raggio della localizzazione offerta da questo biosonar si approssima a circa 100 metri.

c) Esempi audio e successiva analisi

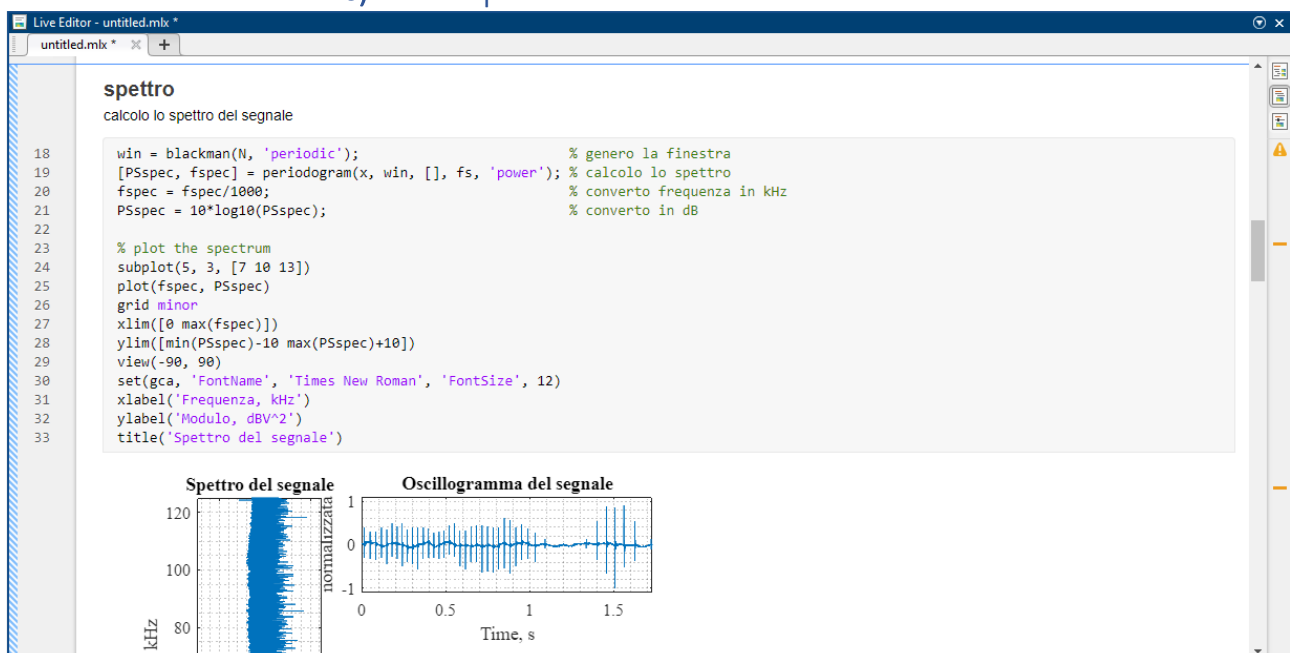


Figura 1: Inserimento file in software di analisi MATLAB e calcolo spettro

Nella figura viene rappresentato il codice scritto in MATLAB che ci permetterà di calcolare lo spettro del segnale preso in analisi. Nella parte sottostante a questa didascalia vengono inclusi due file audio esempio.

FILE CLICK ASCOLTABILE QUI: [Click1.wav](#)

FILE BURST ASCOLTABILE QUI: [Burst1.wav](#)

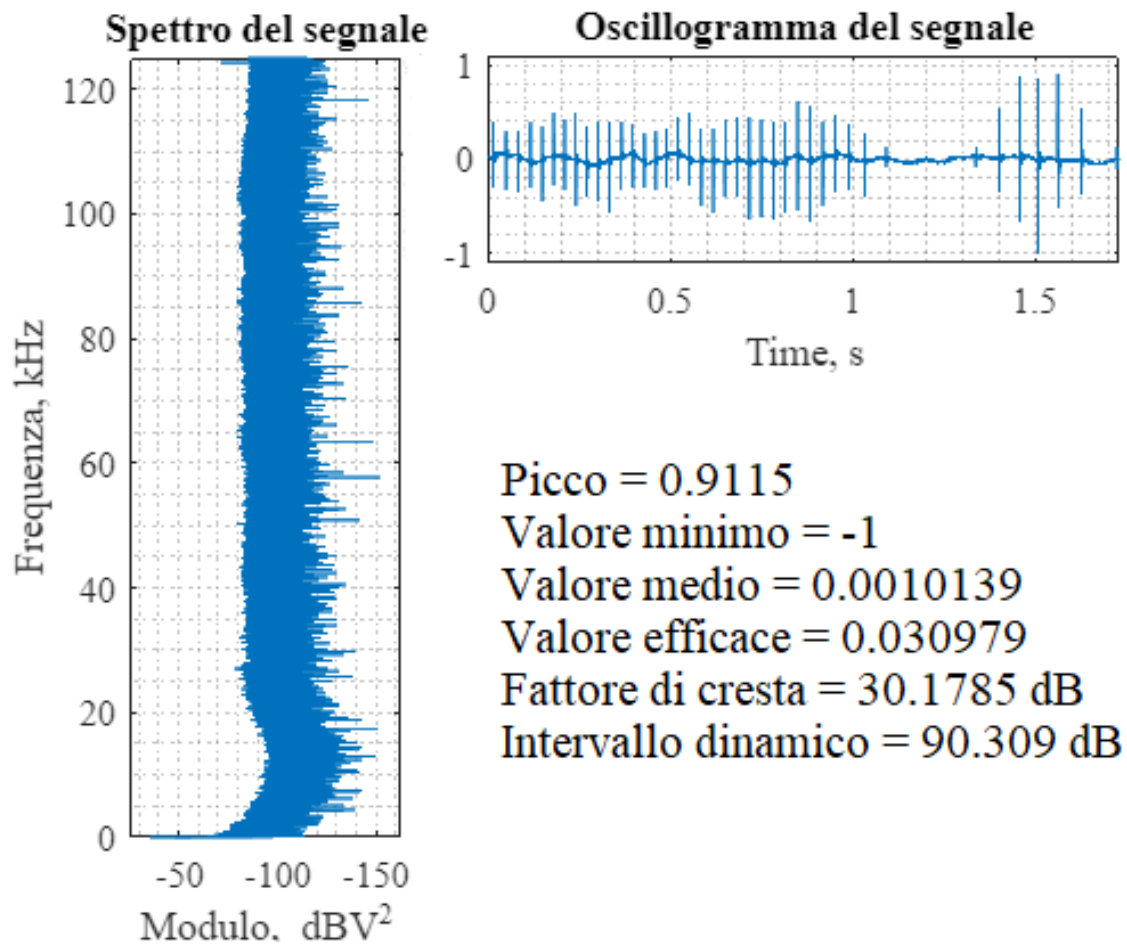


Figura 2: Spettro e oscillogramma del segnale Click1.wav

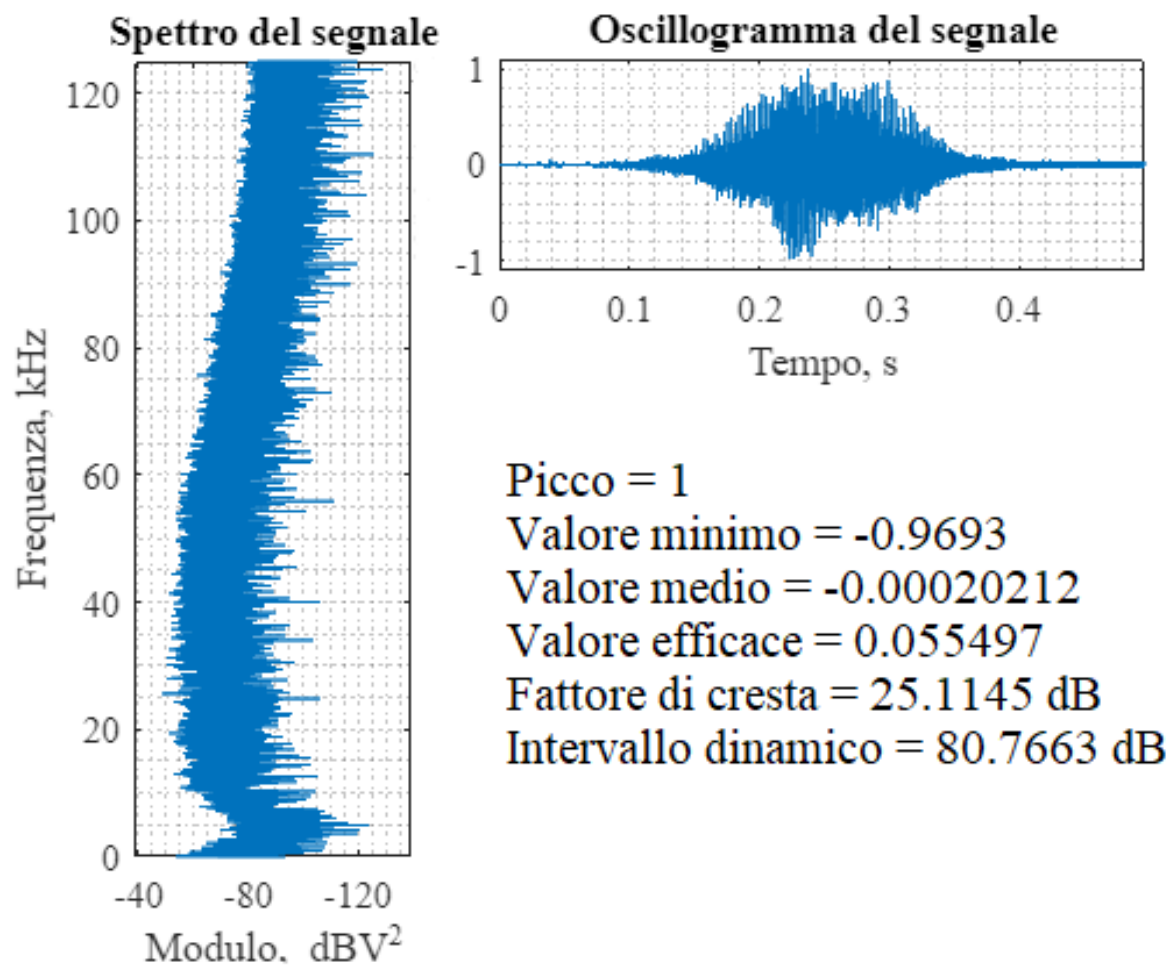


Figura 3: Spettro e oscillogramma del segnale Burst1.wav

2. Riferimenti Bibliografici

A. Slide «lez04»:

[Informatica Musicale \(6 CFU\) Corso di Laurea Triennale in Informatica A.A. 2018/2019 Prof. Filippo L.M. Milotta \(fmilotta.github.io\)](#)

B. iee-dataport.org:

[Dolphins Underwater Sounds Database | IEEE DataPort \(ieee-dataport.org\)](#)

C. neuronresearch.net:

[Dolphin biosonar \(sonar\)echolocation case study \(neuronresearch.net\)](#)

D. acousticstoday.org:

<https://acousticstoday.org/wp-content/uploads/2015/11/Dolphin-Biosonar-Research.pdf>

3. Argomenti Teorici Trattati

A. Acustica: deviazioni delle onde sonore

La Riflessione è un fenomeno fisico che consiste nella deviazione di un'onda che non riesce ad attraversare un ostacolo o una superficie e quindi essa verrà rimbalzata verso la sua sorgente.

Questo fenomeno avviene solo se sono rispettate alcune condizioni fisiche: Il materiale sul quale il suono rimbalza non deve essere assorbente e un suono, per essere riflesso, è necessario che l'onda abbia una lunghezza d'onda minore delle dimensioni dell'ostacolo col quale si scontra.

L'energia del segnale sonoro riflesso diminuisce di una determinata quantità, questa diminuzione è strettamente dovuta al tipo di materiale di cui è costituita la superficie con cui si scontra (esempio pannelli fonoassorbenti, che riducono al minimo il fenomeno della riflessione). Anche se il materiale non è assorbente, parte dell'energia trasportata dall'onda viene persa a causa dell'urto (una parte veramente esigua).

In generale, se conosciamo la velocità di propagazione del suono è possibile calcolare la distanza di un oggetto dalla sorgente. Infatti il tempo Δt che essa impiega per andare e tornare alla sorgente è:

$$\Delta t = \frac{2d}{v}$$

Uno dei fenomeni che sfrutta il principio della riflessione del suono è l'eco. Consiste nella sensazione che un suono emesso da una sorgente in una determinata direzione venga rimesso dopo un certo tempo.

L'essere umano, per apprezzare il suddetto fenomeno, ha bisogno di trovarsi a una certa distanza dalla superficie riflettente: al di sotto di una certa distanza il suono originale e il suono riflesso si annullano quindi l'orecchio umano percepisce i due suoni distinti come un unico suono.

Il sonar è uno degli strumenti che sfruttano il fenomeno della riflessione.

B. Spettro e forma d'onda del segnale

Lo spettro del segnale sonoro è un grafico, impiegabile nell'analisi di un suono. Vengono riportati i livelli sonori in funzione della frequenza.

Se prendiamo un grafico cartesiano, possiamo rappresentare l'andamento di un suono nel tempo (sulle ascisse), graficandone quindi una "forma". In breve, abbiamo un grafico della funzione matematica che descrive la nostra onda. La forma d'onda può essere ad esempio: sinusoidale.