



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*

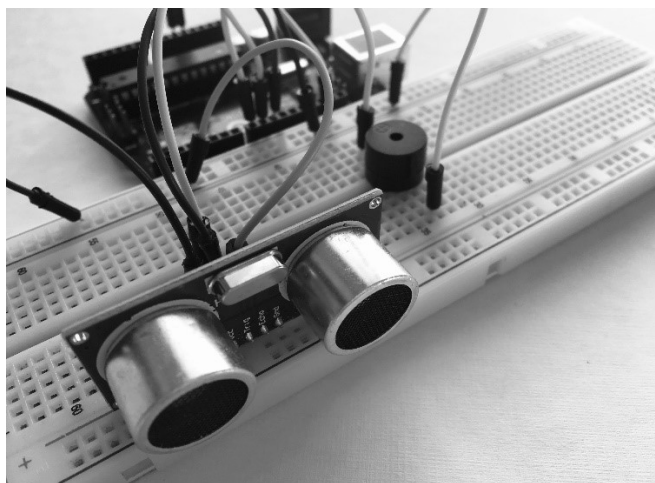
ID PROGETTO: 08

TITOLO PROGETTO: Parking Sensor

AUTORE 1: ANDREA PUGLISI

AUTORE 2: VALERIA GRASSO

AUTORE 3: ROBERTA GRASSO



Indice

1. Obiettivi del progetto.....	3
2. Argomento teorico: La propagazione del suono	3
3. Argomento teorico: Segnale elettrici	5
4. Descrizione componenti elettronici: Arduino, Sensore a ultrasuoni, Buzzer, Resistore e Diodo Led	6
5. Metodo Proposto	8
6. Argomento teorico: Ecografo.....	9
7. Riferimenti	12

GLI OBIETTIVI DEL PROGETTO

Uno degli Obiettivi del progetto è quello di fornire informazioni di base per la comprensione del fenomeno della riflessione del suono.

Successivamente si è realizzato un prototipo di sensore di parcheggio con i seguenti componenti:

• Arduino Uno • Sensore a ultrasuoni • Buzzer • Resistore • Diodo Led • Breadboard

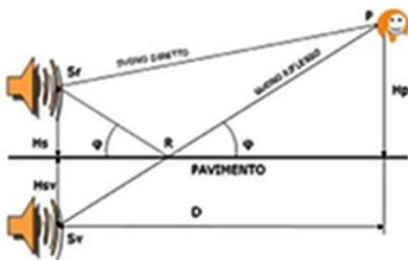
Scopo fondamentale del nostro studio, è stato quello di dimostrare la versatilità del circuito realizzato, che si presta anche all'ambito medico. In particolare, è stato attenzionato il funzionamento dell'ecografo.

LA PROPAGAZIONE DEL SUONO

L'onda è una perturbazione che nasce da una sorgente e si propaga nel tempo e nello spazio trasportando energia o quantità di moto, senza comportare un associato spostamento della materia. Un particolare tipo di onda è quella sonora.

Le onde sonore sono onde elastiche che permettono alla vibrazione di essere trasmessa tramite un mezzo. Esse sono sottoposte a fenomeni di propagazione del tipo: la riflessione, la diffrazione e la rifrazione. Se non incontrano nessun ostacolo, l'onda sarà lineare, al contrario ad esempio nella riflessione, l'onda sonora è soggetta all'ostacolo che incontra. In tale situazione, l'onda riesce ad oltrepassare l'ostacolo rimbalzando all'indietro. Proprio per questo si può calcolare l'intervallo di propagazione se si conosce la distanza D di un oggetto dalla sorgente e la velocità v di propagazione come:

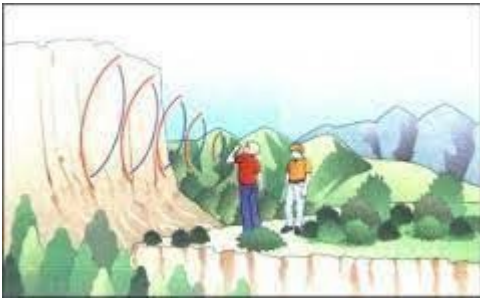
$$\Delta t \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2D}{v}$$



Inoltre, nel fenomeno della riflessione del suono, l'onda dipende dal tipo di superficie che va incontro. Se le superfici sono convesse, ad esempio in una stanza dove le pareti sono parallele, le onde ripetono gli stessi percorsi quindi si creerà una dispersione del suono, di conseguenza, non si avrà una buona acustica. Al contrario se le superfici sono concave, le onde avranno una riflessione diversa l'una dall'altra, creando così un'acustica più bilanciata.

La riflessione del suono si può verificare in due modi: come riverbero o come eco in base all'intervallo di tempo calcolato dalla fonte originaria fino a quando l'onda viene riflessa. Se risulta essere maggiore di un decimo di secondo allora avverrà l'eco, in tale tempo le onde sonore percorreranno circa 33 metri. Al contrario se risulterà essere minore, il fenomeno prenderà il nome di riverbero.

Esempio: ci troviamo sull'Etna e proviamo ad urlare il nostro nome, vediamo che dobbiamo attendere qualche momento da quanto abbiamo terminato di far uscire la nostra voce prima di sentirla tornare indietro. Al contrario, se ci troviamo in una stanza spoglia e parliamo sentiamo un suono continuo anche se la nostra voce sembra distorta e "prolungata". Nel primo caso abbiamo l'eco, nel secondo la riverberazione.



Se non si vuole far accadere questo fenomeno, si possono utilizzare dei materiali fonoassorbenti i quali sono capaci di assorbire parte delle onde sonore, nonostante le condizioni di riflessione verranno soddisfatte.

Invece, l'onda sonora è soggetta al fenomeno della diffrazione quando riesce ad oltrepassare una fessura senza modificare il proprio fronte d'onda se la dimensione di tale apertura è maggiore rispetto alla lunghezza dell'onda sonora.

Grazie a questa manifestazione, riusciamo a vedere che: in base alle dimensioni dell'ostacolo che va incontro, i suoni con basse frequenze riescono ad oltrepassarlo, al contrario se i suoni hanno un'alta frequenza, creano una barriera dove non ci sarà suono.

Esempio: vogliamo costruire un muro tra noi e una sorgente per ostacolare l'onda sonora. Sicuramente se vogliamo far trasmettere un suono grave, il muro dovrà essere alto viceversa con l'altro caso.

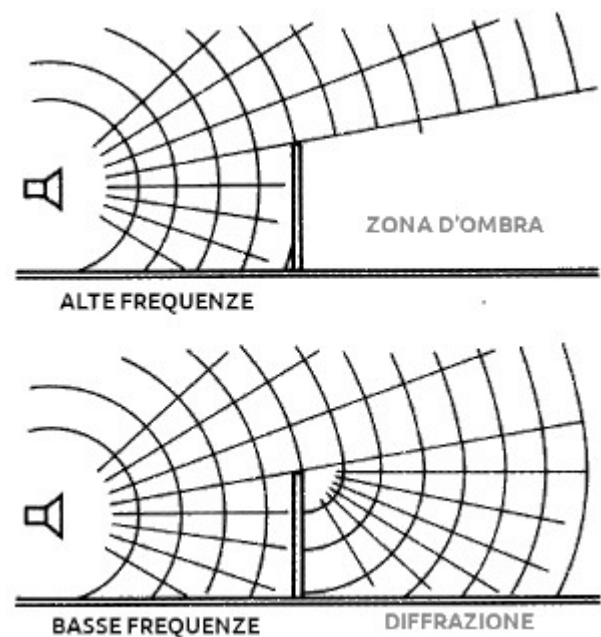
Esempio: barriere acustiche antirumore come quelle poste su linee autostradali o ferroviarie.

Un altro fenomeno tipico delle onde sonore, è la rifrazione del suono dove le onde si piegano o si espandono a seconda dei cambiamenti della velocità stessa. Essa può variare tramite la temperatura o se cambia mezzo di propagazione.

Ad esempio conoscendo l'angolo di incidenza l'angolo di rifrazione, possiamo ricavare l'indice come:

$$n \stackrel{\text{def}}{=} \frac{c}{v}$$

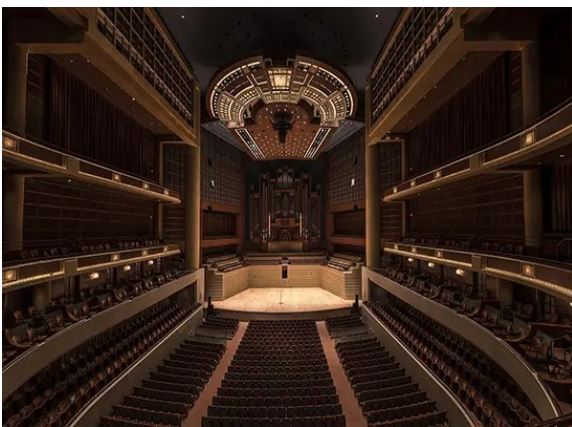
Il quale rappresenta il rapporto tra il seno degli angoli di incidenza e di rifrazione ed è uguale per tutti i tipi di materiali. In particolare diciamo che la velocità del suono è più bassa quando l'aria è fredda, invece è più alta quando l'aria è calda.



Ulteriormente la rifrazione assume un altro comportamento con il vento. Essa è rappresentata dalla differenza di velocità che si crea quando il vento si trova più vicino al suolo rispetto a quando si trova ad altezze elevate.

L'effetto contrario di quello che avviene nella riflessione e nella diffrazione, il fenomeno della rifrazione può essere controllato inserendo alcuni elementi all'interno di un determinato ambiente. Ad esempio nelle sale con grande capienza si inseriscono ad esempio degli specchi e dei deflettori, dei pannelli di legno di diverse forme che possiedono superfici lisce o ruvide, a seconda delle necessità.

Questi elementi sono disposti in modo tale da direzionare e diffondere le onde sonore per consentire a tutti gli ascoltatori di udire perfettamente ed uniformemente i suoni emessi dalla fonte, indipendentemente dalla posizione in cui si trovano all'interno della stanza.



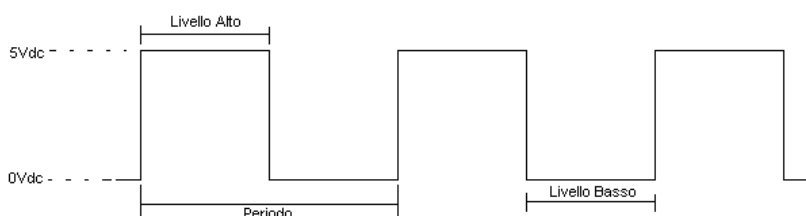
I Segnali elettrici

Un segnale è una grandezza elettrica che ha un contenuto informativo.

I segnali digitali sono dei segnali che possono assumere solo un numero di limitato di valori all'interno di un intervallo.

Una tensione a forma d'onda quadra è un segnale digitale perché può assumere come valori di tensione solo 2 valori: 0 V e 5V. Se dopo un certo intervallo di tempo torna a ripetersi ancora uguale, allora è anche un segnale periodico. Tale intervallo di tempo si chiama periodo. Il reciproco di tale grandezza è chiamato frequenza e ci fornisce il numero di periodi che si ripetono nell'unità di tempo.

Di un'onda quadra periodica possiamo definire il Duty Cycle. Il Duty Cycle è il rapporto che c'è tra il tempo in cui l'onda quadra assume come valore di tensione 5V e il periodo totale del segnale. Tale valore viene espresso in percentuale. Agendo, quindi, sulla frequenza e sul Duty Cycle è possibile modificare le caratteristiche dell'onda quadra. A seguire l'immagine di un segnale ad onda quadra periodico.





Arduino

Arduino è un microcontrollore, cioè una scheda elettronica, che consente di realizzare progetti relativi al mondo della robotica, dell'elettronica e dell'automazione. La scheda è costituita da una parte Hardware e una parte Software.

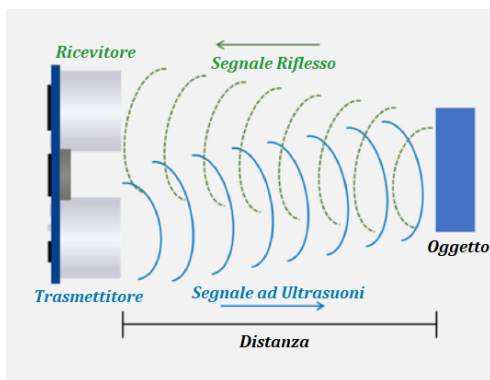
La parte Hardware è costituita da un insieme di componenti elettronici che rendono più semplice il collegamento con dispositivi esterni di vario tipo. In particolare, ciò che a noi interessa sono i PIN digitali della scheda che possono essere inizializzati come "Input" o come "Output". Impostando i pin come Input, Arduino acquisisce le informazioni dai componenti esterni alla scheda. Nel nostro caso è il sensore ad ultrasuoni, che fornisce l'informazione ad Arduino sotto forma di segnale elettrico. I pin impostati come Output, invece, consentono di comandare i componenti esterni alla scheda, che per il progetto sono il Diodo Led e il Buzzer.

La parte Software è costituita dall' IDE, un ambiente di sviluppo che consente di programmare la scheda utilizzando i linguaggi C\C++. Il listato di codice che viene compilato ed eseguito dalla scheda per il corretto funzionamento del circuito viene chiamato Sketch.

Sensore a Ultrasuoni

Le onde sonore hanno la capacità di rimbalzare, ovvero di cambiare direzione e verso quando incontrano un ostacolo o una superficie. Gli ultrasuoni sono onde sonore che hanno frequenze superiori a quelle udibili dall'orecchio umano, ovvero oltre i 20 kHz

L'HC-SR04 è un sensore a Ultra Suoni in grado di fornire indirettamente la distanza che c'è fra quest'ultimo e un oggetto in un range di valori compresi tra i 2 e i 400 cm.



Il sensore a Ultra Suoni è costituito da un trasmettitore, un ricevitore e 4 Pin: 2 per l'alimentazione e 2 relativi al suo funzionamento che si chiamano Trigger ed Echo. Per avviare la lettura della distanza si invia tramite Arduino al pin Trigger un impulso di 10 us. Il trigger poi emette un treno di 8 impulsi ultrasonici a 40 KHz che si allontanano dal sensore viaggiando nell'aria circostante e che sono fatti in modo da non essere influenzati dai disturbi dall'ambiente. Quando questo segnale entra in contatto con l'oggetto, esso viene riflesso e letto dal ricevitore. Quando il pin Trigger invia il segnale a ultrasuoni, sul pin Echo ci sarà una tensione di 5 V, che tornerà a 0 V quando il segnale riflesso colpisce il ricevitore. Quindi sfruttando Arduino, si ricava dal trigger Echo il tempo impiegato dal segnale a ultrasuoni per arrivare al ricevitore. Supponendo di poter trascurare l'effetto della

temperatura e dell'umidità dell'ambiente, è possibile assumere come costante il valore della velocità del suono in un determinato mezzo, in particolare l'aria, dove le onde sonore viaggiano a 343,8 m/s a 20°C. Quindi è possibile approssimare il moto del segnale a ultrasuoni a un moto rettilineo uniforme, e possiamo ricavare la distanza dell'oggetto come prodotto della velocità del suono per il tempo impiegato dal segnale a colpire l'oggetto. Dal trigger Echo, però si ricava il tempo impiegato dal treno di impulsi per arrivare al ricevitore. Quindi tale tempo va diviso per due perché, a parità di spazio, il tempo impiegato dal segnale per andare dal trasmettitore all'oggetto è uguale al tempo impiegato dal segnale riflesso per arrivare al ricevitore.

Una volta calcolata la distanza dell'oggetto con Arduino, essa viene usata per creare il tempo di lampeggio del Diodo Led e la frequenza con cui attivare il Buzzer.



Buzzer

Il Buzzer è un componente elettronico che è in grado di emettere un suono. I Buzzer possono essere di tipo elettromeccanico o piezoelettrico. Questi ultimi si dividono a loro volta in altre due categorie:

Buzzer Attivi: sono dotati di un circuito interno, chiamato oscillatore, che permette l'emissione del suono semplicemente alimentando il buzzer. Il suono è riprodotto con una frequenza preimpostata che dipende da come è realizzato l'oscillatore.

Buzzer Passivi: non sono dotati dell'oscillatore. Quindi per funzionare correttamente, necessitano di una forma d'onda specifica. A differenza dei Buzzer Attivi essi emettono toni differenti in funzione del segnale di alimentazione utilizzato, che nel nostro caso è un'onda quadra.

Il Buzzer da noi utilizzato è dunque un Buzzer Piezoelettrico Passivo. Il funzionamento di tale buzzer si basa sull'effetto piezoelettrico, in virtù del quale quando si applica un potenziale elettrico su determinati punti di una lamina di cristallo, questa si deforma meccanicamente. Tale deformazione produce un movimento dell'aria che viene percepito sotto forma di suono.

Il suono ha tre caratteristiche fondamentali:

Altezza: distingue un suono più acuto da uno più grave ed è determinata dalla frequenza dell'onda quadra con cui è alimentato il buzzer.

Intensità: distingue un suono ad alto volume da un suono a basso volume. Esso dipende dall'ampiezza dell'onda quadra con cui è alimentato il Buzzer ed è fissa a 5 V.

Timbro: differenzia le onde sonore in base alla legge periodica con cui, in un dato punto, esse oscillano nel tempo.

Nel progetto il Buzzer Passivo è alimentato da una tensione generata dalla funzione `tone()` di Arduino. Tale funzione crea un'onda quadra con Duty Cycle fissato al 50%, ampiezza fissata a 5 V e con frequenza e durata del suono che possono essere scelti. La scelta della durata del suono è arbitraria mentre quella della frequenza no perché dipende dalla distanza che c'è fra l'oggetto e il sensore. Infatti, quando ad esempio l'oggetto si avvicina sempre di più al sensore deve aumentare la frequenza del segnale per rendere il suono più grave.

Si specifica un intervallo chiuso e limitato con cui deve lavorare il sensore. Ad esempio, nel nostro caso si è stabilito che il circuito funzioni solo se l'oggetto si trova a una distanza tra 2 e 30 cm rispetto al sensore. Oltre a ciò, si sceglie anche un intervallo chiuso e limitato di frequenze con cui lavora il Buzzer. In tal modo è possibile far corrispondere, mediante la funzione `map()` di Arduino, ad una distanza una frequenza.

Resistore e Diodo Led



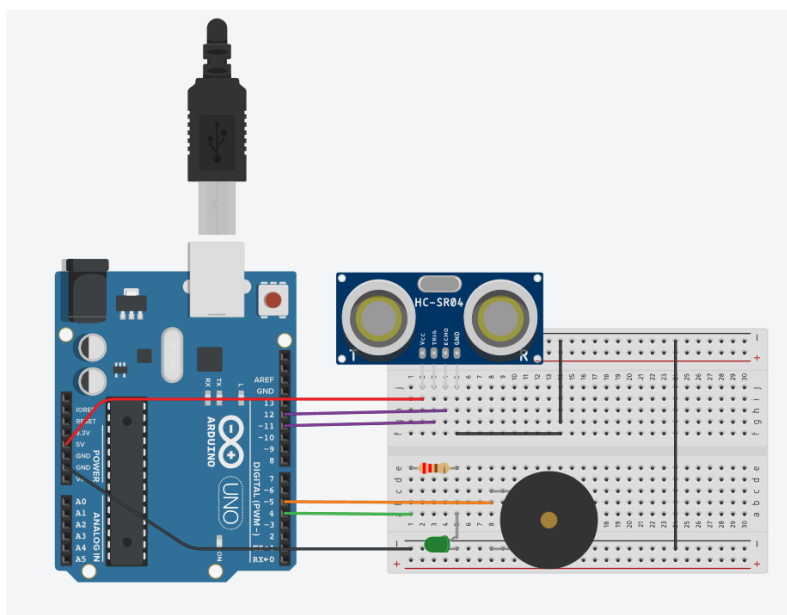
Il diodo è un componente elettronico che serve a regolare il flusso della corrente in una sola direzione, come una sorta di valvola di non ritorno che fa scorrere l'acqua in un solo verso e la blocca se scorre nel senso opposto. Il diodo Led ha in più la caratteristica di emettere luce quando la corrente scorre nel circuito. Per far funzionare correttamente il Diodo Led è necessario collegare in serie un resistore, un componente elettronico che si oppone al passaggio di corrente quando è sottoposto a una differenza di potenziale. Il resistore permette infatti di limitare la tensione e la corrente a cui sarà sottoposto il Diodo Led. Il tipo di segnale a cui sarà sottoposto il Diodo Led è un'onda quadra non periodica. Infatti, il tempo in cui l'onda quadra ha come valore di tensione 5 V dipende dalla distanza che c'è fra l'oggetto e il sensore. Tale tempo viene calcolato con la stessa tecnica usata per calcolare la frequenza del Buzzer.

Metodo Proposto

Per quanto riguarda la realizzazione del prototipo, si suddivide in 3 step:

- Cablaggio del circuito su Breadboard.
- Implementazione del codice tramite Arduino IDE.
- Test del circuito.

A seguire lo schema di cablaggio del circuito, inoltre è possibile simulare il circuito al seguente link: <https://www.tinkercad.com/things/hdpUrYbqLtp>



L'ecografo

In ambito medico gli ultrasuoni trovano ad esempio riscontro nel funzionamento dell'ecografo, che sfrutta tali onde per far emettere un eco che viene poi studiato.

Esattamente come il nostro circuito sfrutta gli ultrasuoni per determinare la distanza da un oggetto, un ecografo svolge la medesima funzione. L'unica differenza sta nel modo in cui viene restituita l'informazione all'utilizzatore. Mentre il nostro circuito risponde con un segnale acustico in funzione della distanza dell'oggetto, i segnali provenienti dall'ecografo vengono processati e trasformati in immagini.

La frequenza degli ultrasuoni utilizzati (che per definizione è superiore ai 20 kHz) varia da 2 MHz a 15 MHz circa, ed è scelta tenendo in considerazione che frequenze maggiori hanno maggiore potere risolutivo dell'immagine, ma penetrano meno in profondità nel soggetto. Queste onde sono generate da un cristallo che sfrutta l'effetto piezoelettrico, inserito in una sonda mantenuta a diretto contatto con la pelle del paziente con l'interposizione di un apposito gel (che elimina l'aria interposta tra sonda e cute del paziente, permettendo agli ultrasuoni di penetrare nel segmento anatomico esaminato); la stessa sonda è in grado di raccogliere il segnale di ritorno, che viene opportunamente elaborato da un computer e presentato su un monitor.

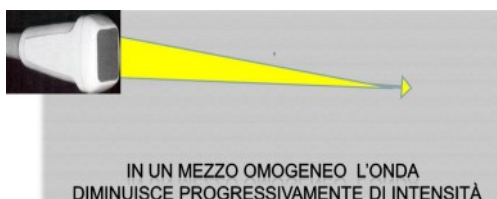
Variando l'apertura emittente della sonda, è possibile cambiare il cono di apertura degli ultrasuoni e quindi la profondità fino alla quale il fascio può considerarsi parallelo.

Prima di cominciare diamo due definizioni:

- **Impedenza:** è la resistenza opposta da un mezzo alla propagazione dell'onda sonora. Essa è direttamente proporzionale alla densità del materiale attraversato e alla velocità del suono
- **Interfaccia acustica:** limite tra due mezzi con differente impedenza acustica

A seconda dell'interfaccia possiamo avere diversi fenomeni fisici che abbiamo già discusso in precedenza:

1) Attenuazione dell'onda:

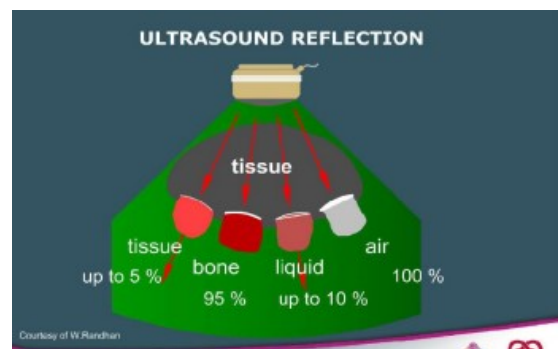


- proporzionale alla distanza e al tipo di tessuto.
- Dipende anche dall'interfaccia acustica
- Secondario alla trasformazione di energia meccanica in energia termica (assorbimento)
- Onde di bassa frequenza penetrano più in profondità

2) Riflessione

3) Rifrazione

La riflessione varia a seconda del mezzo attraversato. L'aria attenua l'energia degli ultrasuoni 6000 volte più dell'acqua. Per questo l'aria dei polmoni ha una elevatissima impedenza acustica.



In un tessuto idealmente omogeneo (a impedenza acustica caratteristica costante) l'onda procede attenuandosi in funzione del tipo di tessuto. Quando l'onda raggiunge invece un punto di variazione di impedenza acustica, viene in varia misura riflessa, rifratta e diffusa. La percentuale riflessa porta informazioni sulla differenza di impedenza tra i due tessuti ed è pari a:

$$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Vista la grande differenza di impedenza tra un osso ed un tessuto, con l'ecografia non è possibile vedere dietro di esso. Anche zone di aria o gas fanno "ombra", per via di una riflessione totale.

Il tempo impiegato dall'onda nel percorso di andata, riflessione e ritorno viene fornito al computer, che calcola la profondità da cui è giunta l'eco, ossia della superficie o del punto di discontinuità dell'impedenza acustica, indice di ecostruttura dei tessuti disomogenea. Il tempo di ricezione permette di localizzare l'interfaccia, ossia di stimare la sua distanza dalla sonda: dal tempo di arrivo dell'eco si risale alla distanza della struttura riflettente. Si possono così individuare le dimensioni dei vari organi e delle loro pareti, ed eventuali zone ipoecogene (con scarso riflesso del segnale ecografico) o iperecogene (con una riflettanza maggiore) all'interno o all'esterno dei vari organi.

Come si forma l'immagine ecografica?

All'interno delle sonde ecografiche vi sono cristalli piezoelettrici, che hanno la proprietà di deformarsi ed emettere ultrasuoni se sottoposti a impulsi elettrici e inversamente di deformarsi ed emettere impulsi elettrici una volta che siano raggiunti da ultrasuoni. La sonda o trasduttore è il "cuore" dell'ecografo; essa emette US e riceve echi riflessi.

Si dice risoluzione la minima distanza tra due strutture in grado di produrre echi distinguibili

Visualizzazione delle immagini

B MODE: i singoli echi vengono allineati sotto forma di punti luminosi. La rappresentazione bidimensionale delle immagini avviene attraverso l'impiego di una scala di grigi, espressione della diversa intensità degli echi

Intensità=luminosità

Profondità=distanza (porzione superiore del monitor: strutture superficiali)

M MODE: Prevede l'acquisizione del segnale eco lungo una sola linea del campo di scansione. I singoli puntini scorrono a velocità costante nel tempo sul monitor e ricostruiscono l'immagine della posizione spaziale della struttura nel tempo

Amplificazione e compenso di profondità

Molto importante è il sistema di amplificazione degli echi ed il compenso di profondità.

Amplificazione: Gli echi ricevuti hanno un'ampiezza ridotta rispetto all'eco incidente. La tensione generata dal cristallo a seguito dell'eco di ritorno è molto bassa, deve essere quindi amplificata prima di essere inviata ai sistemi di elaborazione e quindi di presentazione.

Compenso di profondità: a causa dell'attenuazione degli ultrasuoni nel tessuto umano gli echi provenienti da strutture distali saranno di minor ampiezza rispetto a quelli provenienti da strutture simili ma prossimali. Per compensare ciò è necessario amplificare maggiormente gli echi lontani rispetto a quelli più vicini. Ciò viene svolto da un amplificatore dove il guadagno aumenta in funzione del tempo cioè in funzione della profondità di penetrazione.

Ecodoppler

L'effetto doppler è il fenomeno fisico in cui la frequenza del suono di una sorgente (f_0) aumenta mentre si avvicina ad un ascoltatore (f_{D+}) o, al contrario, si riduce se se ne allontana (f_{D-}).



In ecografia l'effetto Doppler viene sfruttato per rivelare i flussi ematici. Nel sangue, i globuli rossi rappresentano le interfacce sulle quali si generano gli echi la cui frequenza sembrerà aumentare, nel caso di flussi in

avvicinamento alla sonda (Doppler positivo – f_{D+}), o sembrerà ridursi, nel caso opposto (Doppler negativo – f_{D-}) rispetto alla frequenza degli ultrasuoni emessi dalla sonda (f_0).

In questa modalità si esplorano tessuti biologici in movimento. Se si aggiunge il colore alla modalità otteniamo l'**ecocolordoppler** che grazie alla colorazione aiuta nella rilevazione di eventuali ostacoli.

L'ammontare del cambiamento della frequenza dipende dalla velocità del bersaglio. Il computer dell'ecografo, conoscendo la differenza di frequenza, può calcolare la velocità del mezzo su cui l'onda si è riflessa, mentre la profondità è nota dal tempo impiegato.

Riferimenti bibliografici:

<https://www.weturtle.org/dettaglio-tutorial/11/tutorial-sensore-ad-ultrasuoni-hcsr04.html>

<https://www.moreware.org/wp/blog/2019/11/25/arduino-e-buzzer-componiamo-i-pirati-dei-caraibi/>

<https://programmaora.altervista.org/lezione-4-diodo-led-far-lampeggiare-2-led-ad-intermittenza/>

<https://marvinacustica.it/riflessione-del-suono-trasmissione-suono/>

[http://fisicaondemusica.unimore.it/Diffrazione del suono.html](http://fisicaondemusica.unimore.it/Diffrazione_del_suono.html)

J. G. Webster, Encyclopedia of medical devices and instrumentation, Wiley-Interscience, vol. 3, pagine 2-6; 38, 2006.

G. Avanzolini, Strumentazione biomedica. Progetto e impiego dei sistemi di misura, Patron, Collana di Ingegneria Biomedica, vol. 4, pagine 147; 230-233, Settembre 1998.

<https://marvinacustica.it/rifrazione-del-suono/>