



Università degli Studi di Palermo  
*Dipartimento di Ingegneria Informatica*



# Elaborazione di Immagini e Suoni / Riconoscimento e Visioni Artificiali 12 c.f.u.

Anno Accademico 2009/2010

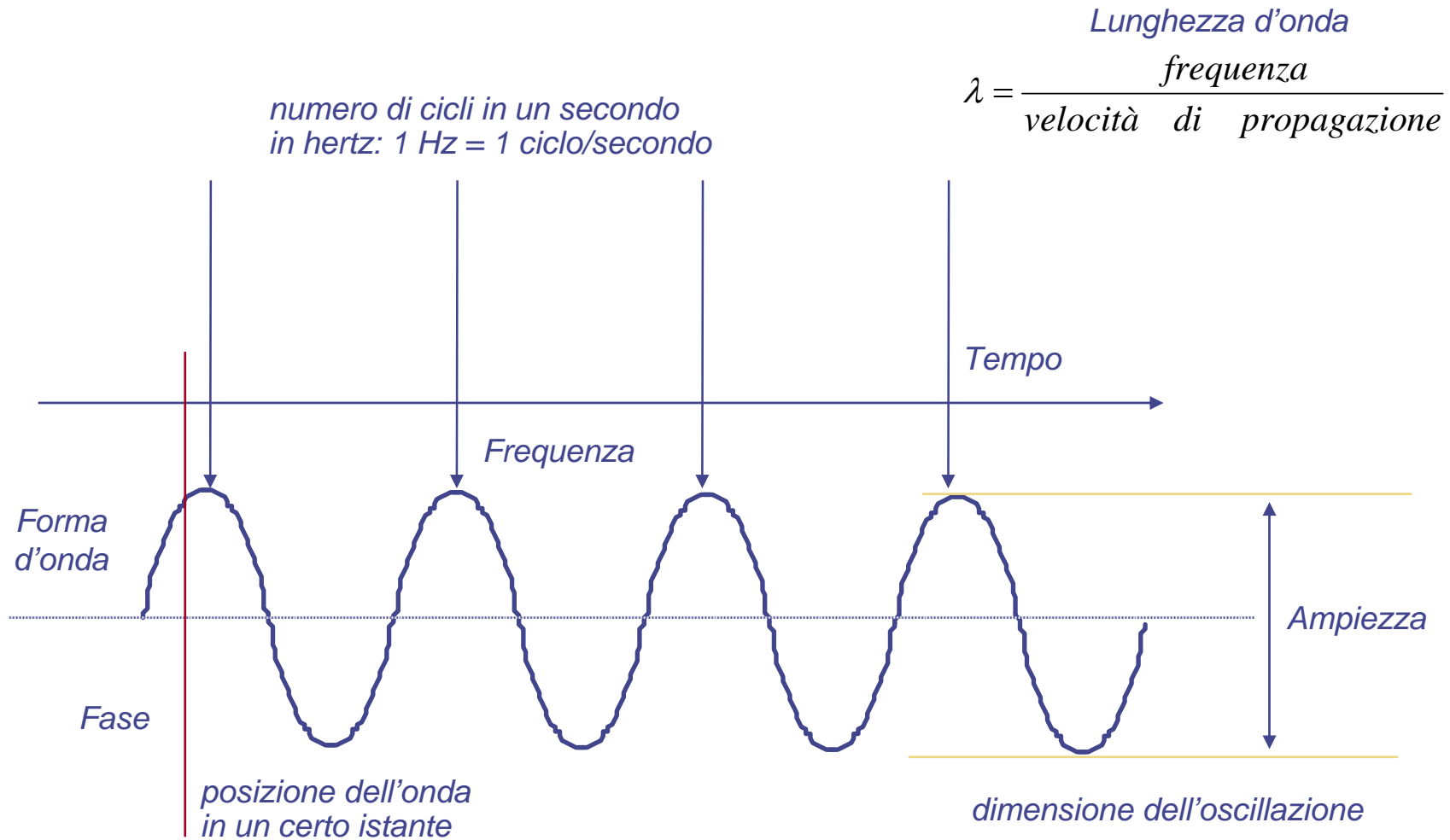
Docente: ing. Salvatore Sorce

## I suoni – parametri fisici (cenni)

sulla base di materiale didattico originale del prof. Vincenzo Lombardo – MultiD@MS Torino

Facoltà di Lettere e Filosofia

## Le grandezze del moto armonico semplice





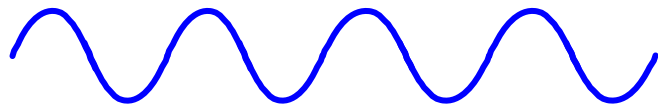
## La frequenza: i suoni puri



Onda sinusoidale a 110 Hz



Onda sinusoidale a 220 Hz



Onda sinusoidale a 440 Hz



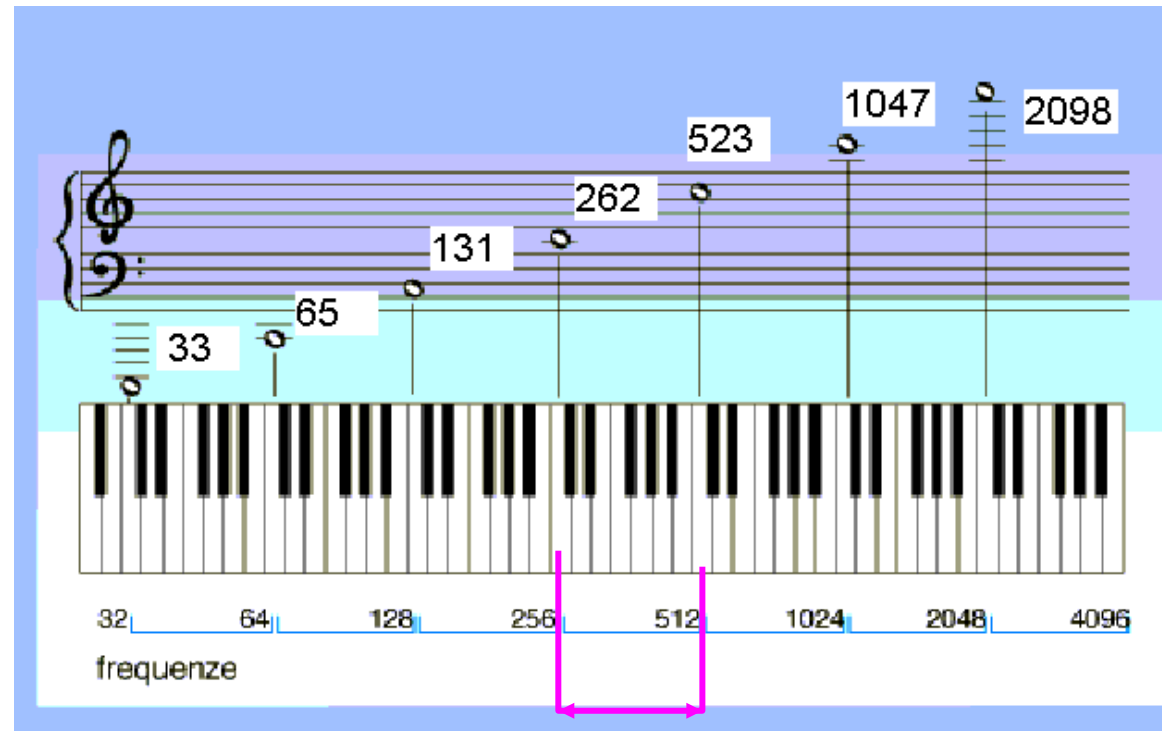
Onda sinusoidale a 660 Hz



## Frequenze caratteristiche

<i><b>Suono</b></i>	<i><b>Frequenza (Hz)</b></i>
La nota più bassa di un pianoforte	27,5
La nota più bassa di un cantante basso	100
La nota più bassa di un clarinetto	104,8
Il do centrale del pianoforte	261,6
Il la oltre il do centrale	440
L'estensione superiore di un soprano	1000
La nota più alta di un pianoforte	4180
L'armonica superiore degli strumenti musicali	10000
Il limite dell'udito nelle persone anziane	12000
Il limite dell'udito	16000-20000

## Le frequenze dei Do nel pianoforte



frequenze delle note della quarta ottava (include il do centrale)

do4	261,60	re4	293,66
mi4	329,63	fa4	349,23
sol4	392,00	la4	<b><u>440,00</u></b>
si4	493,88	do5	523,20



## La forza del suono

- **ampiezza dello spostamento**
  - misura dello spostamento di ogni unità d'aria dalla posizione a riposo durante la vibrazione
  - misura molto piccola per suoni ordinari (ordine di  $1 \mu$ )
- **ampiezza della pressione**
  - max incremento della pressione dell'aria (rispetto alla pressione atmosferica) in una compressione
  - misura piccola ( $1/10^6$  della pressione atmosferica)
  - misurabile con i diaframmi dei microfoni



## Bel e decibel

- Il bel non è una *quantità* di suono, è una relazione tra due suoni
- 1 bel = rapporto di 10 a 1 tra due livelli di intensità sonore (SIL, Sound Intensity Level)
- 1 dB = 1/10 bel
- Siano ***x***, ***y*** e ***z*** tre suoni aventi intensità  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ .
  - Se  $I_y / I_x = 10$ , allora  $SIL_y - SIL_x = 10$  dB
  - Se  $I_z / I_y = 10$ , allora  $SIL_z - SIL_y = 10$  dB
  - $I_z / I_x = 100$ , e  $SIL_z - SIL_x = 20$  dB
- $SIL_y - SIL_x = 10 \log_{10} (I_y / I_x) = 10$  dB



## I decibel assoluti

- Livello di intensità sonora (SIL)
  - $SIL = 10 \log (I / I_0)$  con  $I_0 = 0.000000000001 \text{ W/m}^2$
- Cosa vuol dire “quel suono è oltre 75 dB” ?
  - $I =$  intensità sonora in esame
  - $I_0 =$  intensità di riferimento ( $0,000000000001 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ )
  - Il suono ha un'intensità  $I$  tale che  $10 \log (I / I_0) = 75$





## Esempio: suono di 90 dB

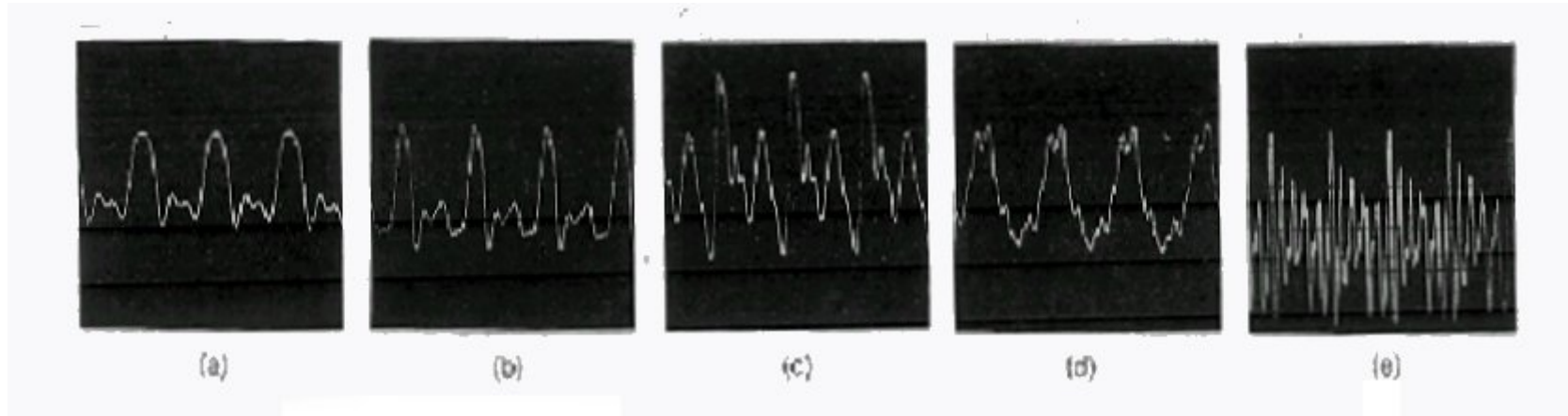
- Suono di 90 dB = intensità  $10^9$  volte più forte di  $I_0$  ( $10^{-12}$ )  
=  $10^{-3}$  W/m<sup>2</sup>
- 90 dB è una piccolissima energia (eppure è un suono forte!)
- Le nostre orecchie sono potentissimi rilevatori!!!



## Intensità caratteristiche

<i><b>Suono</b></i>	<i><b>Intensità (dB)</b></i>
Interno di un tornado	250
Lancio di una navicella spaziale (a 45 m)	180
Motore di un jet (a 30 m)	150
Colpo di fucile (a 1 m)	140
Soglia del dolore	130
Concerto rock, discoteca	120
Martello pneumatico (a 2 m)	100
Aspirapolvere (a 1 m)	80
Traffico intenso a 5 m, radio ad alto volume	70
Una conversazione, ufficio rumoroso	40-60
Sussurri (a 5 m)	30
Respiro umano (a 3 m)	20
Soglia dell'udito (a 1000 Hz)	0

# I suoni in natura



flauto

tromba

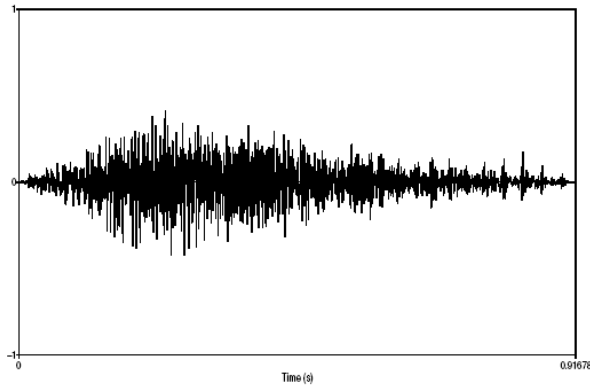
sax soprano

violino

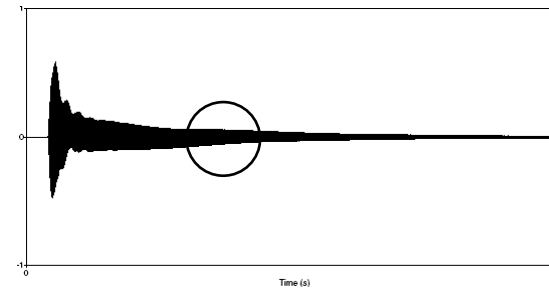
tuba

$La_4$  (440 Hz), 8ms

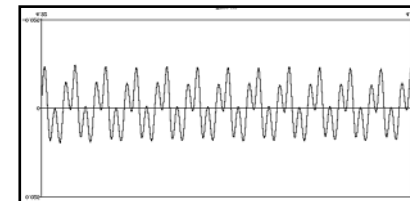
$La_2$  (110 Hz), 40 ms



ruggito di leone



chitarra





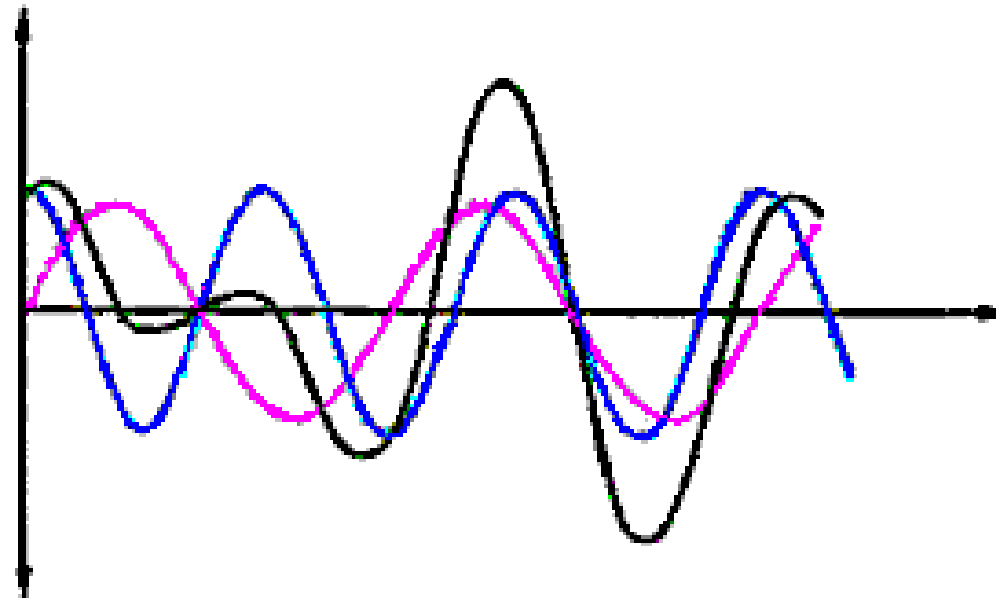
## La forma d'onda

- Parametro che permette di discriminare tra
  - suoni emessi da sorgenti diverse ...
  - ... anche se con la stessa intensità e frequenza
- A grandi linee, il parametro percettivo del **timbro**
- Due elementi contribuiscono a forme d'onda complesse (e quindi al timbro):
  - nel dominio della frequenza, le componenti spettrali
  - nel dominio del tempo, i transitori

## Analisi dei suoni: lo spettro di Fourier



## Sovrapposizione di toni puri



- - Wave #1
- - Wave #2
- - Addition of Wave #1 and Wave #2

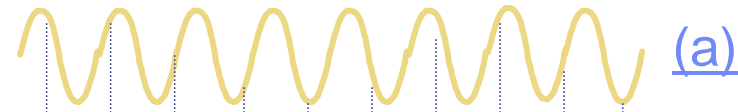
**Superposition of Waves**



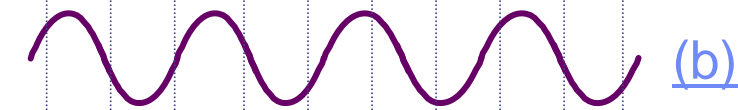
## Ricordiamoci le frequenze

Es.

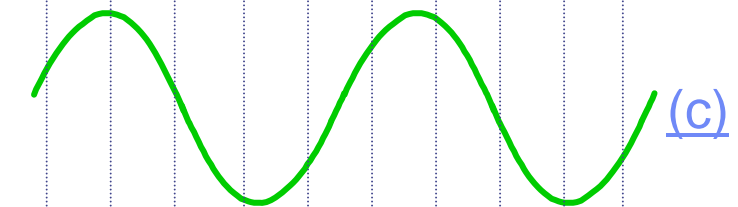
(a) 440 Hz



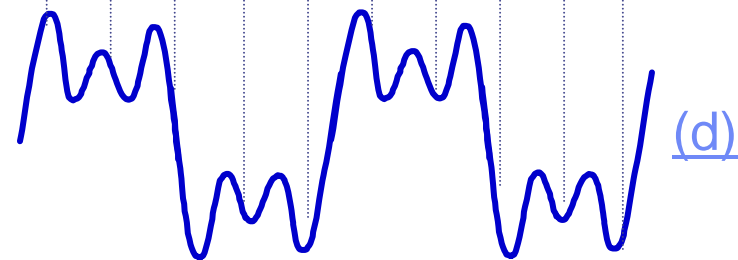
(b) 220 Hz



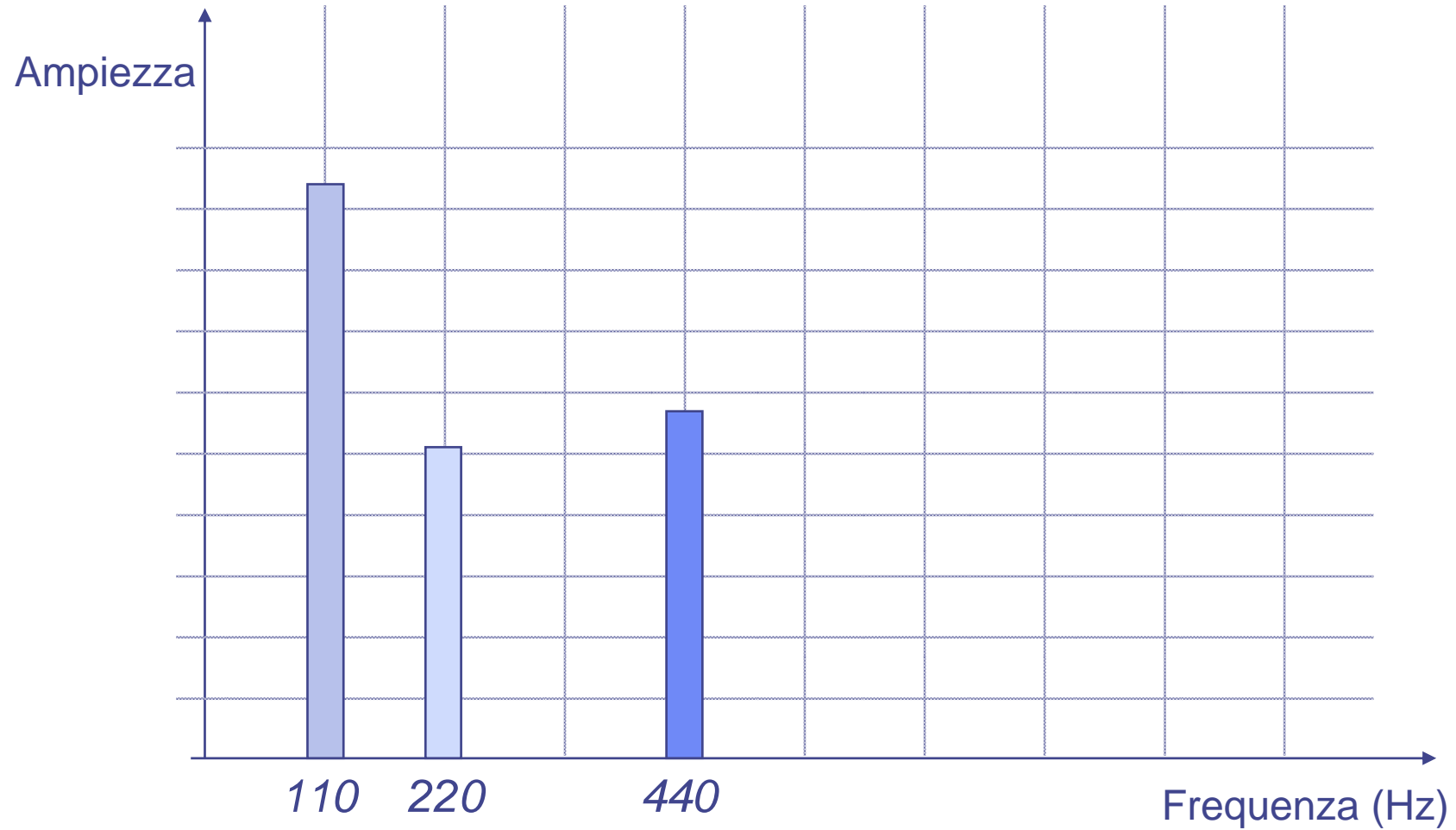
(c) 110 Hz



(d) = (a) + (b) + (c)



## Dominio della frequenza

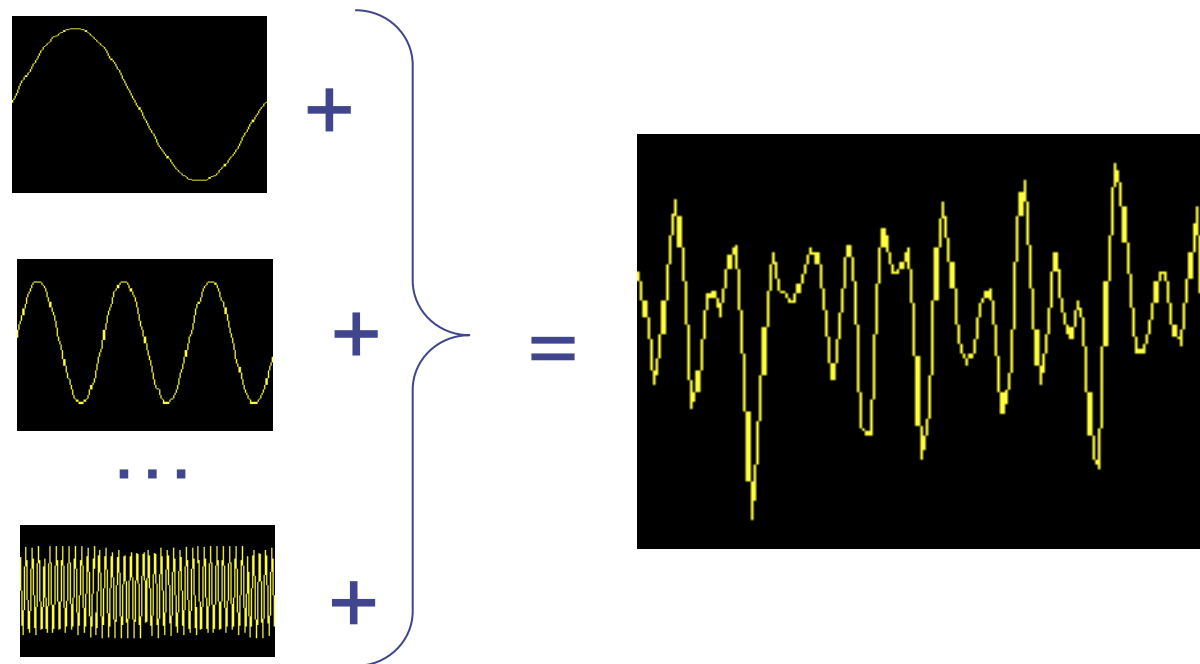




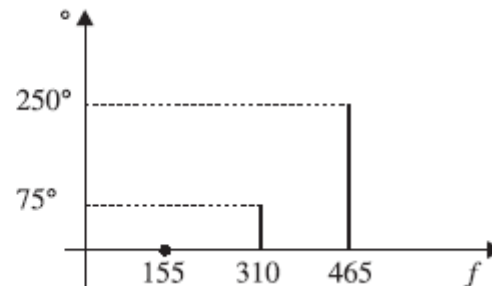
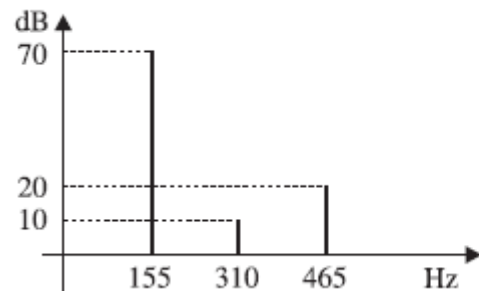
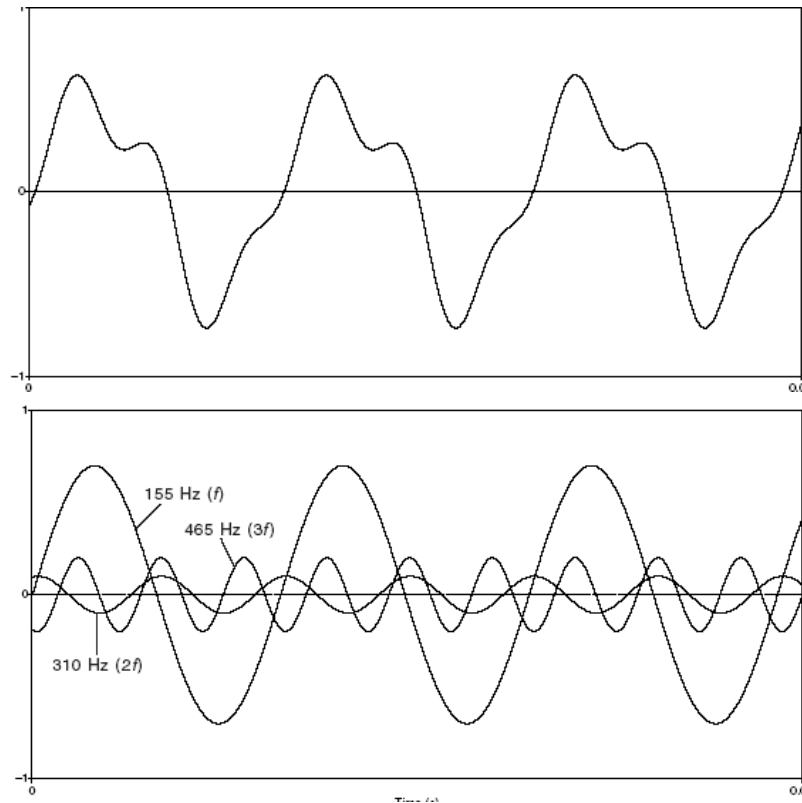


## Teorema di Fourier

- Una forma d'onda periodica qualsiasi di frequenza  $F$  può essere costruita a partire da un insieme di onde sinusoidali le cui frequenze formano una serie armonica con  $f_1 = F$
- Ogni onda sinusoidale avrà una sua fase ( $\phi_n$ ) e ampiezza ( $C_n$ ), e anche queste possono essere estratte dalla forma d'onda complessa.



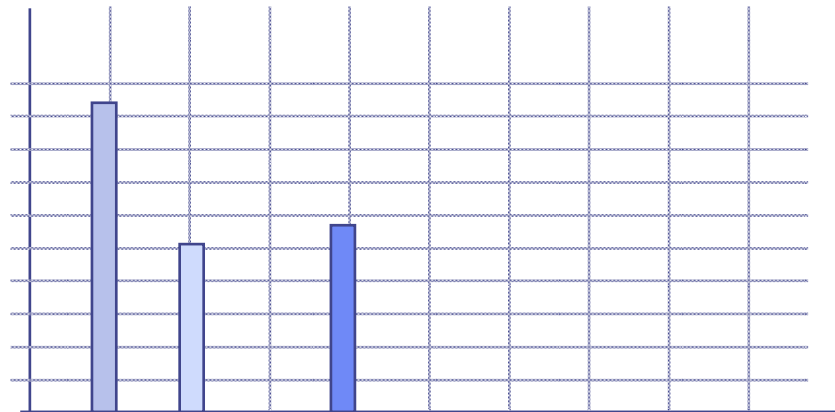
# Esempio





## Fourier

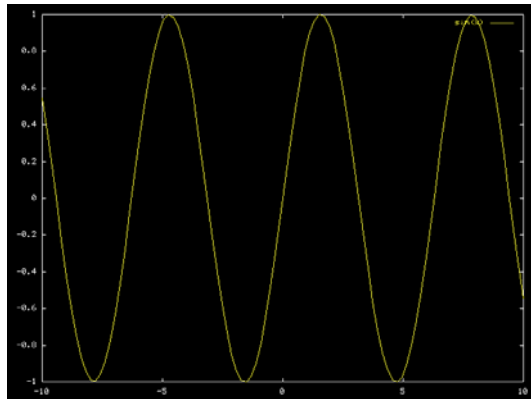
- Sintesi di Fourier: combinare onde sinusoidali per formare onde complesse
- Analisi di Fourier: individuare le componenti sinusoidali di una forma d'onda complessa
- Spettro di Fourier: l'insieme delle ampiezze delle onde sinusoidali (componenti di Fourier) che formano un'onda complessa



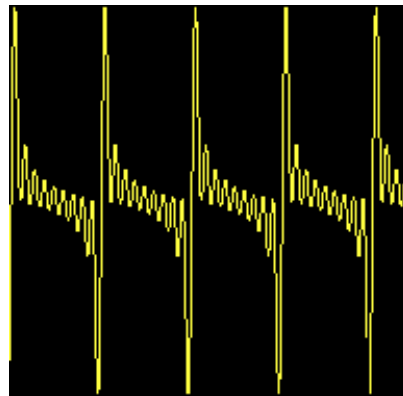
## Somme di sinusoidi



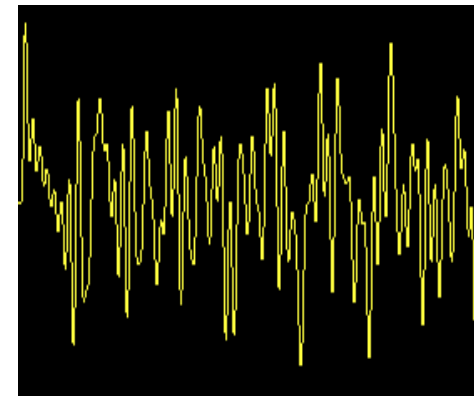
Bell1



Bell2

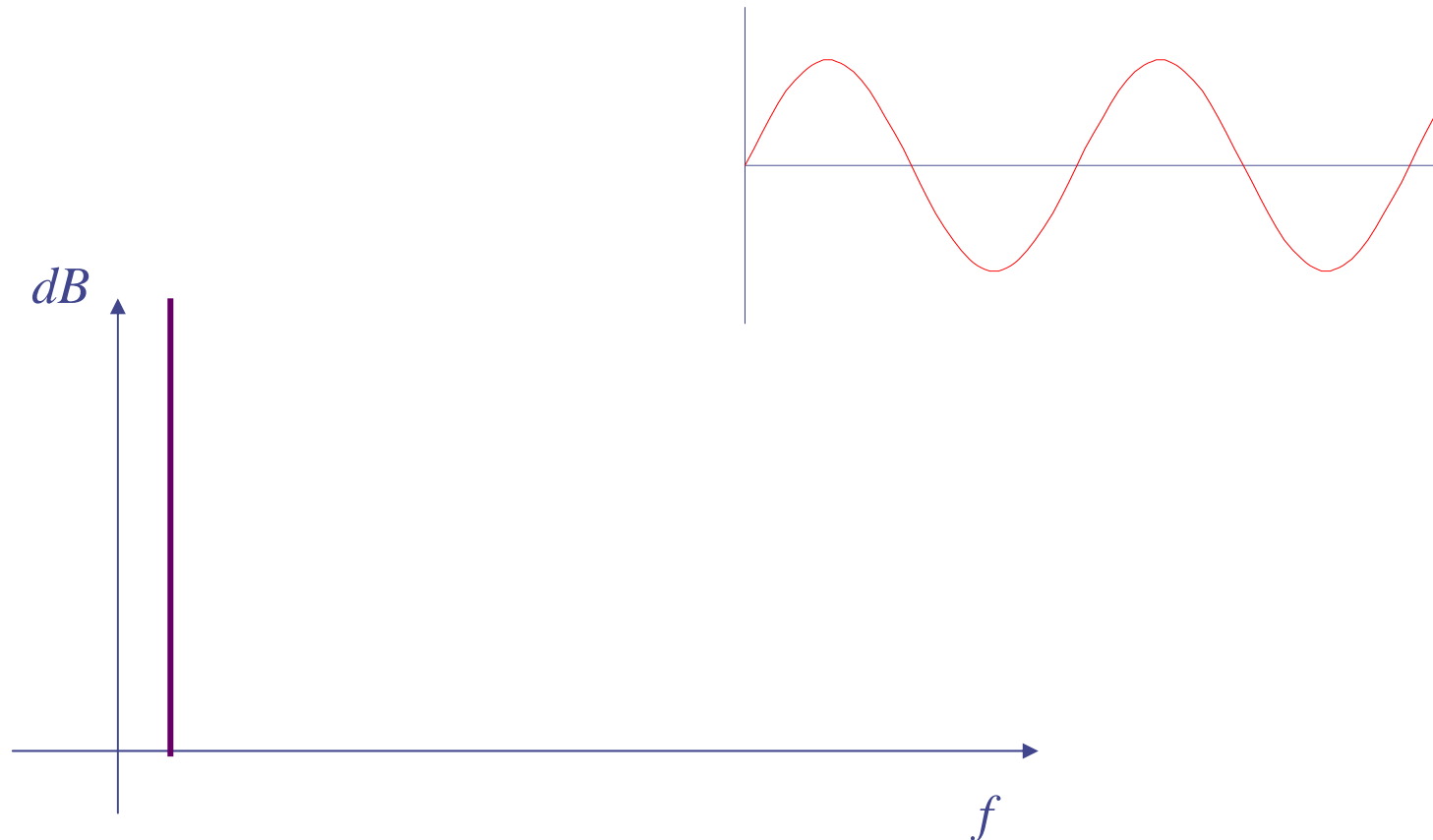


Bell3





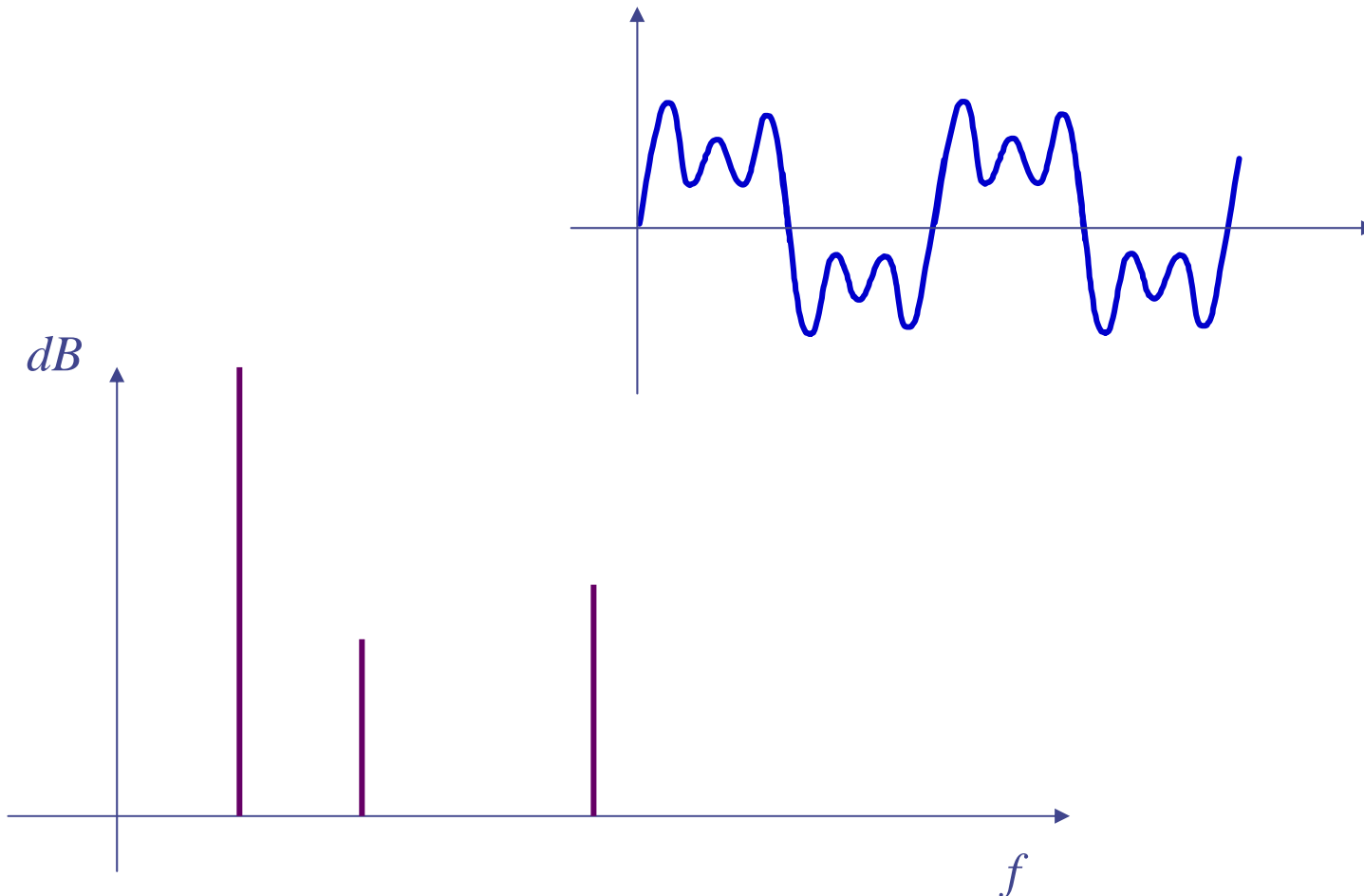
## Analisi di Fourier: onda sinusoidale



- Lo spettro contiene soltanto la frequenza fondamentale



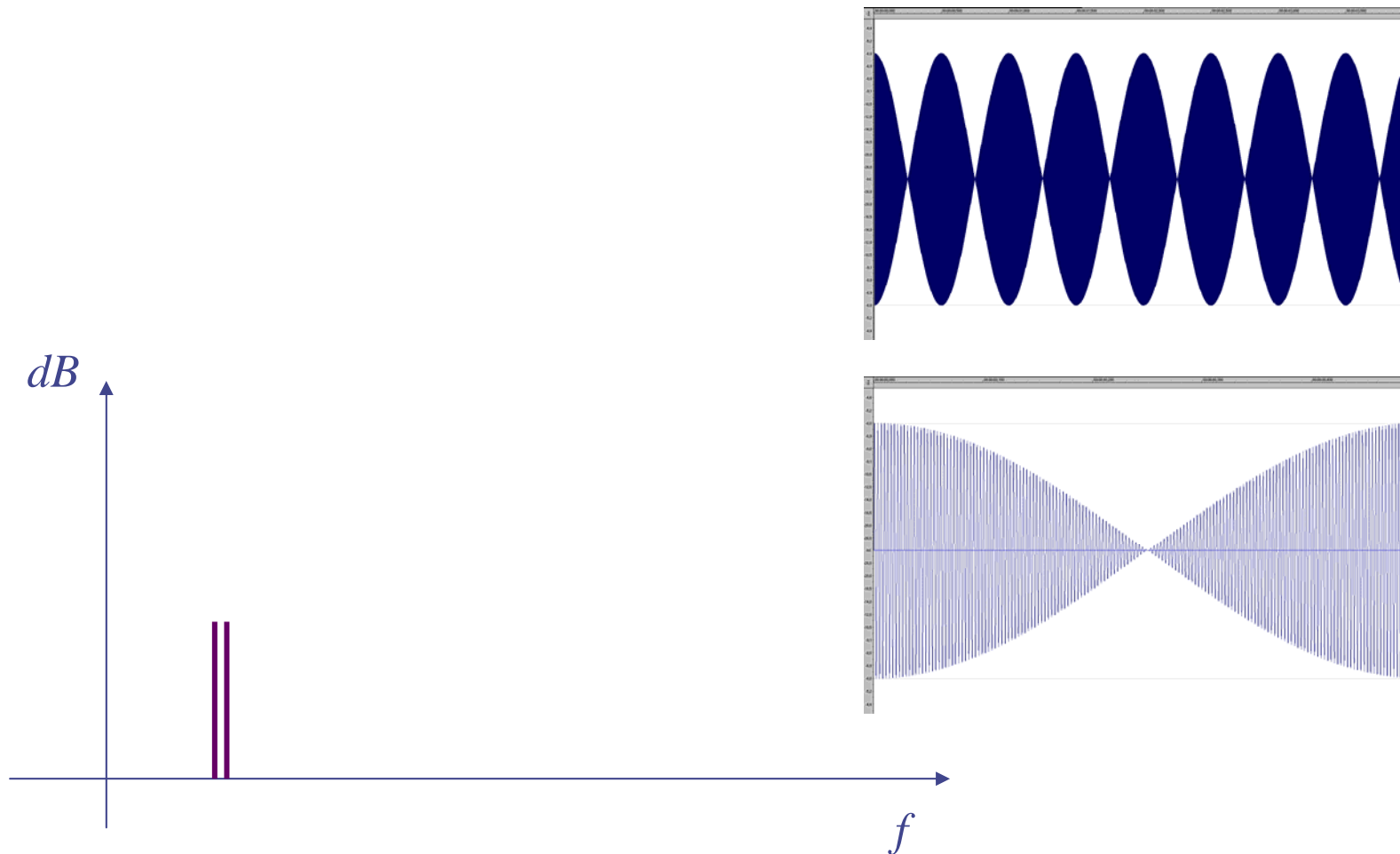
## Analisi di Fourier: onda periodica



- Lo spettro contiene le tre frequenze componenti



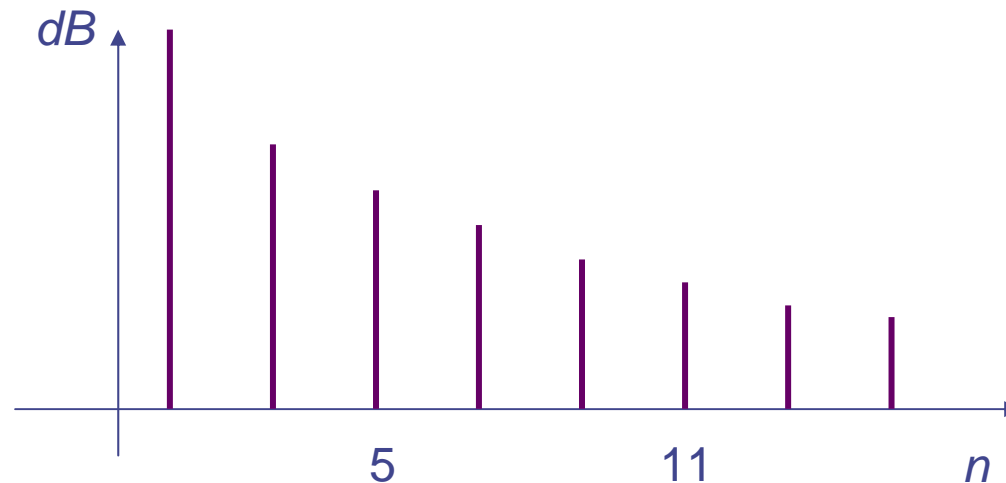
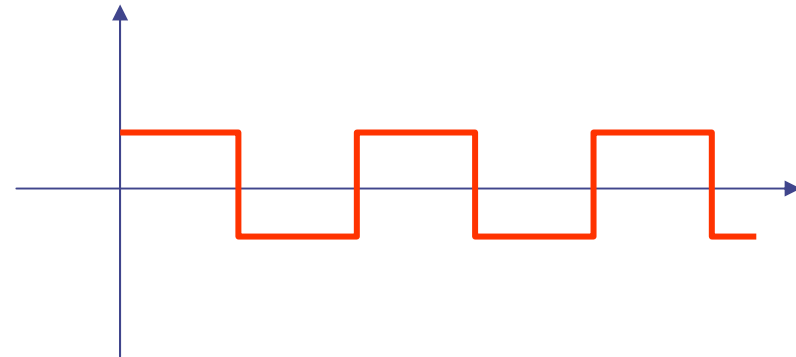
## Analisi di Fourier: battimenti



- Spettro di due frequenze vicine (es.: 330+332 Hz)



## Analisi di Fourier: onda quadra

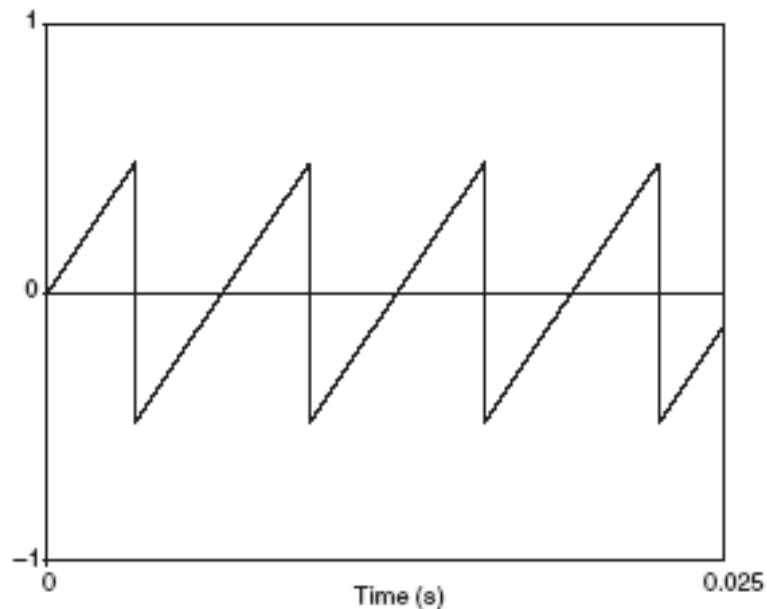


- Solo armoniche di numero dispari (ampiezza proporzionale a  $1/n$ )
- La seconda metà del periodo capovolge la prima metà: mancano le armoniche pari; se questa simmetria manca, si ha qualche componente pari.

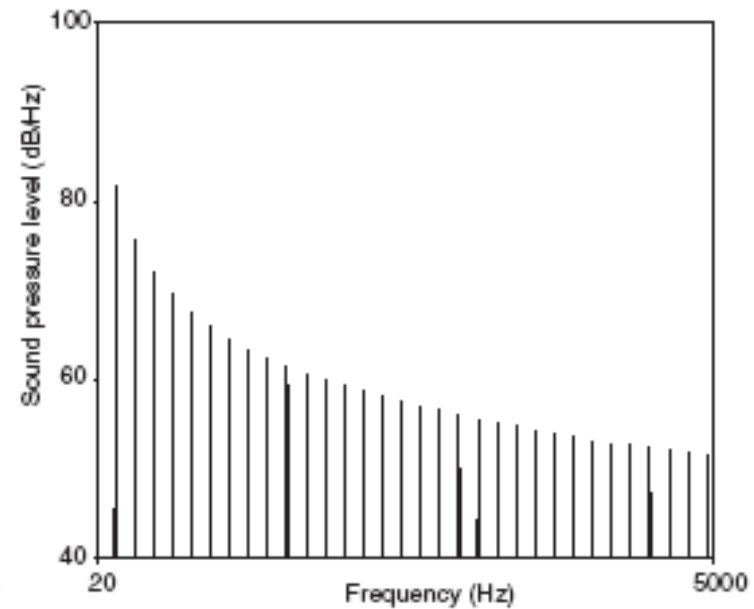




## Analisi di Fourier: onda a dente di sega



(a)

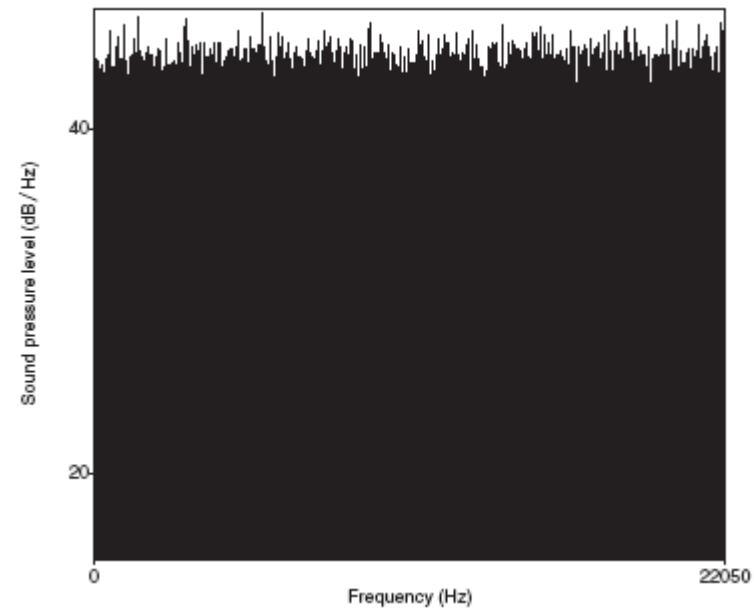
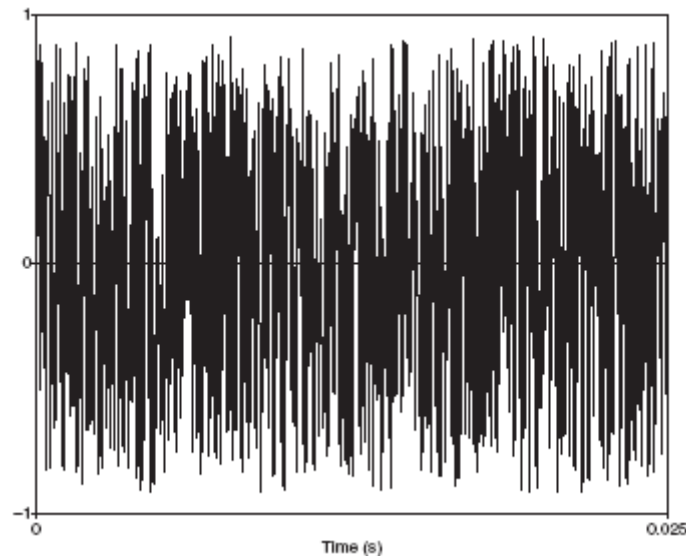


(b)

Tutte le armoniche della fondamentale con un'ampiezza che decresce proporzionalmente a  $1/n$  (n-esima armonica)



## Analisi di Fourier: rumore bianco

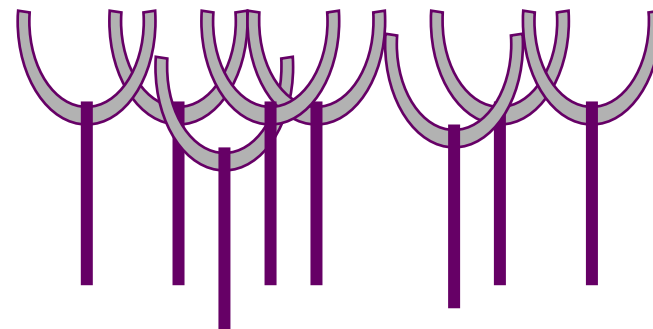


- Stessa forza a tutte le frequenze
- Non serie armonica; combinazione di sinusoidi a tutte le frequenze
- E' ciò che si ascolta alla radio o alla TV tra le stazioni
- Rumore *rosa* e analogia con i colori dell'arcobaleno e la luce bianca



## Onde sinusoidali e suoni reali

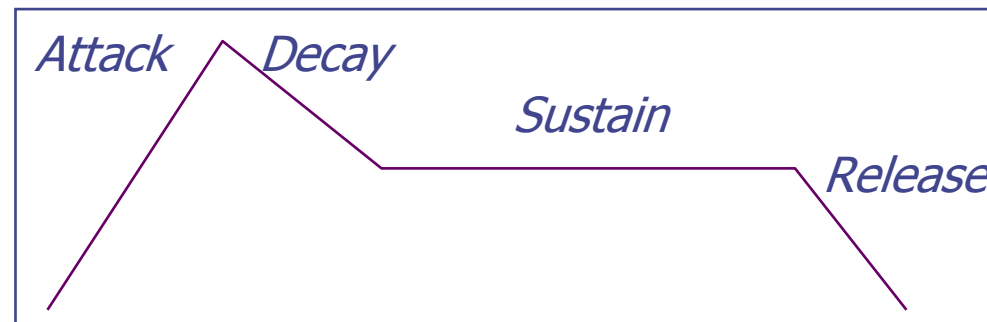
- Un'onda sinusoidale semplice è prodotta da un diapason o da un sintetizzatore elettronico
- La gamma di suoni presenti in un qualsiasi brano potrebbe essere creata da un enorme complesso di musicisti con diapason
- Occorrerebbe una precisione "sovrumana"!





## I transitori

- Attacco (attack): ampiezza da zero a max
- Decadimento (decay): ampiezza diminuisce fino a un certo livello
- Costanza (sustain): ampiezza pressappoco costante
- Estinzione (release): ampiezza diminuisce fino a zero





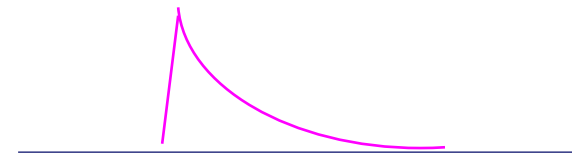
## Alcuni transitori



Flauto



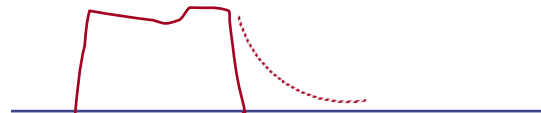
Tromba



Pianoforte



Violino



Organo

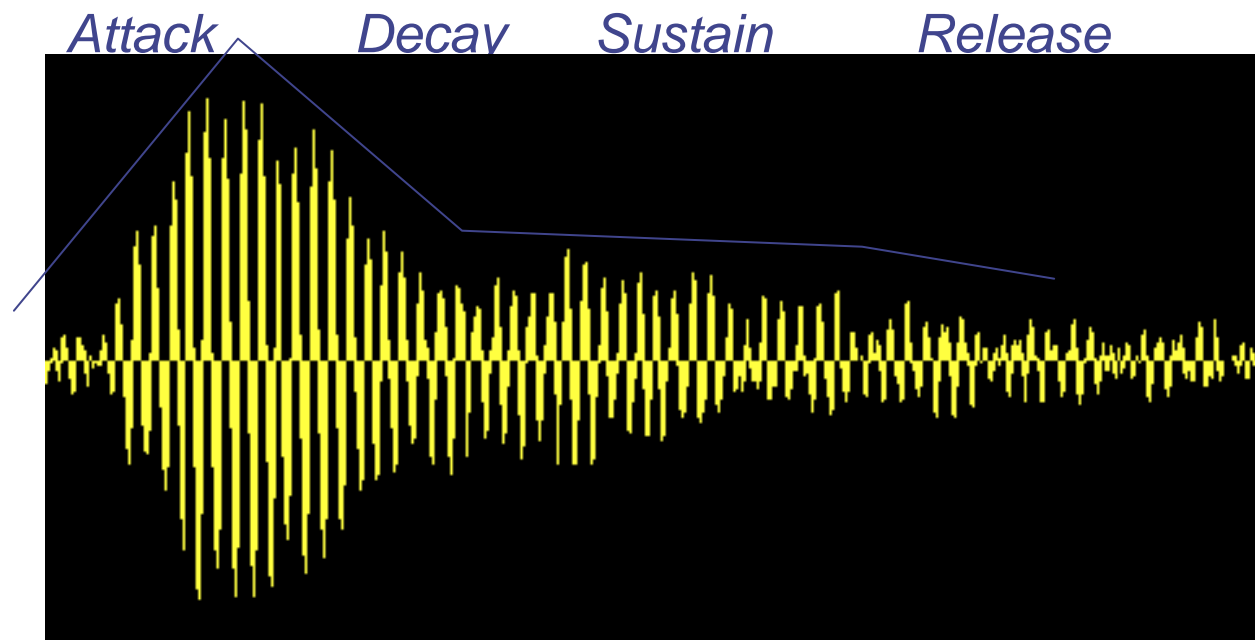


Blocchi di legno



Contrabbasso

## Esempio: chitarra





## Riassumendo

- Parametri fisici del suono
  - Frequenza di vibrazione - Altezza del suono, “tonalità”
  - Ampiezza della vibrazione - Intensità del suono, “volume”
- Forma d’onda nel dominio del tempo
- Spettro di Fourier nel dominio della frequenza
  - Timbro