



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
DIPARTIMENTO DELL'INNOVAZIONE INDUSTRIALE E DIGITALE

Corso di Informatica modulo "Informatica di Base" – 6 CFU

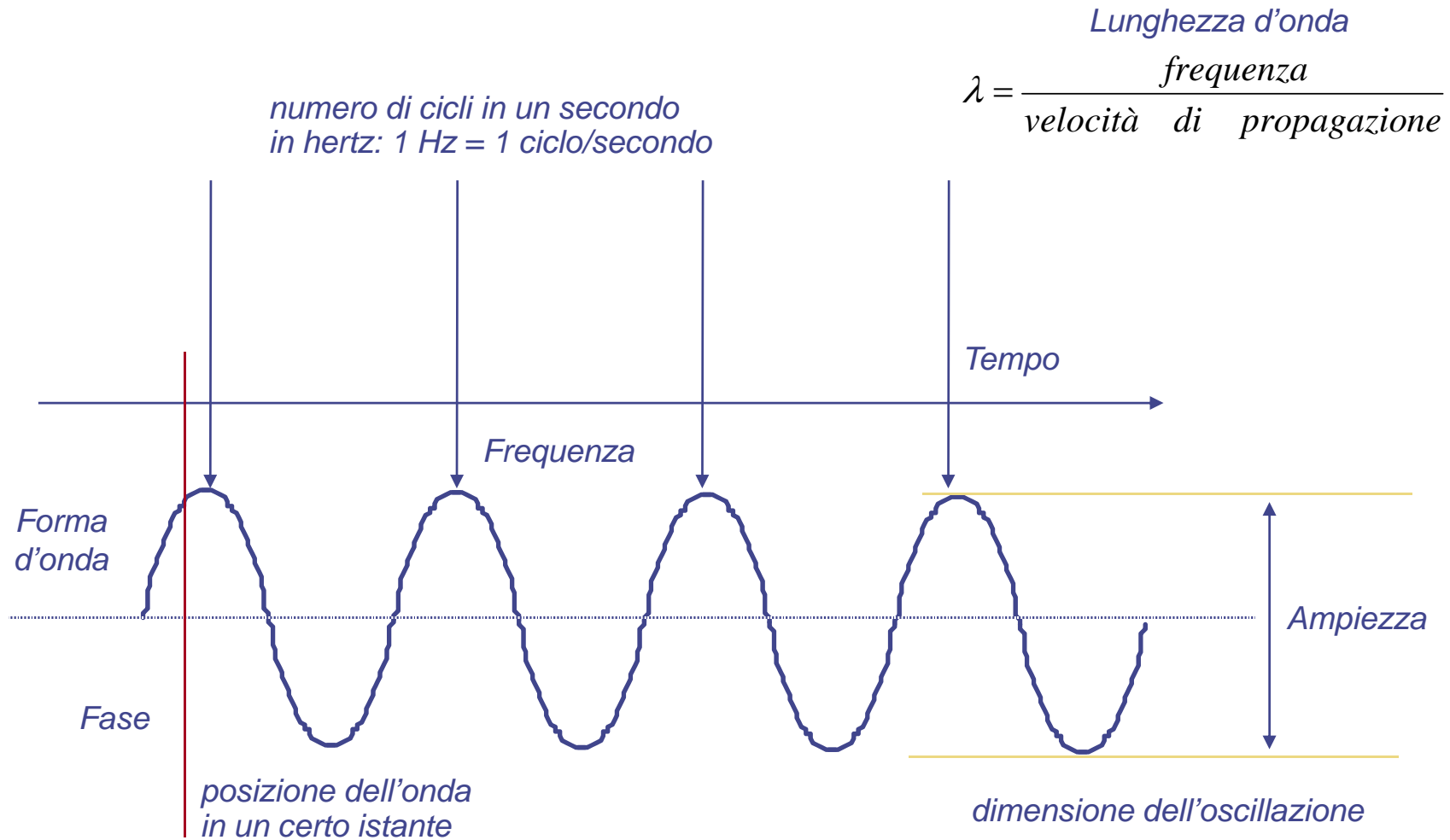
Anno Accademico 2016/2017

Docente: ing. Salvatore Sorce

I suoni – parametri fisici (cenni)

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

Le grandezze del moto armonico semplice



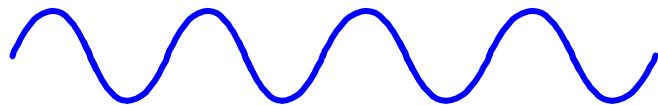
La frequenza: i suoni puri



Onda sinusoidale a 110 Hz



Onda sinusoidale a 220 Hz



Onda sinusoidale a 440 Hz

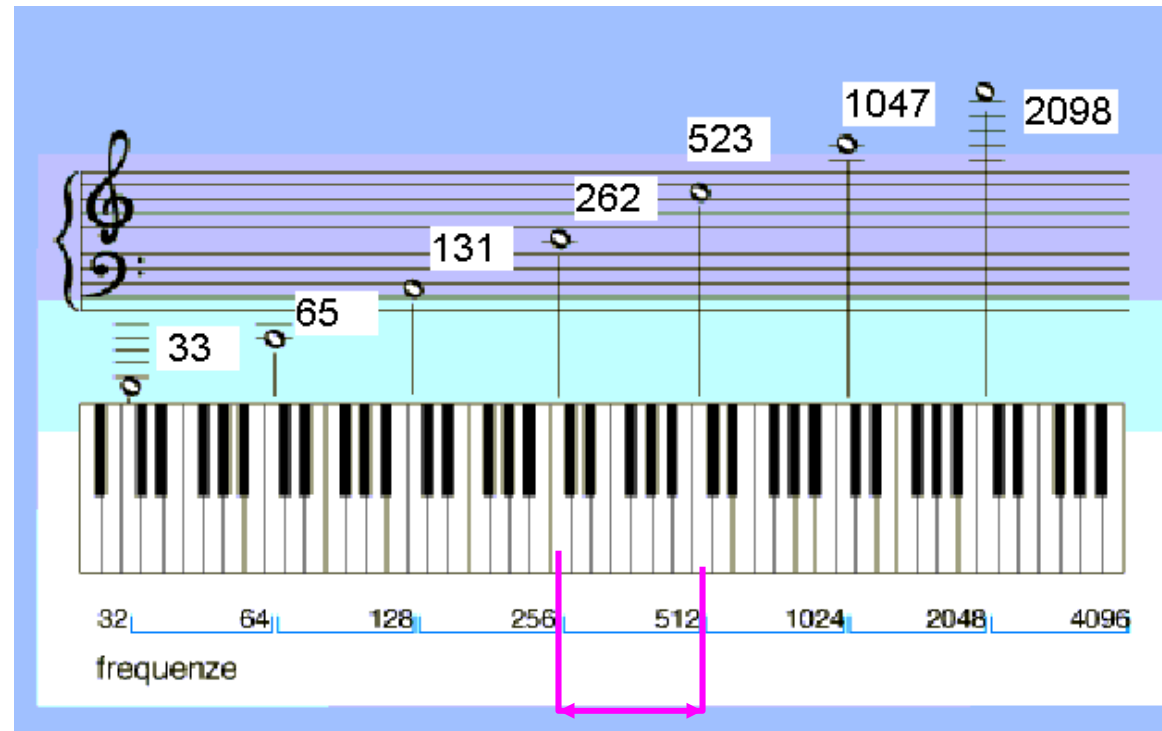


Onda sinusoidale a 660 Hz

Frequenze caratteristiche

| <i>Suono</i> | <i>Frequenza (Hz)</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 | <u>440,00</u> |
| 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 1μ)
- **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 $10 \log (I / I_0) = 75$

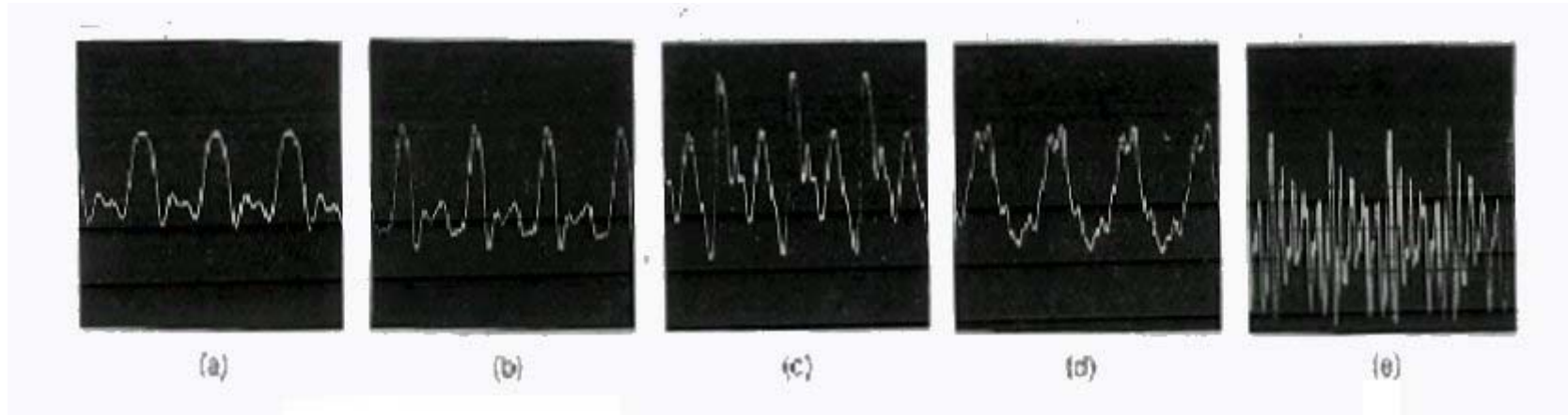
Esempio: suono di 90 dB

- Suono di 90 dB = intensità 10^9 volte più forte di I_0 (10^{-12})
= 10^{-3} W/m²
- 90 dB è una piccolissima energia (eppure è un suono forte!)
- Le nostre orecchie sono potentissimi rilevatori!!!

Intensità caratteristiche

| <i>Suono</i> | <i>Intensità (dB)</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

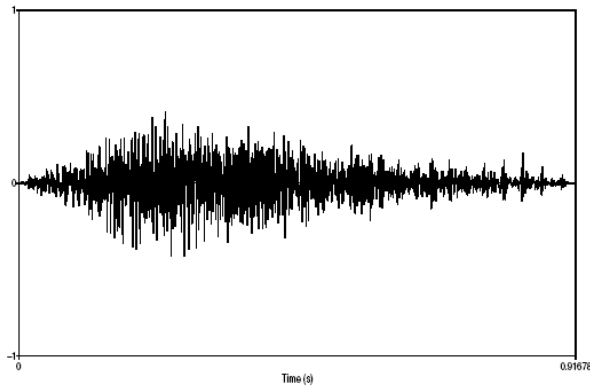
sax soprano

violino

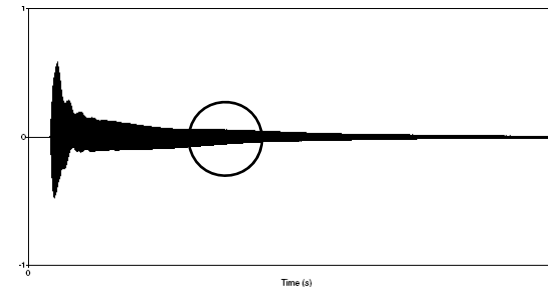
tuba

La_4 (440 Hz), 8ms

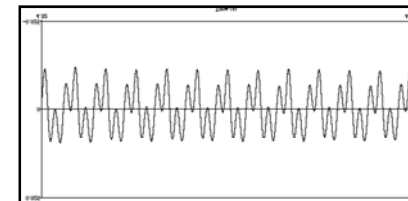
La_2 (110 Hz), 40 ms



ruggito di leone



chitarra



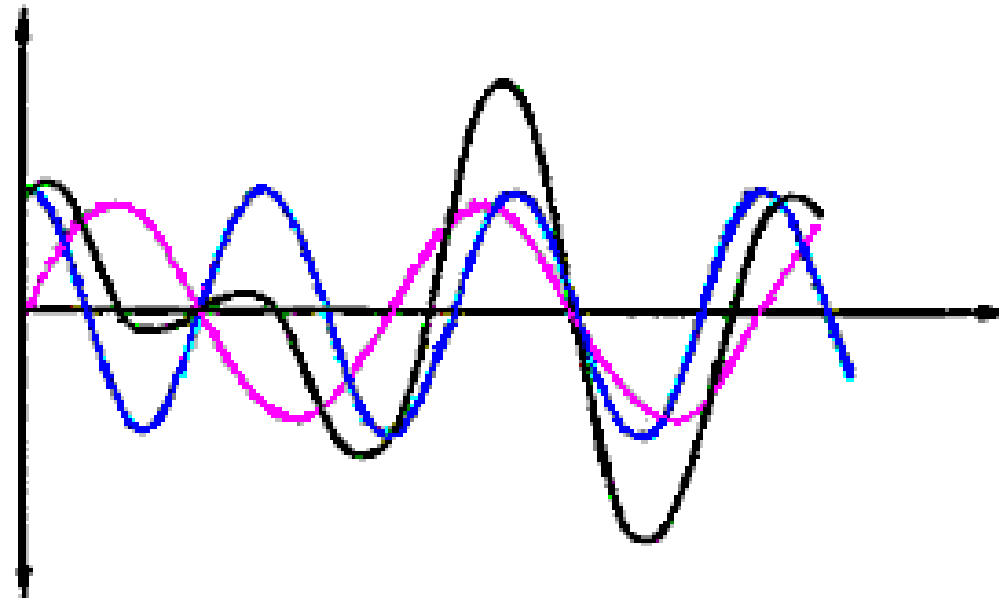
La forma d'onda

- 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



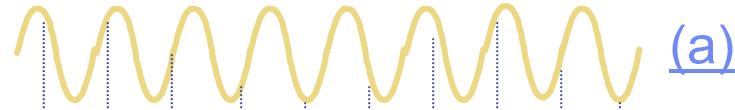
- - Wave #1
- - Wave #2
- - Addition of Wave #1 and Wave #2

Superposition of Waves

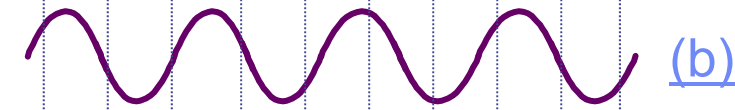
Ricordiamoci le frequenze

Es.

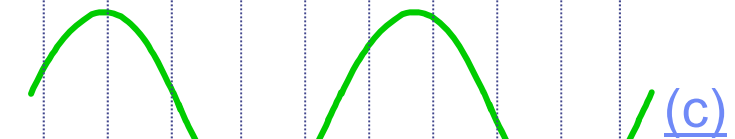
(a) 440 Hz



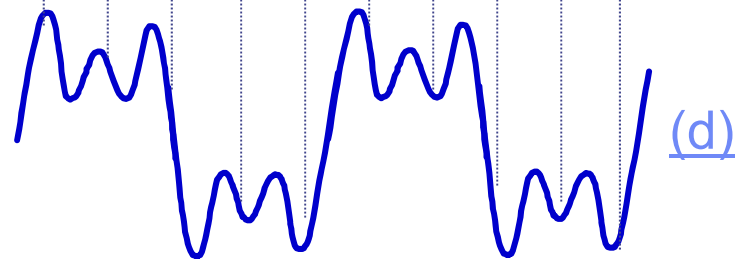
(b) 220 Hz



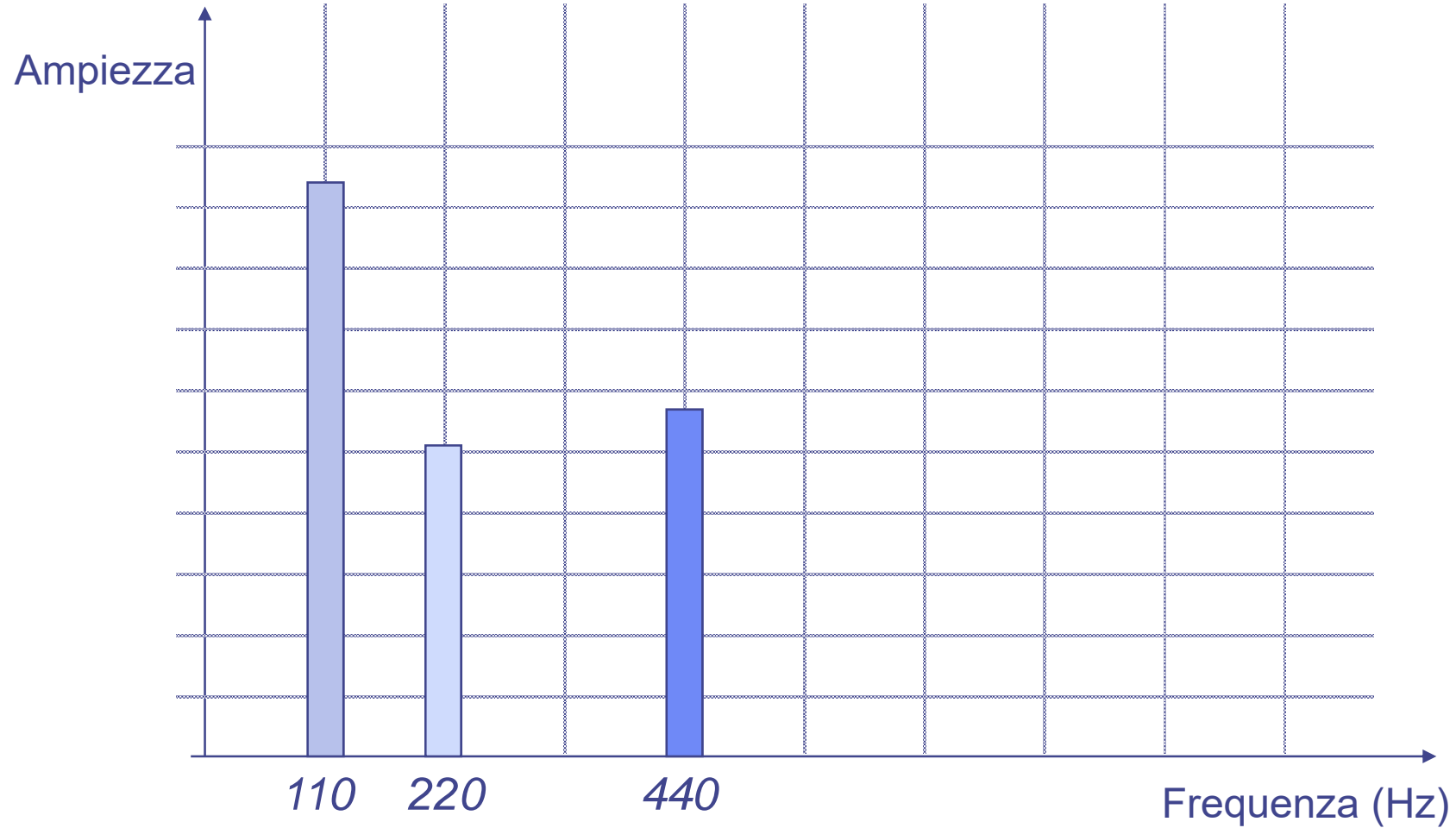
(c) 110 Hz



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

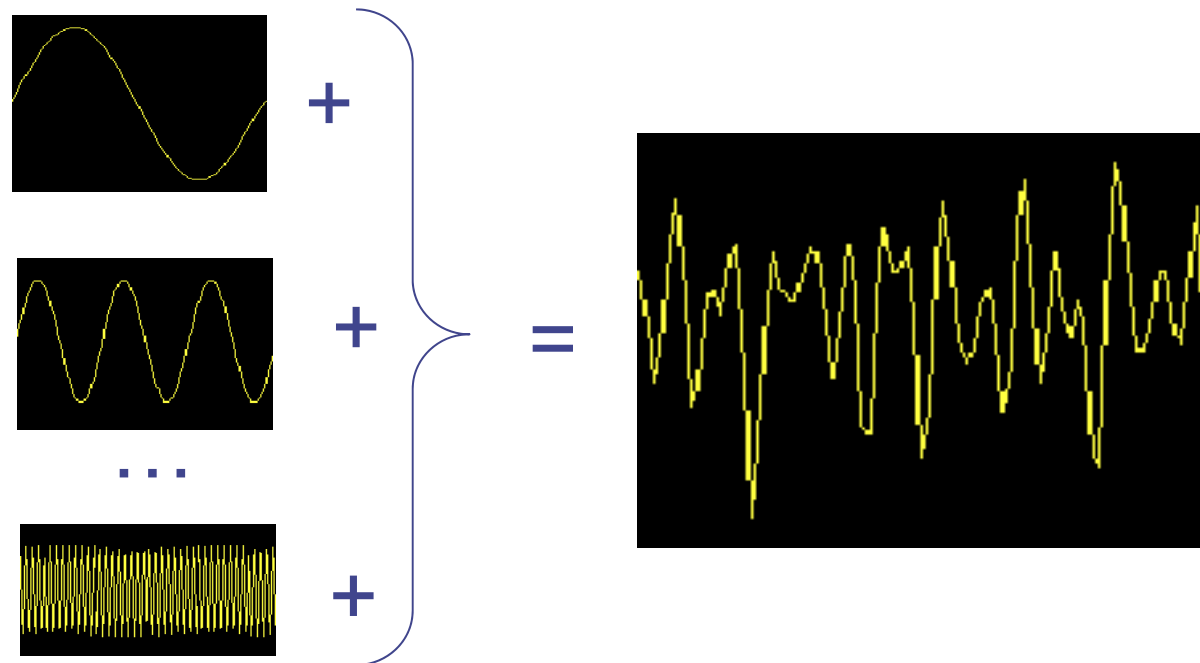


Dominio della frequenza

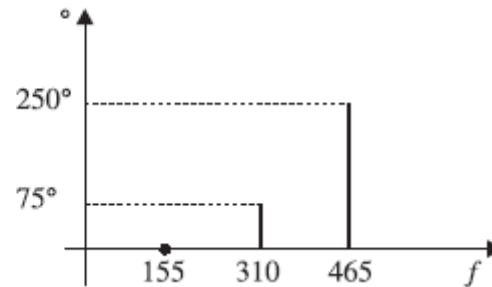
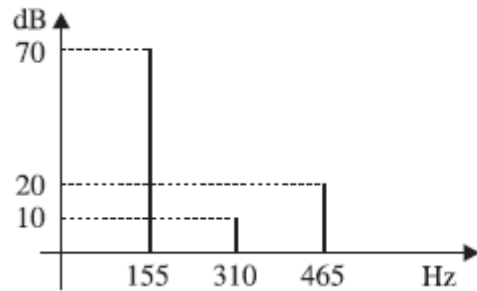
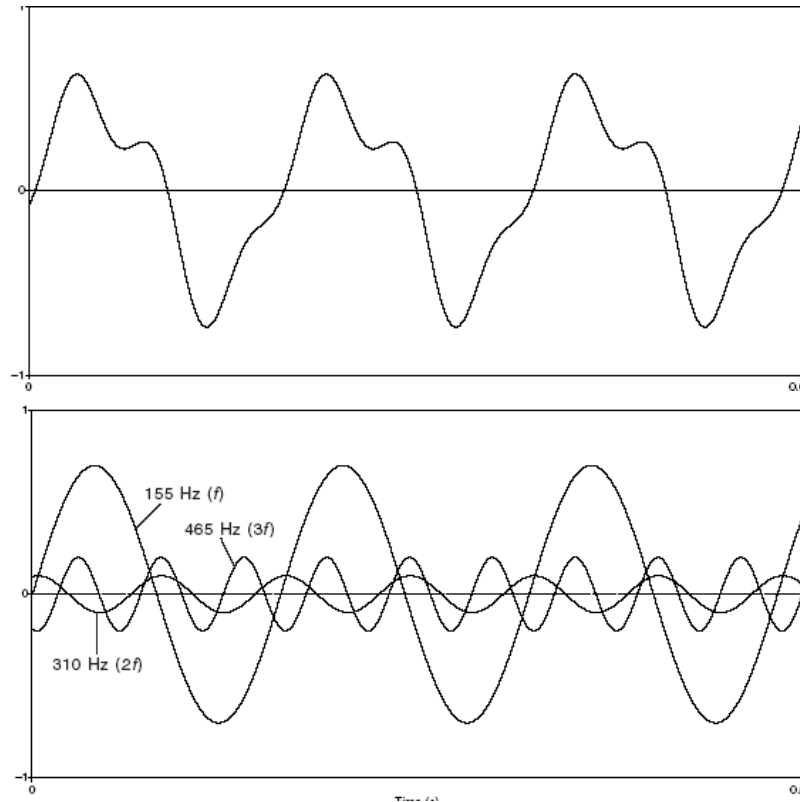


Teorema di Fourier

- 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 (ϕ_n) e ampiezza (C_n), e anche queste possono essere estratte dalla forma d'onda complessa.

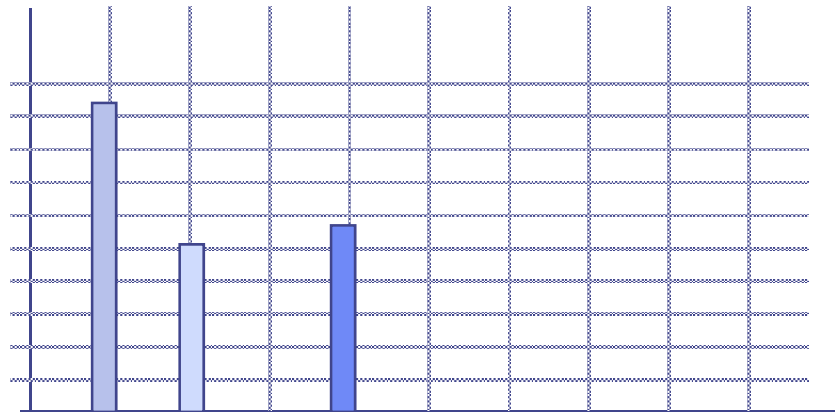


Esempio



Fourier

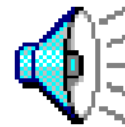
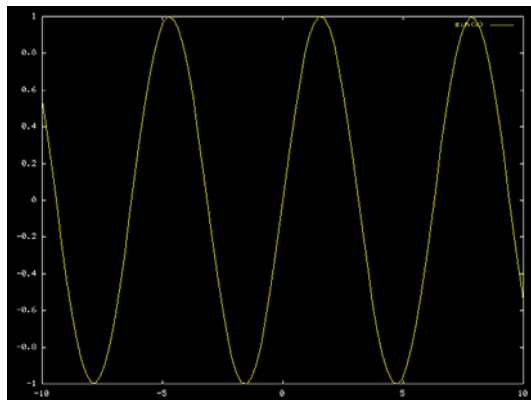
- Sintesi di Fourier: combinare onde sinusoidali per formare onde complesse
- Analisi di Fourier: individuare le componenti sinusoidali di una forma d'onda complessa
- Spettro di Fourier: l'insieme delle ampiezze delle onde sinusoidali (componenti di Fourier) che formano un'onda complessa



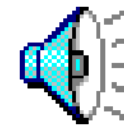
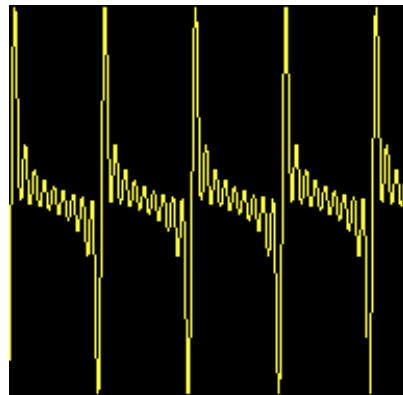
Somme di sinusoidi



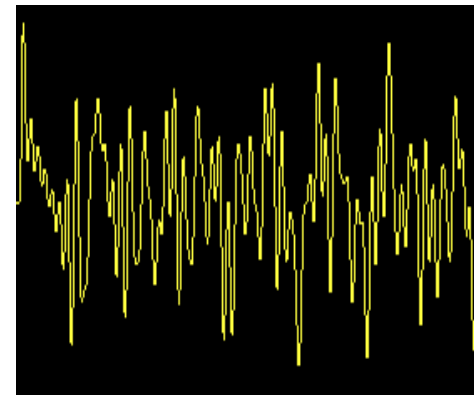
Bell1



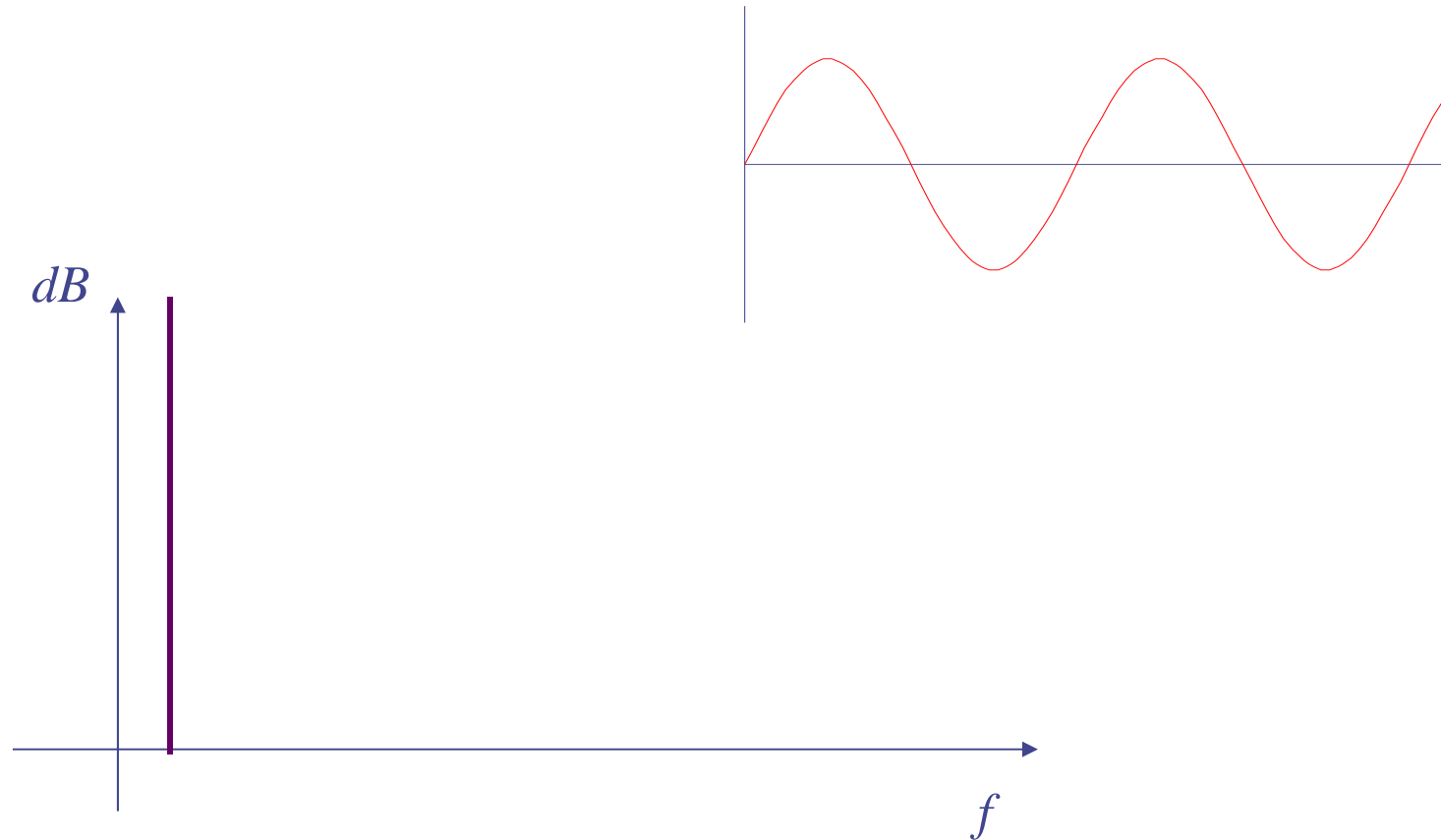
Bell2



Bell3

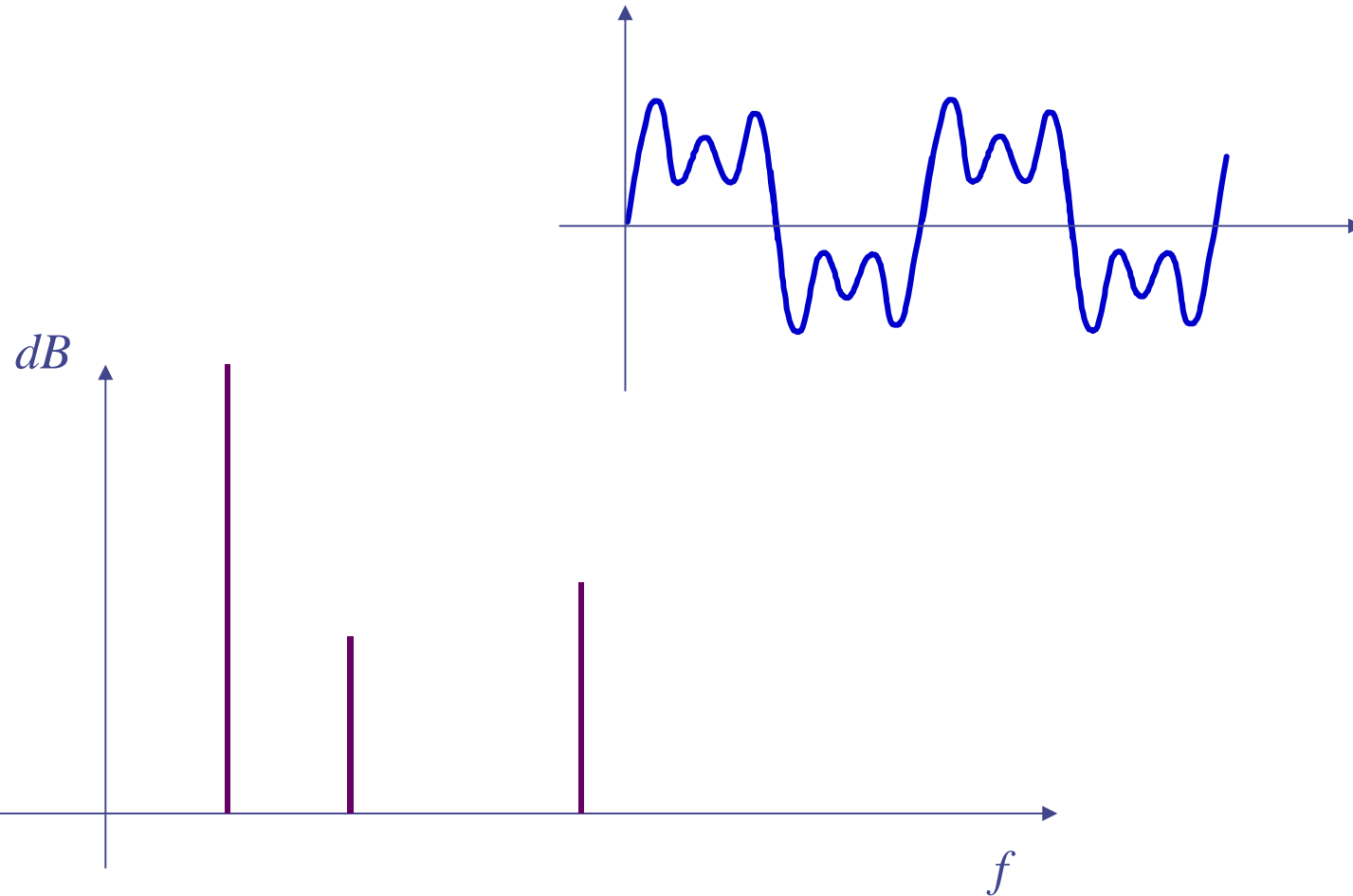


Analisi di Fourier: onda sinusoidale



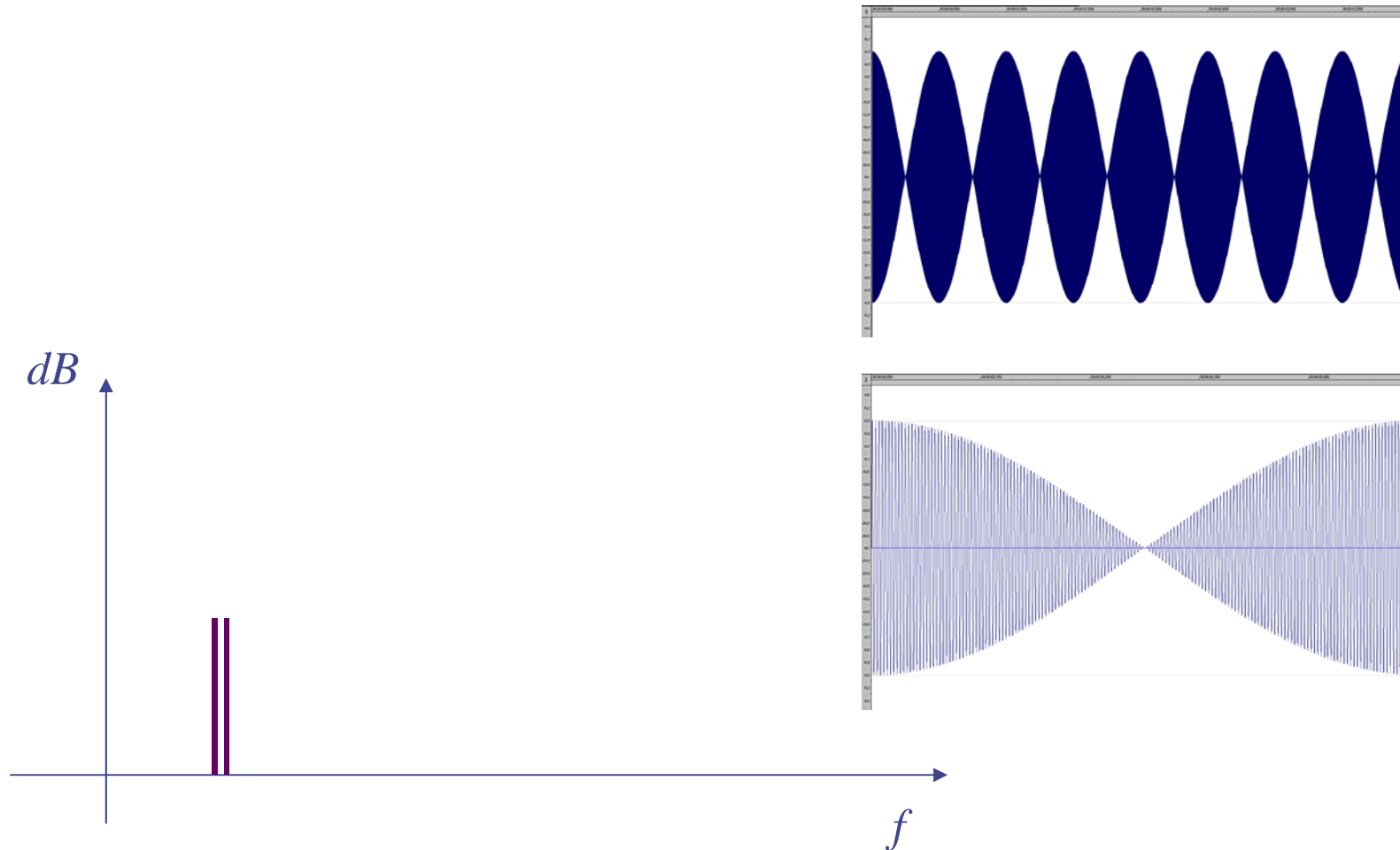
- Lo spettro contiene soltanto la frequenza fondamentale

Analisi di Fourier: onda periodica



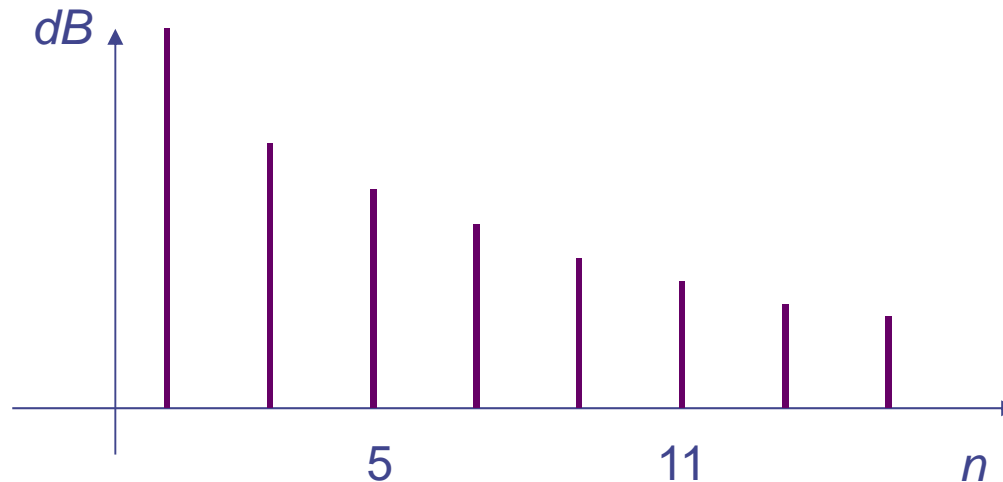
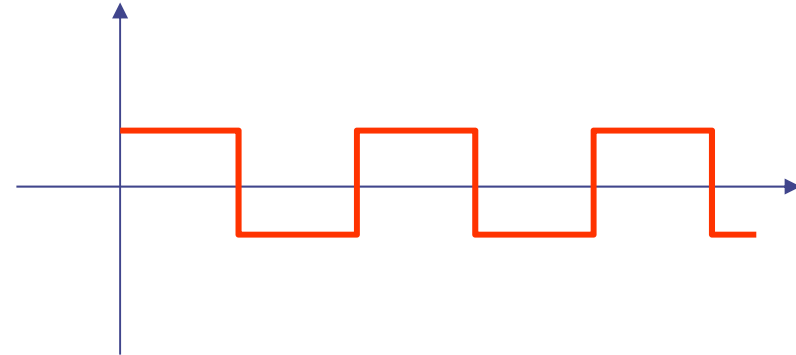
- Lo spettro contiene le tre frequenze componenti

Analisi di Fourier: battimenti



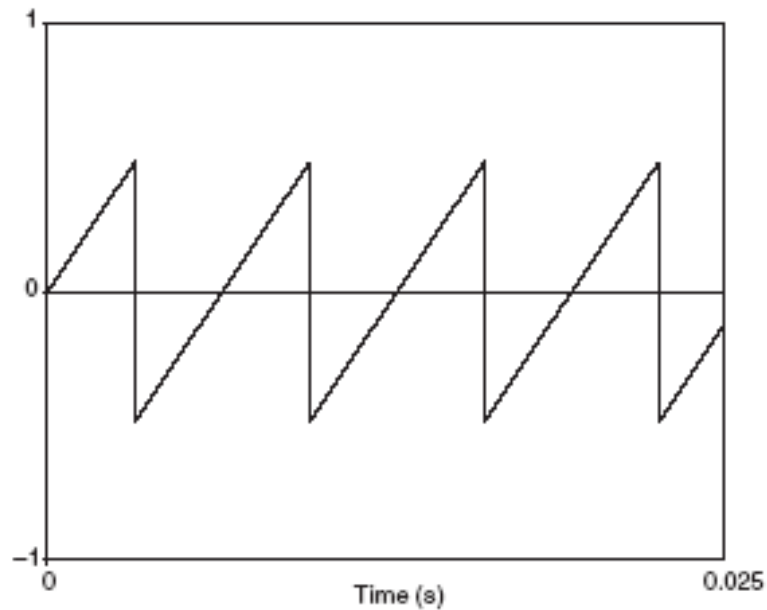
- Spettro di due frequenze vicine (es.: 330+332 Hz)

Analisi di Fourier: onda quadra

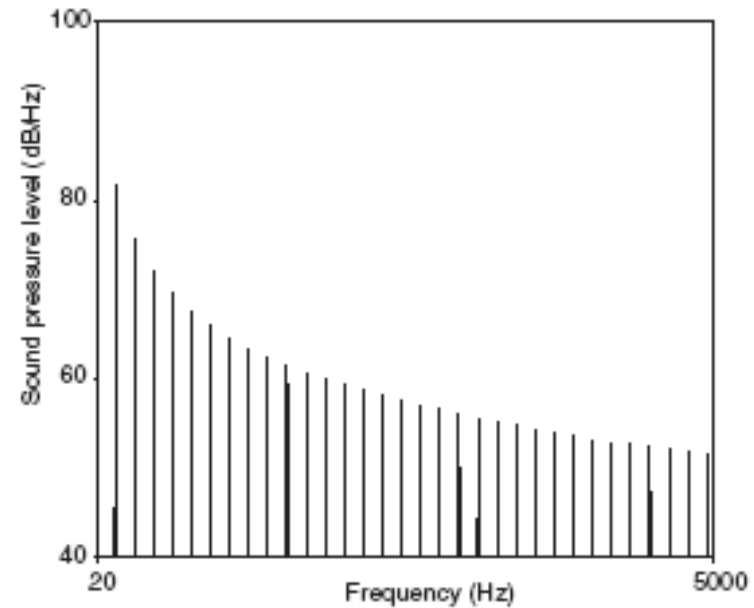


- Solo armoniche di numero dispari (ampiezza proporzionale a $1/n$)
- La seconda metà del periodo capovolge la prima metà: mancano le armoniche pari; se questa simmetria manca, si ha qualche componente pari.

Analisi di Fourier: onda a dente di sega



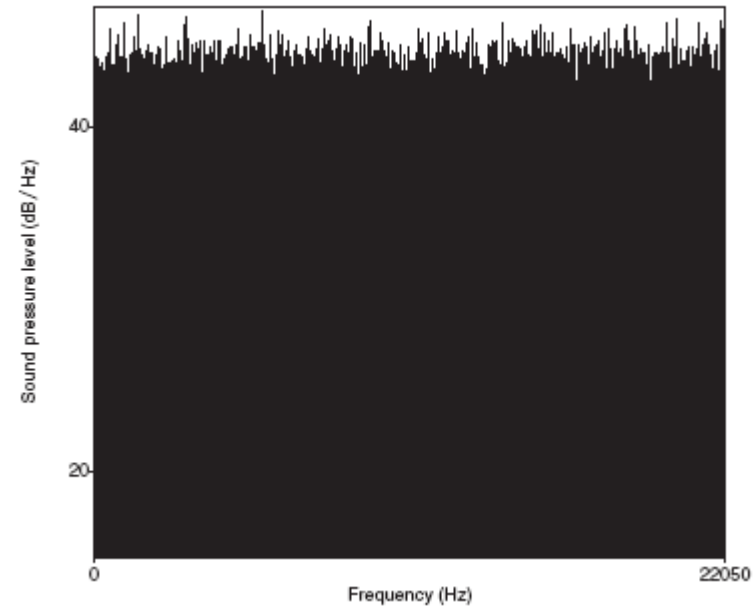
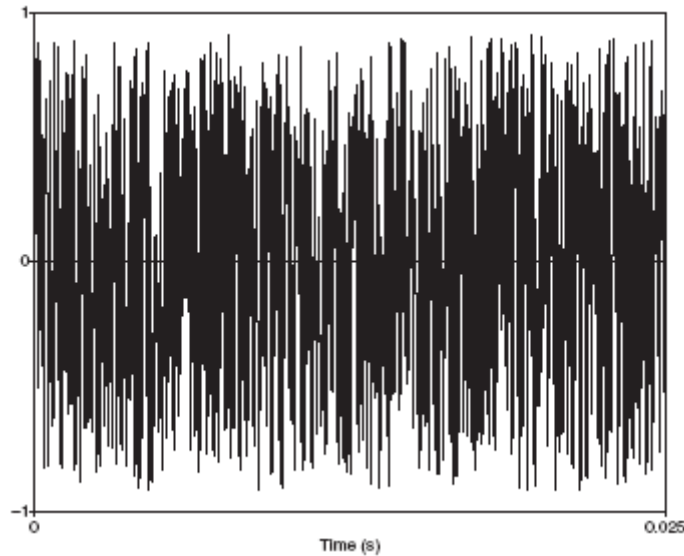
(a)



(b)

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

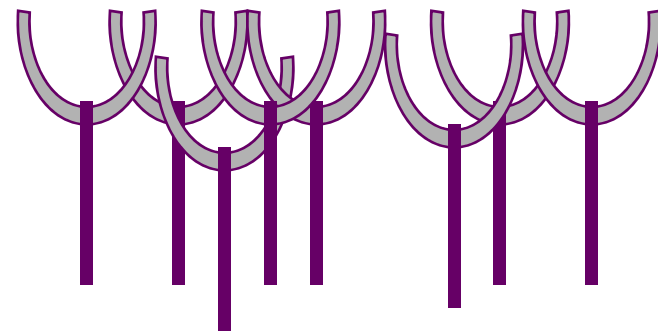
Analisi di Fourier: rumore bianco



- 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

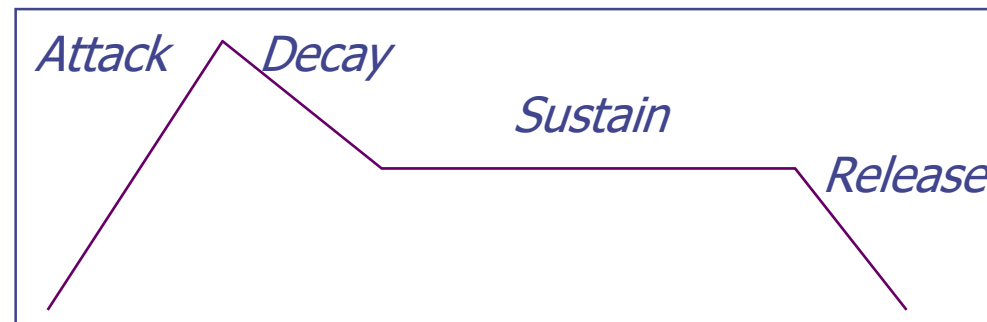
Onde sinusoidali e suoni reali

- 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



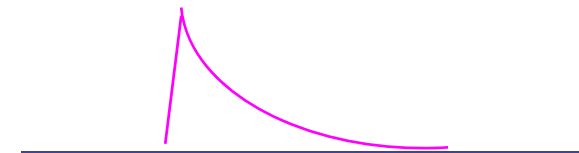
Alcuni transitori



Flauto



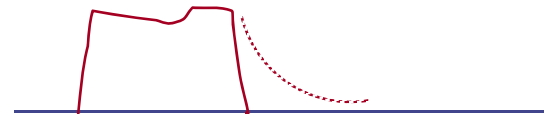
Tromba



Pianoforte



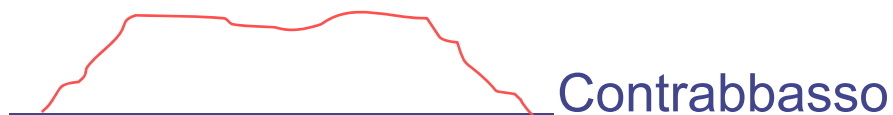
Violino



Organo

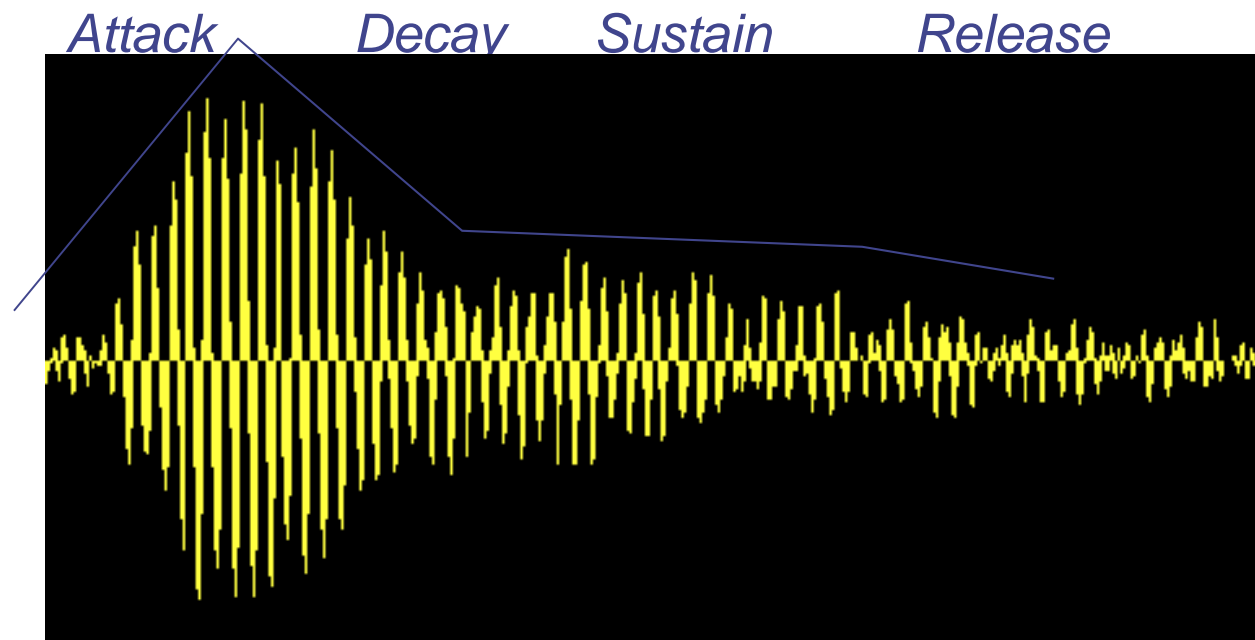


Blocchi di legno



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