



Università degli Studi di Palermo  
*Dipartimento di Ingegneria Informatica*



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

Anno Accademico 2008/2009

Docente: ing. Salvatore Sorce

## I suoni – Rappresentazione digitale

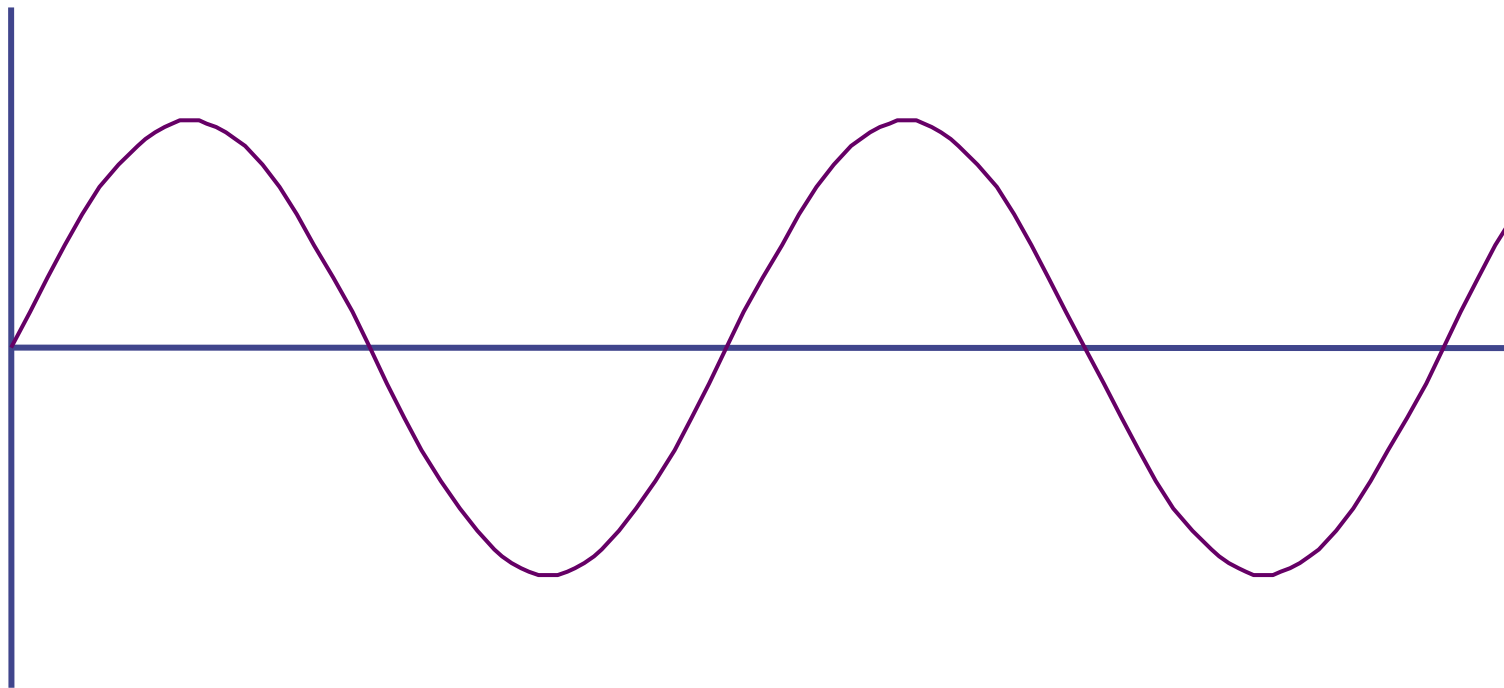
sulla base di materiale didattico originale del prof. Vincenzo Lombardo – MultiD@MS Torino

Facoltà di Lettere e Filosofia

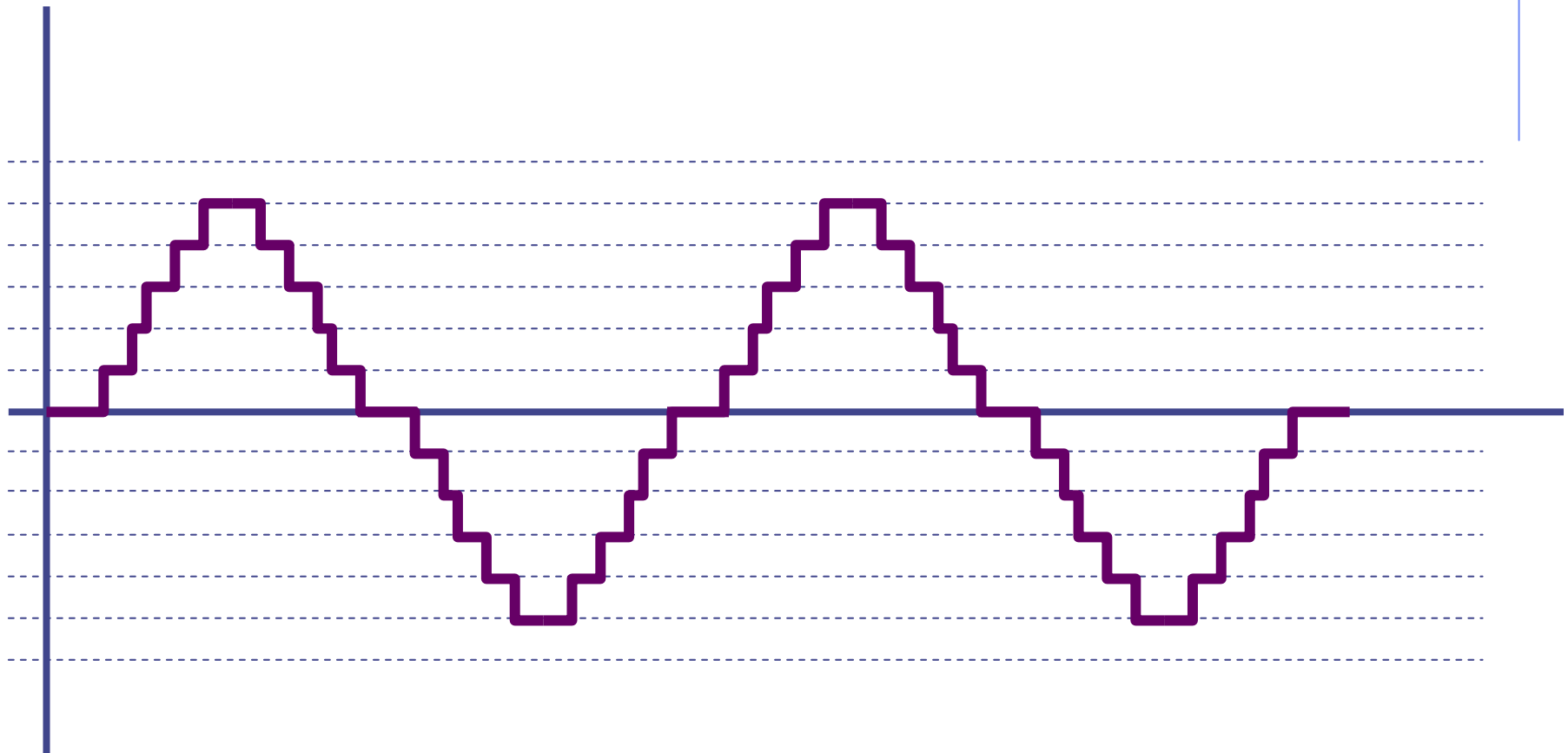
The slide features a decorative layout of thin blue lines. A vertical line on the left and a horizontal line at the top intersect at a small circle in the top-left corner. Another vertical line on the right and a horizontal line at the bottom intersect at a small circle in the bottom-right corner. A horizontal line also crosses the left vertical line in the lower half of the page. The title is centered in the upper-left quadrant.

# Campionamento e quantizzazione

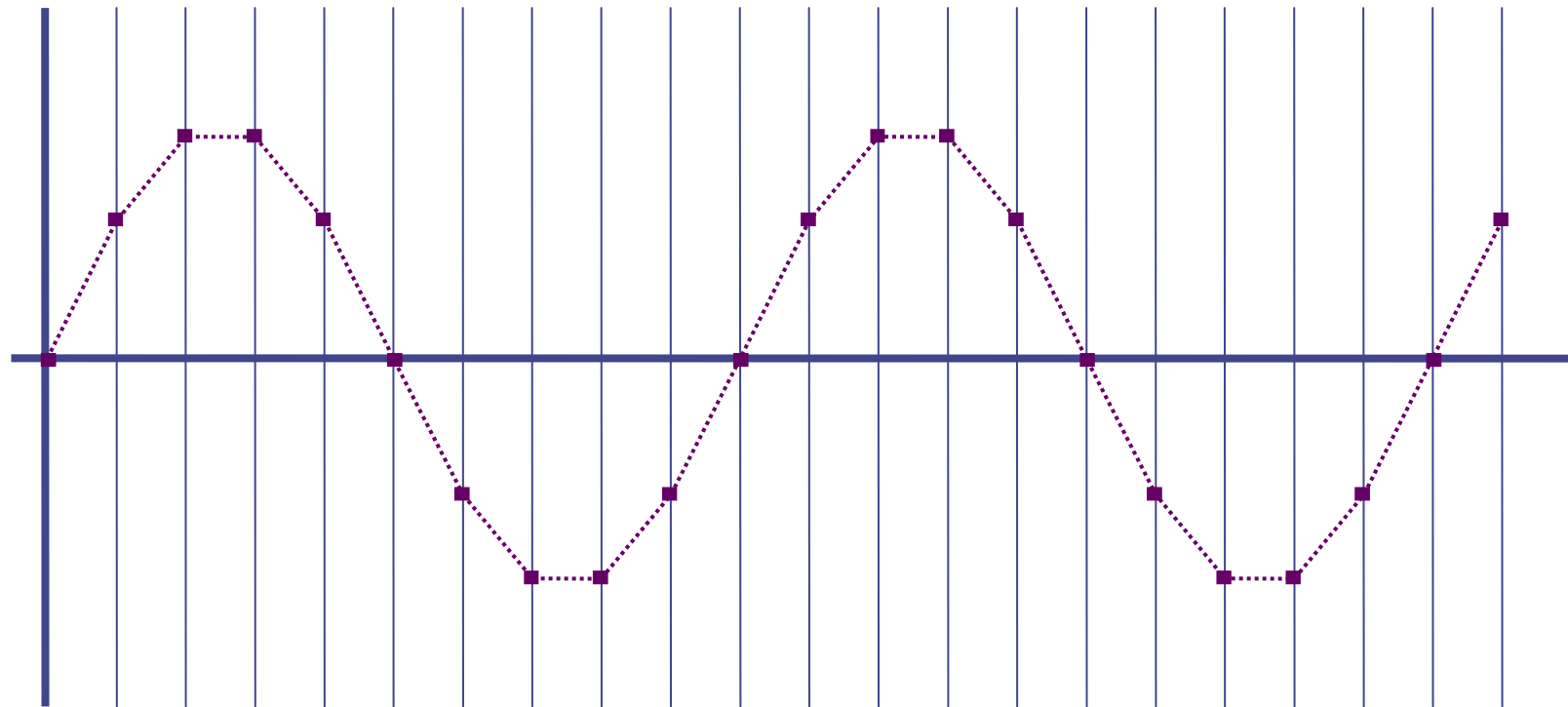
## Segnale analogico (continuo nel tempo e in ampiezza)



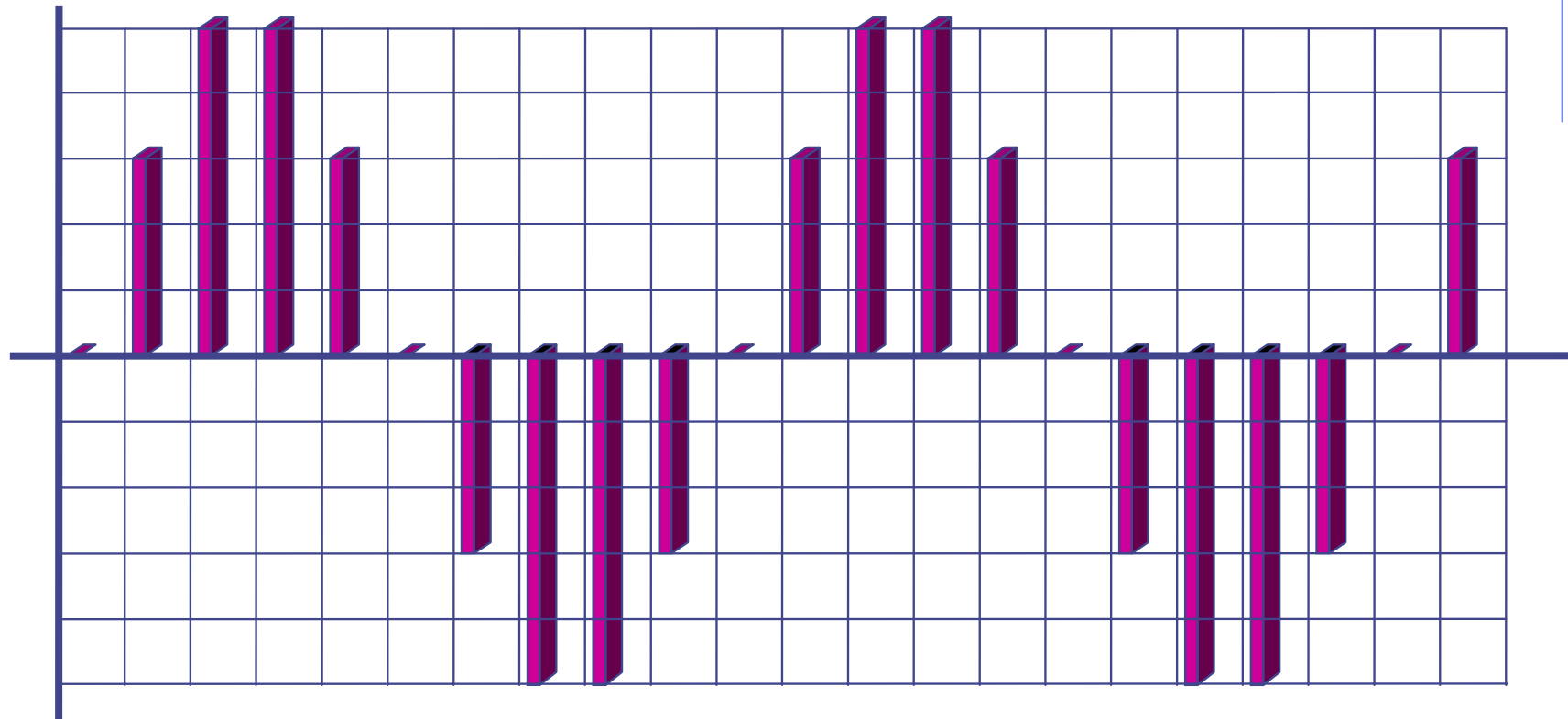
# Segnale quantizzato (continuo nel tempo, discreto in ampiezza)



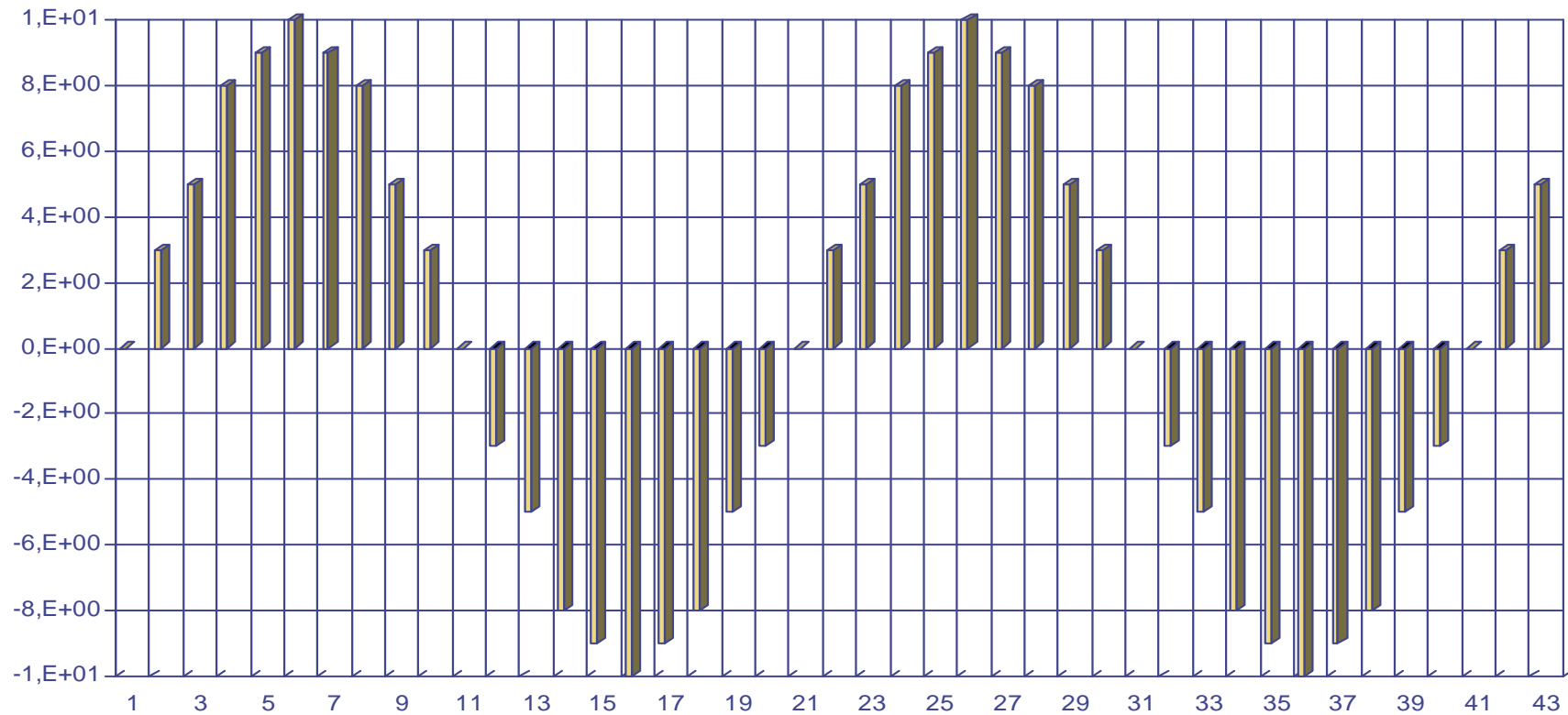
# Segnale campionato (discreto nel tempo, continuo in ampiezza)



# Segnale numerico (digitale) (discreto nel tempo e in ampiezza)



## Intervalli di tempo più piccoli



The image features a minimalist design with several thin blue lines and two small blue circles. One circle is at the top-left intersection of a vertical and a horizontal line. Another circle is at the bottom-right intersection of a vertical and a horizontal line. There are also two vertical lines on the right side of the page, one near the top and one near the bottom. The text "Il campionamento" is centered in the upper-left quadrant.

## Il campionamento



## Il problema

- Occorre discretizzare il tempo
- Segnali audio variano rapidamente nel tempo
  - i campioni devono essere prelevati con velocità dipendente dalla variazione del segnale
  - tale velocità dipende dalla componente armonica con frequenza più alta
- La frequenza massima contenuta nel segnale determina il periodo (tasso, frequenza) di campionamento

## Intuitivamente

- Periodo di campionamento più piccolo, segnale digitale più simile all'originale
- Al limite (periodo infinitamente piccolo) il segnale analogico e quello campionato coincidono
- Periodo di campionamento VS Frequenza di campionamento ( $sr = \textit{sample rate}$ )

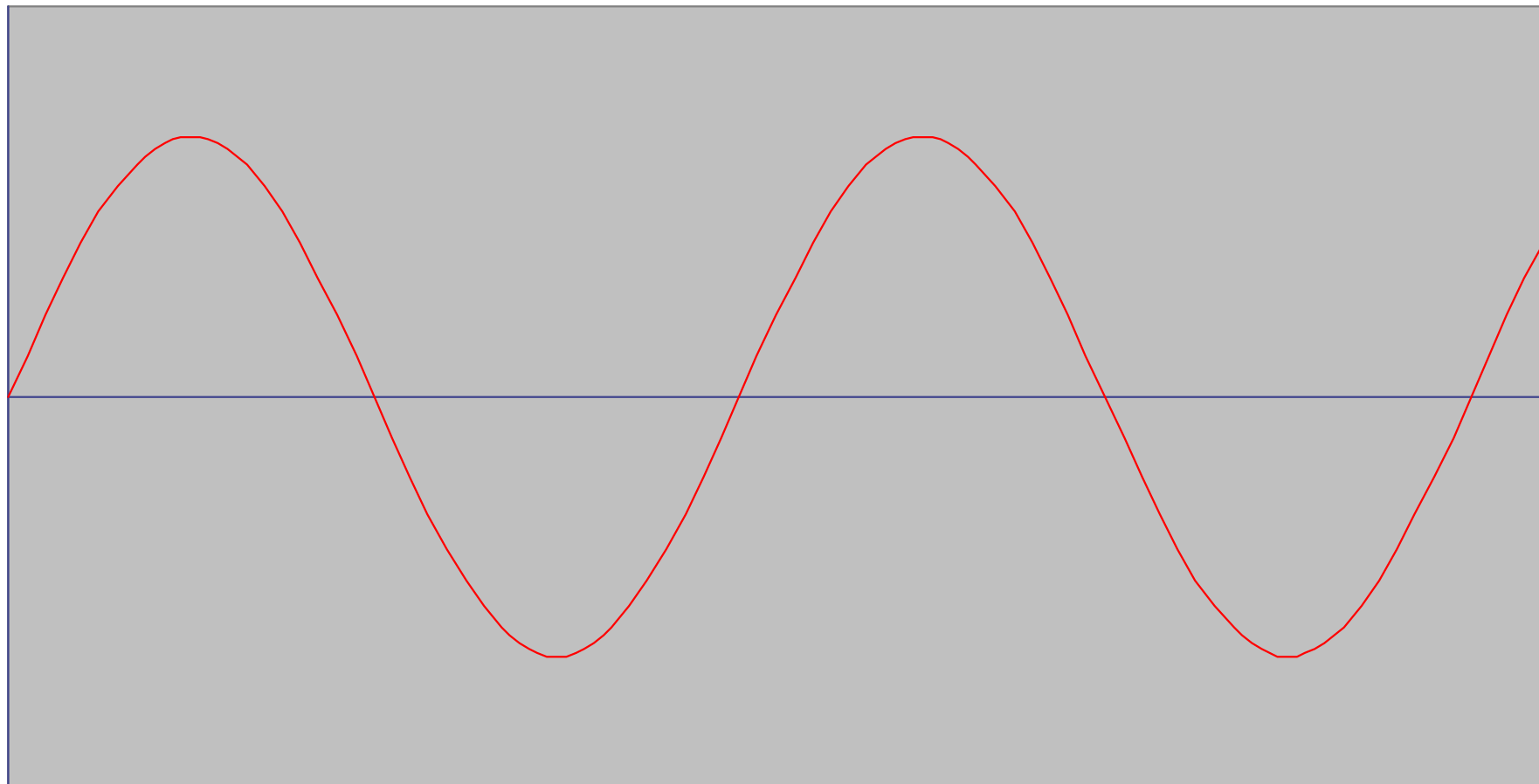


## Il campionamento vero e proprio

- Dopo ogni periodo di campionamento si preleva un campione
- Si quantizza il segnale analogico in quell'istante
- Si produce una sequenza di parole binarie che corrispondono all'andamento del segnale

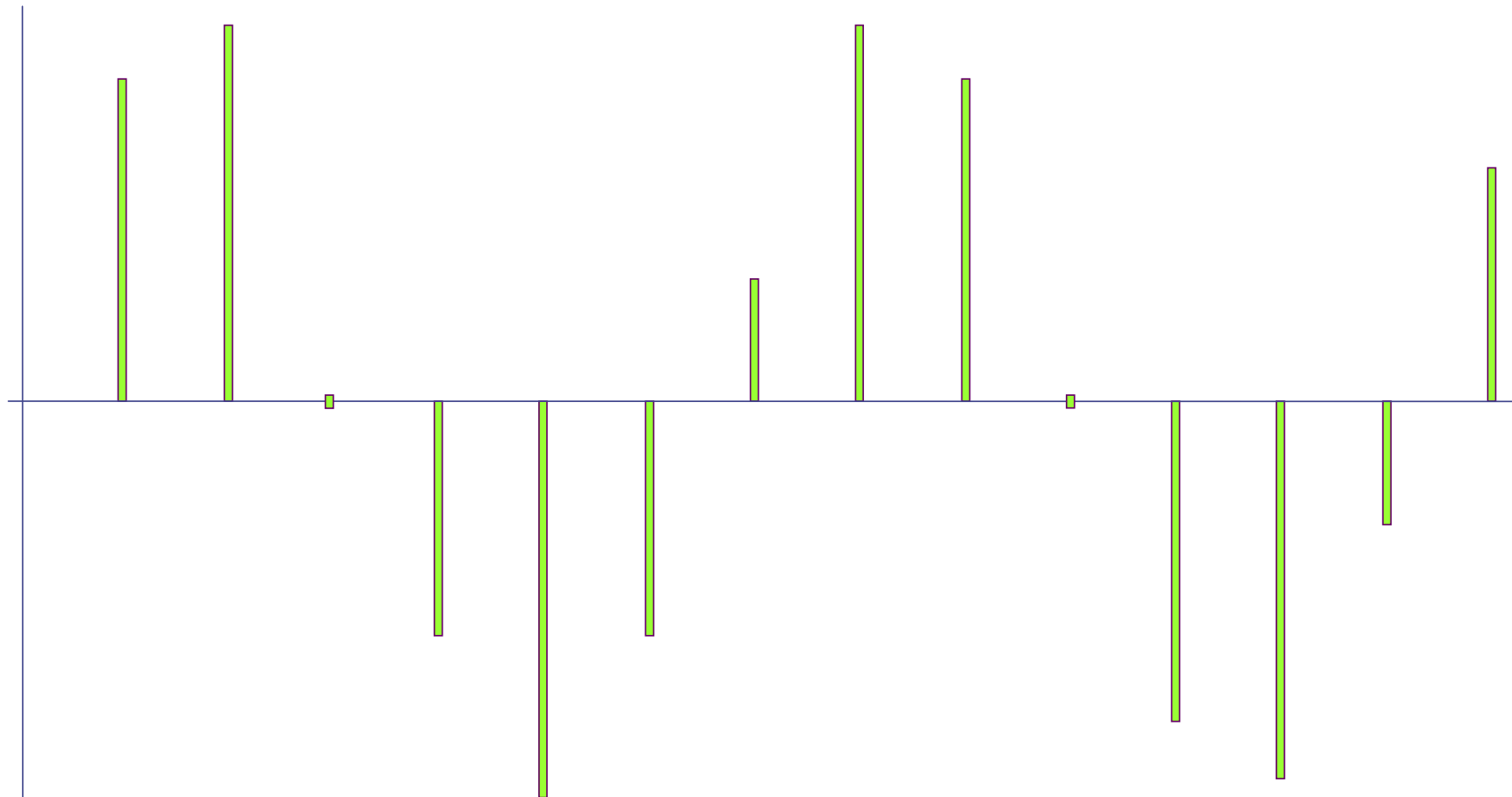


## Campionamento: il segnale sorgente (sinusoide a frequenza $f$ )

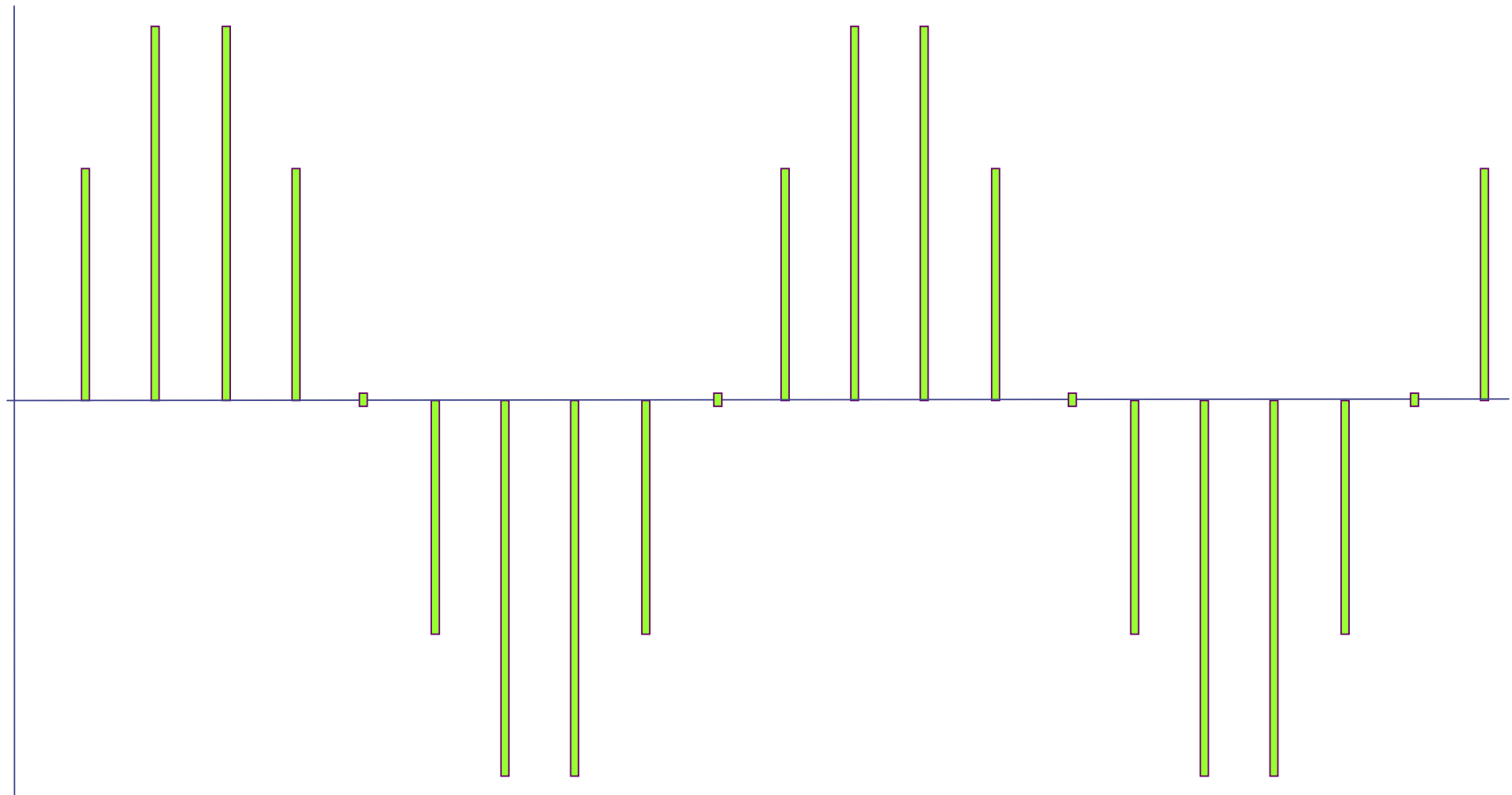




# Campionamento con frequenza $f$

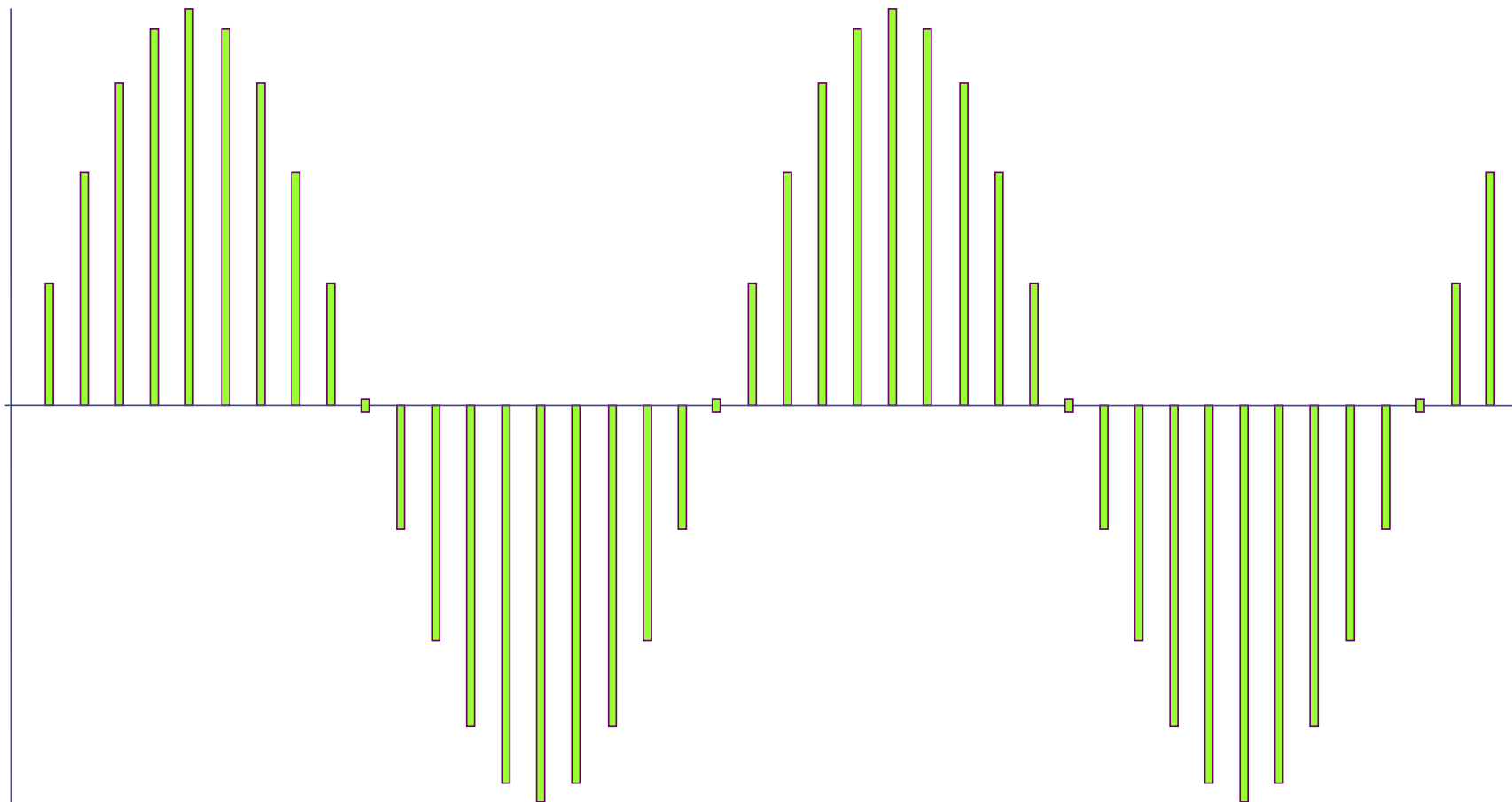


# Campionamento con frequenza $2f$





# Campionamento con frequenza 3f





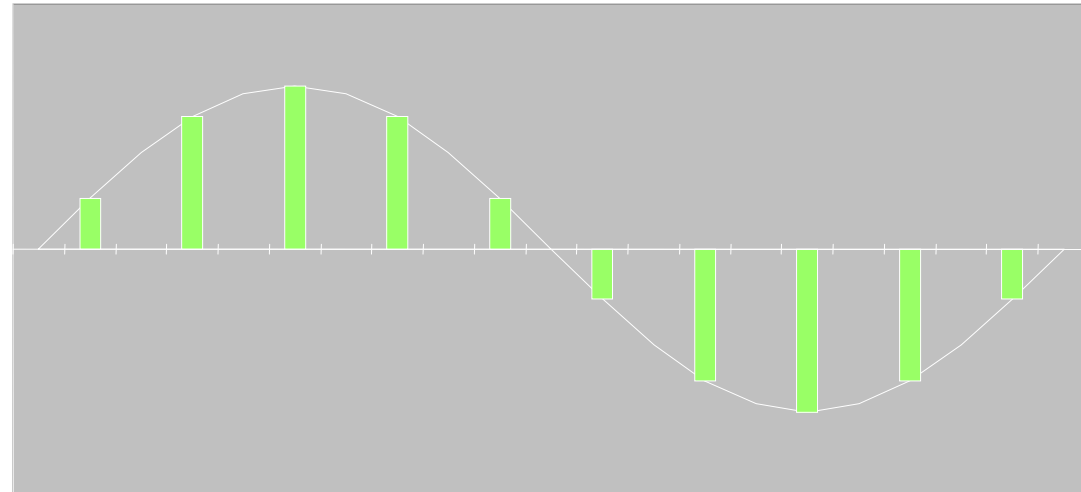
## La dimensione degli intervalli

- Maggiore frequenza di campionamento, più accurata descrizione del segnale
- Come si fa a non avere perdita di informazione ?
- Qual è il minimo valore della frequenza di campionamento ?

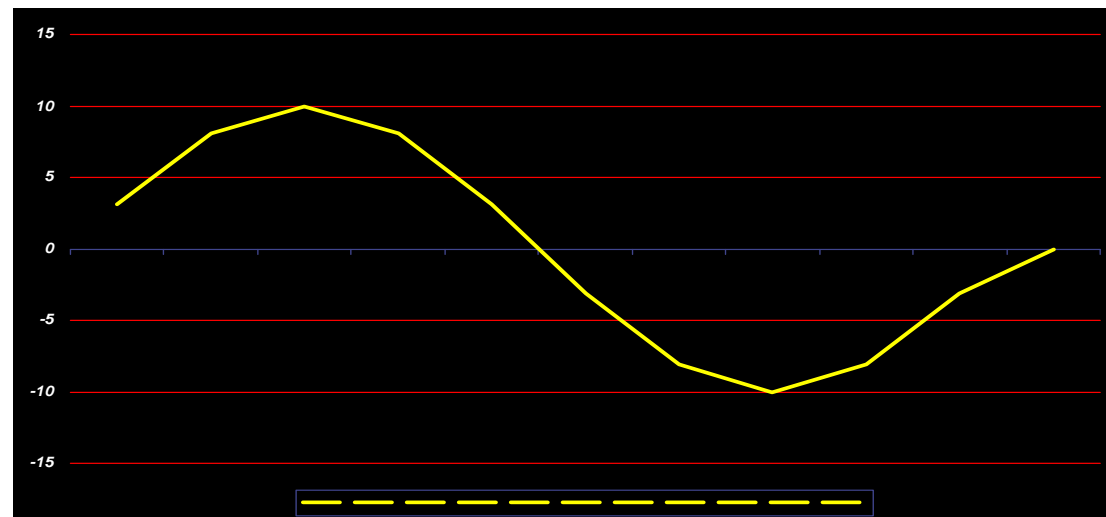


## Un campionamento corretto

Segnale campionato:

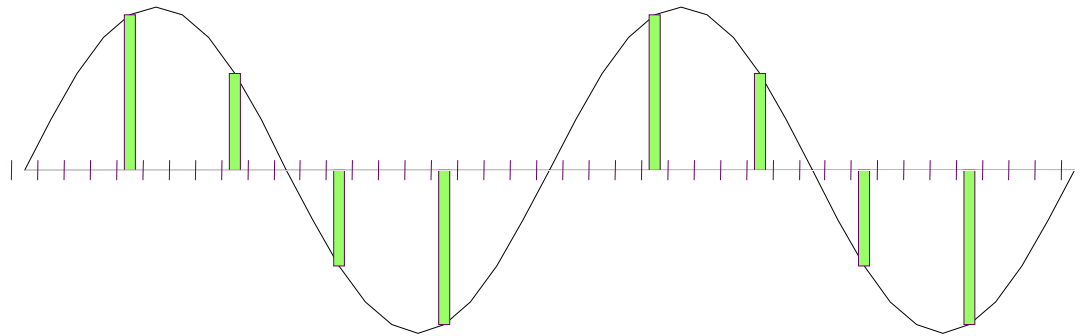


Segnale ricostruito:

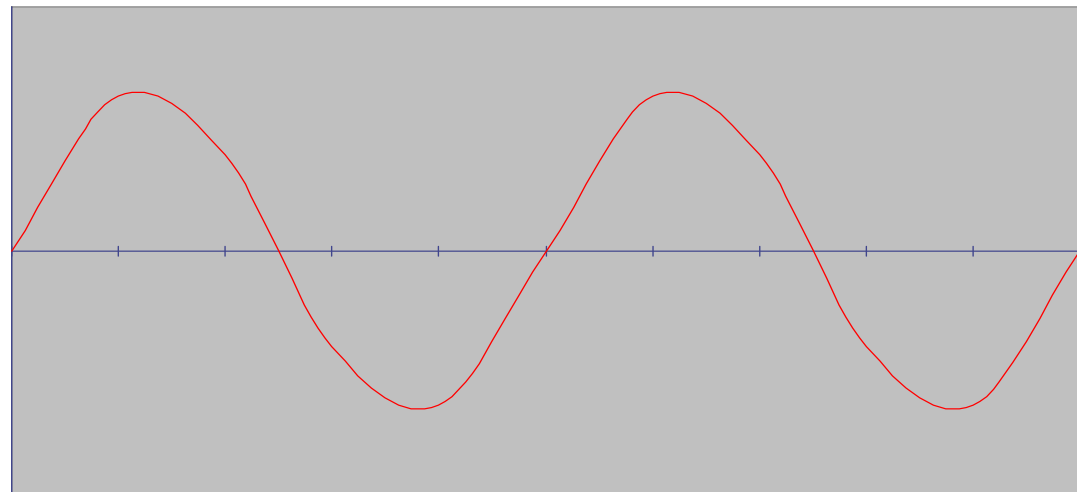


## Un campionamento critico

Segnale campionato:

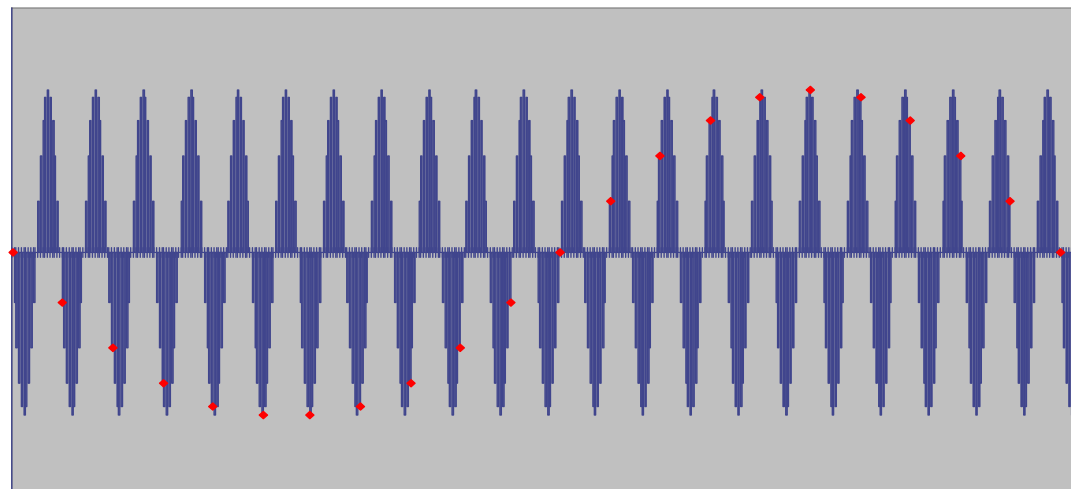


Segnale ricostruito:

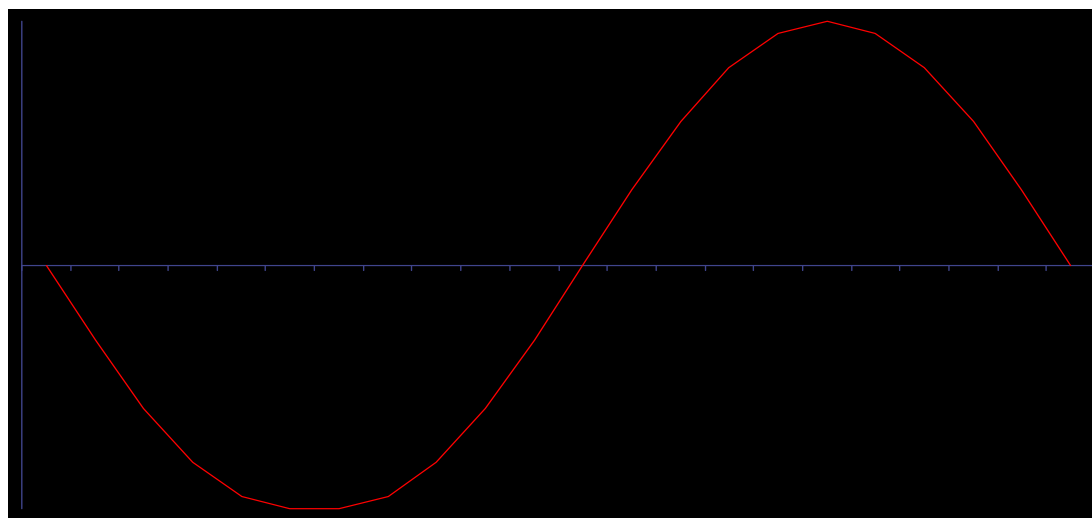


## Un campionamento scorretto: aliasing

Segnale campionato (frequenza di campionamento leggermente più bassa della frequenza del segnale):



Segnale ricostruito, compare una frequenza che non esiste nel segnale di partenza:





## Generalizziamo dall'esempio

- Sono necessari almeno due campioni per periodo del segnale
- La frequenza di campionamento deve essere almeno il doppio della max frequenza presente nel segnale
- La frequenza di Nyquist

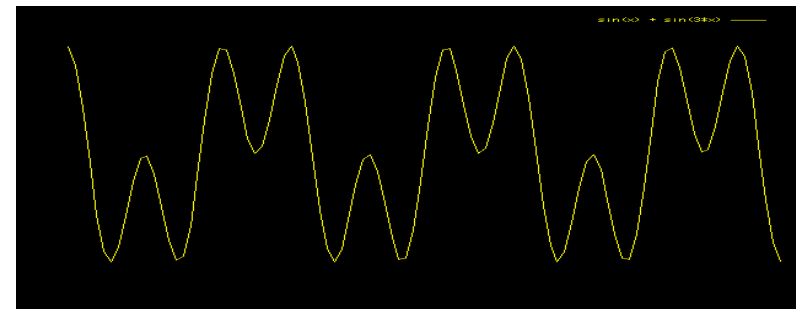
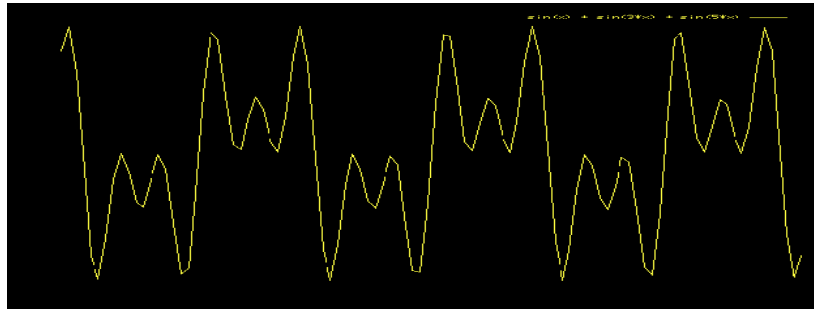


## Operativamente si inverte il problema

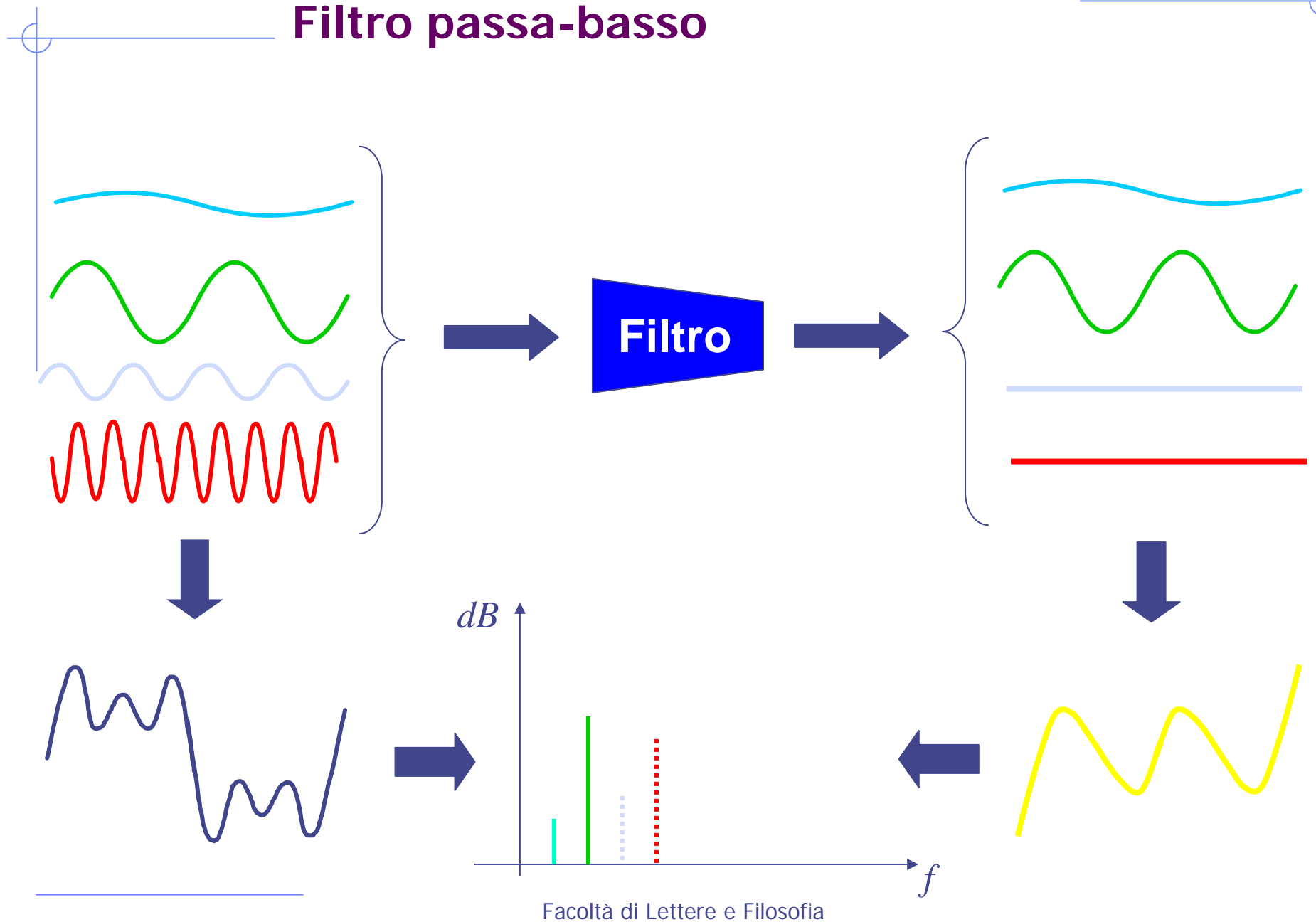
- Si fissa la frequenza di Nyquist
- Si fa in modo che nel segnale in ingresso non vi siano frequenze superiori alla metà della frequenza di Nyquist
- Filtro **PASSA BASSO**

## Filtro passa-basso

- Elimina tutte le frequenze superiori a un certo valore (la metà della frequenza di campionamento)
- Il valore è detto frequenza di *cut-off*



## Filtro passa-basso



## Dati pratici

- Max frequenza udibile 20 KHz
  - campionamento oltre i 40 KHz
  - 44,1 KHz (CD) è “esagerata” per una ricostruzione adeguata del segnale



The image features a white background with several thin blue lines and two small blue circles. One circle is at the top-left intersection of a vertical and a horizontal line. Another circle is at the bottom-right intersection of a vertical and a horizontal line. There are also several other horizontal and vertical lines scattered across the page, some of which do not intersect at a circle.

## La quantizzazione



## Il problema

- si passa da tensione elettrica (continuo) a un dato numerico (discreto)
  - i valori di tensione variano con continuità su un certo intervallo
  - il dato numerico esprime il valore della tensione in un certo istante
- di quante cifre è composto il dato numerico?

## Le parole binarie

- Sequenze di bit (lunghezza  $n$ )
  - può assumere  $2^n$  configurazioni diverse
  - cioè  $2^n$  valori diversi
- Esempi:
  - $n=2$ ,  $2^2=4$  valori (00, 01, 10, 11)
  - $n=3$ ,  $2^3=8$  (000, 001, 010, 011, 100, ...)
  - ...



**Qual è il numero di cifre che garantisce la corretta rappresentazione del segnale?**



## Il limite in precisione

- Segnale rappresentato = segnale effettivo + rumore
- Segnale analogico:
  - differenze con il segnale effettivo = “rumore” (fruscio)
- Segnale digitale:
  - “rumore” di quantizzazione



## Esempio:

segnale analogico tra -5V e +5V, parole binarie di 8 bit

Precisione di descrizione del segnale:  
 $10 / 2^8 \text{ Volt} = 10 / 256 \text{ Volt} = 0,039 \text{ Volt}$

Tutti i valori di tensione di un intervallo ampio 0,039V saranno rappresentati dallo stesso valore (livello di quantizzazione).

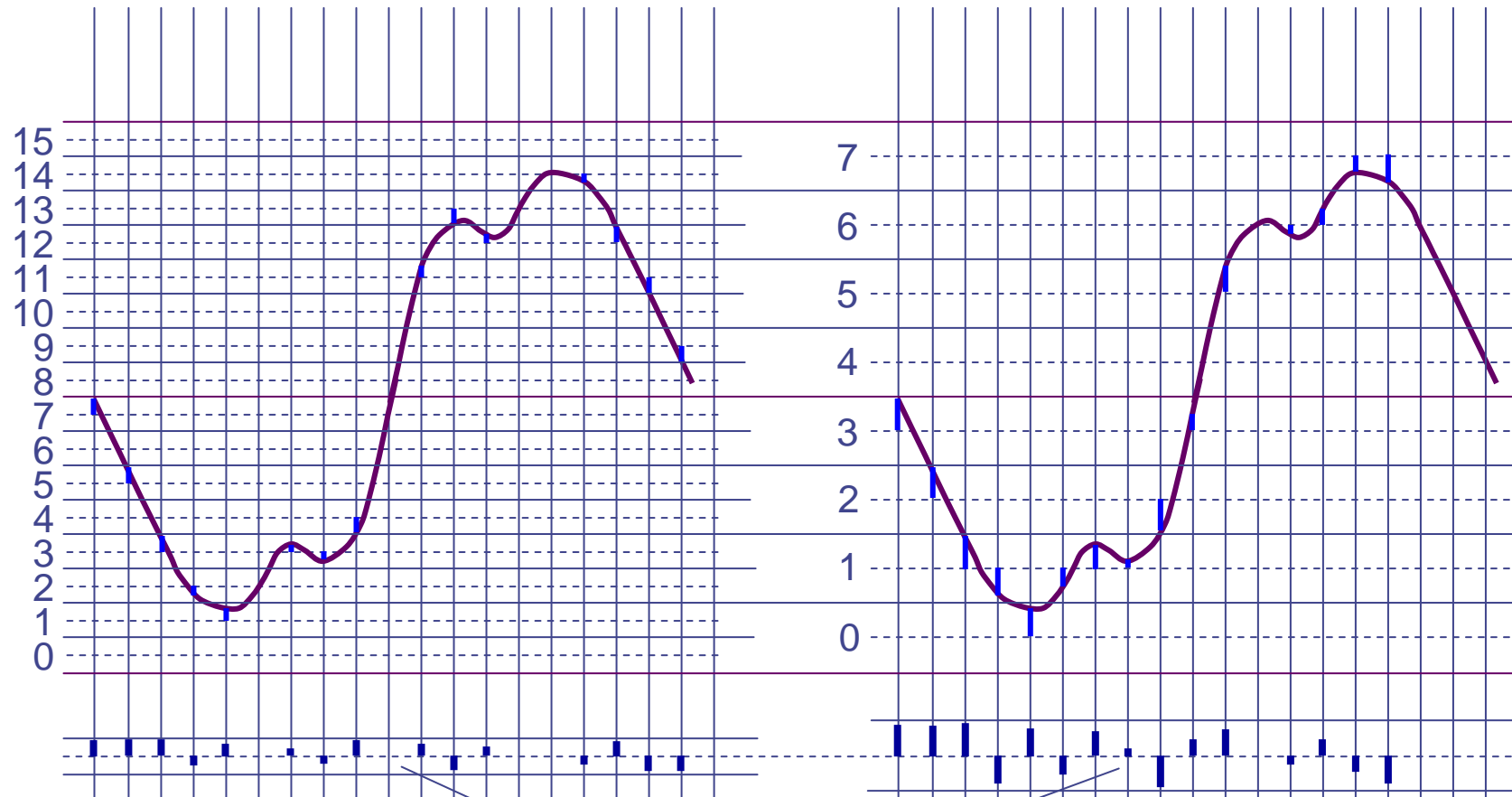
Valore di tensione	Parola binaria
-5	00000000
-4,961	00000001
-4,922	00000010
-4,883	00000011
-4,844	00000100
...	...
...	...
+4,844	11111011
+4,883	11111100
+4,922	11111101
+4,961	11111110
+5	11111111



## La quantizzazione vera e propria

- Assegna una sequenza di valori discreti per la descrizione di un segnale continuo
- Tanti più bit vengono usati, tanto più è accurata la descrizione
- Più sono i gradini, minore sarà l'*errore* di quantizzazione (o *rumore*)

## Quantizzazione con 4 e 3 bit

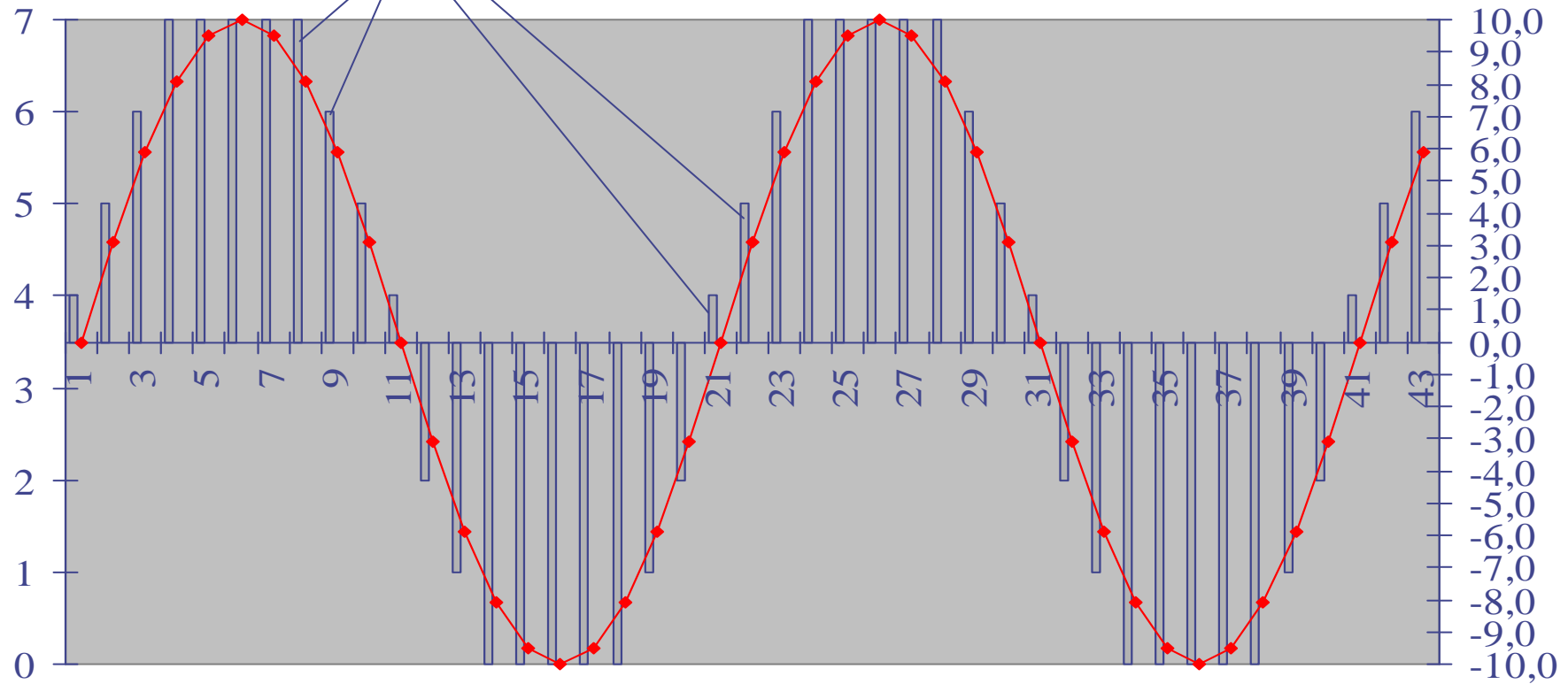


*Errore di quantizzazione*



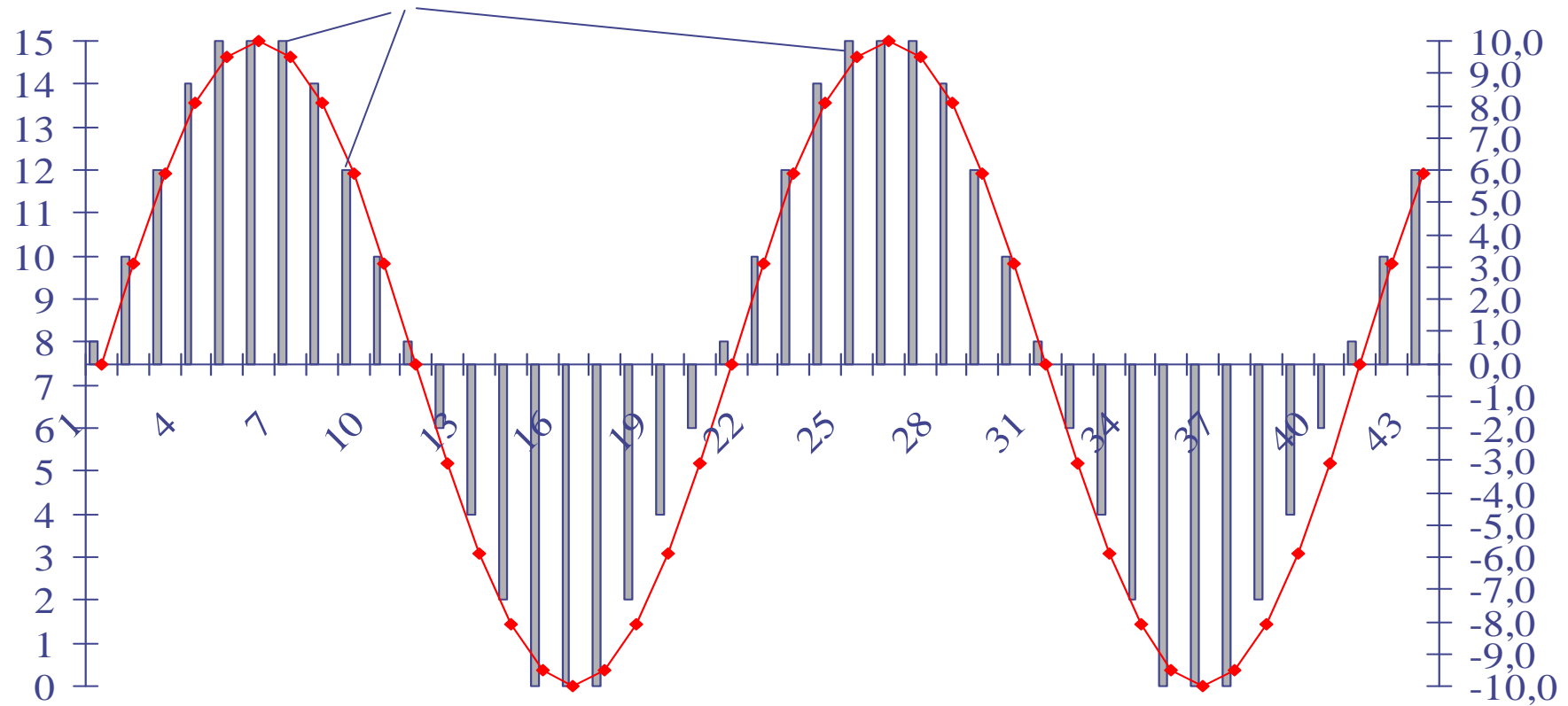
## Quantizzazione con 3 bit

### *Errore di quantizzazione*



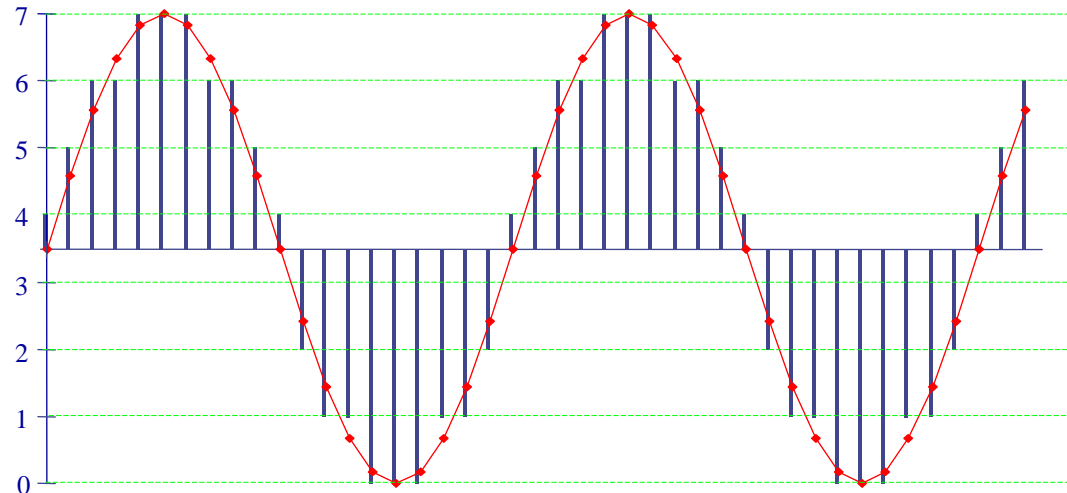
## Quantizzazione con 4 bit

### *Errore di quantizzazione*

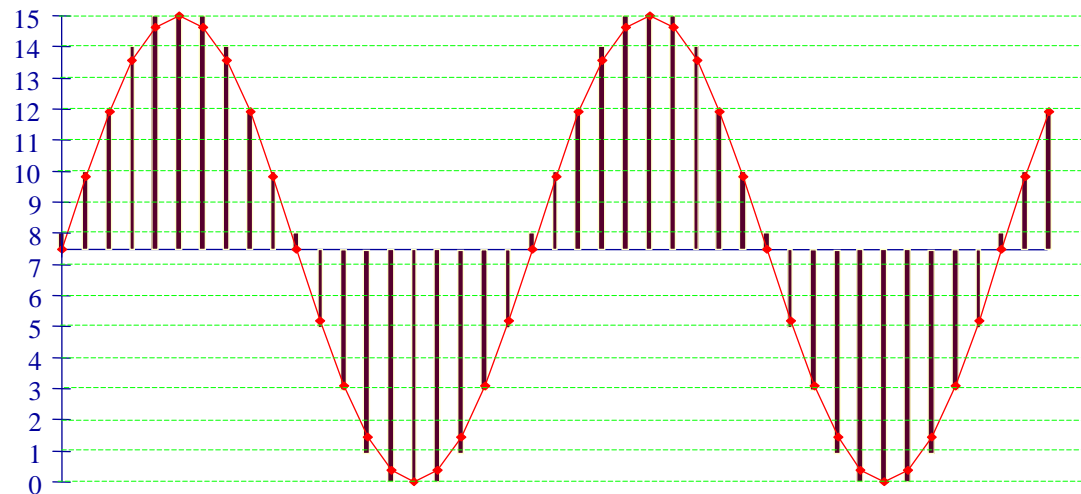


## Confronto

Quantizzazione a 3 bit  
(8 livelli)



Quantizzazione a 4 bit  
(16 livelli)



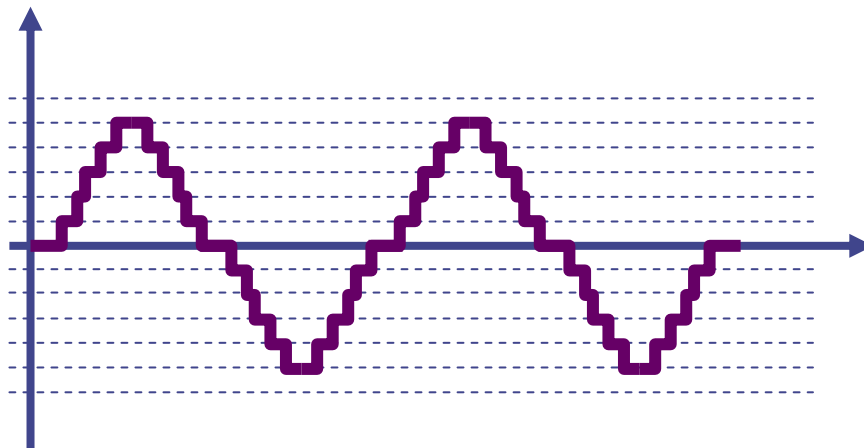


**Quantizzazione non uniforme**



## Quantizzazione uniforme

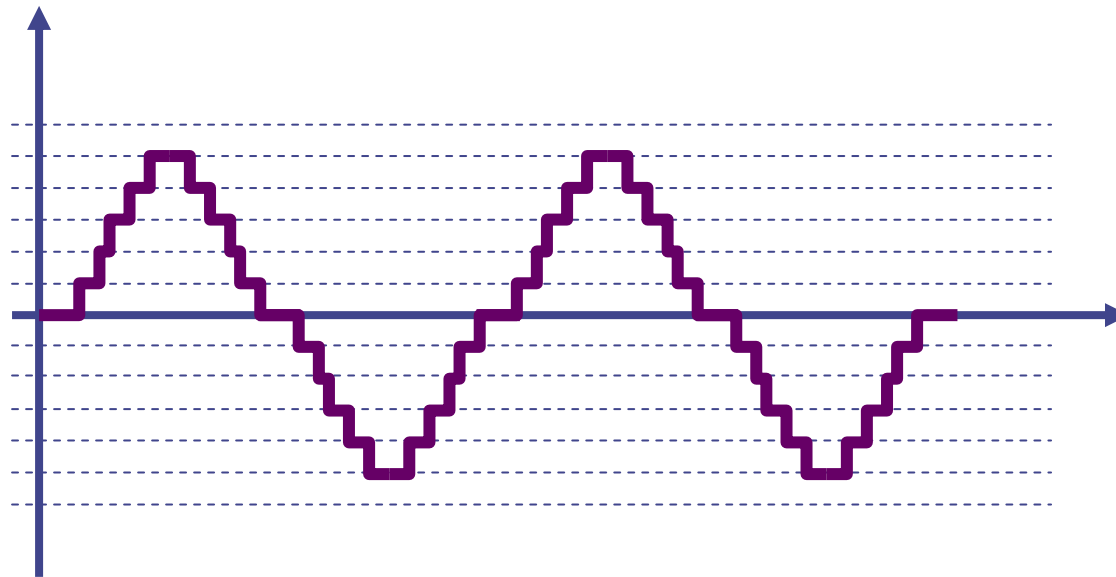
- Gamma continua spezzata in intervalli uguali
- Tecnica standard dei costruttori dei convertitori A/D e D/A



Valore di tensione	Parola binaria
[-5.000, -4.961]	00000000
[-4.961, -4.922]	00000001
[-4.922, -4.883]	00000010
[-4.883, -4.844]	00000011
...	00000100
...	...
...	...
...	11111011
[+4,844, +4,883]	11111100
[+4,883, +4,922]	11111101
[+4,922, +4,961]	11111110
[+4,961, +5,000]	11111111

## Quantizzazione uniforme

- Gamma continua spezzata in intervalli uguali
- Tecnica standard dei costruttori dei convertitori A/D e D/A



Valore di tensione	Parola binaria
[-5.000, -4.961]	00000000
[-4.961, -4.922]	00000001
[-4.922, -4.883]	00000010
[-4.883, -4.844]	00000011
...	00000100
...	...
...	...
...	11111011
[+4,844, +4,883]	11111100
[+4,883, +4,922]	11111101
[+4,922, +4,961]	11111110
[+4,961, +5,000]	11111111



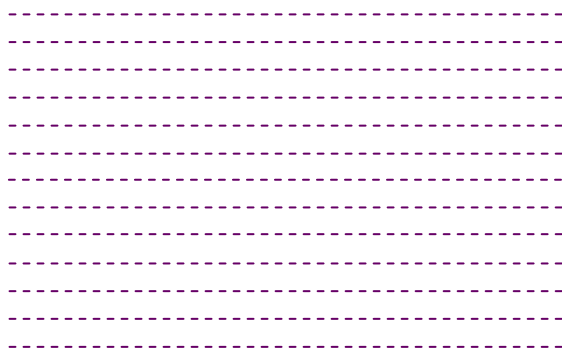
## Rapporto segnale/rumore (SQNR)

- SQNR = rapporto tra
  - ampiezza max segnale
  - ampiezza media errore di quantizzazione
- Ampiezza media errore di quant.
  - costante e indipendente dall'ampiezza
  - no correlazione segnale/digitalizzazione
- PCM lineare: SQNR diminuisce con l'ampiezza (segnali deboli degradati)



## Quantizzazione uniforme e non

- Regioni date da parola binaria
- Quali regioni data quantizzazione:
  - *uniforme*: intervalli equ-spaziati
  - *non uniforme*: intervalli spaziati differentemente

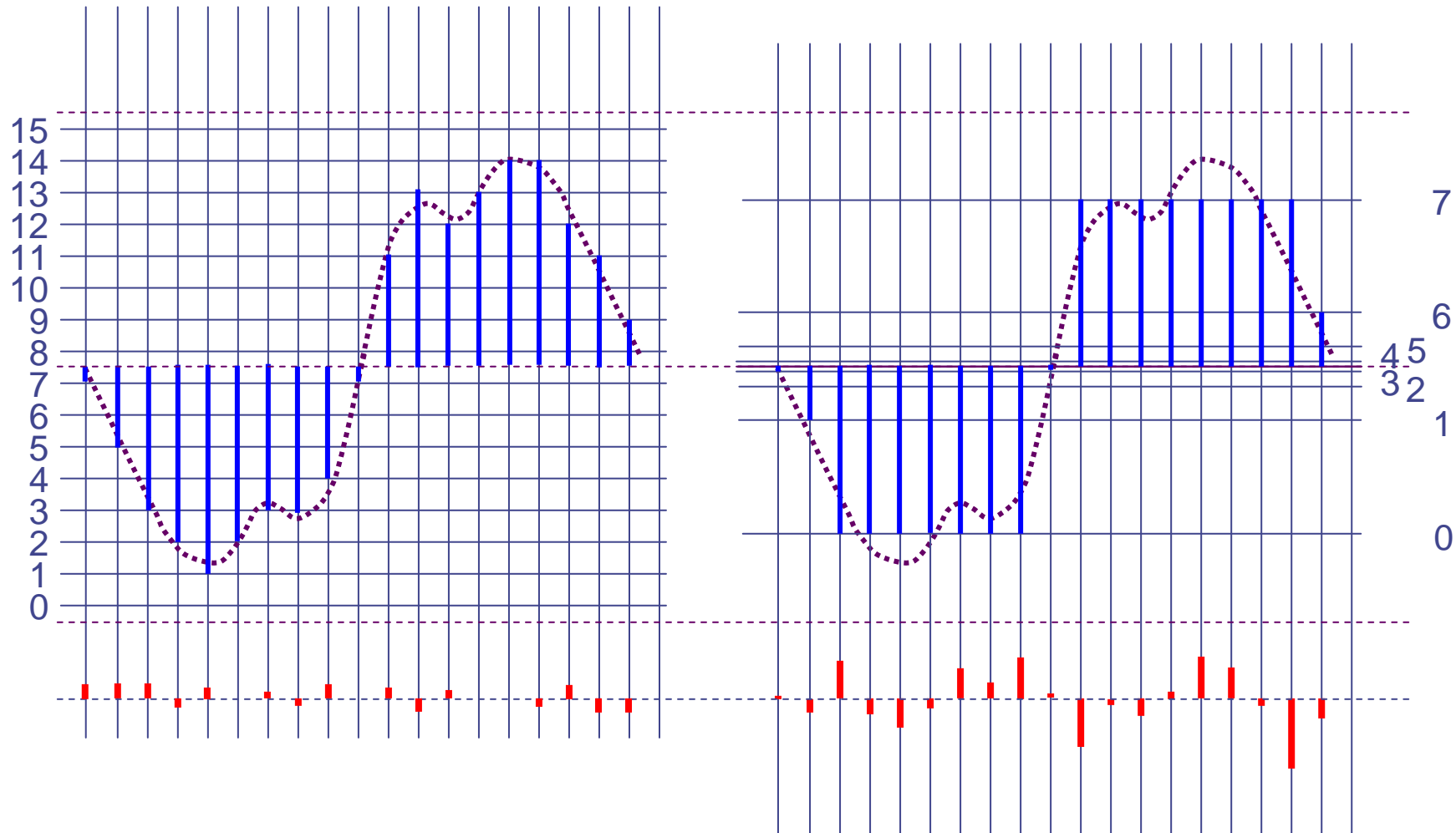




## Quantizzazione uniforme e ampiezze ridotte

- regioni di quantizzazione ...
  - spaziate di meno per ampiezze deboli
  - spaziate di più per ampiezze elevate (maggiore errore di quantizzazione)
- la quantizzazione non uniforme slega SQNR e gamma dinamica

# Quantizzazione: 4 bit lin e 3 bit log





## Quantizzazione logaritmica

- assegna i valori a regioni uniformi sulla scala logaritmica
- qualità: con 8 bit log si ottiene la gamma dinamica di un quantizzatore lineare a 13-14 bit
- SQNR: un convertitore 8-bit log va meglio di un convertitore 8-bit lin alle ampiezze basse, ma peggio alle ampiezze elevate



## Vantaggi e svantaggi

- produce risparmi di memoria
- in generale, migliore qualità audio a parità di sr
- più complesso applicare le tecniche di elaborazione del segnale (la somma di due segnali corrisponde al prodotto)



## I parametri dei dati audio

- Frequenza campionamento (sample rate, sr)
  - Campioni/secondo (o Hz): es. 8000, 44100
  - Misurata per canale
- Quantizzazione
  - numero di bit per campione: es. 8 oppure 16
- Numero di canali
  - 1 per mono, 2 per stereo, etc.