

Il suono

Esplorazione della fenomenologia e
misura della velocità in aria

4 Febbraio 2021

1



*Percorsi per le Competenze
Trasversali e l'Orientamento*

Indice

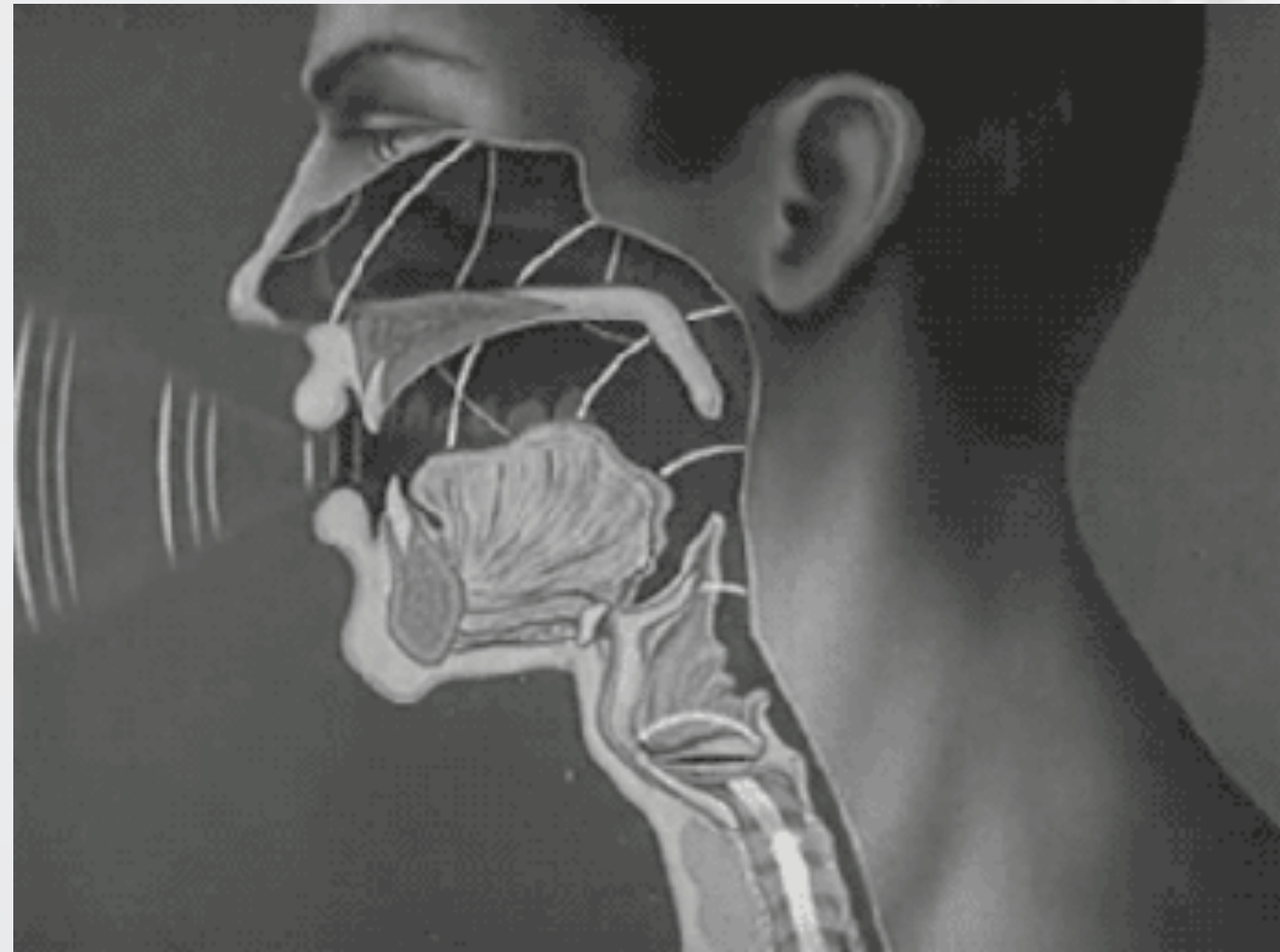
The background of the slide features a grayscale image. On the left, there is a professional studio microphone on a stand. On the right, there is a profile of a person's head with their mouth open, as if speaking or singing. The overall image is faded and serves as a decorative backdrop for the text.

- Introduzione
- Che cos'è il suono
- Le onde meccaniche
- Come caratterizziamo il suono ?
- La velocità del suono
- Misura della velocità del suono

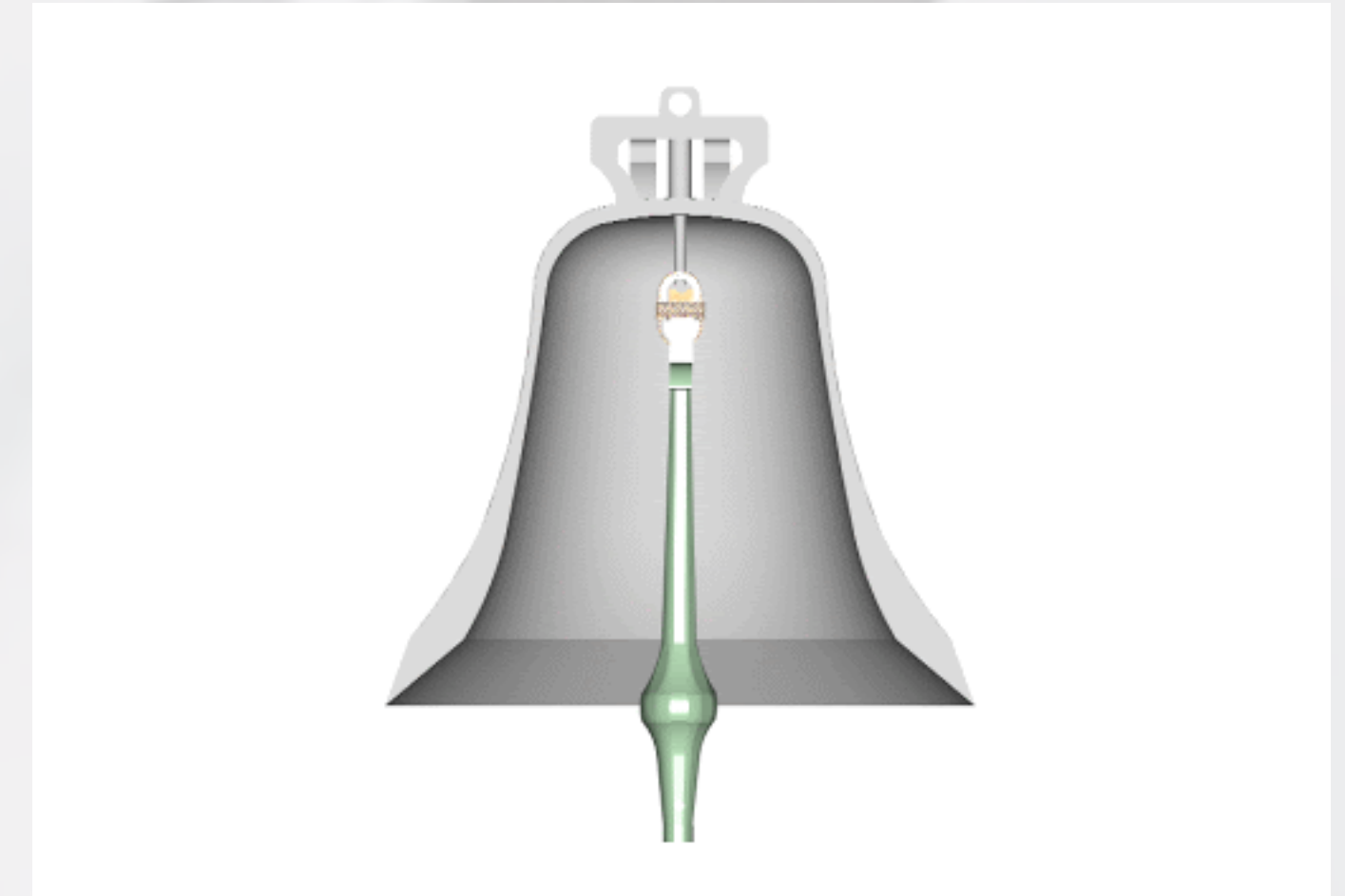


Introduzione

Sorgente vibrante



Le corde vibranti di una
chitarra ...
le nostre corde vocali...
l'ancia in un
sassofono ...
le campane di una
chiesa ... un
altoparlante... SonicPi



Introduzione

Mezzo circostante

I solidi e i liquidi sono generalmente eccellenti conduttori del suono, di molto migliori dell'aria.

Su scala atomica gli atomi di solidi e liquidi sono più compatti e più elastici e questo fa sì che il suono si trasmetta più velocemente ... Anche se il fattore inerziale può favorire i gas, il fattore elastico ha una maggiore influenza sulla velocità (v) di un'onda, ottenendo così questo schema generale:

$$v_{\text{solidi}} > v_{\text{liquidi}} > v_{\text{gas}}$$

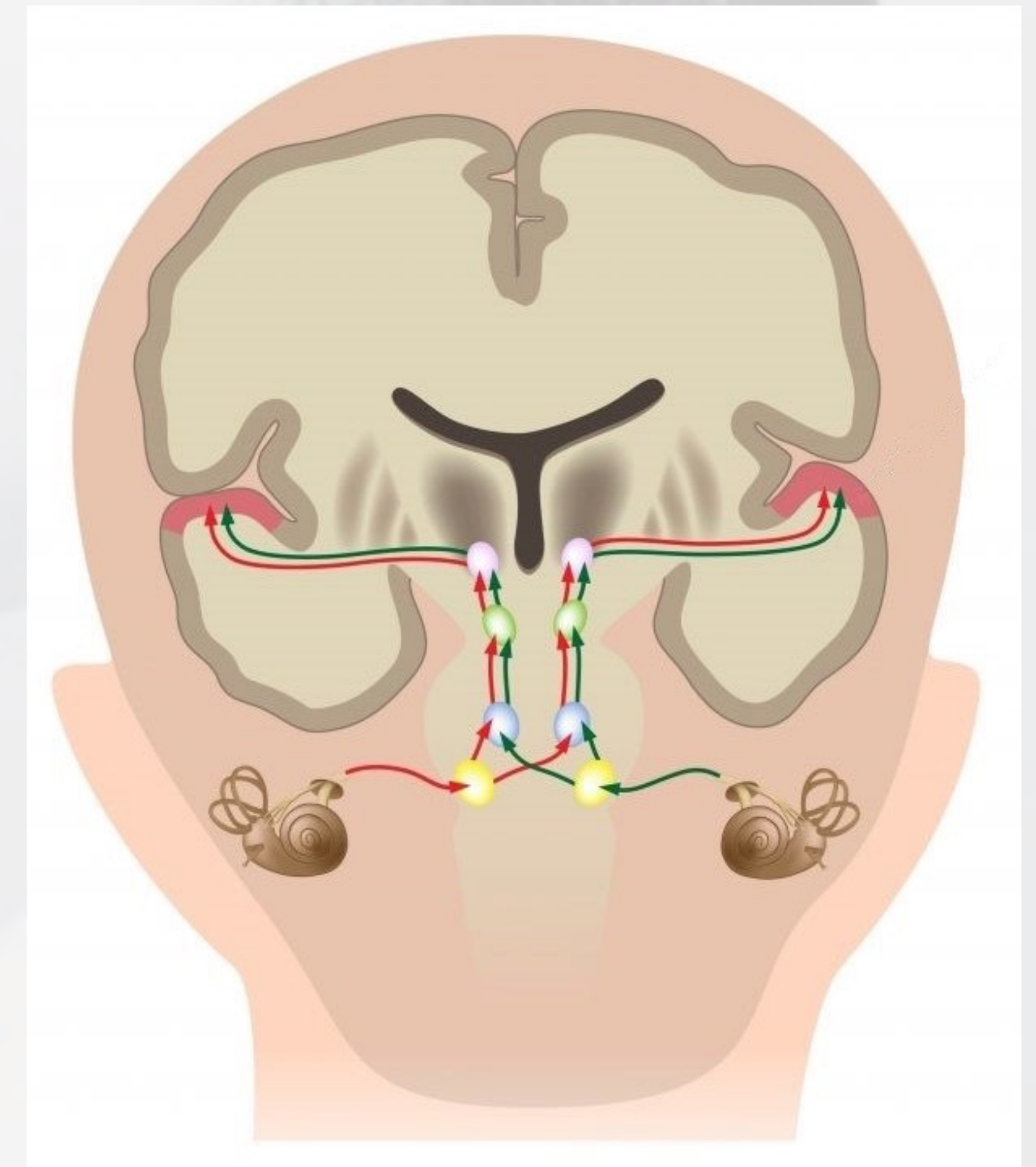
Se appoggiamo l'orecchio su una superficie possiamo udire rumori più rapidamente che in aria ...
immersi in acqua se urliamo, percepiamo molto chiaramente il suono



Introduzione

Sistema di acquisizione

La funzione dell'orecchio è quella di trasformare le onde sonore in informazioni per il cervello. Nel loro viaggio verso il cervello le onde sonore impattano sul **padiglione auricolare**, che con la sua particolare conformazione le convoglia verso il **condotto uditivo esterno**. Al termine di tale canale è posta la **membrana timpanica**, che trasferisce le vibrazioni meccaniche dell'onda sonora alla **catena degli ossicini**. Successivamente **martello**, **incudine** e **staffa** garantiscono una notevole amplificazione del suono. Quest'ultima innesca le **cellule ciliate** che convertono le **onde sonore (meccaniche) in impulsi nervosi**, che viaggiano poi lungo il nervo acustico, attraversando una serie di stazioni intermedie verso il cervello, ove ha luogo la complessa rielaborazione del messaggio acustico.



Il suono

Sorgente

Mezzo conduttivo

Ricevitore

Che cos'è il suono

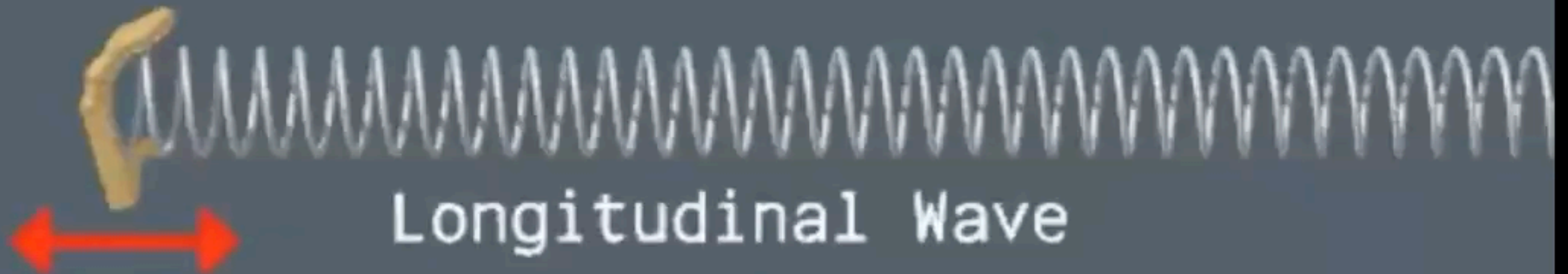
Impulso e perturbazioni periodiche

Quando una sorgente emette un suono (*un battito di mani*) produce un impulso che si propaga in tutte le direzioni. Se la perturbazione è un solo impulso si genera una singola onda, ovvero **un'onda impulsiva**.

Se la perturbazione è periodica (*un applauso*) si genera un treno d'onde periodiche o semplicemente **un'onda periodica**

È possibile “vedere” vibrare l'aria nello stesso modo in cui vibra una molla slinky. Ciascuna parte del mezzo si muove avanti e indietro lungo la direzione del moto dell'onda.

Come in tutti i casi di propagazione per onde, non è il mezzo stesso che si propaga bensì è l'impulso.



Longitudinal Wave

Che cos'è il suono

Condensazione e rarefazione

Come si muovono le particelle dell'aria in un'onda sonora ?

Un'onda sonora è un trasferimento di pressione che viaggia tramite l'interazione particella-particella (**onda di pressione**). Quando una particella viene colpita esercita una pressione sulla particella adiacente.

Quando la pressione è alta, le particelle si comprimono generando zone di alta pressione (**condensazione**). Questo movimento creano delle zone di bassa pressione (**rarefazione**).

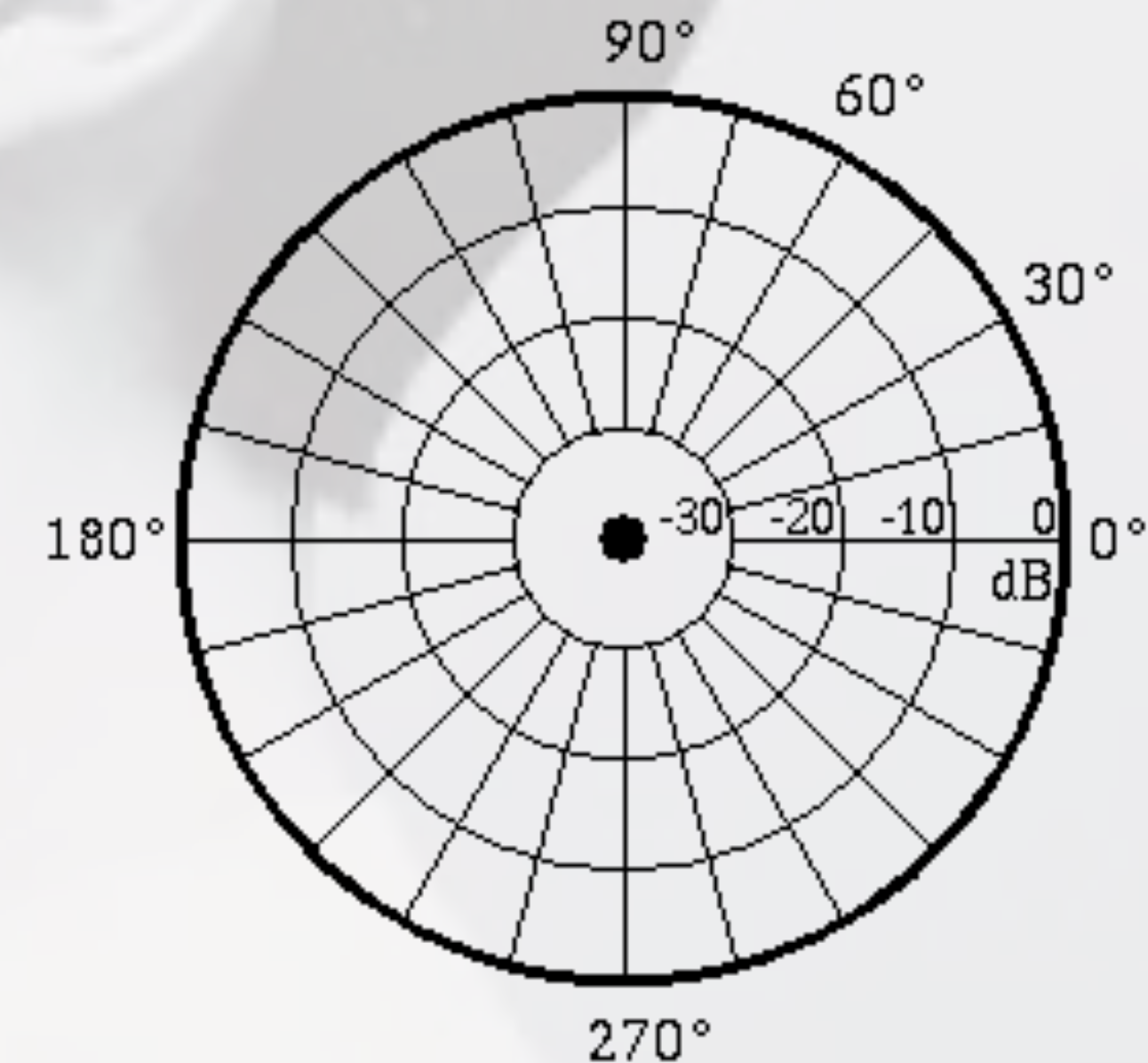
Questo processo è comunemente rappresentato come una forma d'onda, che mostra il cambiamento di pressione nel tempo quando un'onda sonora si sposta.

Che cos'è il suono

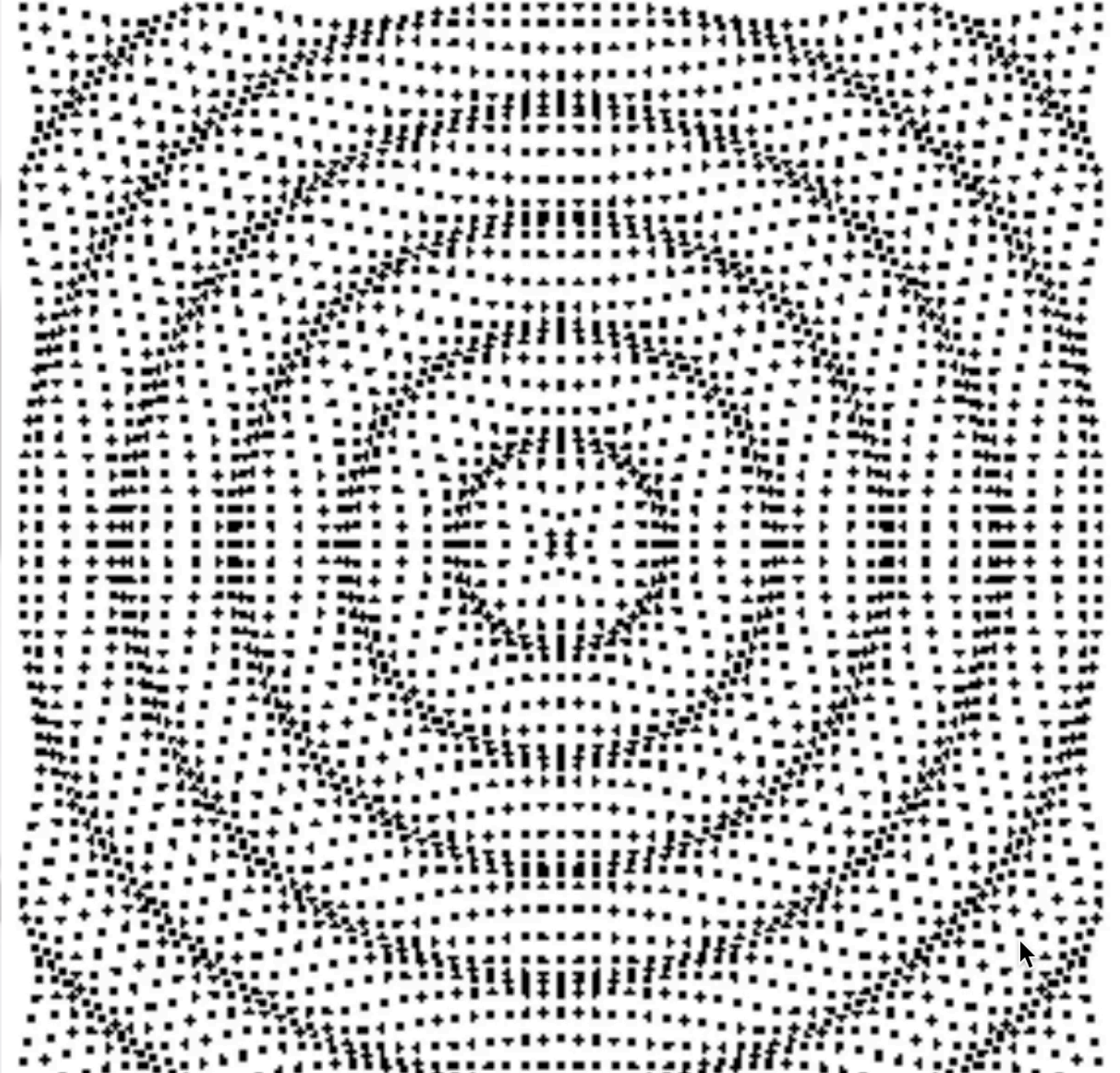
Campo di Monopolo

Un subwoofer (altoparlante a basse frequenze) è un monopolo.

Un monopolo è una sorgente che irradia il suono in tutte le direzioni. L'esempio più semplice di una sorgente monopolare è una sfera il cui raggio si espande e si contrae alternativamente in modo sinusoidale. La sorgente monopolare crea un'onda sonora producendo alternativamente **condensazione** e **rarefazione** nell'area circostante. Il modello di direttività per una sorgente monopolare è mostrato nella figura a destra.



il campo di pressione prodotto da una sorgente monopolare. I singoli punti sulla griglia si muovono semplicemente avanti e indietro intorno a una posizione di equilibrio mentre l'onda sferica si espande verso l'esterno.

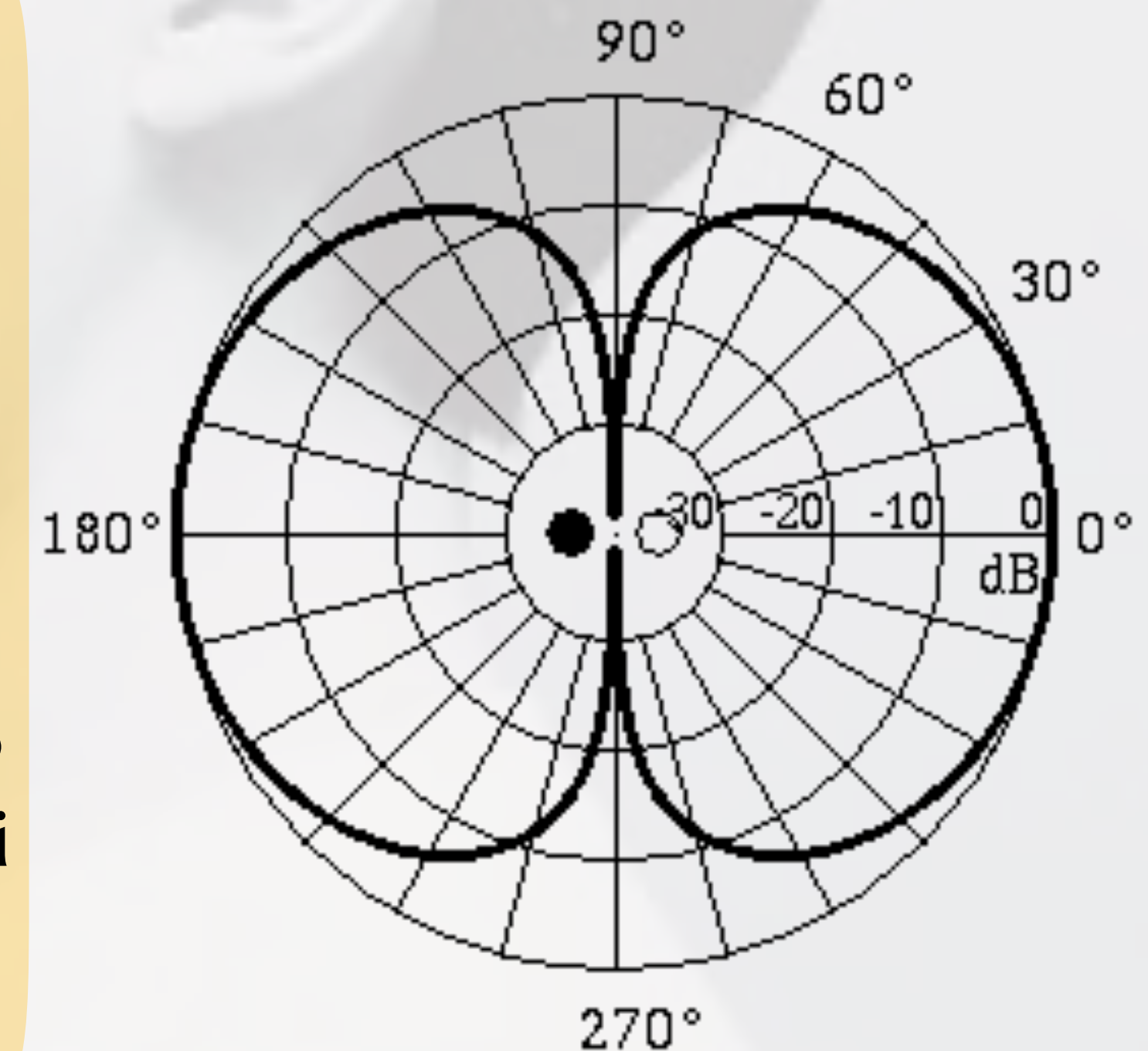


Che cos'è il suono

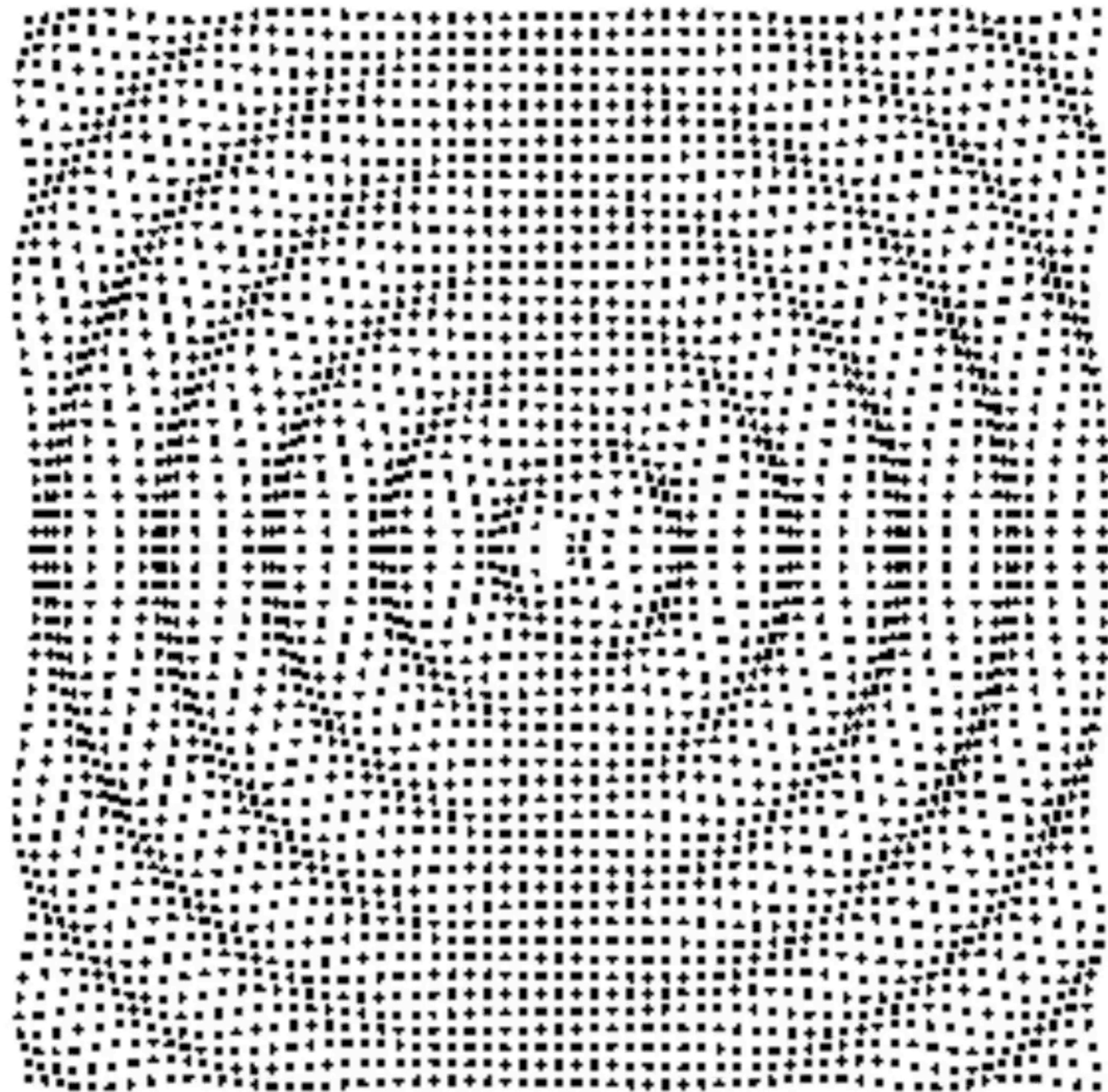
Campo di Dipolo

Una sorgente dipolo è costituita da due sorgenti monopoli di uguale intensità ma fase opposta. Mentre una sorgente condensa, l'altra espande così come una coppia di casse altoparlante (mentre la parte anteriore spinge verso l'esterno la parte posteriore risucchia).

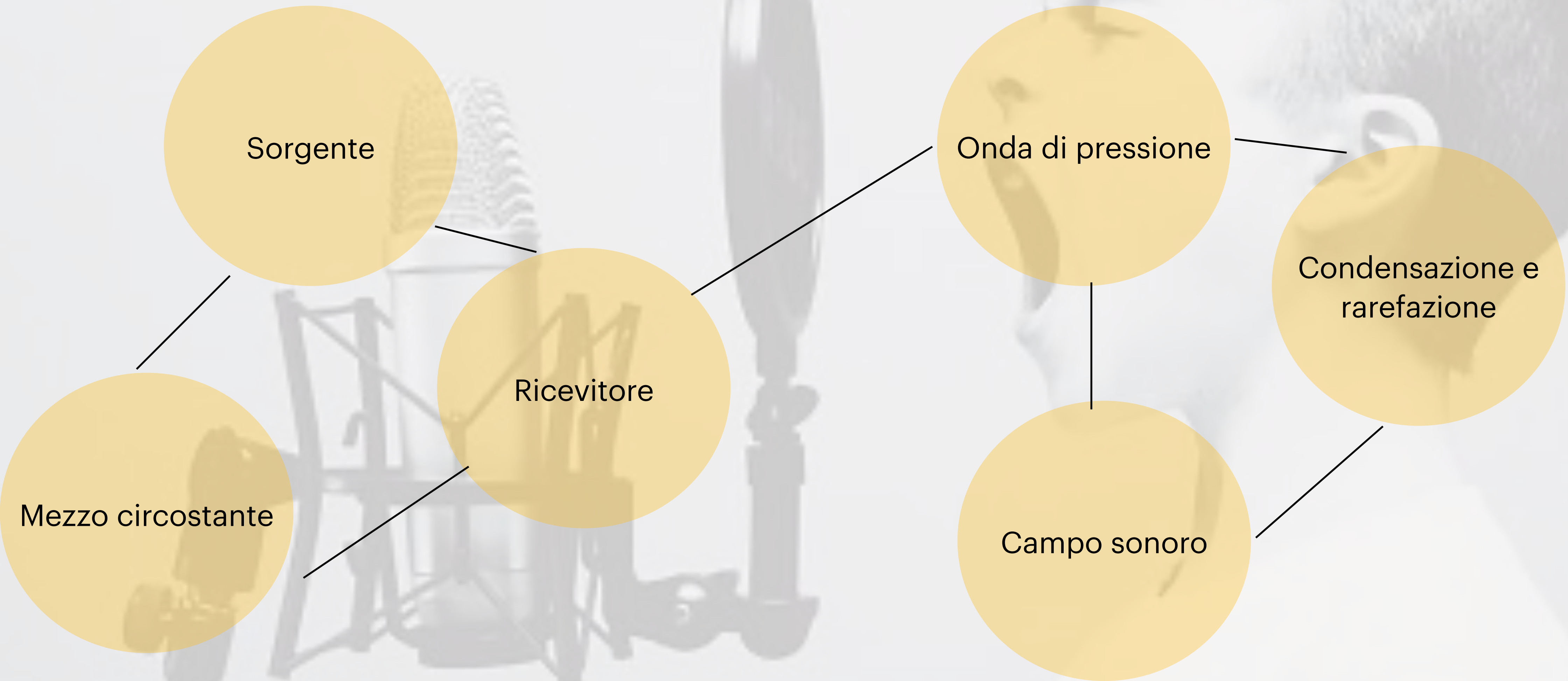
Una sorgente dipolo non irradia il suono in tutte le direzioni allo stesso modo. Il modello di direttività mostrato a destra ha l'aspetto di una figura 8; ci sono due regioni in cui il suono viene irradiato molto bene e due regioni in cui il suono si annulla.



Il campo di pressione prodotto da una sorgente dipolare. Al centro del campo di pressione è possibile vedere il moto ondulatorio causato dal dipolo. Le regioni in cui il suono viene cancellato corrispondono agli assi verticali. Inoltre, i fronti d'onda che si espandono a destra e a sinistra sono sfasati di 180° l'uno rispetto all'altro.



Il suono



Onde meccaniche

Moto ondulatorio longitudinale e trasversale

Le onde meccaniche sono onde che si propagano attraverso un mezzo materiale (solido, liquido o gas) ad una velocità dell'onda che dipende dalle **proprietà elastiche e inerziali di quel mezzo**. Esistono due tipi fondamentali di moti ondulatori per le onde meccaniche: il moto **longitudinale** e il moto **trasversale**.

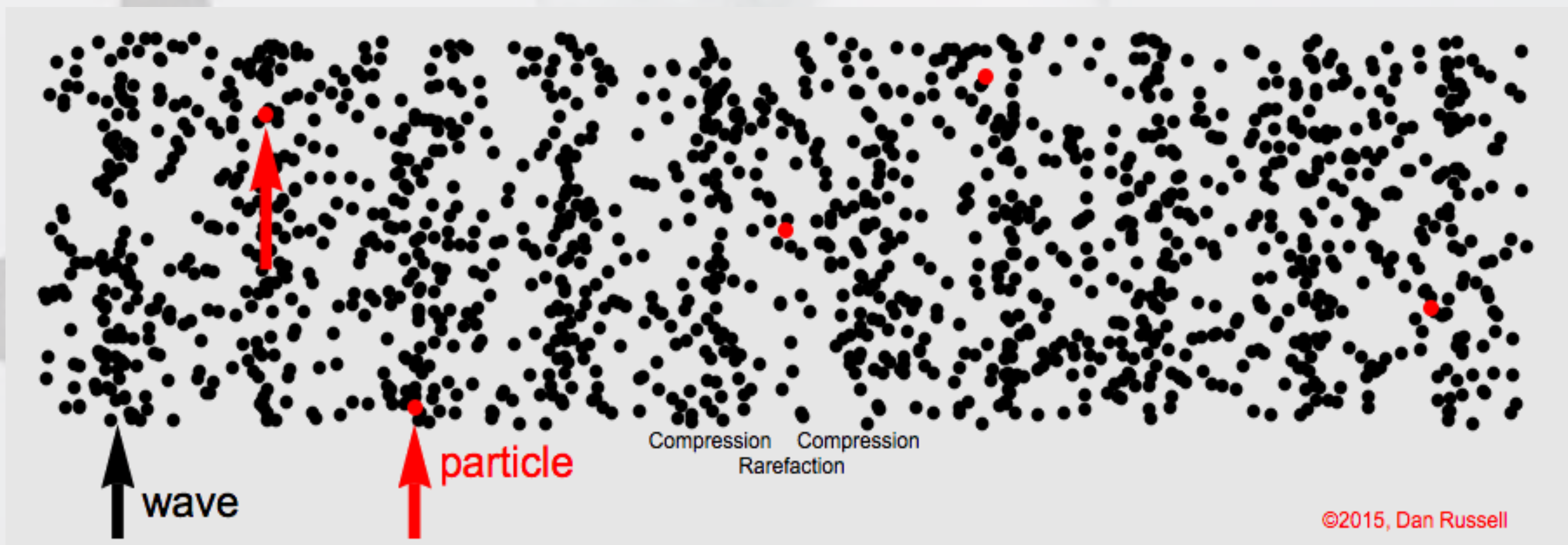
Le animazioni seguenti dimostrano entrambi i tipi di onda e illustrano la differenza tra il movimento dell'onda e il movimento delle particelle nel mezzo attraverso cui l'onda sta viaggiando.

il moto longitudinale

In un'onda longitudinale lo spostamento delle particelle è **parallelo** alla direzione di propagazione dell'onda.

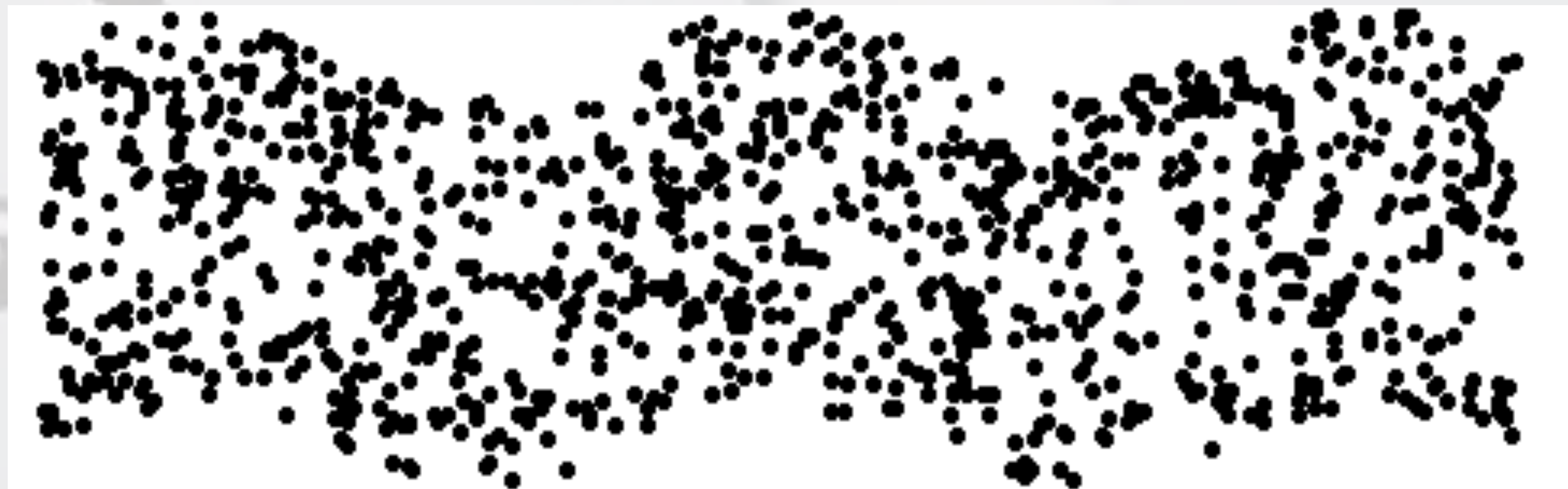
Le particelle non si muovono lungo il tubo con l'onda; oscillano semplicemente avanti e indietro intorno alle loro posizioni di equilibrio individuali.

Esempi di onde longitudinali sono, oltre alle **onde sonore**, le **onde P** (onde primarie) in un terremoto.



il moto trasversale

In un'onda trasversale lo spostamento delle particelle è perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda. Le particelle non si muovono insieme all'onda; oscillano semplicemente su e giù intorno alle loro posizioni di equilibrio individuali mentre l'onda passa. Le onde S (onde secondarie) in un terremoto sono esempi di onde trasversali. Le onde S si propagano con una velocità più lenta delle onde P, arrivando diversi secondi dopo.



Onde meccaniche

Onde marine - onde meccaniche in un liquido

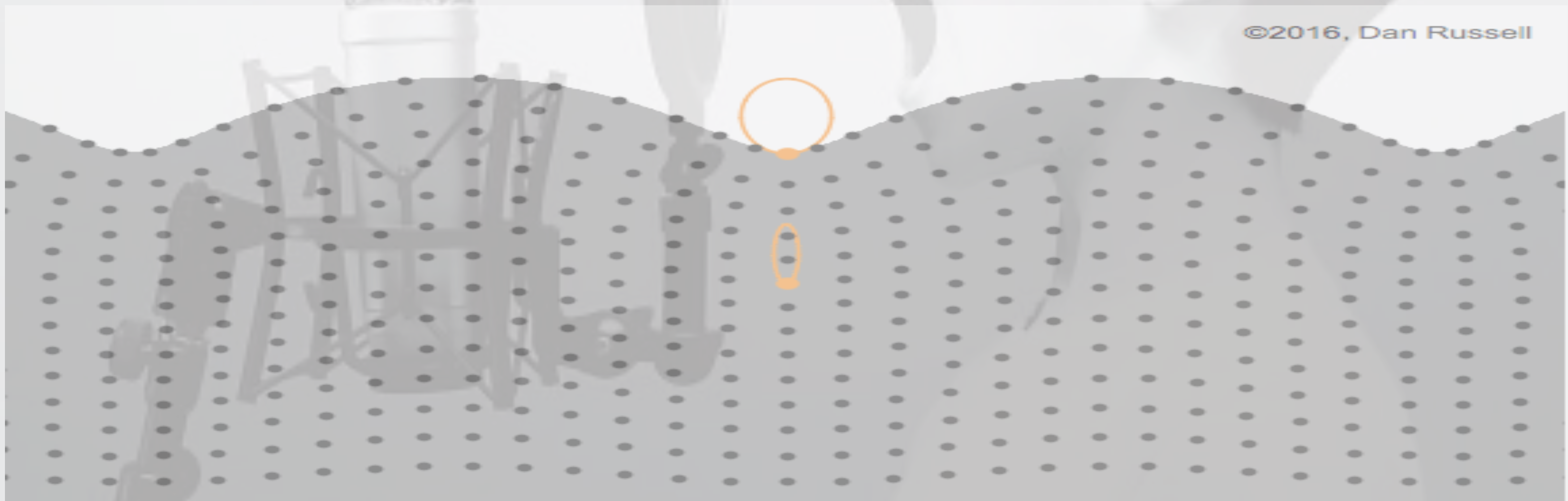
©2016, Dan Russell



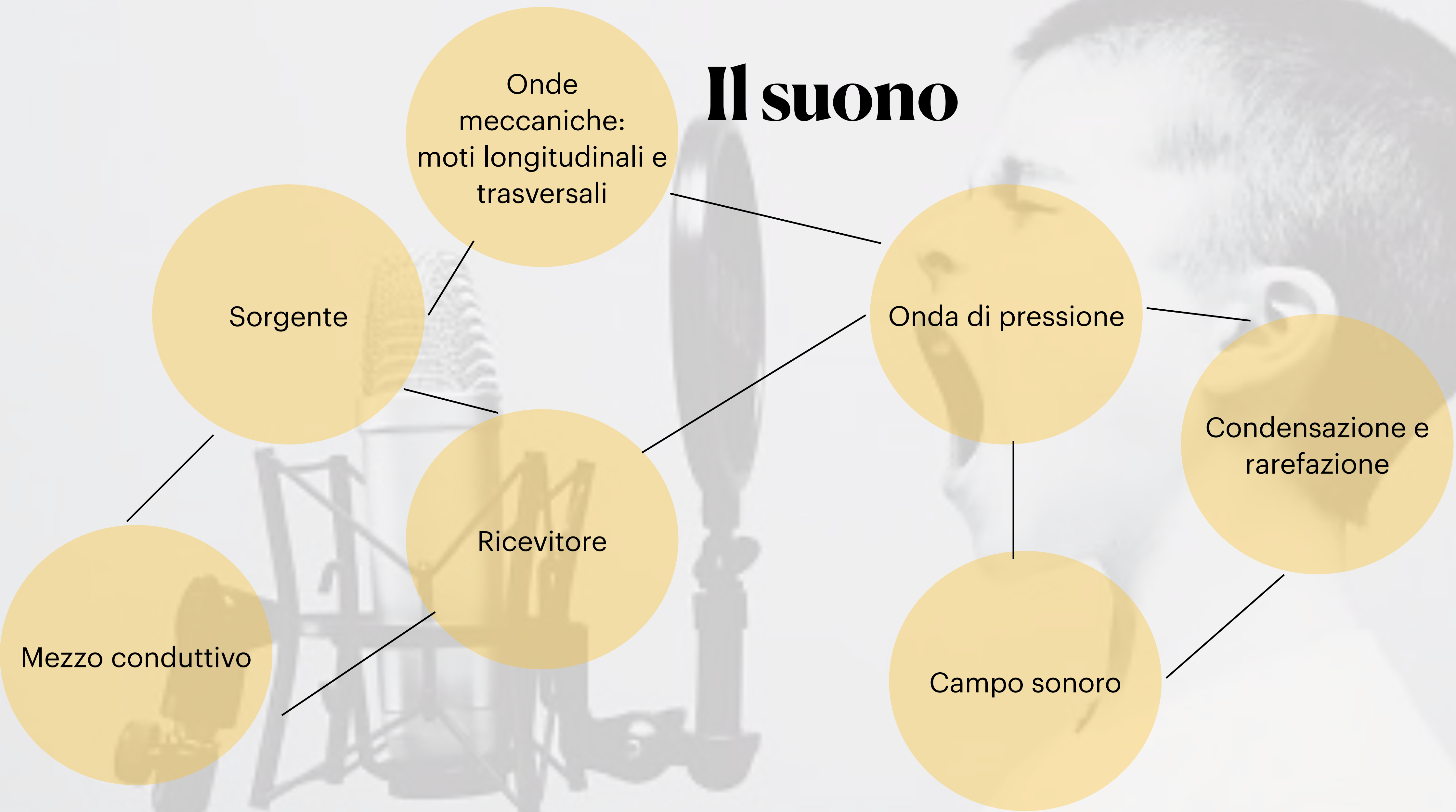
Onde meccaniche

Onde di Rayleigh - Onde meccaniche in un solido

©2016, Dan Russell



Il suono

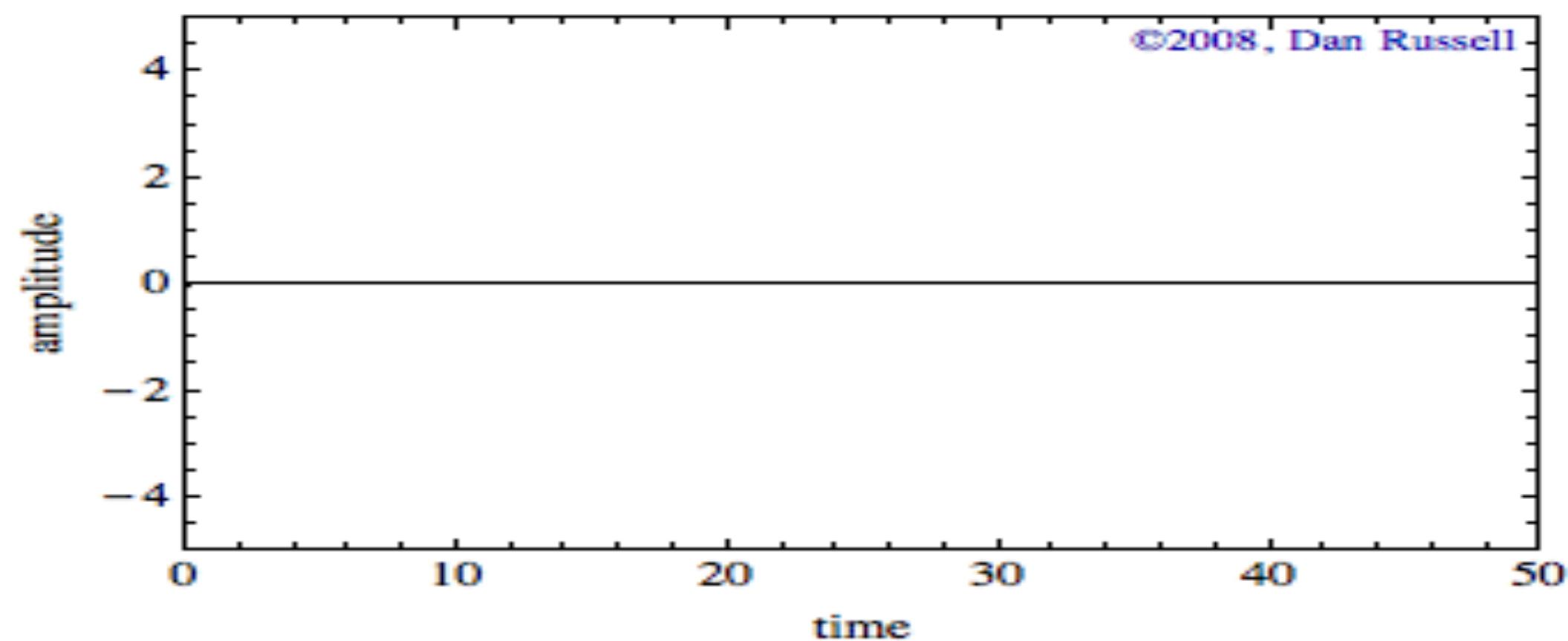


Come caratterizziamo il suono?

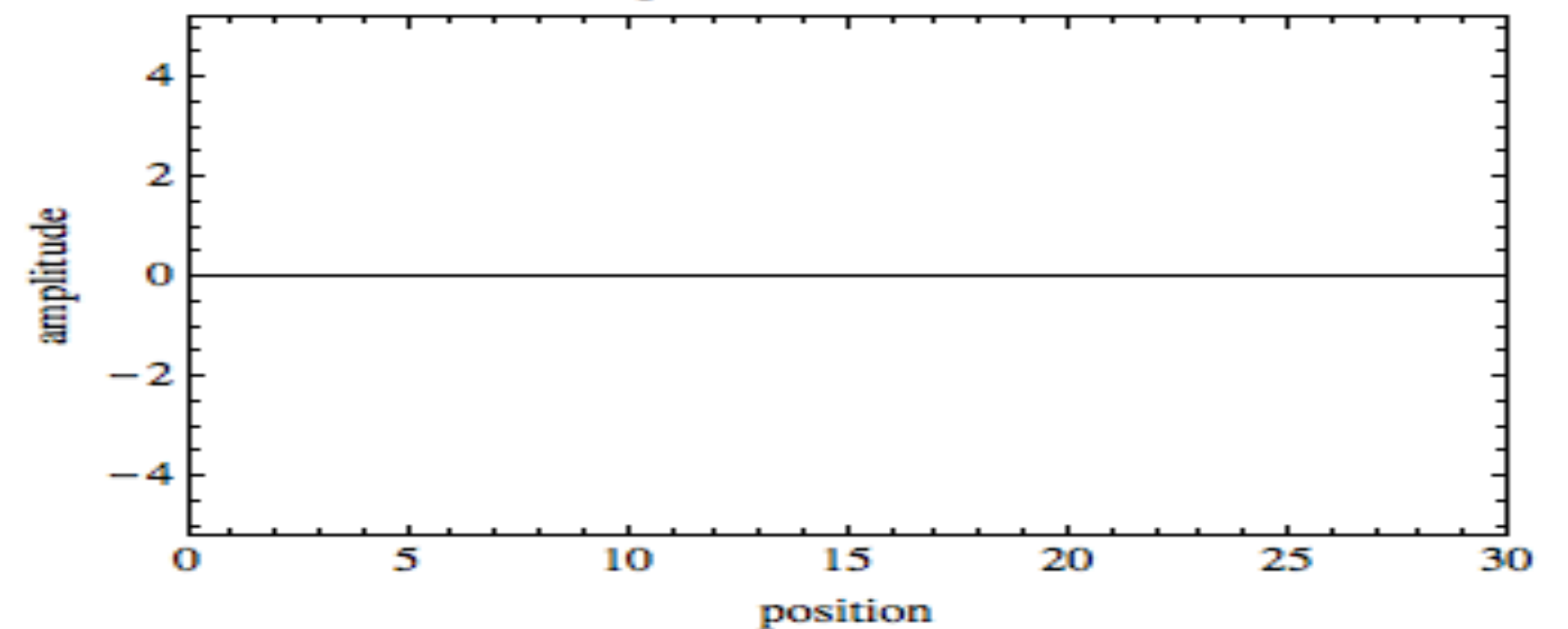
Dipendenza dal tempo e dallo spazio



Time behavior at x=10.25



Snapshot of wave at t=27s



$$\Psi(x, t) = A \sin(\omega t \pm kx)$$

Come caratterizziamo il suono?

Moto oscillatorio nel tempo e nello spazio

Ampiezza:

distanza del massimo spostamento dall'asse dei tempi

Periodo:

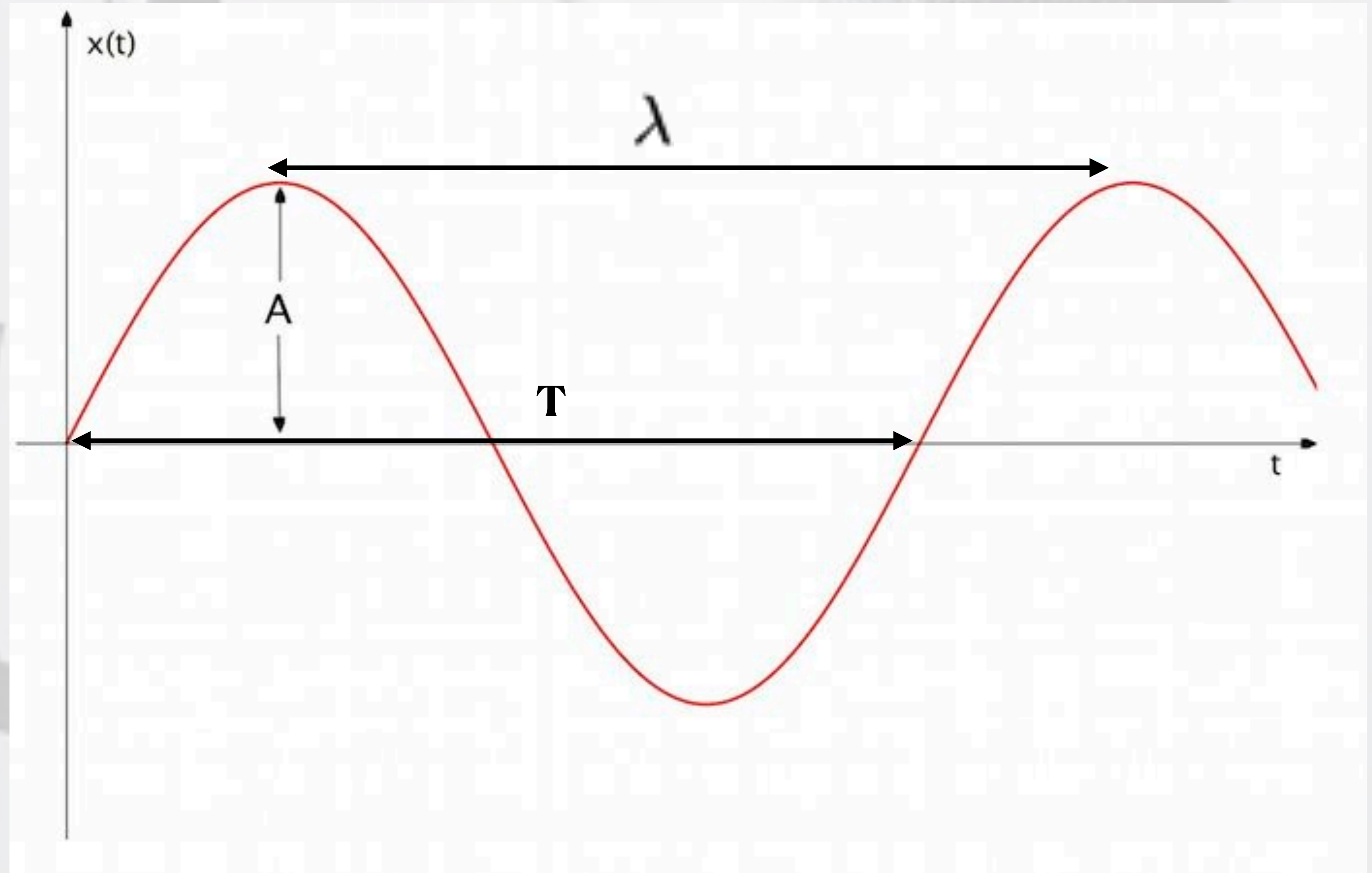
durata di un'oscillazione completa

Frequenza:

numero di oscillazioni complete in un secondo

Lunghezza d'onda:

distanza tra due creste o fra due ventri della sua forma d'onda



Come caratterizziamo il suono?

Ampiezza del suono

$$A \propto P \rightarrow A^2 \propto E \rightarrow E \propto I \rightarrow I \propto P^2$$

L'ampiezza di un'onda sonora è correlata ai cambiamenti di pressione. Il suono viene percepito come più forte se l'ampiezza aumenta e più morbido se l'ampiezza diminuisce. **L'ampiezza di un'onda sonora** è correlata alla **quantità di energia** che trasporta l'onda. **La quantità media di energia** che passa attraverso un'area unitaria per unità di tempo in una direzione specificata è chiamata **intensità dell'onda**. Man mano che l'ampiezza dell'onda sonora aumenta, l'intensità del suono aumenta. L'unità di misura dell'intensità è watt per metro quadrato [W·m²]. Tuttavia, l'unità di misura dell'intensità del suono è un'unità di misura relativa e non assoluta, definita come segue

$$I(db) = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{Sound}}{I_{Reference}} \right)$$

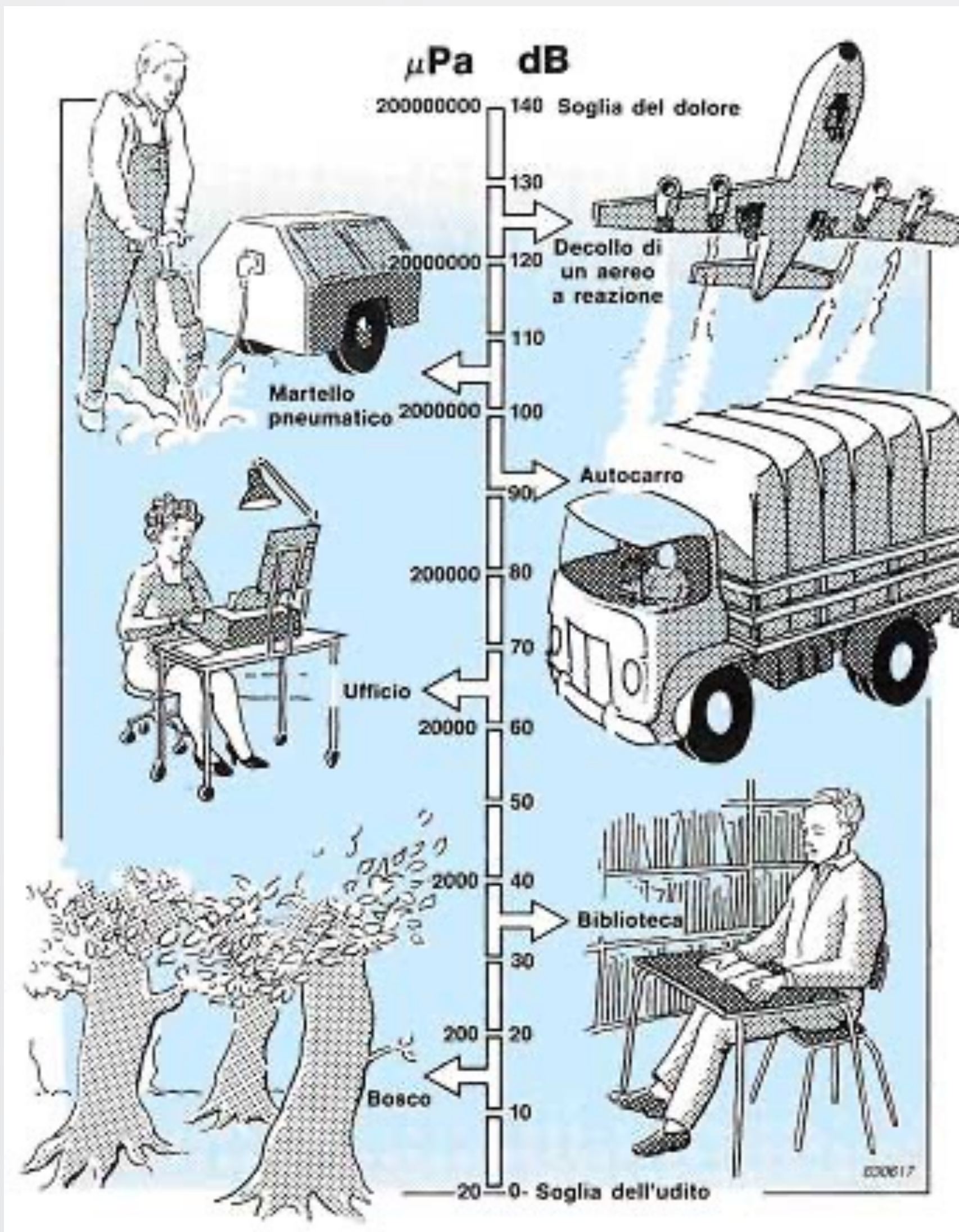
Come caratterizziamo il suono?

I decibel e la risposta logaritmica dell'udito

Tutti i nostri sensi sono rilevati dal nostro cervello su una scala in intensità di tipo logaritmico. Questa particolarità dei nostri sensi ci permette di fare molte cose. La risposta logaritmica dell'udito ci permette di ascoltare il fruscio delle foglie in una giornata di leggera brezza ma anche di sentire senza danni il rombo di un aereo che decolla. **Per questo comportamento non lineare dell'udito e per evitare di lavorare con valori di pressione, intensità, potenza, densità di energia e velocità molto grandi o molto piccoli dispersi su un campo troppo esteso, si è deciso di adottare una scala compressa, di tipo logaritmico. Si è così introdotto il decibel (dB) per misurare il livello di pressione sonora.**

Come caratterizziamo il suono?

I decibel e la scala logaritmica

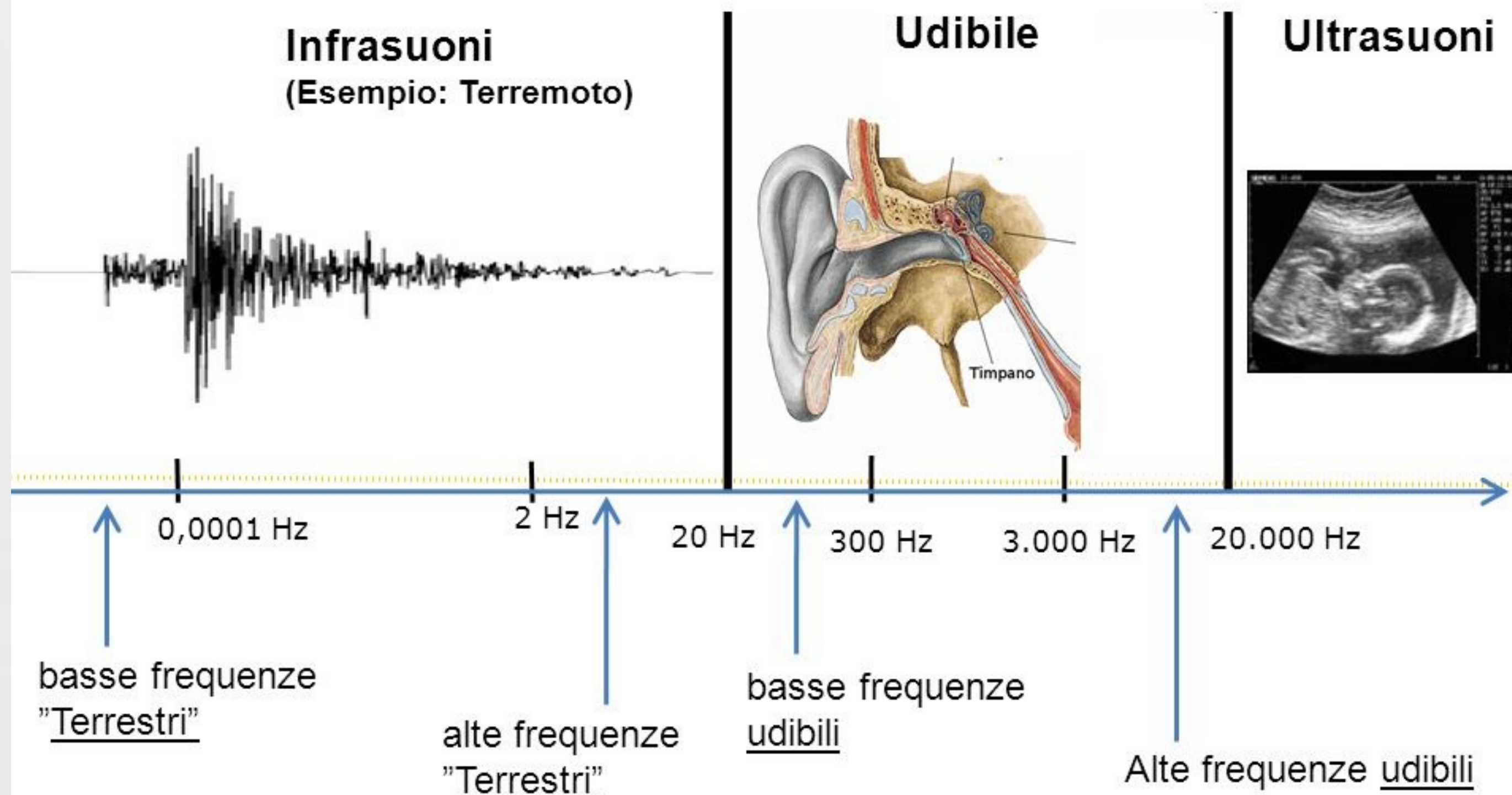


L'onda di pressione acustica che è in grado di indurre nell'uomo la sensazione sonora di più **piccola intensità**, ha una variazione di pressione di **20 μPa** (ovvero 20 milionesimi di Pa, e circa 5 miliardi di volte più debole della pressione atmosferica), mentre quella che induce una sensazione sonora di **massima intensità** (senza produrre un danno al nostro sistema uditivo), ha una variazione di pressione di **20 Pa**. Questo vuol dire che il nostro sistema uditivo è sensibile ad un intervallo costituito da un milione di variazioni di pressione.

Come caratterizziamo il suono?

Frequenza

- Alta o bassa frequenza e' un concetto relativo

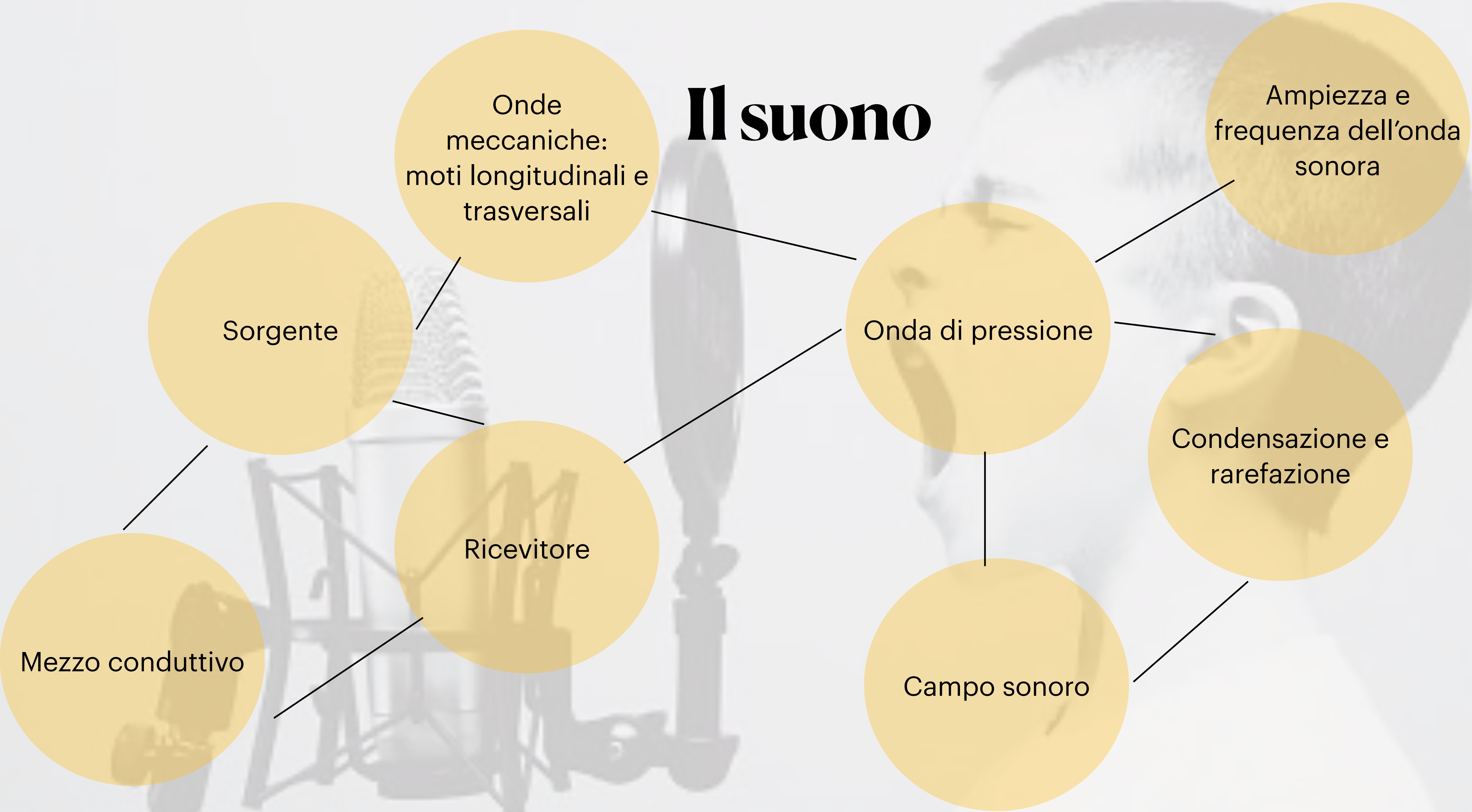


Lo spettro del suono udibile è compreso tra i

20 Hz - 20.000 Hz .

Al di sotto di 20 Hz i suoni sono detti **infrasuoni**, al di sopra di 20.000 Hz sono detti **ultrasuoni**. L'orecchio umano non è capace di captare infrasuoni e ultrasuoni

Il suono



La velocità del suono

$$\lambda \cdot f = v_s$$

La **velocità del suono** è la velocità con cui un suono si propaga in un certo ambiente, detto *mezzo*. La velocità del suono varia a seconda del mezzo. Il suono si propaga più velocemente nell'acqua che non nell'aria, e varia anche al variare delle proprietà del mezzo, specialmente con la sua temperatura.

Valori di riferimento della velocità del suono in aria

Temperatura (C°)	15	20	25
v_s	340,5	343,4	346,3

Misura della velocità del suono #1

Applicazione PhyPhox

<https://phyphox.org/>



Misura della velocità del suono #1

Commento



1



d



2

$$t_2^i - t_1^i = \frac{d}{v}$$

$$t_1^f - t_2^f = \frac{d}{v}$$

Somma
membro a
membro

$$\frac{(t_1^f - t_1^i)}{\Delta t_1} - \frac{(t_2^f - t_2^i)}{\Delta t_2} = \frac{2d}{v}$$

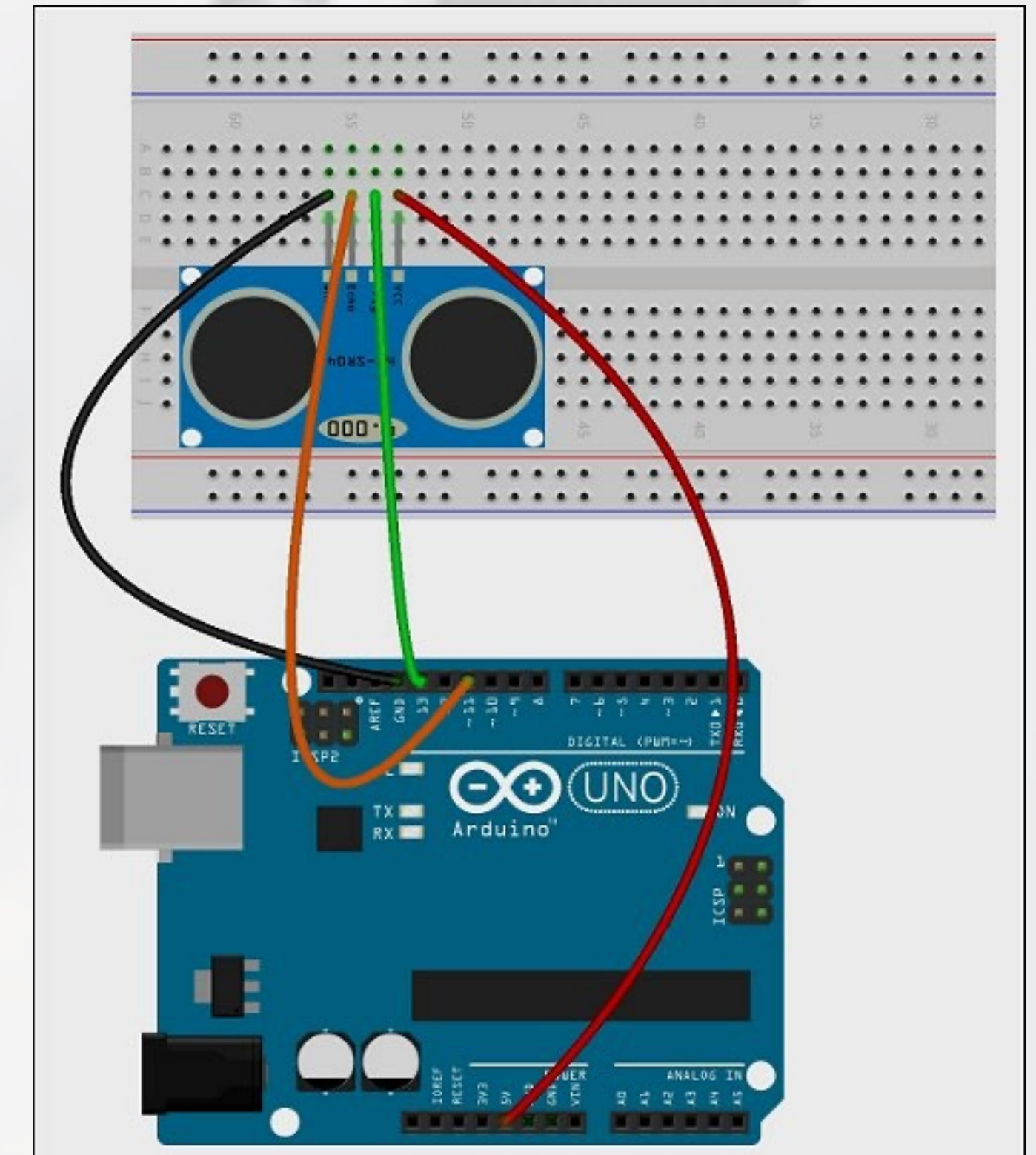
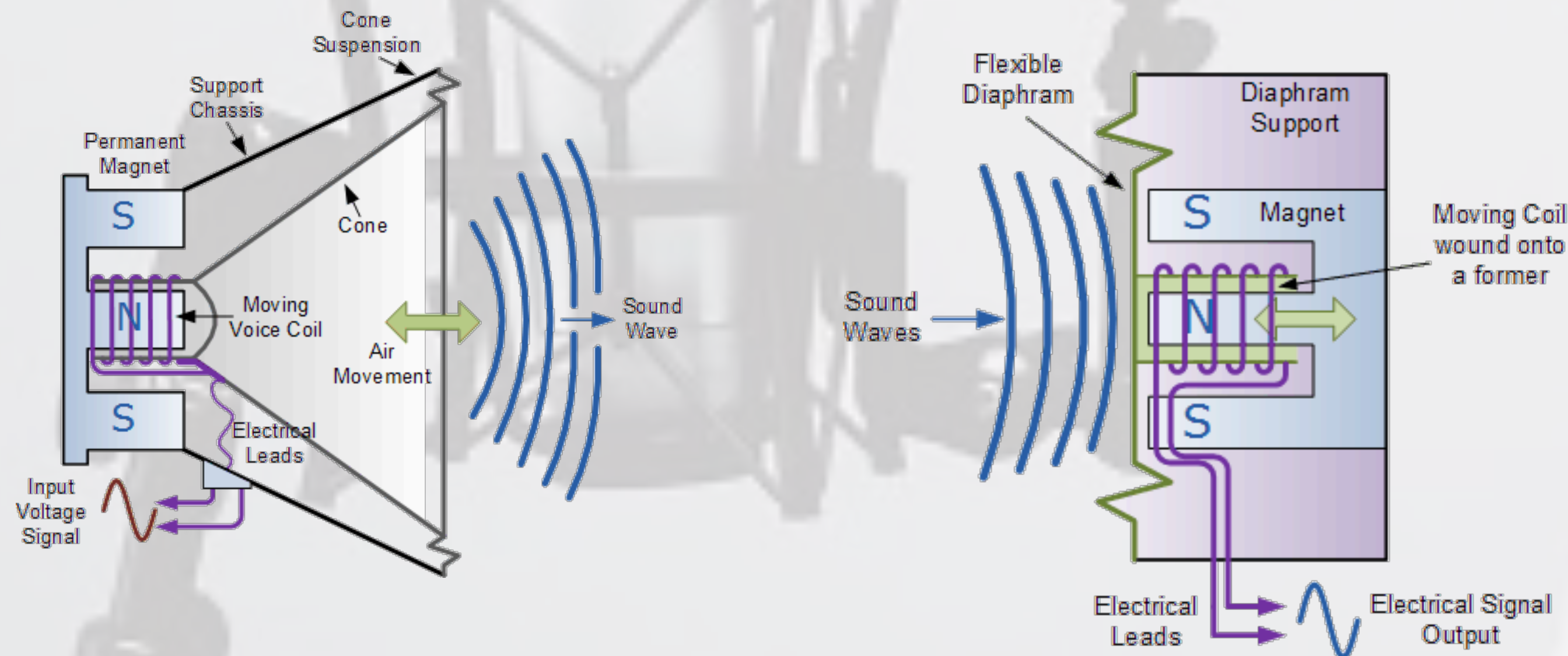
Misura della velocità del suono #1

Scheda

- 1) Fare una serie di misure (5 - 10) degli intervalli di tempo Δt a diverse distanze dei due smartphone (si può scegliere di spostare l'uno o l'altro) ;
- 2) Per ogni misura misurare la temperatura T dell'ambiente;
- 3) Riportare su un grafico le distanze d in funzione degli intervalli Δt misurati ;
- 4) Interpolare graficamente i punti con una linea retta. La pendenza di tale retta dà la migliore stima della velocità del suono
- 5) Realizzare un video dell'esperimento

Misura della velocità del suono #2

Sensore a ultrasuoni



```
const int pinTrigger = 9;
const int pinEcho     = 10;
```

```
void setup() {
  pinMode(pinTrigger, OUTPUT);
  pinMode(pinEcho, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.print( "Sensore Ultrasuoni: ");
}
```

```
void loop() {
  // imposta l'uscita del trigger LOW
  digitalWrite(pinTrigger, LOW);
  // imposta l'uscita del trigger HIGH per 10 microsecondi
  digitalWrite(pinTrigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(pinTrigger, LOW);
```

```
  // calcolo del tempo attraverso il pin di echo
  long durata = pulseIn(pinEcho, HIGH);
  long distanza = durata/58.31;
```

```
  Serial.print("distanza: ");
```

```
  // dopo 38ms è fuori dalla portata del sensore
```

```
  if( durata > 38000 ){
```

```
    Serial.println("Fuori portata");
```

```
  }
```

```
  else{
```

```
    Serial.print(distanza);
```

```
    Serial.println(" cm");
```

```
  }
```

```
  // Aspetta 1000 microsecondi prima di generare l'impulso
  successivo
```

```
  delay(1000);
```

```
}
```

Misura della velocità del suono

#2

Codice

Misura della velocità del suono #2

Scheda

- 1) Collegare il sensore a ultrasuoni alla scheda a microcontrollore secondo schema;
- 2) Scrivere un codice capace di acquisire il tempo di A/R del segnale ultrasonico per diverse posizioni di un oggetto a scelta;
- 3) Riportare su un grafico le distanze d in funzione degli intervalli Δt misurati ;