

Sistemi di elaborazione dell'informazione



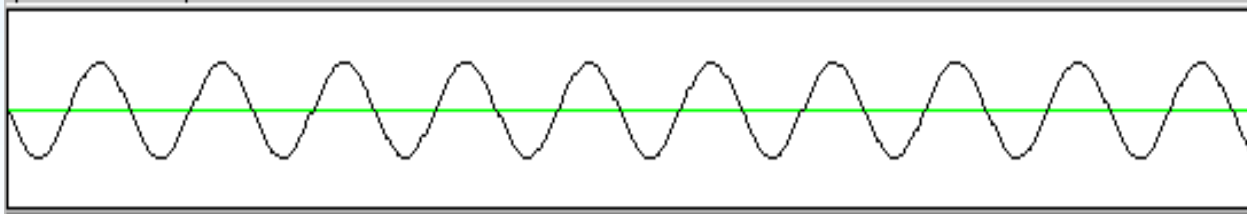
**Univ. degli studi “Federico II”
di Napoli**

ing. Antonio Fratini

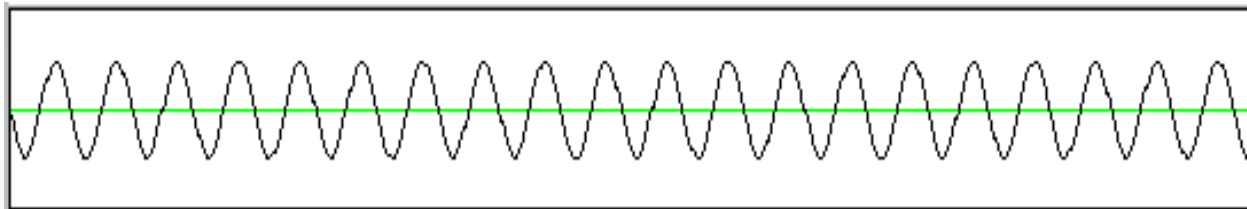


Onde periodiche a differente frequenza

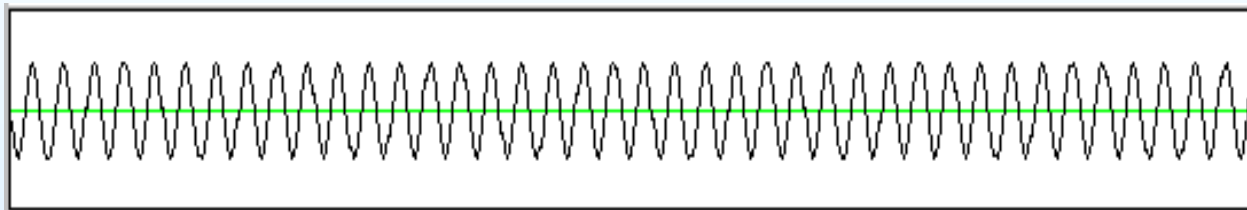
- Esempi con suoni (onde sinusoidali)



f = 220 Hz (LA 4)



f = 440 Hz (LA 5)

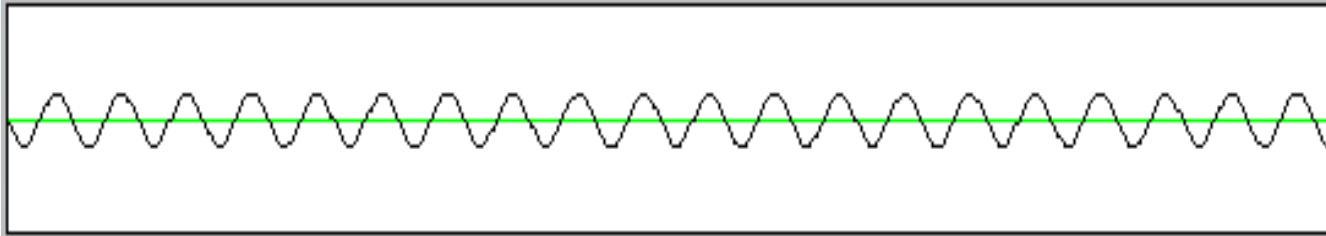


f = 880 Hz (LA 6)

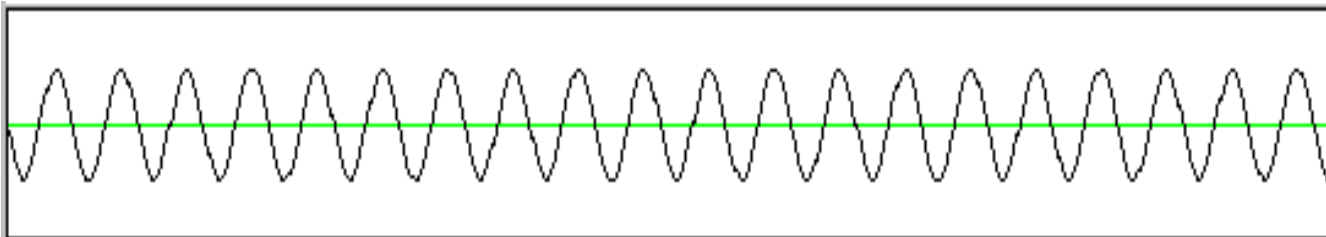


Onde periodiche di differente ampiezza

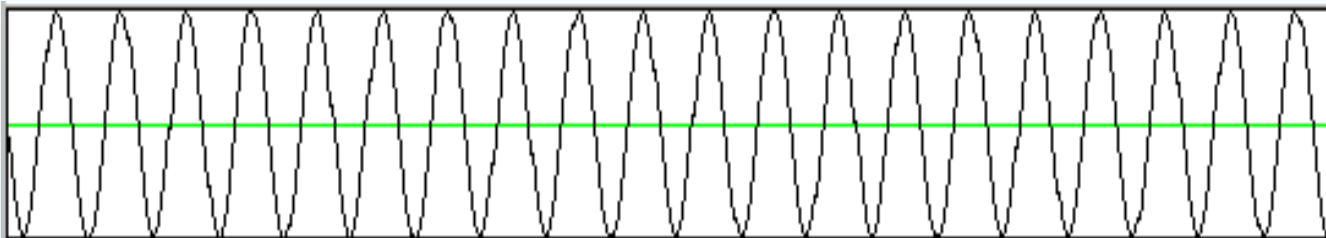
- Esempi con suoni (onde sinusoidali – 440 Hz)



A = -12 dB



A = -6 dB

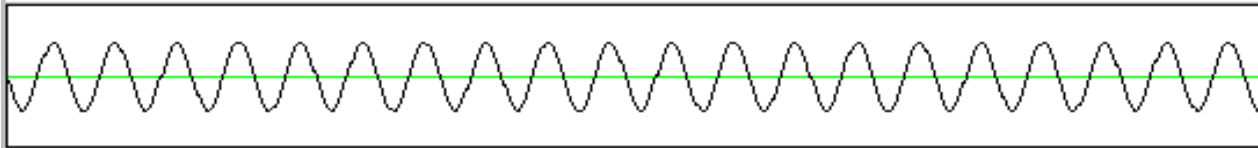


A = 0 dB

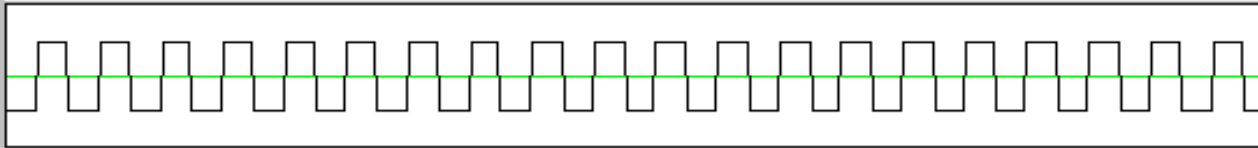


Differenti forme di onde periodiche

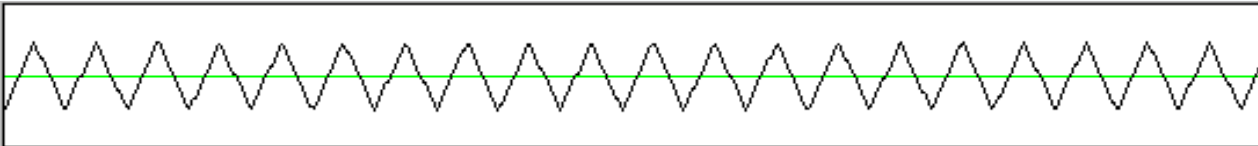
- **Esempi con suoni**



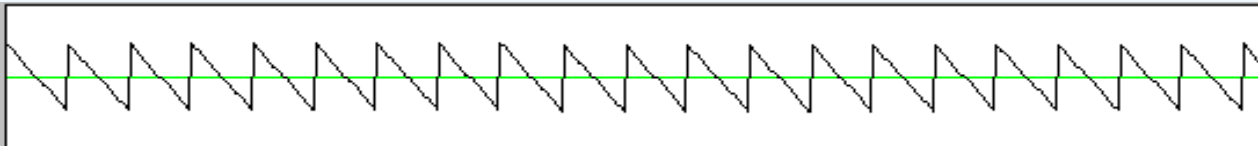
Sinusoide



Onda quadra



Onda triangolare

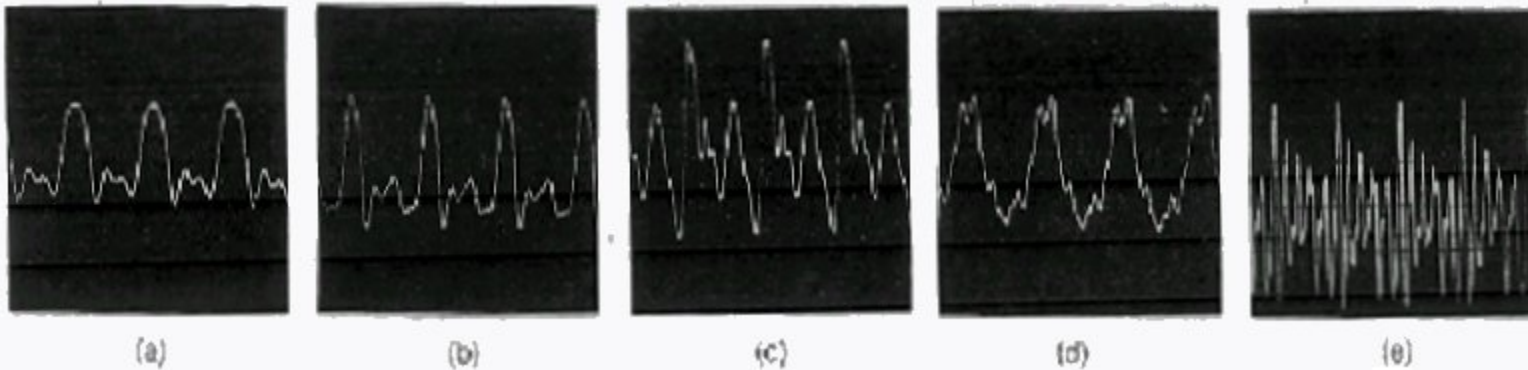


Onda a dente di sega



Differenti forme di onde periodiche

- Esempi di suoni prodotti da vari strumenti
- Il parametro percettivo che permette di discriminare tra suoni emessi da sorgenti diverse (anche se con la stessa intensità e frequenza della fondamentale) è il timbro.



flauto

tromba

sax soprano

violino

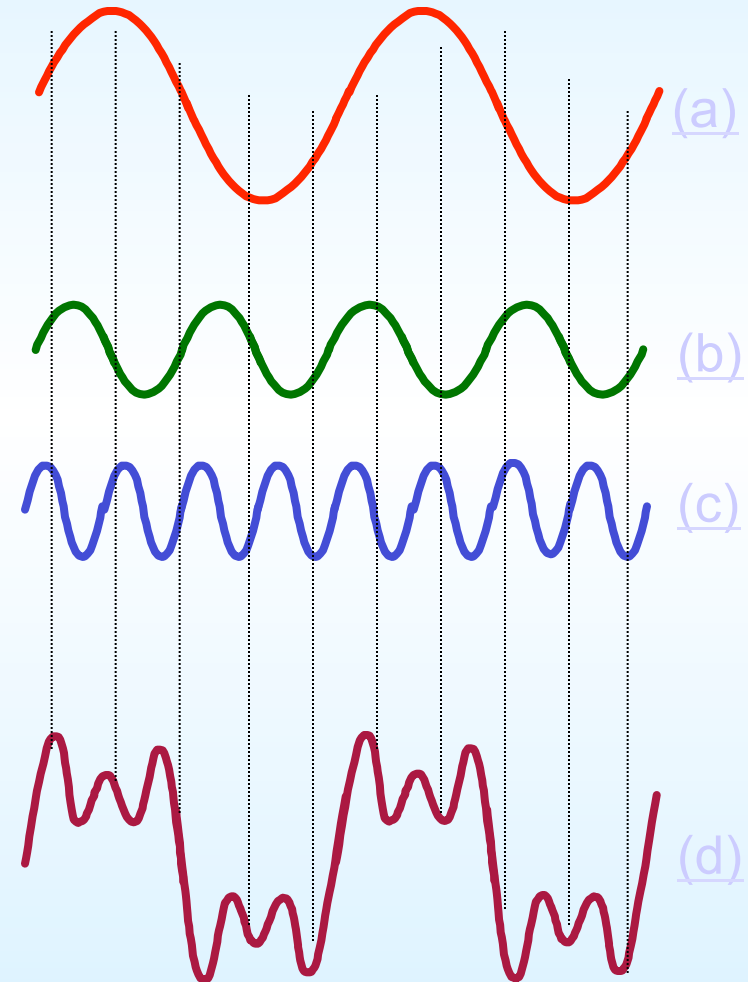
tuba

 La_4 (440 Hz), 8ms

 La_2 (110 Hz), 40 ms

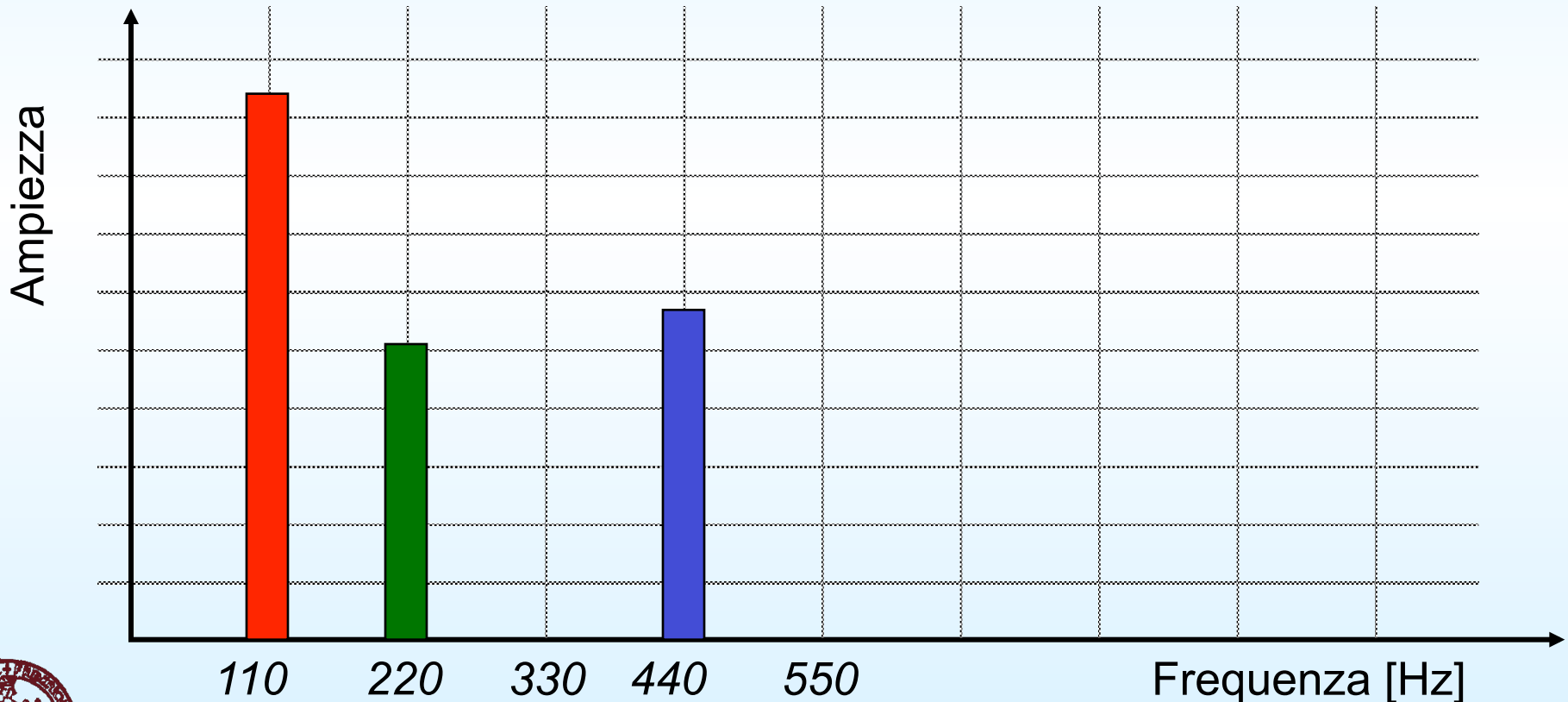

Componenti sinusoidali

- **Esempio:**
- **Il suono (d) è composto da tre sinusoidi**
- **(a) senoide a 110 Hz**
- **(b) senoide a 220 Hz**
- **(c) senoide a 440 Hz**



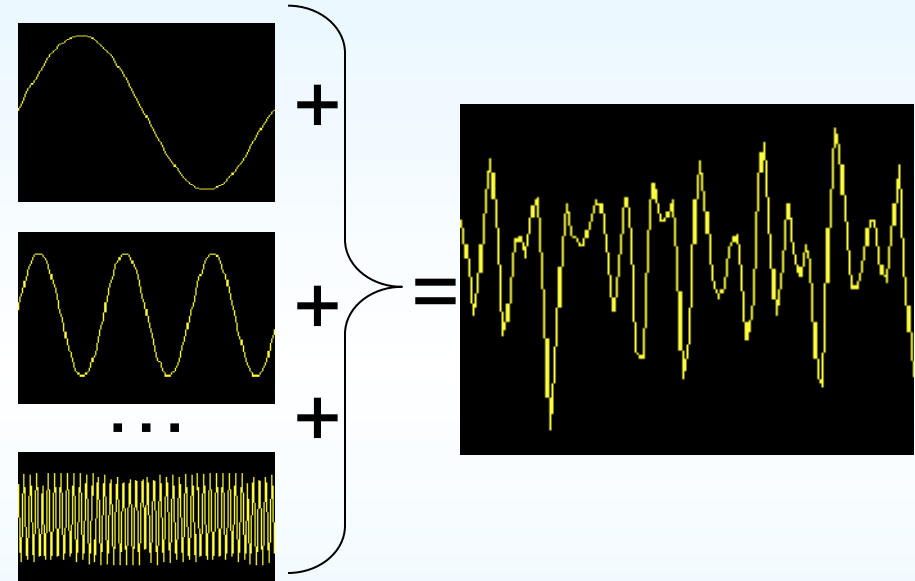
Nel dominio della frequenza ...

- Le tre sinusoidi sono rappresentate ciascuna da un impulso collocato alla frequenza della sinusode e di area paria all' ampiezza della sinusode



Teorema di Fourier

- Una forma d'onda periodica qualsiasi di periodo T può essere costruita a partire da un insieme di onde sinusoidali le cui frequenze formano una serie armonica con $f_1 = 1 / T$
- Ogni onda sinusoidale avrà una sua fase (f_n) e ampiezza (A_n), e anche queste possono essere estratte dalla forma d'onda complessa



definizioni

- **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**

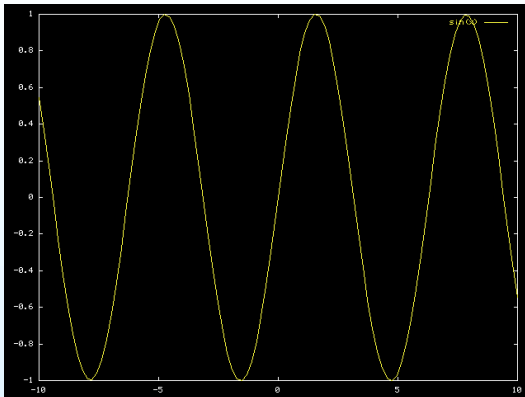


Esempi

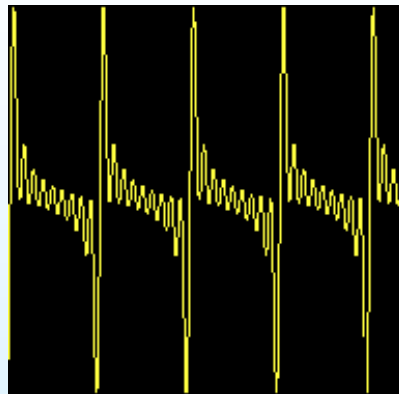
- Esempi di suoni diversi



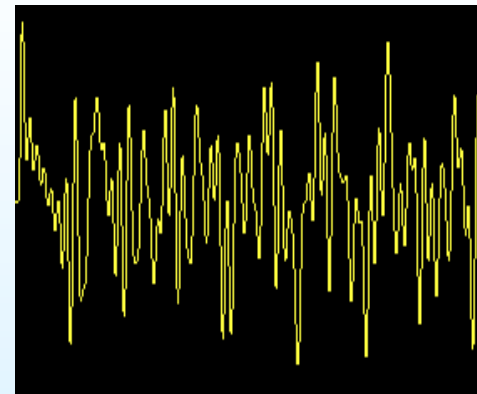
Bell1



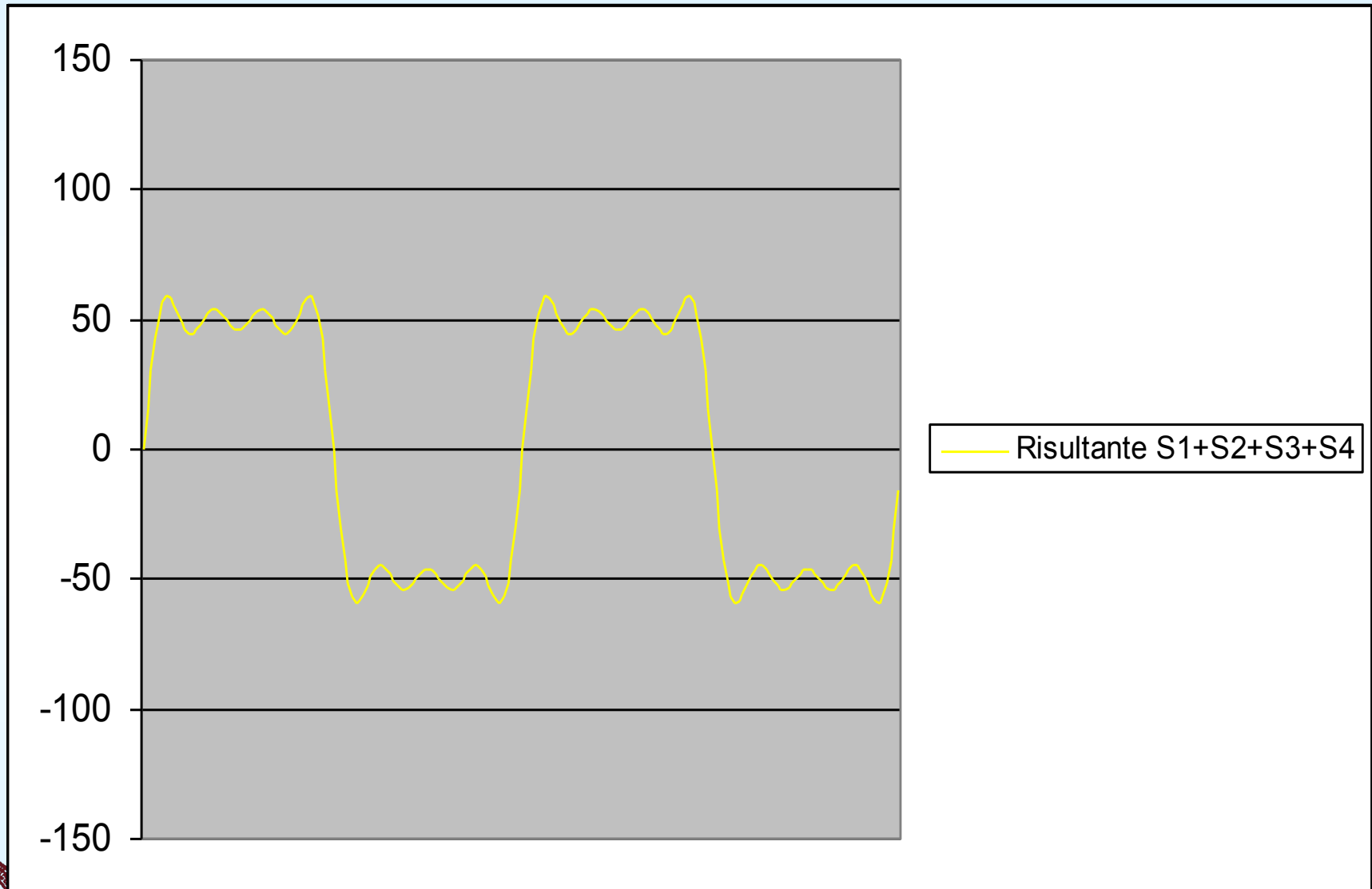
Bell2



Bell3

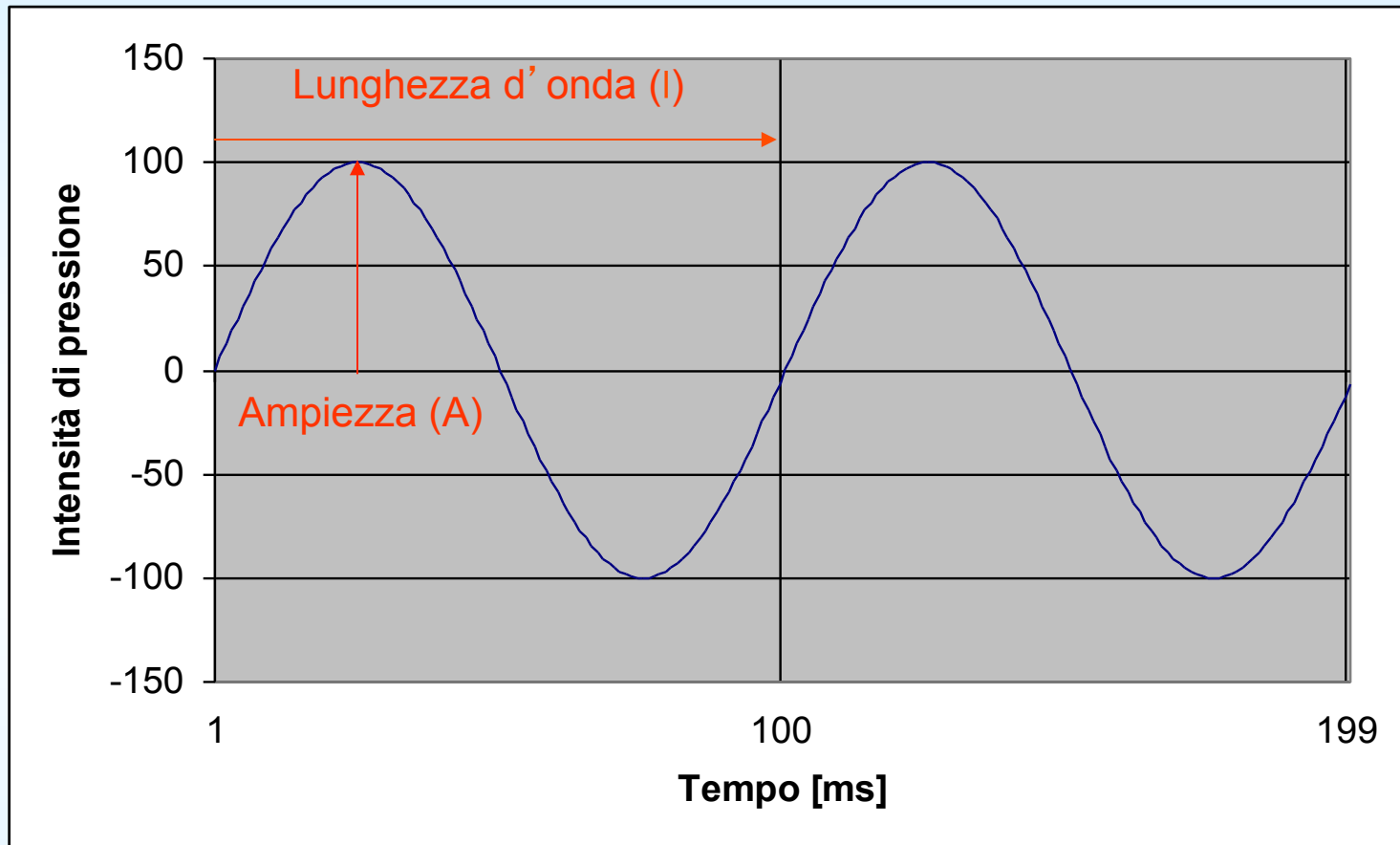


Sintesi di forme d'onda – es. con onda quadra



Parametri di un' onda periodica

Forma d' onda = senoide



Frequenza (f) = numero di cicli al secondo = $1/l$

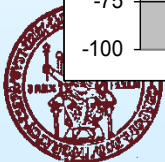
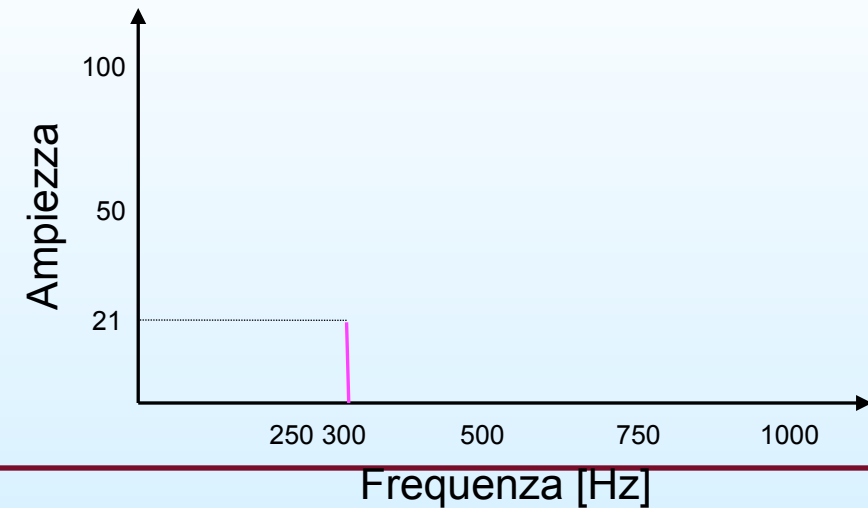
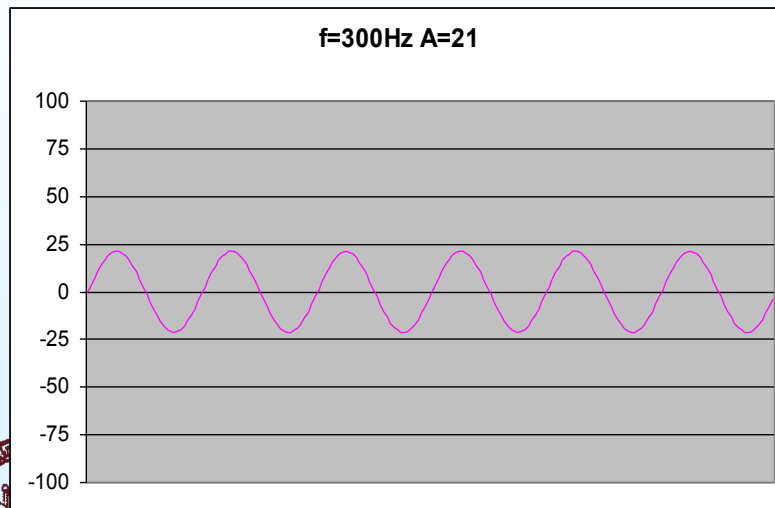
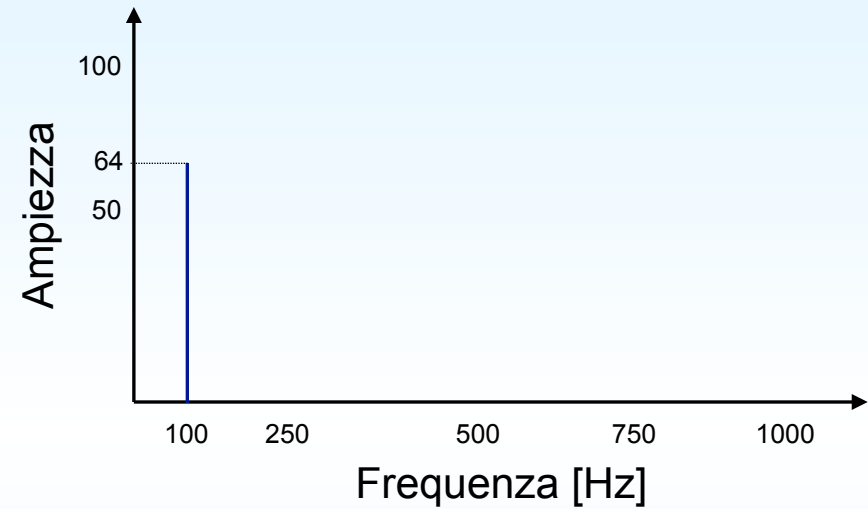
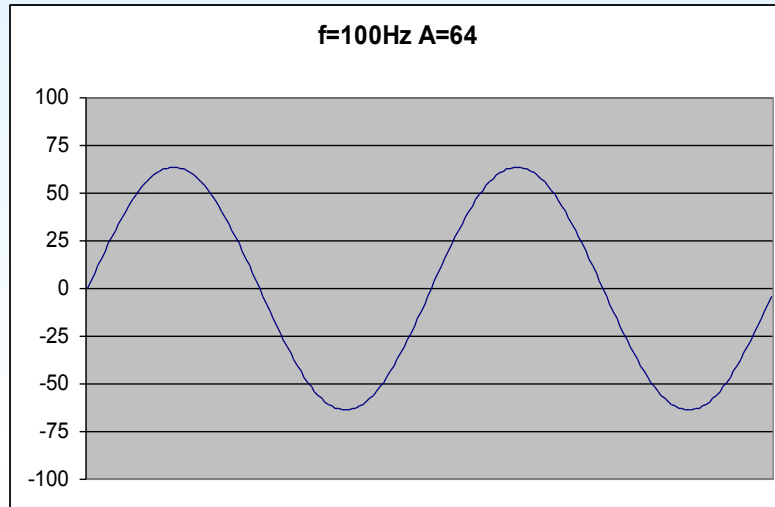
$l = 100$ millesimi di secondo = $1/10$ secondi = 0.1 s

$f = 1/l = 1 / 0.1 = 10$ Hertz [Hz]



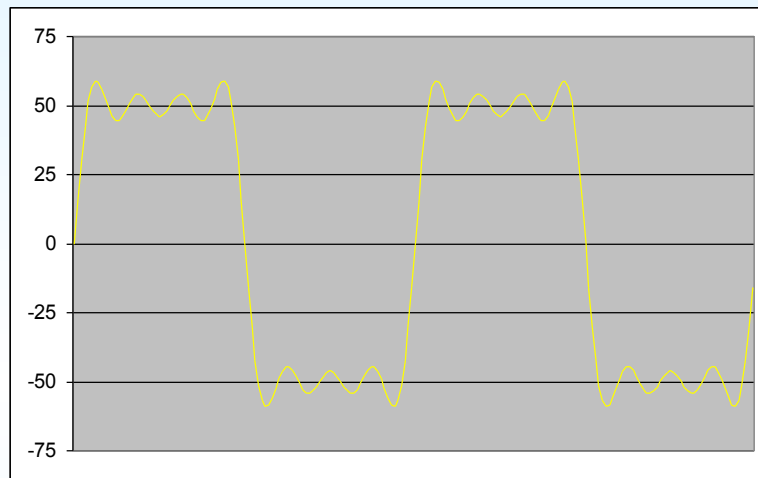
Analisi di forme d'onda – lo spettro

Spettri di onde sinusoidali

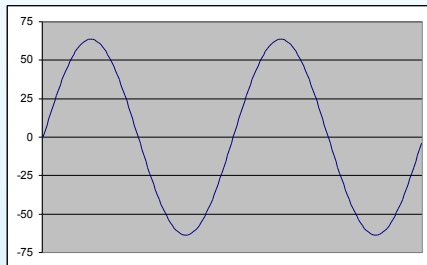
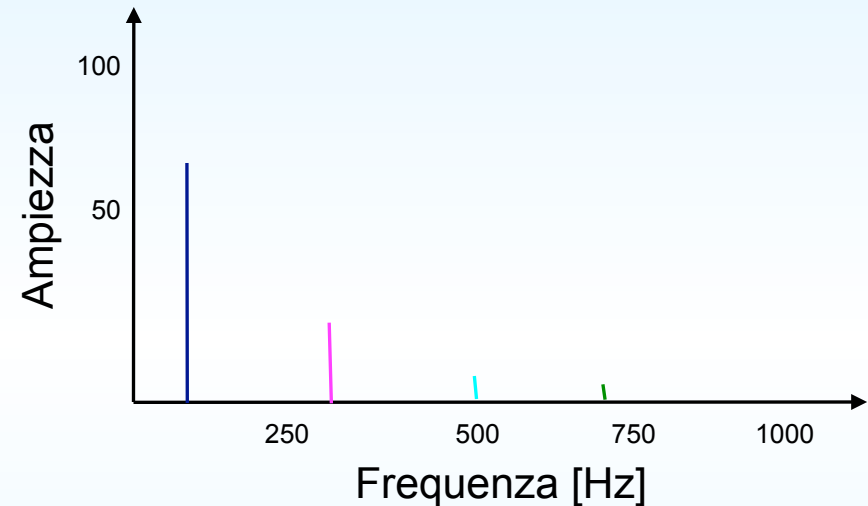


Analisi di forme d'onda – lo spettro

Forme d'onda complesse: lo spettro è la somma degli spettri dei sinusoidi che compongono l'onda.

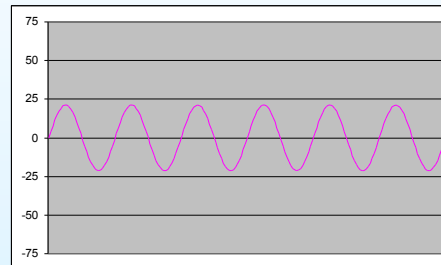


$f = 100 \text{ Hz}$



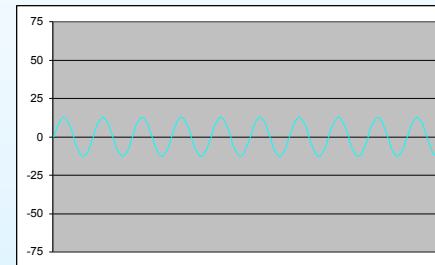
$f=100\text{Hz}$ $A=64$

+



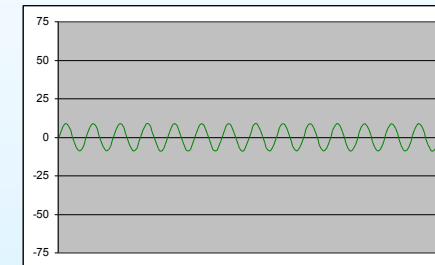
$f=300\text{Hz}$ $A=21$

+



$f=500\text{Hz}$ $A=6$

+

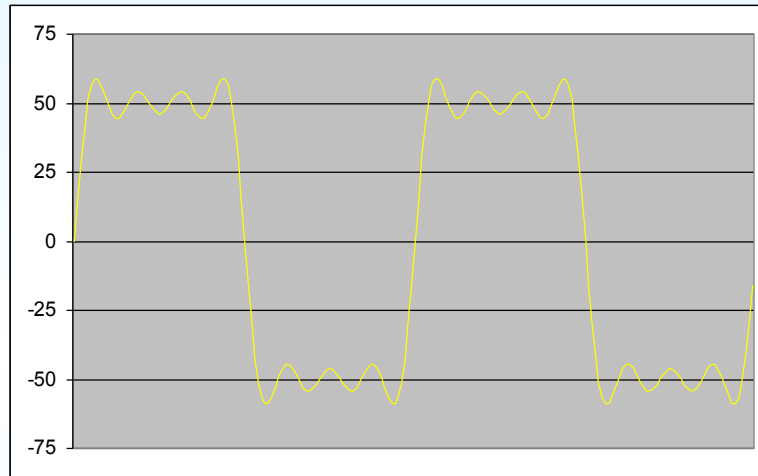


$f=700\text{Hz}$ $A=4$

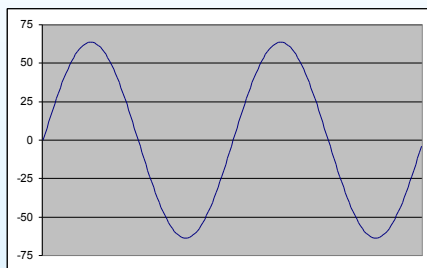
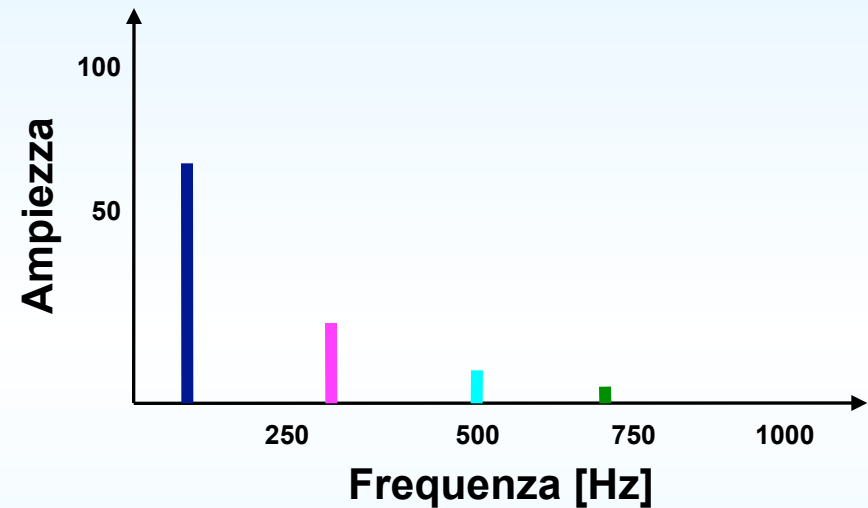


Analisi di forme d'onda: lo spettro

- Per forme d'onda complesse lo spettro è la somma degli spettri delle sinusoidi che compongono l'onda

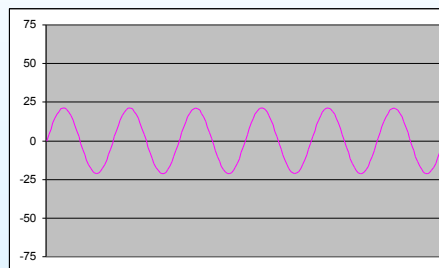


$f = 100 \text{ Hz}$



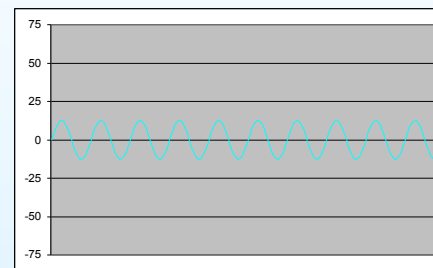
$f=100\text{Hz}$ $A=64$

+



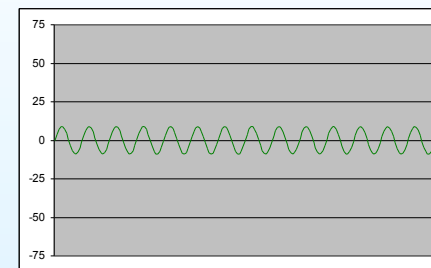
$f=300\text{Hz}$ $A=21$

+



$f=500\text{Hz}$ $A=6$

+



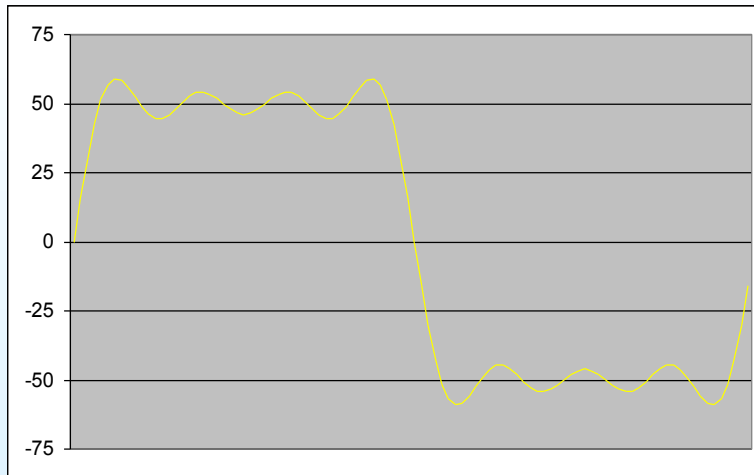
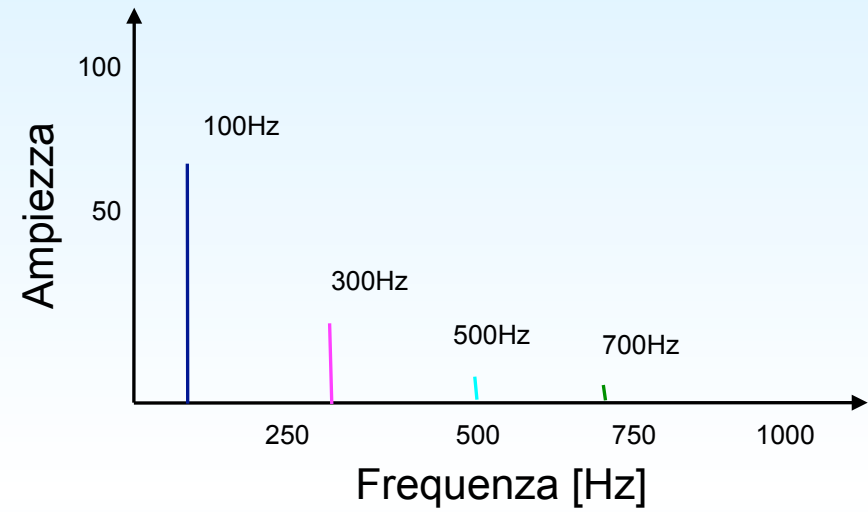
$f=700\text{Hz}$ $A=4$



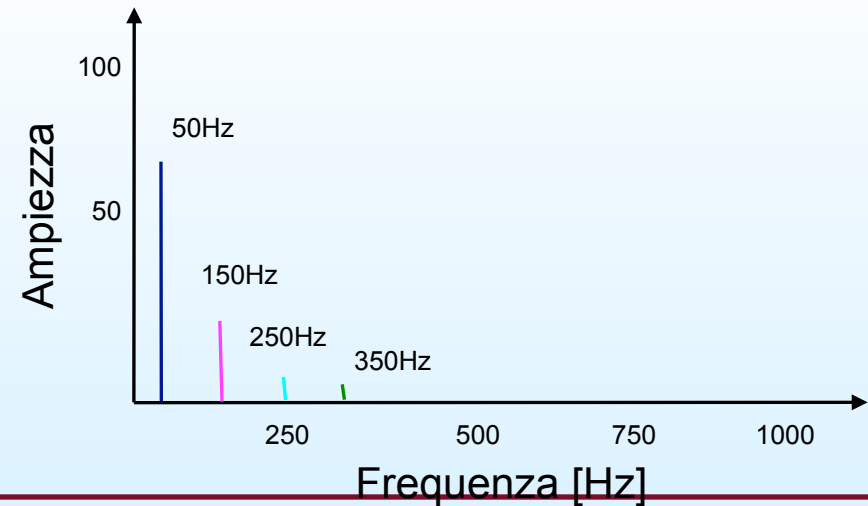
Analisi di forme d'onda – lo spettro



$f=100\text{Hz}$ $T=0.01\text{s}$

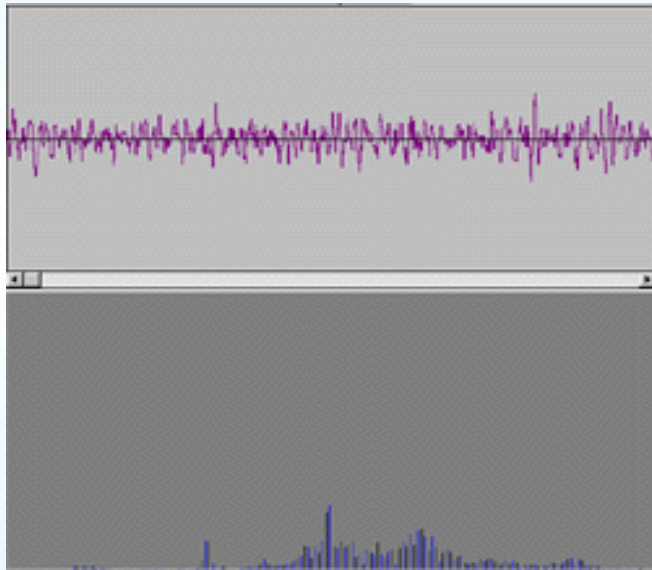


$f=50\text{Hz}$ $T=0.02\text{s}$

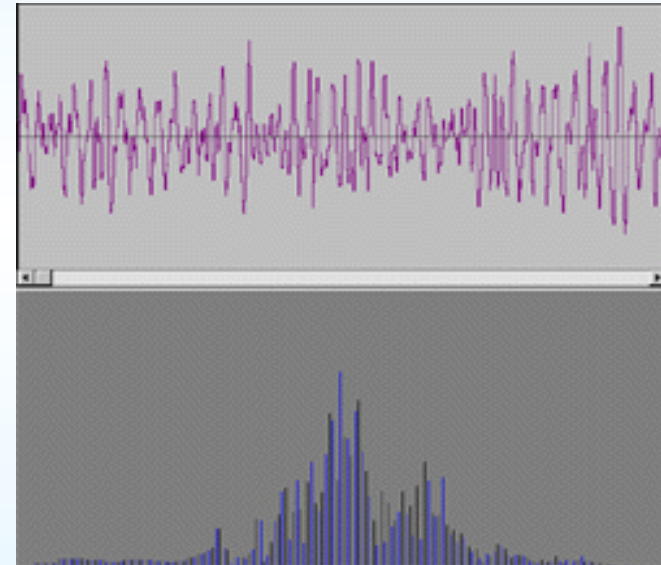


Analisi di forme d'onda – lo spettro

Esempi di segnali non periodici e loro spettri.



Rumore bianco (gaussiano)

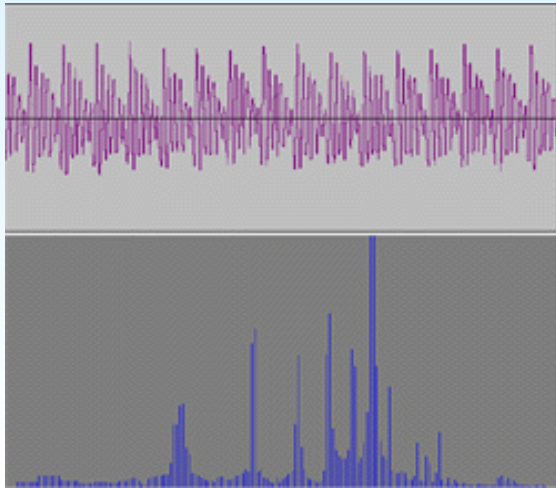


Rumore rosa (browniano)

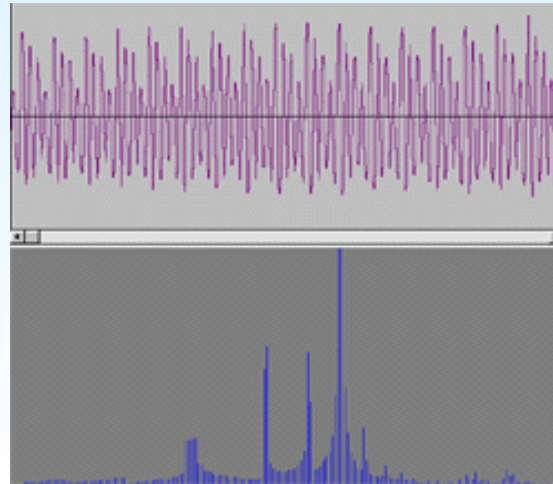


Analisi di forme d'onda – il parlato

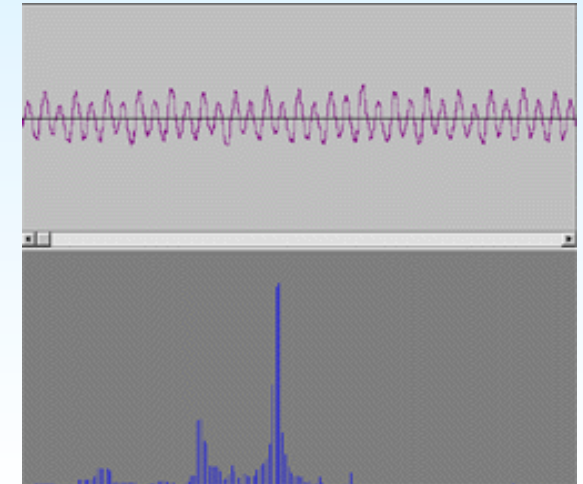
Le vocali corrispondono a onde periodiche (spettro a bande).



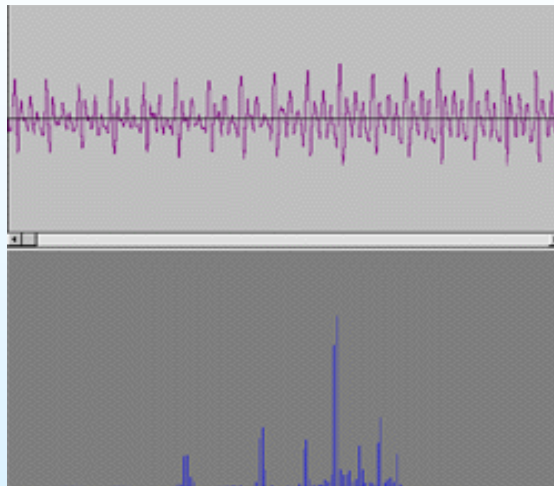
Aaaa...



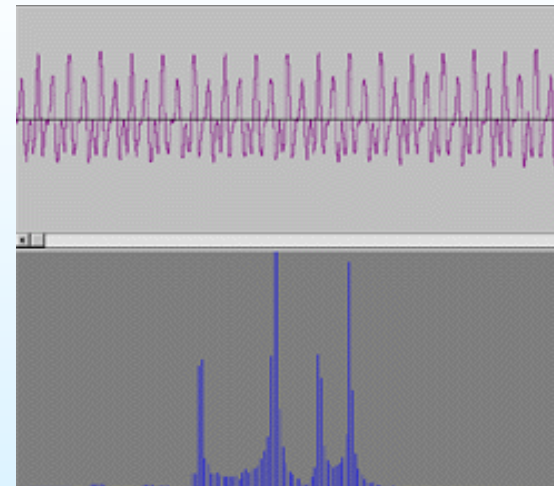
Eeee...



liii...



Oooo...



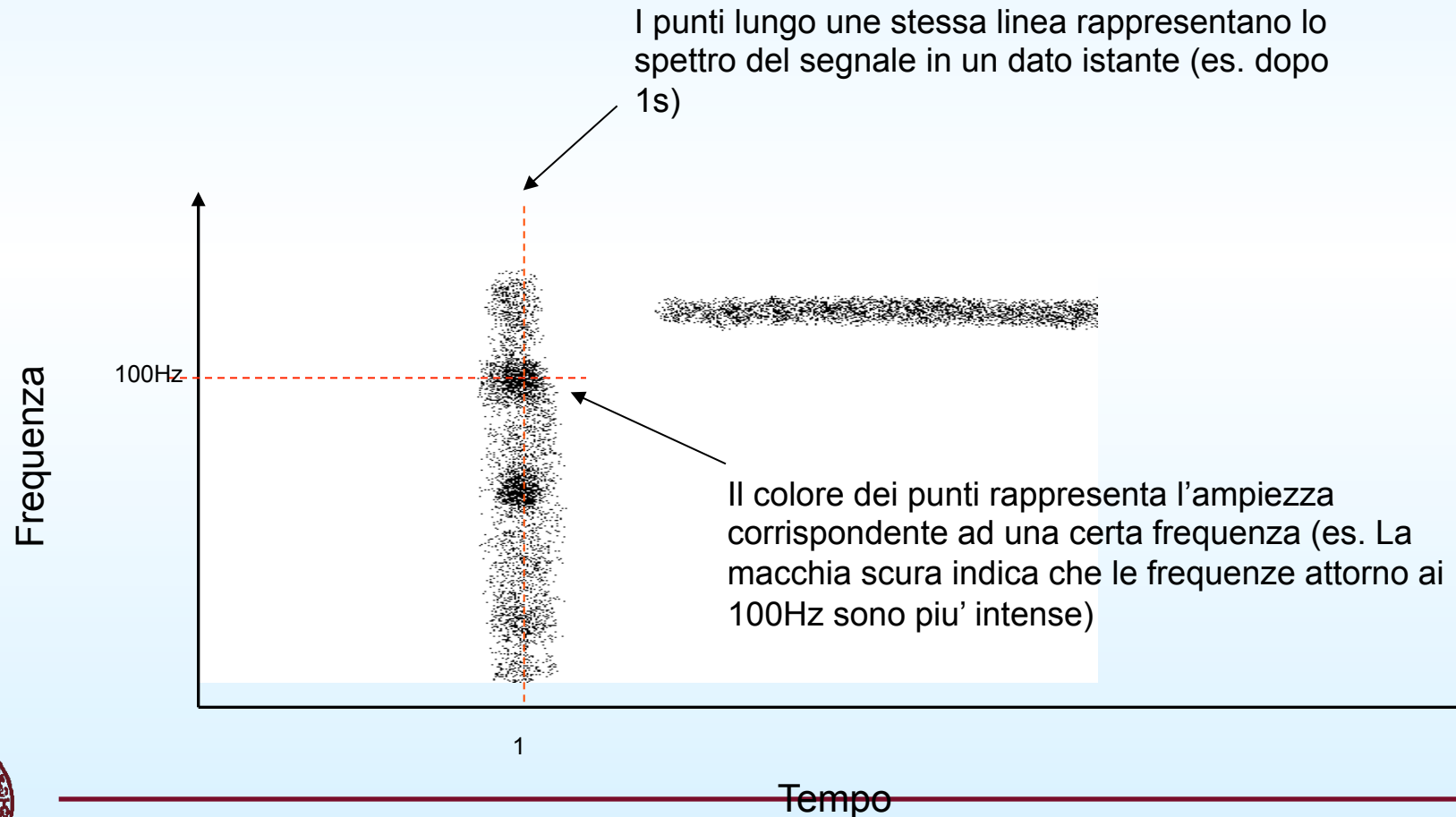
Uuuu...



Analisi di forme d'onda – il parlato

Le consonanti presentano invece una gamma maggiore di frequenze e una maggiore variabilità nella frase.

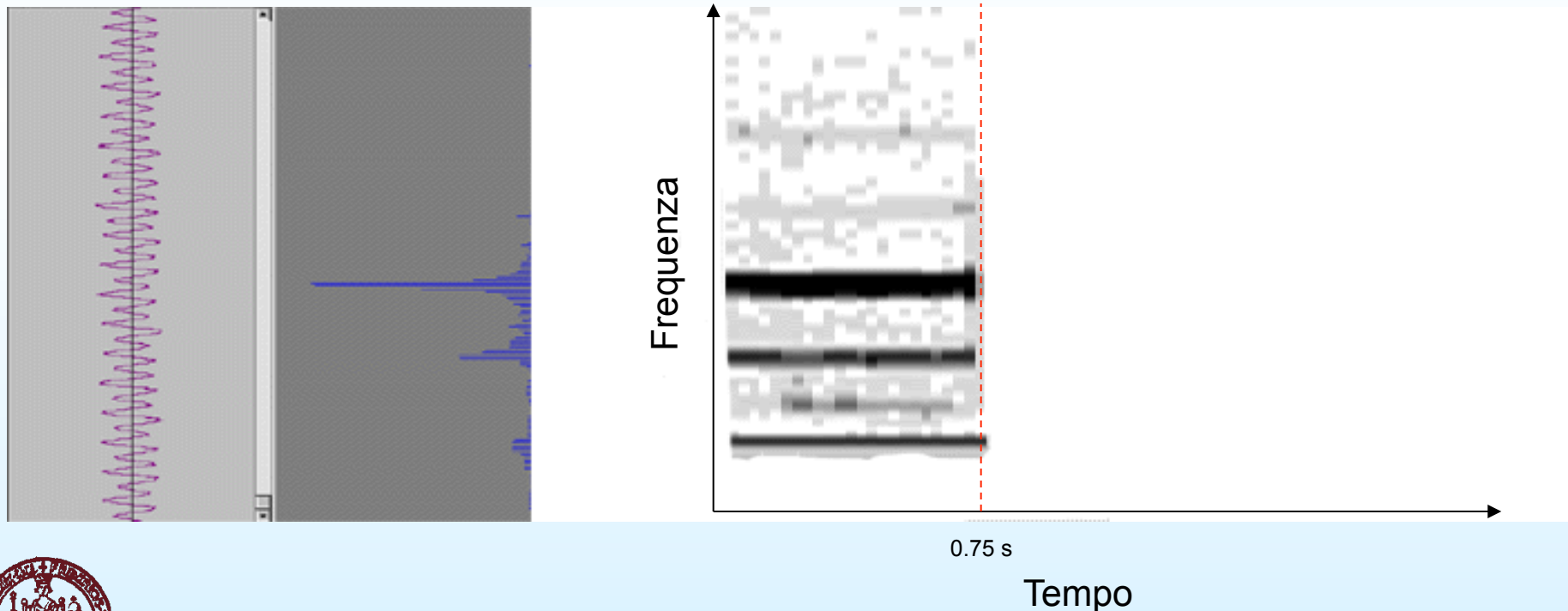
Per studiare il parlato è utile utilizzare il **sonogramma**: un grafico che mostra l'andamento dello **spettro** nel tempo.



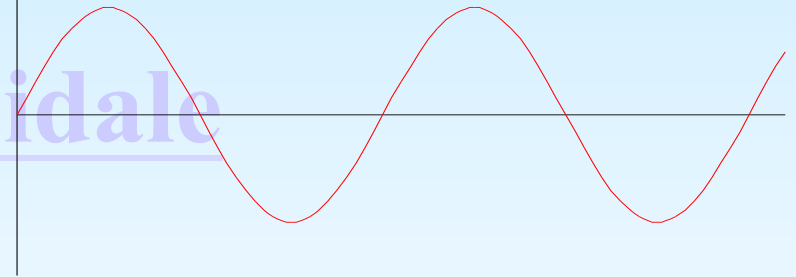
Analisi di forme d'onda – il parlato

Il sonogramma di un'onda periodica che si mantiene inalterata nel tempo e' un insieme di bande orizzontali, corrispondenti alle frequenze dominanti dello spettro.

Esempio: la lettera "I" pronunciata con lo stesso tono per 0.75 secondi.



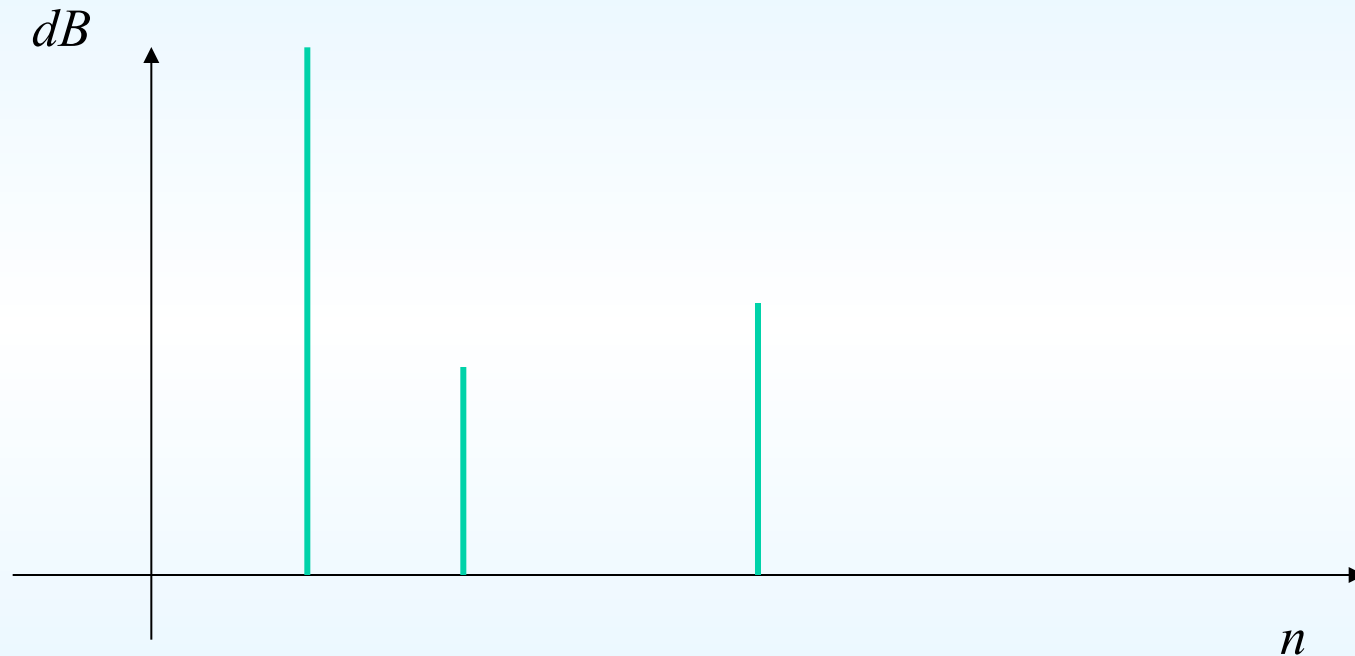
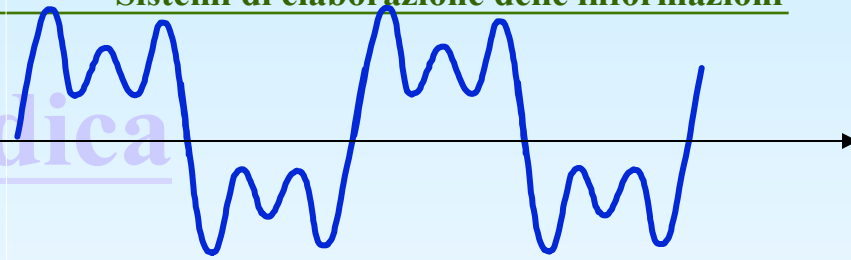
Onda sinusoidale



- Lo spettro contiene soltanto la fondamentale



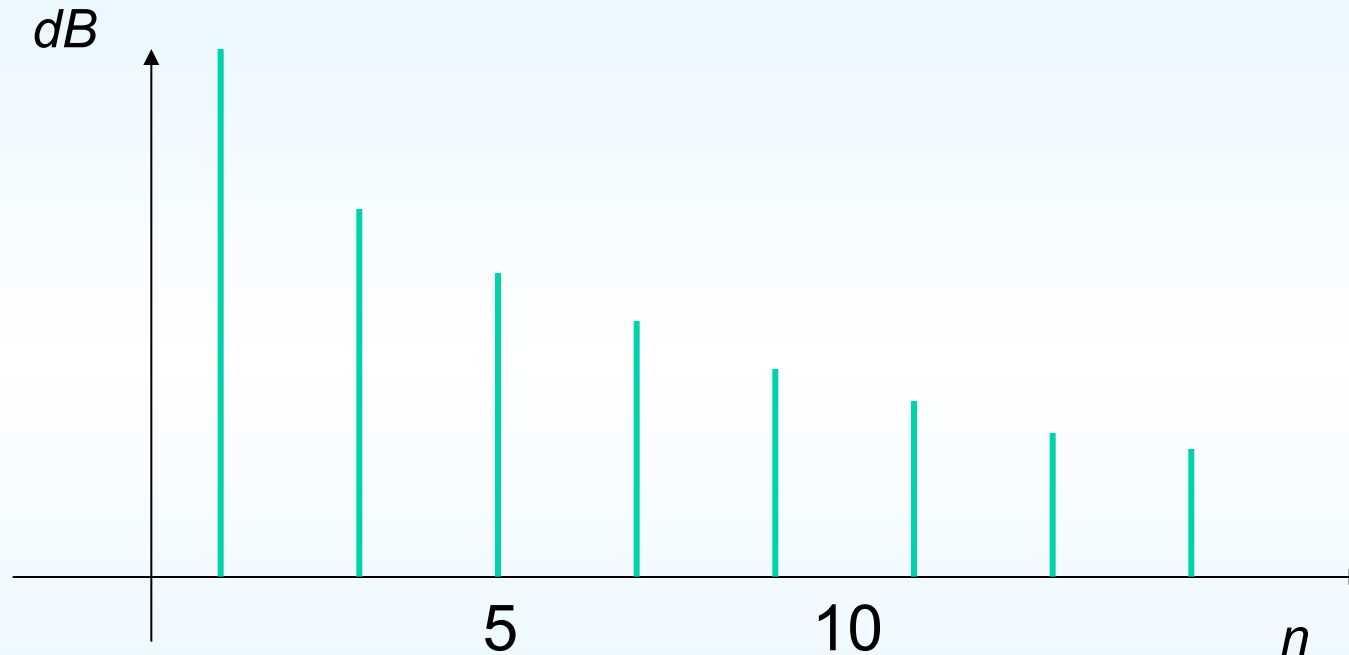
Onda periodica



- Lo spettro contiene le tre frequenze componenti



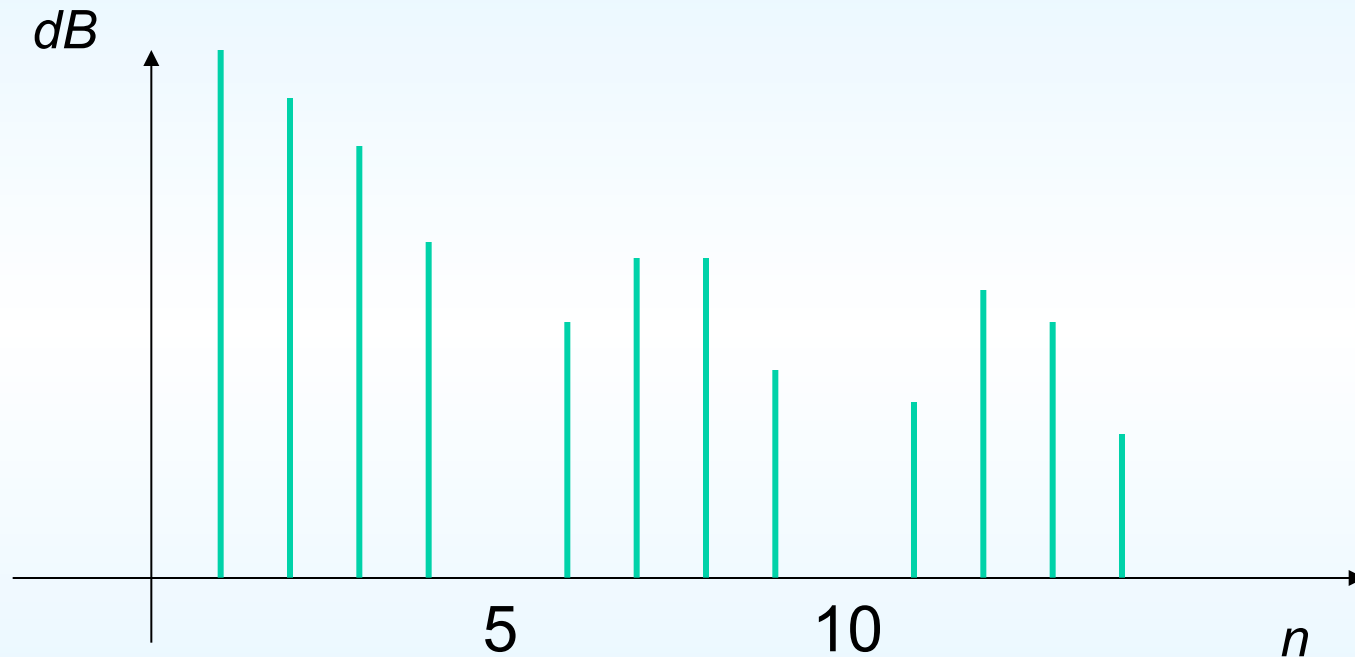
Onda quadra



- 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.



Onda a impulsi

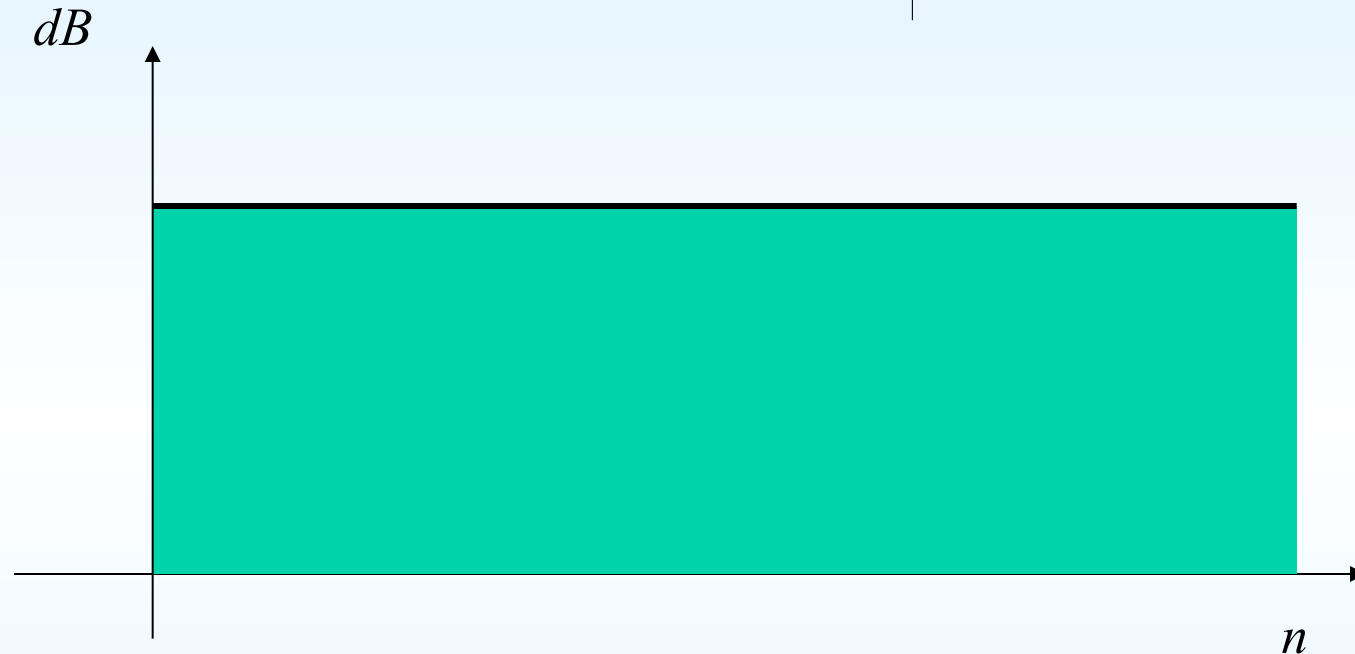


- Tutte le armoniche tranne il reciproco del ciclo dell' impulso e i suoi multipli (es. $T = 0,2$ s; $n = 1 / 0,2 = 5$)



Rumore bianco

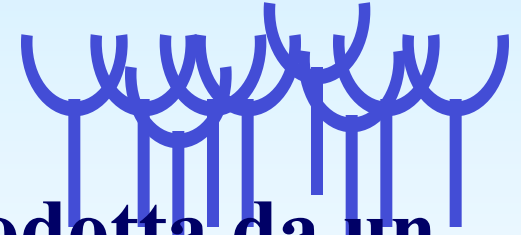
(o casuale)



- 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”!

