

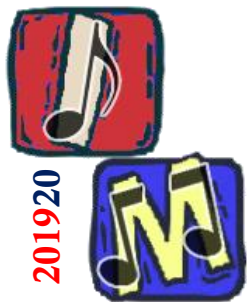


# Acustica

## Parte 1

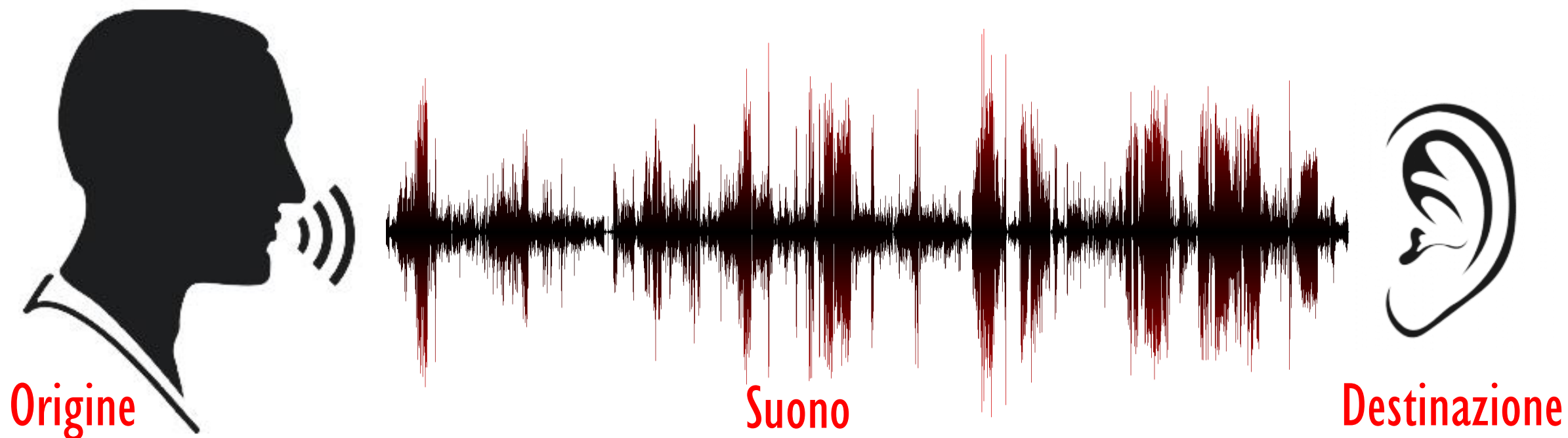
---

Prof. Filippo Milotta  
[milotta@dmi.unict.it](mailto:milotta@dmi.unict.it)



# Suono e Audio

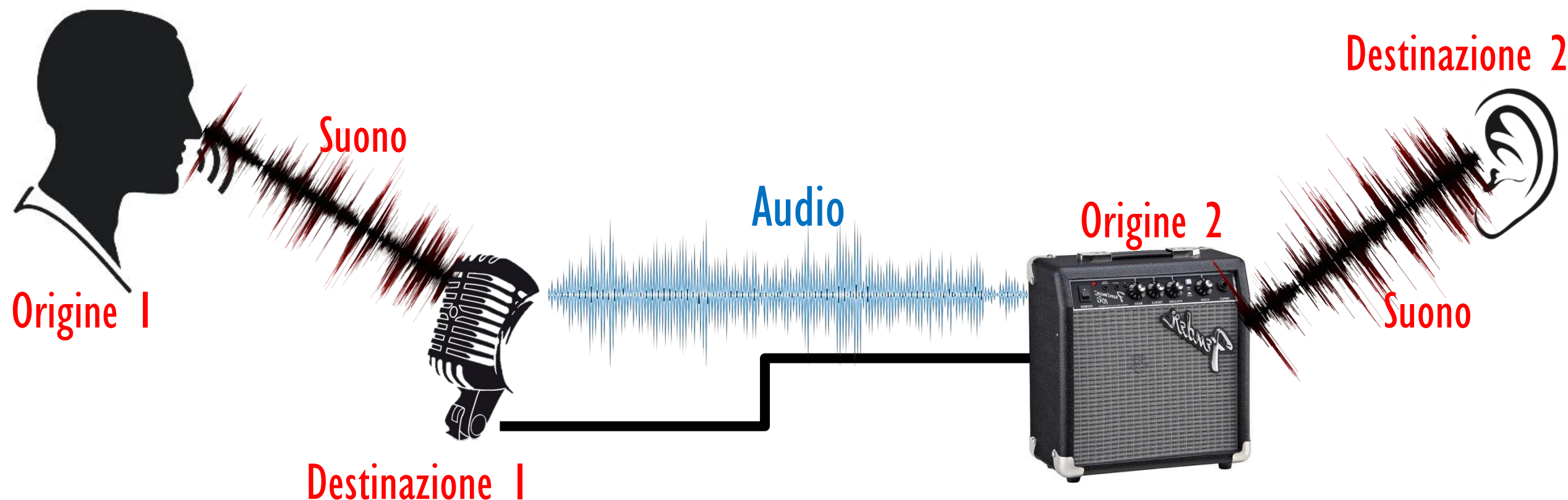
Il **suono** è un insieme di onde meccaniche longitudinali. L'oggetto che origina il suono produce una vibrazione che si propaga attraverso un mezzo modificando nel tempo la pressione locale delle particelle che lo costituiscono.





# Suono e Audio

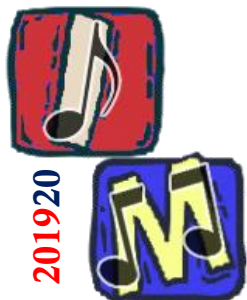
L'**audio** è un **segnale elettromagnetico** che rappresenta e trasporta informazione sonora. L'audio e il suono sono quindi fisicamente differenti, in particolare il primo permette di trasmettere il secondo facendolo viaggiare attraverso apparecchiature elettroniche.



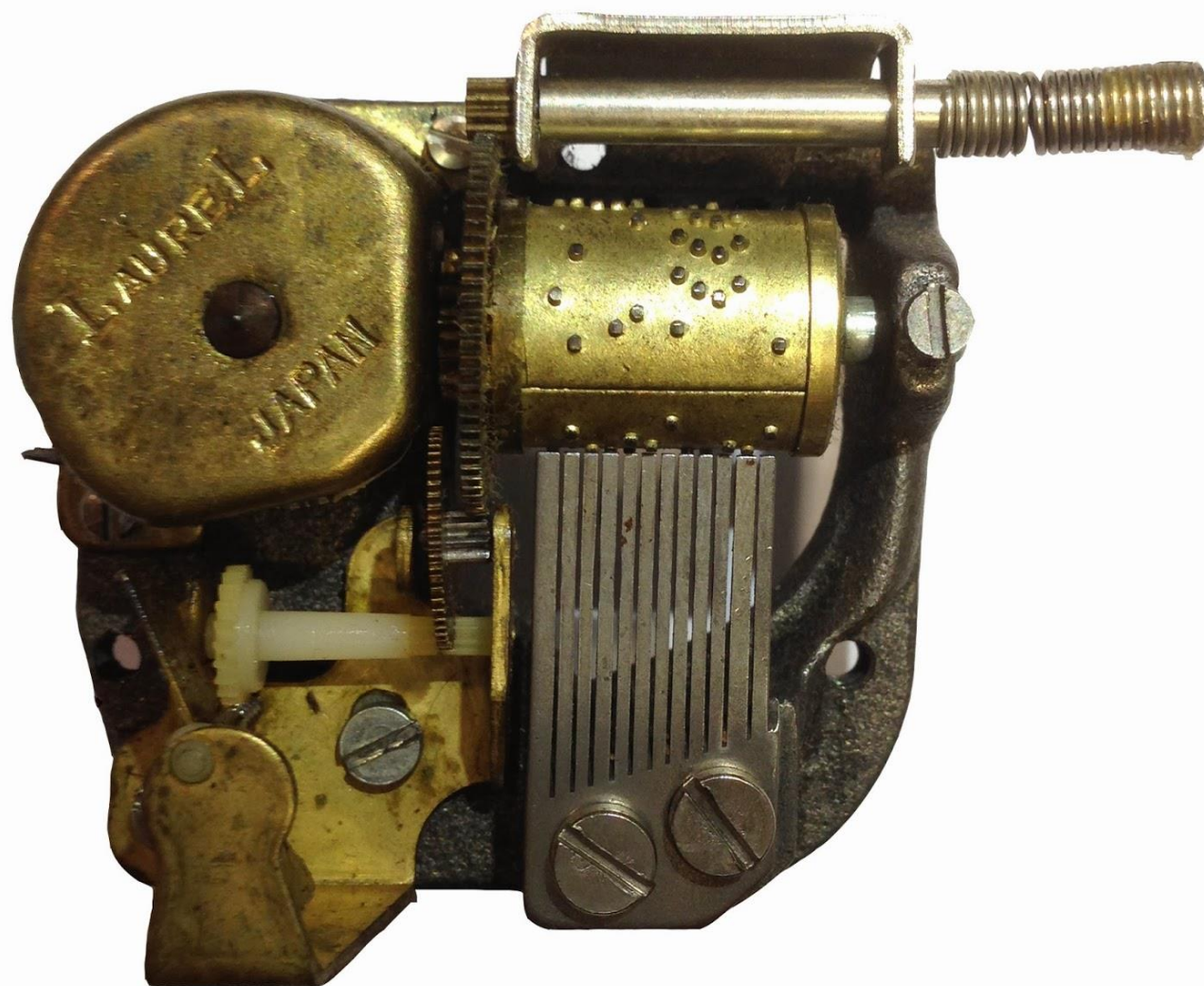


# Storia

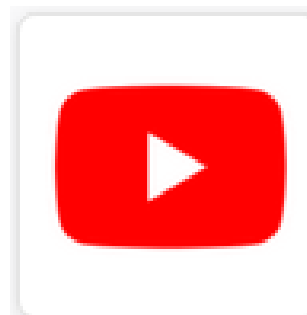
- Riproduzione di suoni pre-registrati e registrazione non automatica (IX secolo).
- Registrazione automatica di suoni arbitrari, ma impossibili da riprodurre (1857).
- Riproduzione e registrazione di suoni arbitrari (1877).



# Storia – Carillon (XIV secolo)



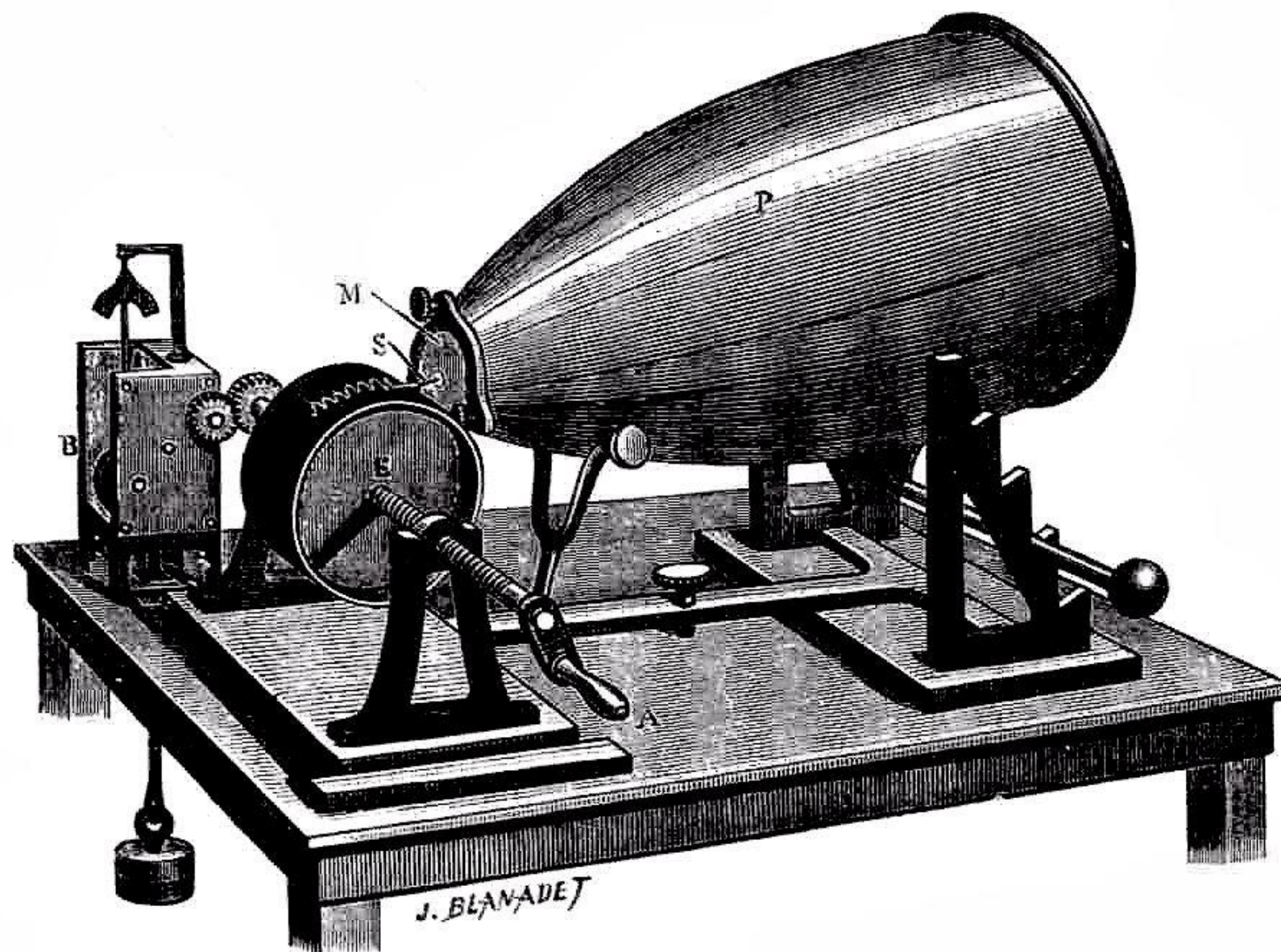
*Marble Machine*



<https://www.youtube.com/watch?v=OsjG1aEdogw>

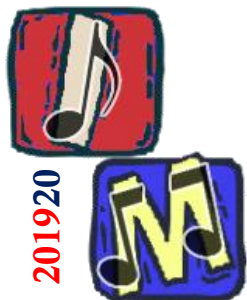


# Storia – Fonautografo (1857)



<https://www.youtube.com/watch?v=znKNQXo58pE>



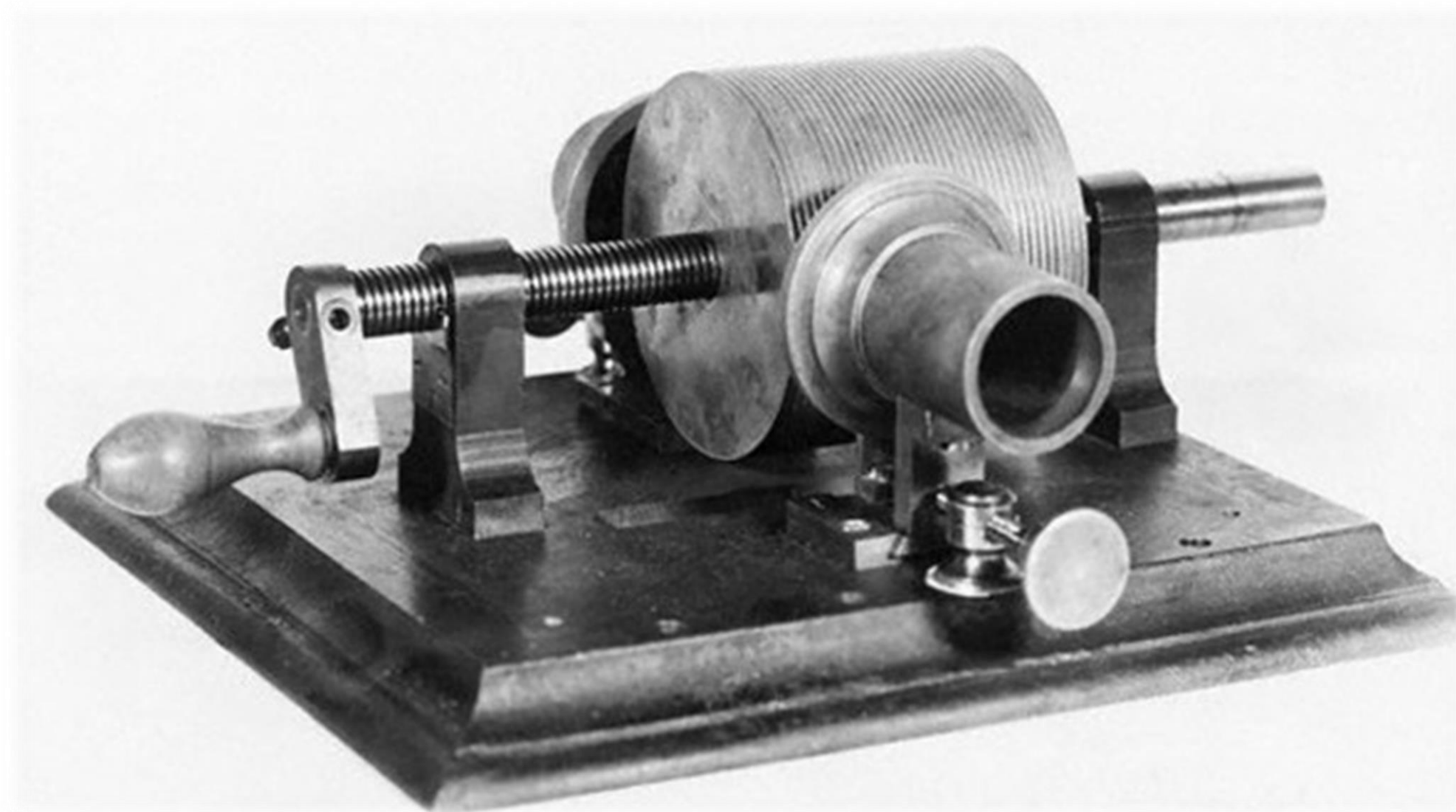


# Storia - Fonautogramma





# Storia – Fonografo (1877)

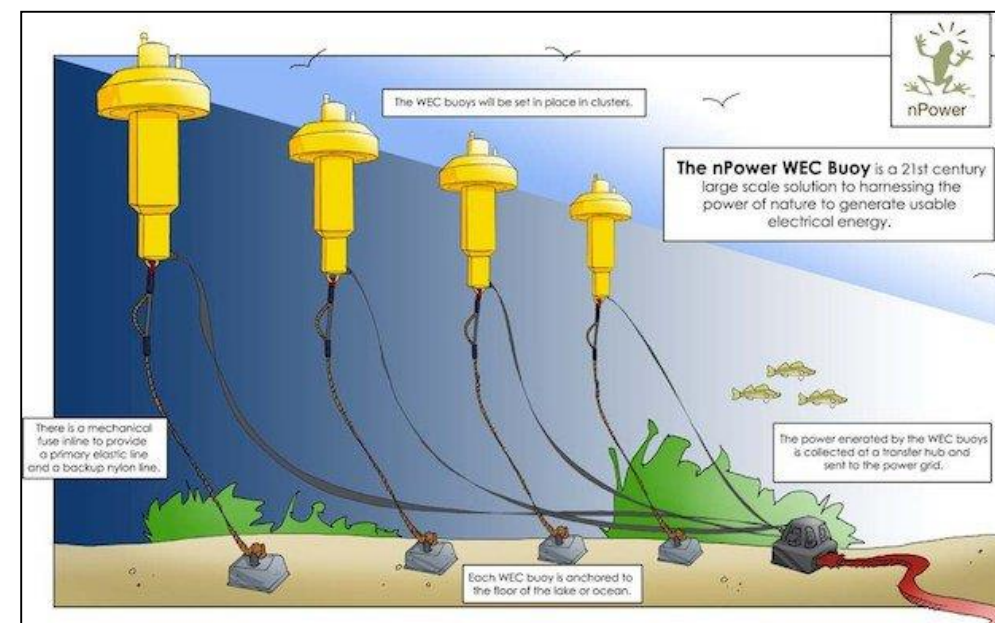
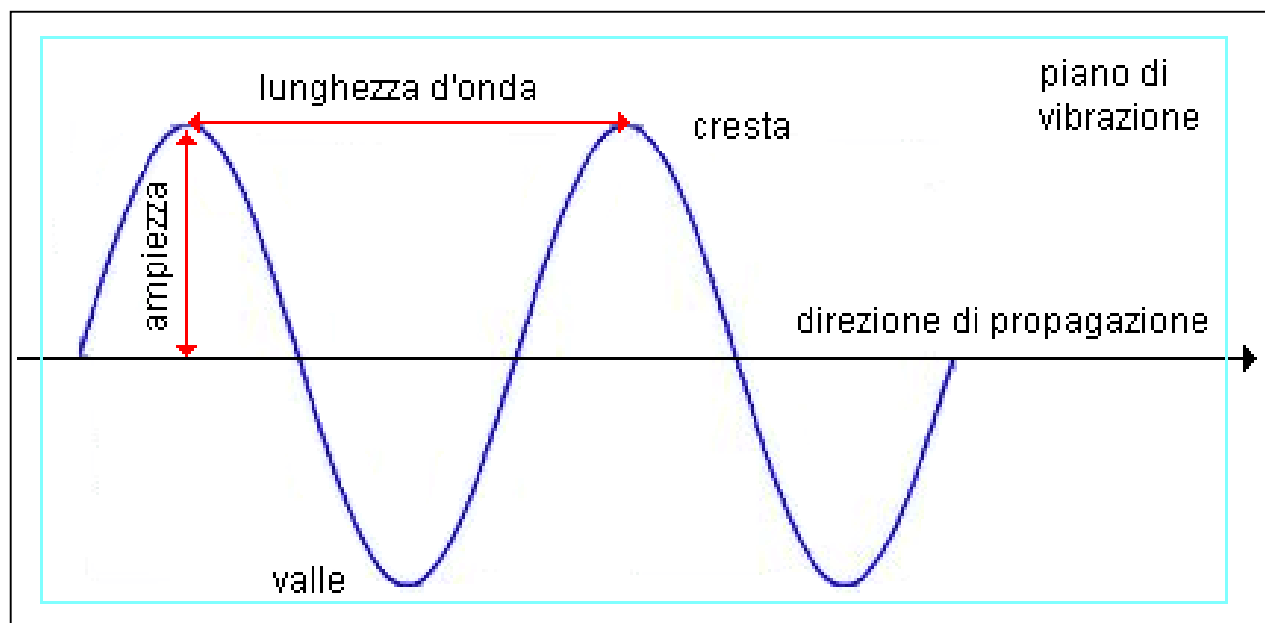


<https://www.youtube.com/watch?v=YBXyuY2J20o>



# Definizione di onda

- Spostamento di energia  
a cui non è associato spostamento di materia





# Cenni sulle onde

Un'onda è una perturbazione di una grandezza fisica che si propaga nel tempo trasportando energia o quantità di moto.

## Classificazione:

- Rispetto al **mezzo di propagazione**.
- Rispetto alla **direzione** di movimento delle particelle.
- Rispetto alla **forma**.
- Rispetto alla **periodicità**.

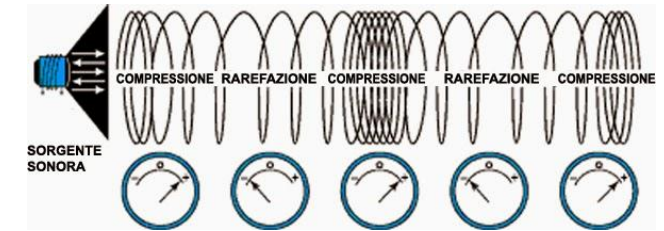
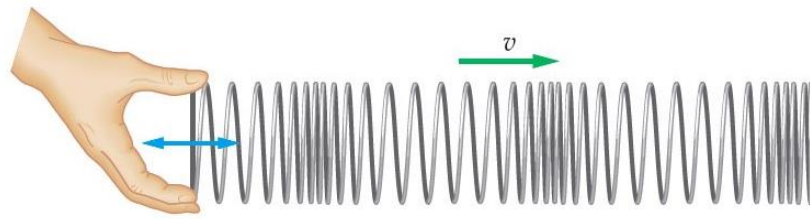


# Classificazione onde - Mezzo

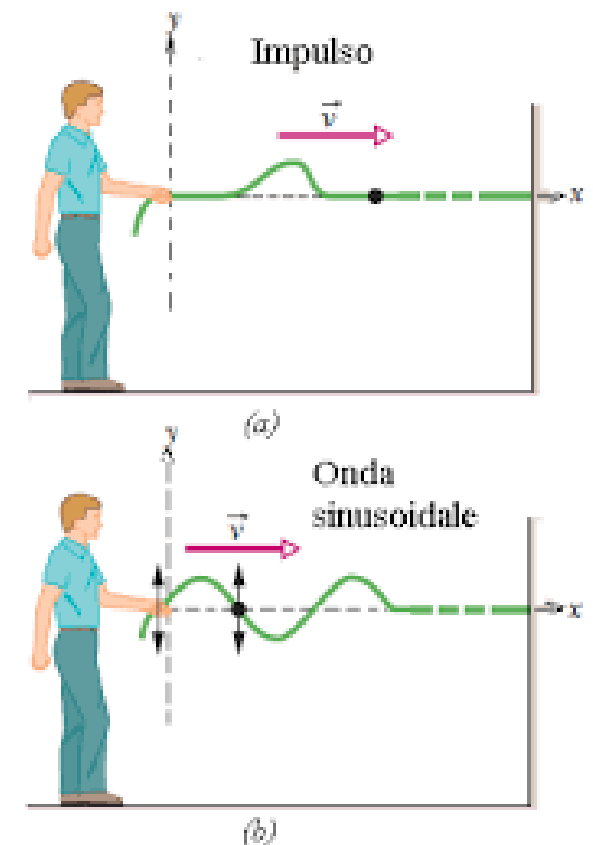
- **Onda meccanica:** la perturbazione interessa particelle di materia. Affinché avvenga la propagazione serve quindi un mezzo materiale in forma gassosa, liquida o solida.
- **Onda elettromagnetica:** la perturbazione interessa grandezze elettromagnetiche, in particolare la variazione di campi elettrici e magnetici. Si può propagare nel vuoto.



# Classificazione onde - Direzione



- **Onda longitudinale:** le particelle perturbate si muovono lungo la stessa direzione di propagazione dell'onda (parallelamente o longitudinalmente).
- **Onda trasversale:** le particelle perturbate si muovono lungo la direzione perpendicolare a quella di propagazione dell'onda (trasversalmente).

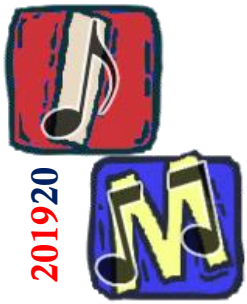




# Classificazione onde - Forma

La forma d'onda è il grafico che descrive l'ampiezza dell'onda in funzione del tempo.

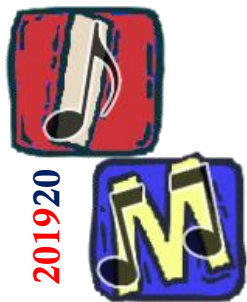
- **Onda sinusoidale:** la relazione tra il tempo e l'intensità dell'onda è descritta dalla funzione seno. Dunque la forma d'onda corrisponde al grafico della funzione seno.
- **Altre onde:** nonostante per alcune sia nota la funzione che le descrive, la maggior parte delle onde ha una forma generica.



# Classificazione - Periodicità

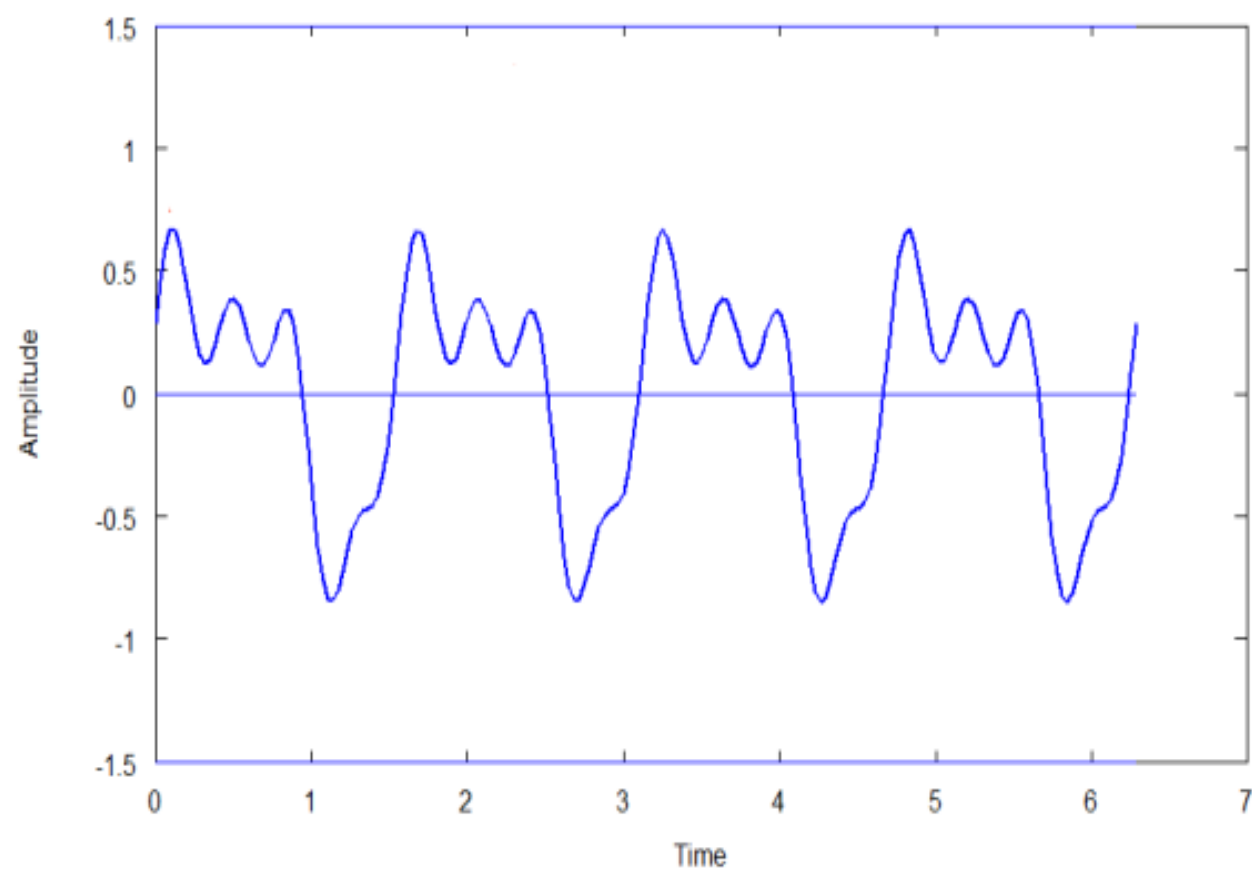
- Un'onda si dice **periodica** e di periodo  $T$  se è costituita da una sequenza di oscillazioni che si ripetono ad intervalli di tempo regolari e pari a  $T$ . Si può descrivere matematicamente tramite una funzione periodica di periodo  $T$ .
- Un'onda si dice **aperiodica** o **non periodica** se non si può individuare una regolarità nelle oscillazioni. Spesso è difficile da descrivere tramite una funzione matematica, ma quando ciò accade si utilizza una funzione non periodica.



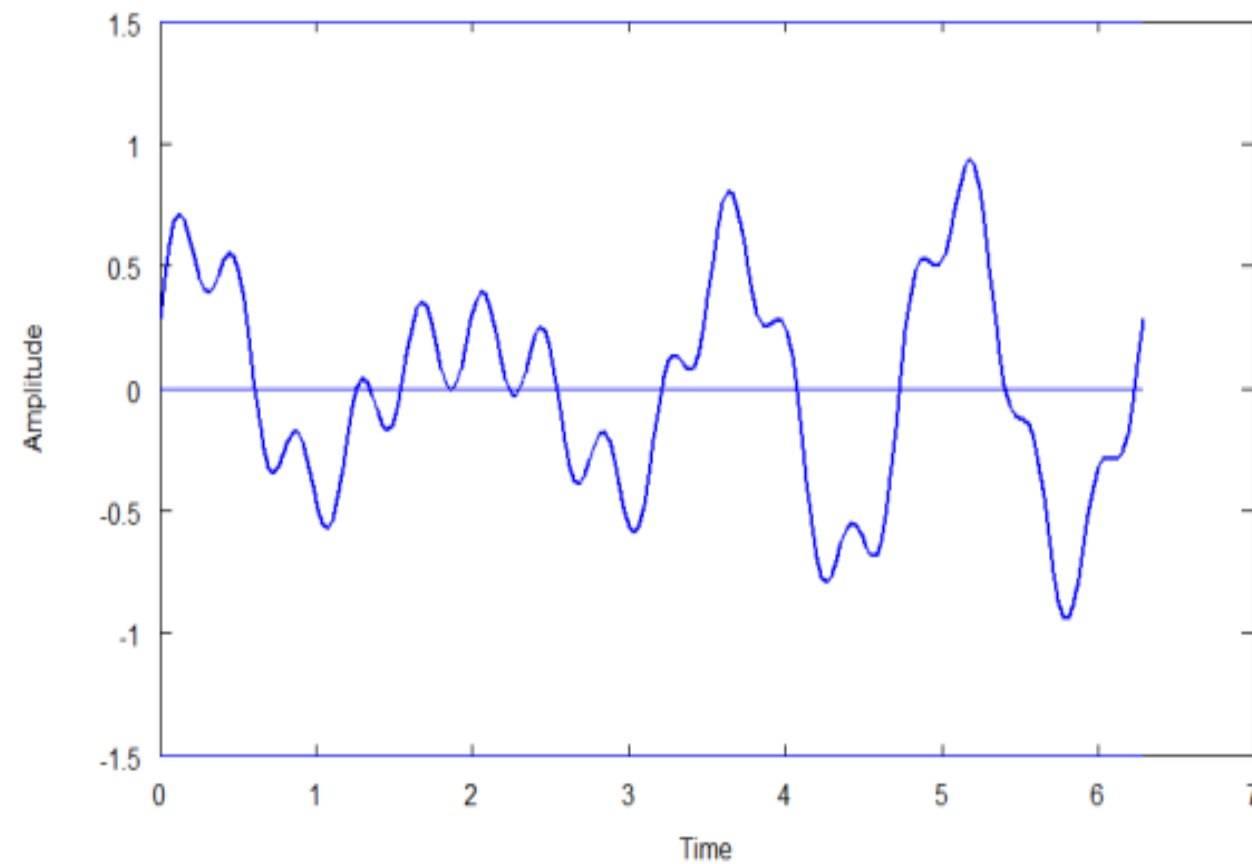


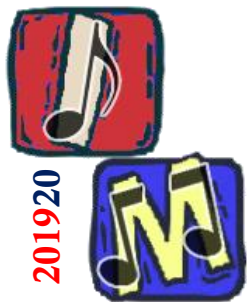
# Periodicità - Esempio

Onda periodica

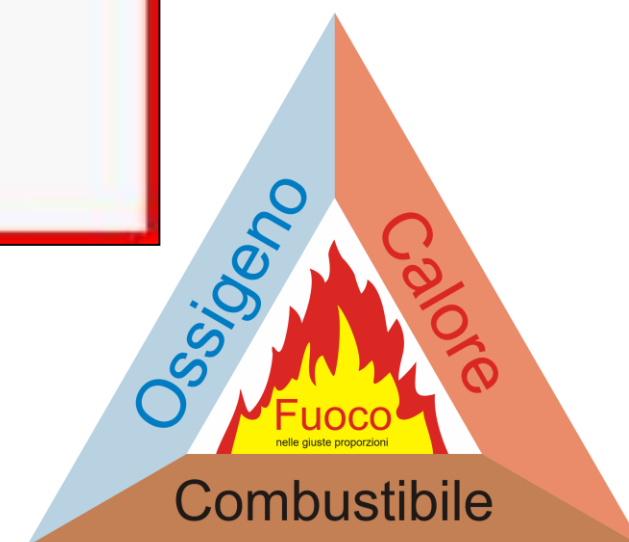
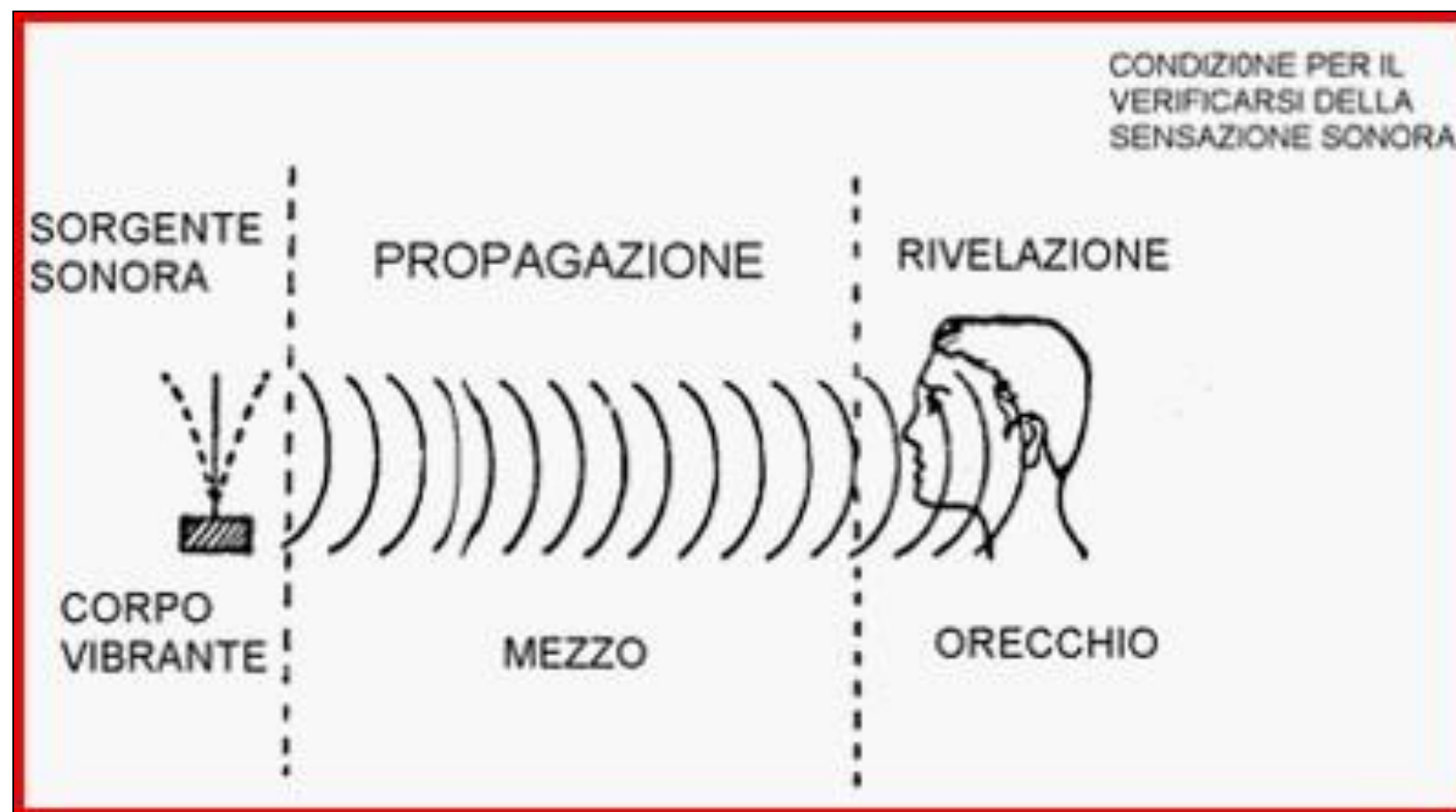


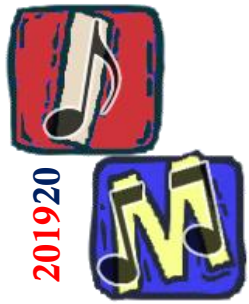
Onda aperiodica





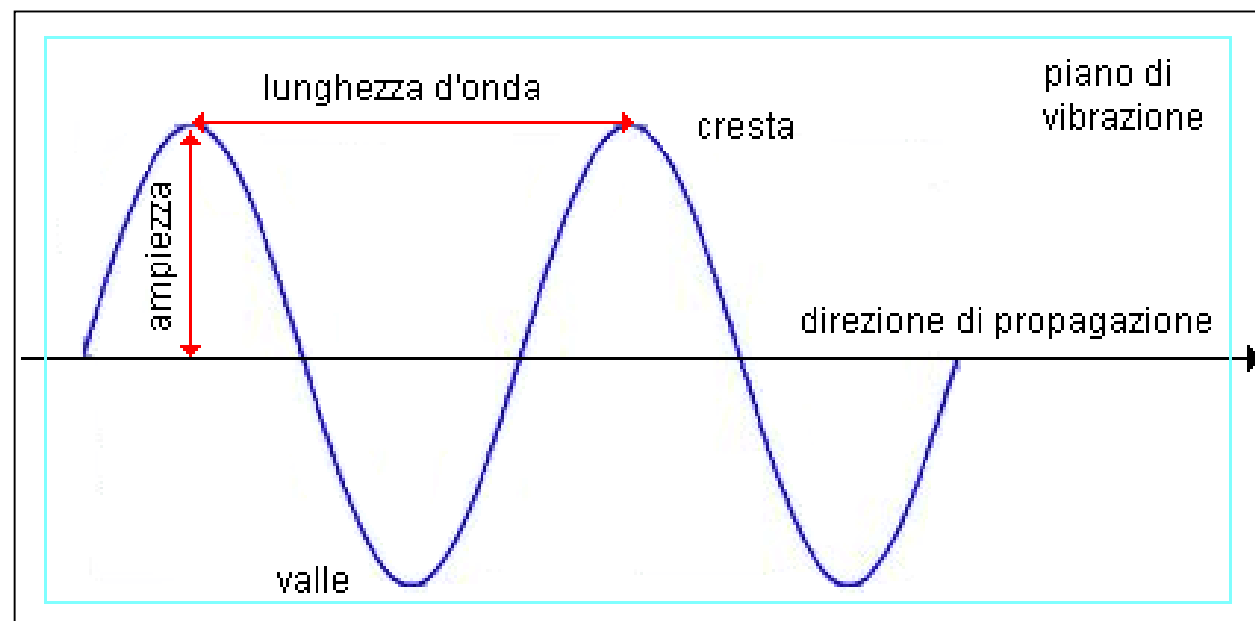
# Vibrazione, Propagazione, Rivelazione



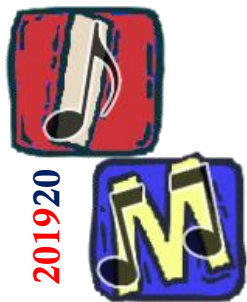


# Ampiezza, Periodo, Frequenza, Fase, Lunghezza d'onda

- Ampiezza: intensità del suono
  - Volume del suono (bisbiglio VS urlo)
  - Proporzionale all'energia trasportata dall'onda
- Frequenza: altezza di un suono
  - Suono acuto VS grave
- Fase: spazializzazione del suono

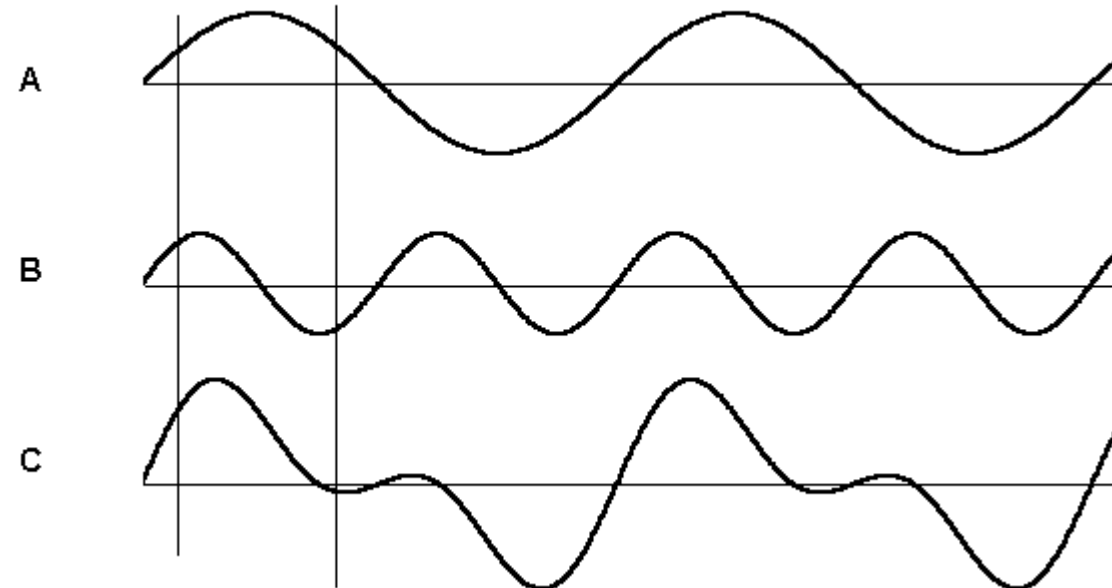


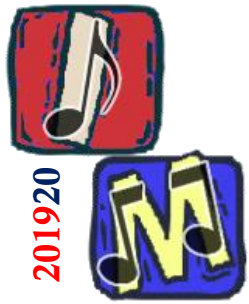




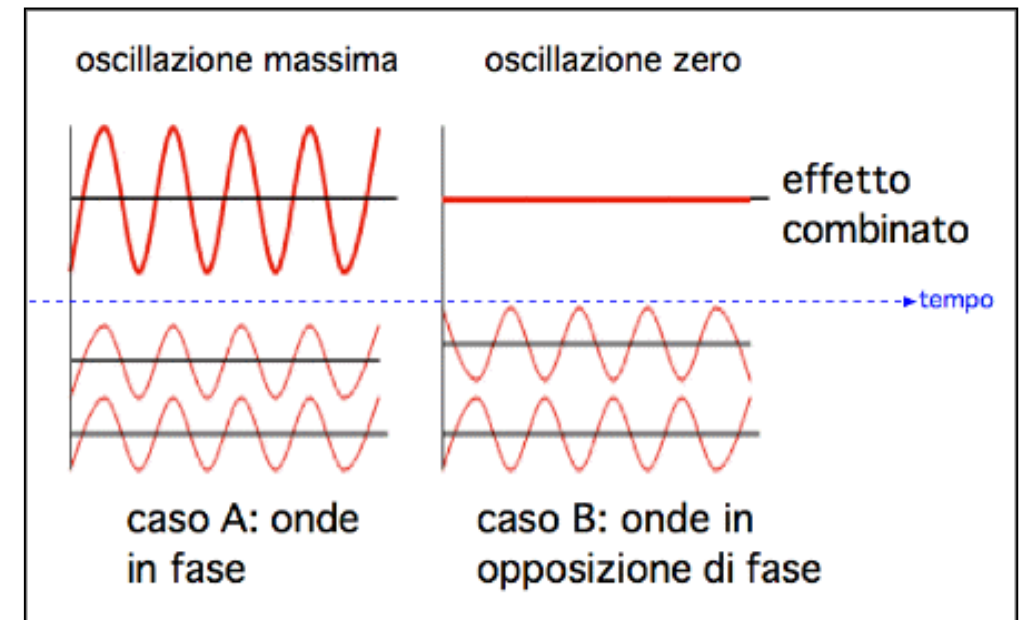
# Principio di sovrapposizione delle onde

- *Se due o più onde della stessa natura (onde elettromagnetiche, onde sonore) che si propagano nello stesso mezzo si sovrappongono in un certo punto dello spazio, → **allora** la perturbazione generata è pari **alla somma algebrica** delle oscillazioni di ciascuna onda presa singolarmente*
- Qualunque sia il numero di sorgenti sonore presenti, al nostro orecchio giunge una sola onda sonora, risultato eventualmente della somma delle onde sonore prodotte dalle varie sorgenti
- Istante per istante i valori istantanei dell'ampiezza delle diverse onde si sommano algebricamente, cioè con il loro segno, positivo o negativo





# Ampiezza, Periodo, Frequenza, Fase, Lunghezza d'onda



## ■ Onde in fase:

- Due o più onde con la stessa frequenza raggiungono l'ampiezza max nello stesso istante

## ■ Onde in opposizione di fase:

- Due o più onde con la stessa frequenza raggiungono rispettivamente l'ampiezza max e min nello stesso istante
- Presentano una differenza di fase di  $180^\circ$



# Esercitazione Pratica (dal testo)

Libro di testo: sezione  
ed esercizio



## ■ 1.8:2 – Nozione di fase

In un editor audio generare due onde sinusoidali identiche.

- Invertire la fase di una delle due.
- Mixare le due tracce verificando di aver ottenuto il silenzio.



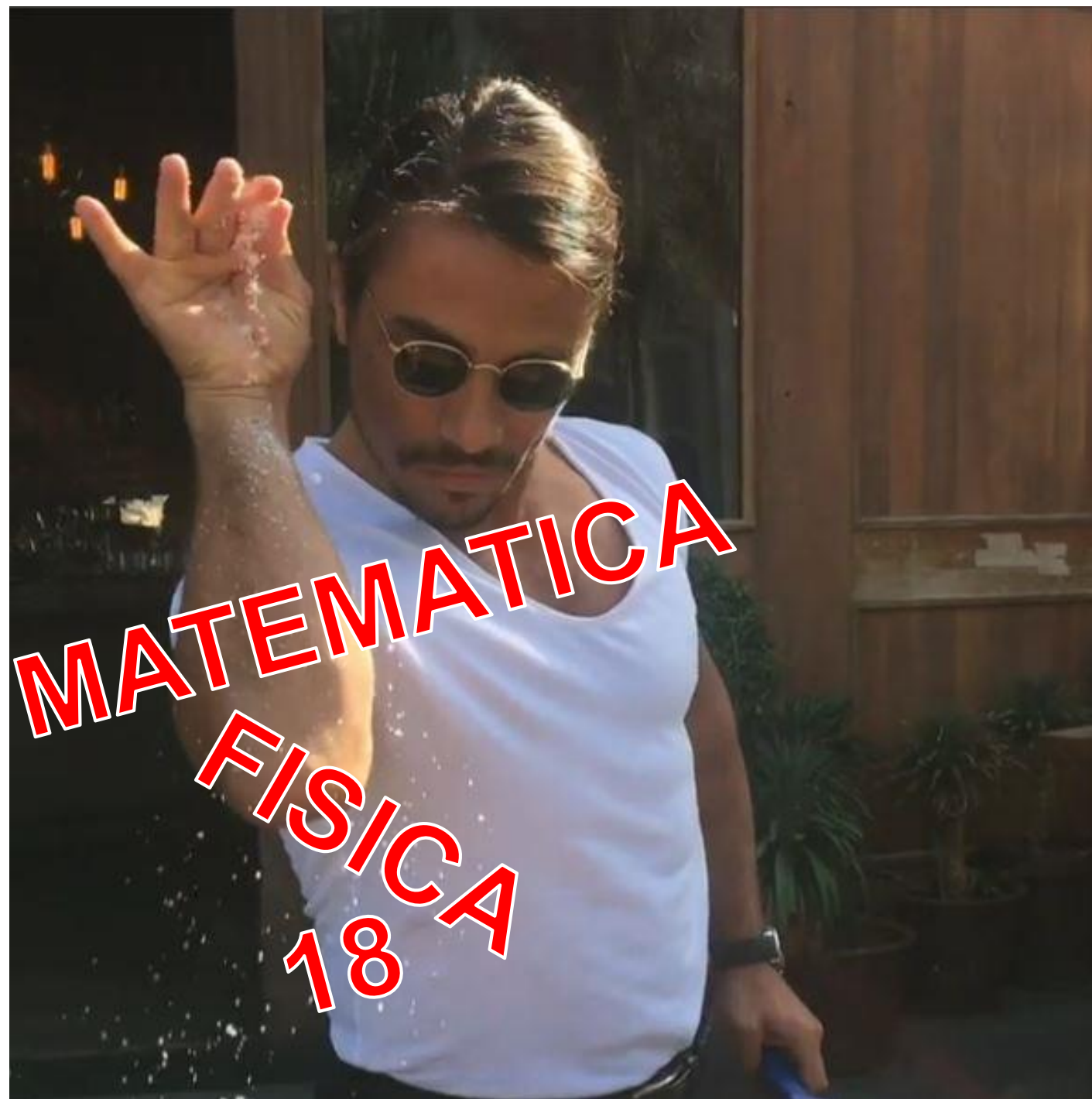


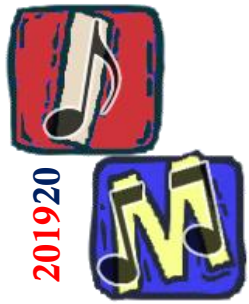
# Esercitazione Pratica – I battimenti (dal testo)

## ■ 1.8.6 – Forma d'onda: i battimenti

In un editor audio generare due onde sinusoidali con frequenze vicine

- ❑ 300 Hz e 302 Hz, con ampiezza 0,5
- ❑ Mixare le due tracce
- ❑ Verificare che la frequenza del segnale mixato coincida con quella del segnale a 110 Hz





# Onda periodica – Funzione matematica

Una funzione  $f$  si dice *periodica* e di periodo  $T$  quando:

$$\exists T > 0 : \forall t \in \mathbb{R} \quad f(t) = f(t + T)$$

**Esempio:** un tipico esempio è quello delle funzioni trigonometriche, come seno o coseno. Infatti:

$$\sin(x) = \sin(x + T) \quad \text{per} \quad T = 2\pi$$

Lo stesso vale per la funzione coseno.



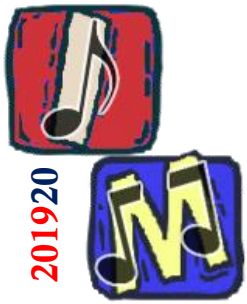
# Grandezze fisiche - Onda periodica

- **Frequenza:** indica il numero di oscillazioni complete nell'unità di tempo. Si misura in Hertz [Hz] ([1/s]).
- **Periodo:** indica il tempo necessario per compiere un'oscillazione completa. Si misura in secondi [s]. Se  $f$  è la frequenza, il periodo  $T$  vale:

$$T = \frac{1}{f}$$

- **Ampiezza:** serve a descrivere il range massimo di oscillazione. L'unità di misura dipende dalla grandezza fisica perturbata



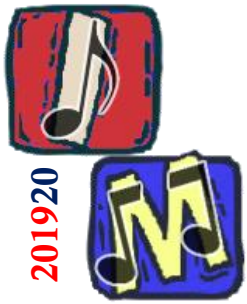


# Grandezze fisiche - Onda periodica

- **Fase:** rappresenta una generica parte di periodo trascorso rispetto ad un istante di tempo fissato. Può avere altri significati che dipendono dallo specifico tipo di onda.
- **Fase iniziale:** rappresenta il periodo trascorso rispetto all'istante di tempo 0.
- **Pulsazione:** numero di oscillazioni complete in un tempo pari a  $2\pi$ . Si misura tipicamente in radianti al secondo [rad/s]. Se  $f$  è la frequenza ( e  $T$  il periodo), la pulsazione  $\omega$  vale:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Queste **tre** grandezze possono avere diversi significati in base al tipo di onda. Per semplicità riferiamoci ad esse con il significato che hanno per le **onde sinusoidali**.



# Grandezze fisiche - Onda periodica

- **Velocità d'onda:** è lo spazio percorso dalla perturbazione nel tempo. Si misura in metri al secondo [m/s]. Dipende dal mezzo in cui l'onda si propaga.
- **Lunghezza d'onda:** è la distanza percorsa dall'onda, nel tempo necessario a passare da un punto di massimo o di minimo al corrispondente punto di massimo o di minimo dell'oscillazione successiva, chiamati rispettivamente **creste** e **ventri**. Si misura in metri [m]. Se  $v$  è la velocità dell'onda

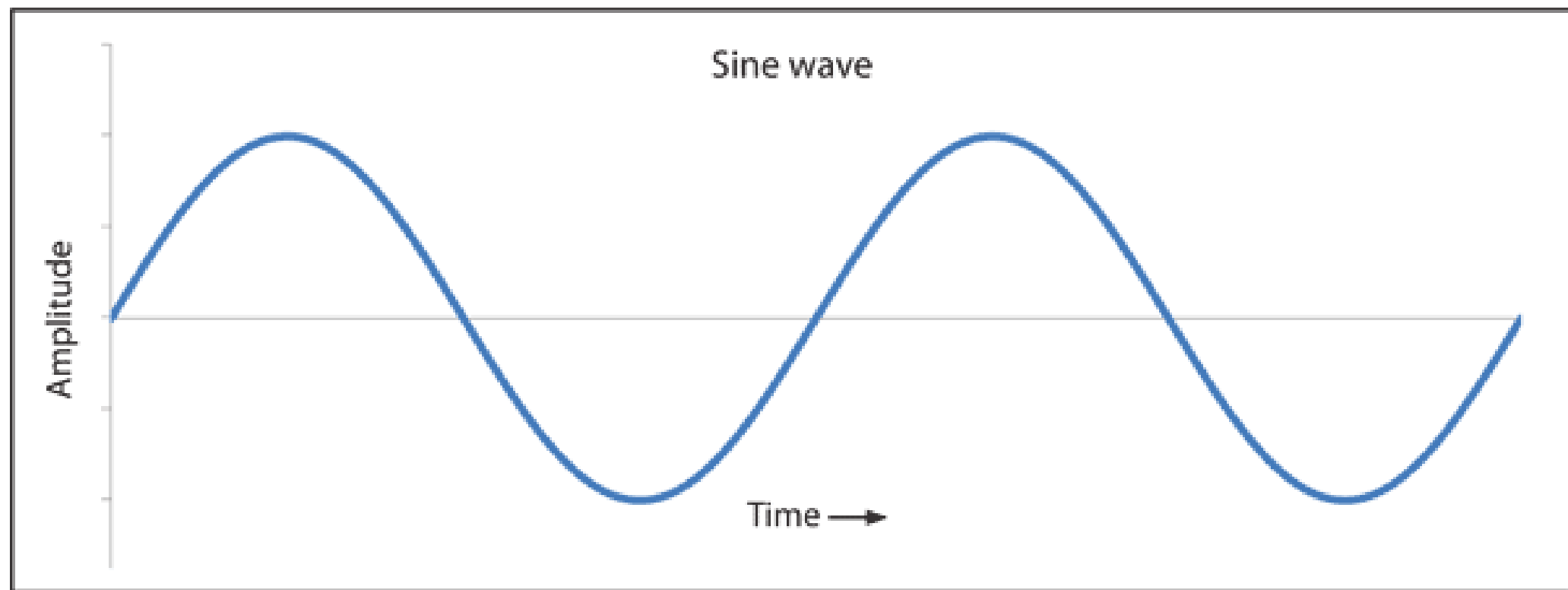
$$\lambda = vT = \frac{v}{f}$$

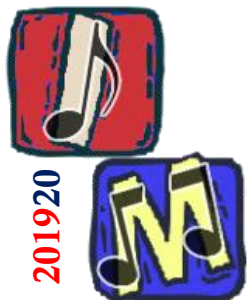


# Esempio – Onda sinusoidale

Un'onda sinusoidale può essere descritta matematicamente dalla seguente funzione periodica:

$$y(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi_0)$$

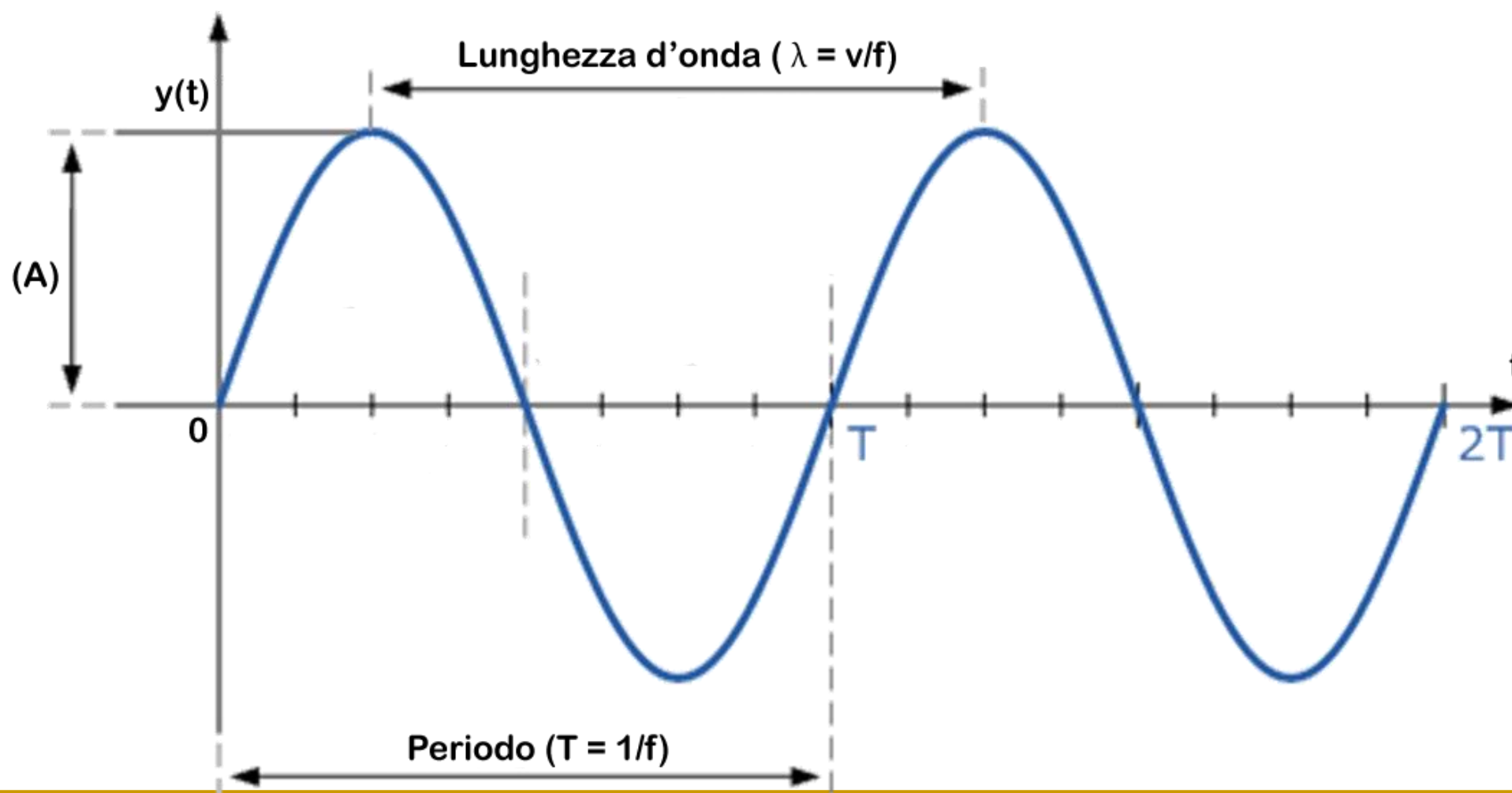




# Esempio – Onda sinusoidale

$$y(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi_0)$$

Dove  $A$  è la metà dell'ampiezza,  $f$  la frequenza. In questo caso, il termine  $2\pi f t + \varphi_0$  è la fase, mentre  $\varphi_0$  è la fase iniziale







# Parametri fisici

## Onda sinusoidale

- Data l'equazione sinusoidale

$$y(t) = 10\sin(4 * \pi * t + 4)$$

- Quanto vale l'ampiezza?
  - 10
- Quanto vale la frequenza?
  - 2
- Quanto vale la fase?
  - 4



# Approfondimenti

- *Il suono e le sue caratteristiche fisiche*

[http://www.academia.edu/23641480/IL\\_SUONO\\_E\\_LE\\_SUE\\_CARATTERISTICHE\\_FISICHE](http://www.academia.edu/23641480/IL_SUONO_E_LE_SUE_CARATTERISTICHE_FISICHE)

- *Introduzione alla Musica Elettronica*

[https://www.itimarconinocera.org/sito/menu/dipartimenti/tecnico\\_scientifico\\_informatica/corso\\_musica\\_elettronica/index.htm](https://www.itimarconinocera.org/sito/menu/dipartimenti/tecnico_scientifico_informatica/corso_musica_elettronica/index.htm)