



**Università degli Studi di Palermo**

***Dipartimento di Ingegneria Chimica,  
Gestionale, Informatica, Meccanica***

## **Informatica per la Storia dell'Arte**

Anno Accademico 2014/2015

Docente: ing. Salvatore Sorce

# **I suoni – Rappresentazione digitale**

Approfondimenti



## Sull'uso dell'e-mail...

- **SUBJECT:** <*testo significativo*>
- Testo chiaro e conciso
- Usare l'italiano \*esteso\* e grammaticalmente corretto
- Inserire i dati utili per ottenere l'informazione desiderata
- **Firmare** sempre il messaggio
  - In mancanza di **subject** e di **firma**, il messaggio rimarrà **senza risposta!!**
- Altri dettagli nella **sezione F.A.Q.** del mio sito

## Notizie

Docente:

Ing. Salvatore Sorce, Ph.D.

salvatore.sorce@unipa.it, 09123862609

Lezioni:

Lunedì, 14-17, aula Multimediale A del Polo Didattico

Ricevimento:

Lunedì, 11-12, @ ex-Dip. Ing. Nucleare, edificio 6, II piano

*Dopo il corso: per appuntamento*

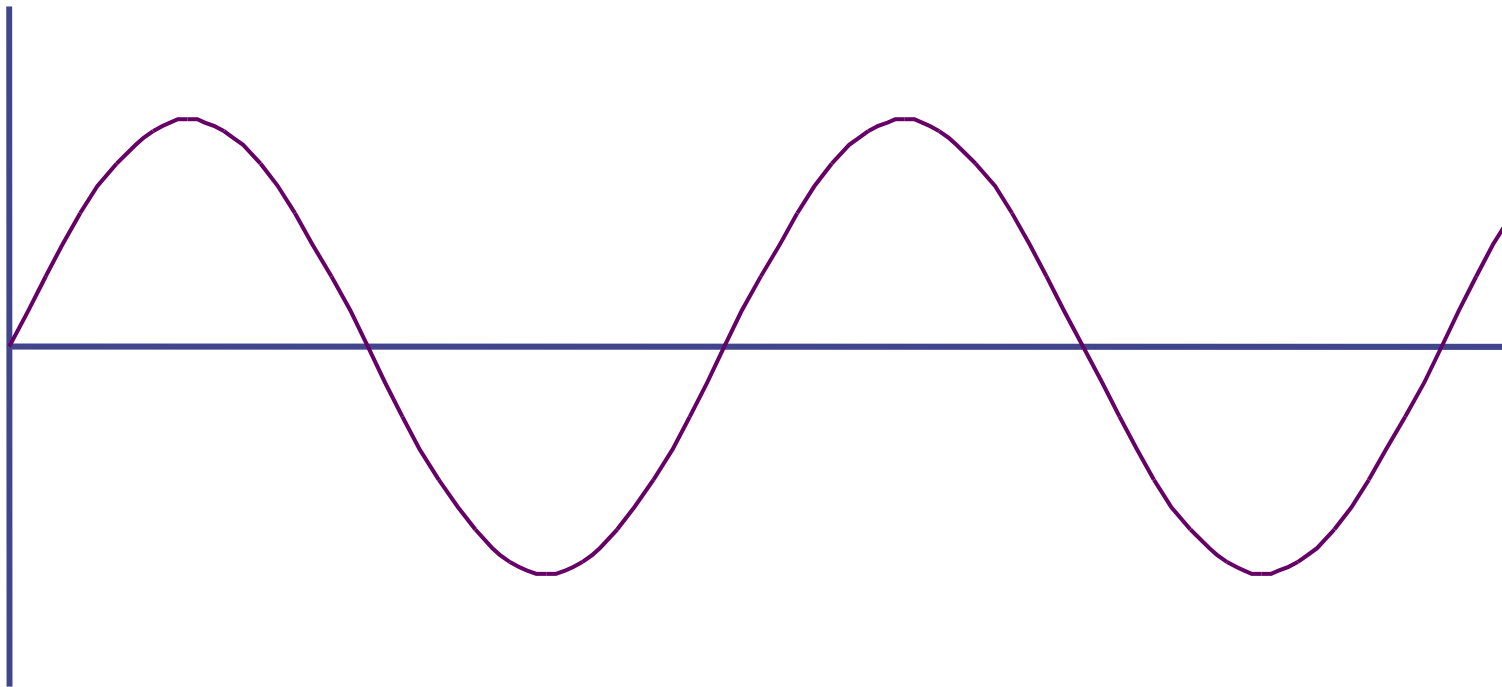
Sito web:

<http://www.unipa.it/sorce> (LEGGERE LA SEZIONE F.A.Q.)

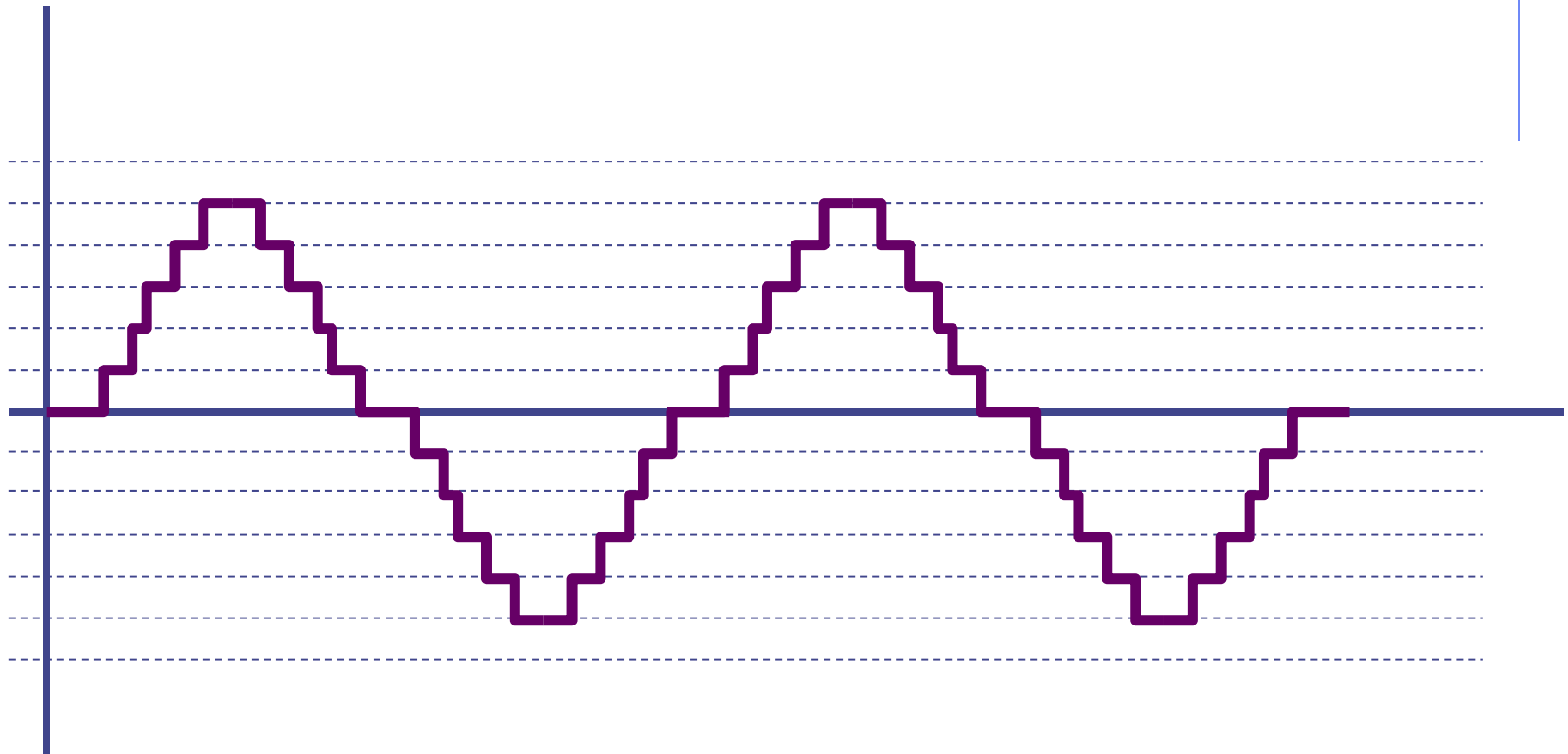
The slide features a decorative layout of thin blue lines. A vertical line on the left and a horizontal line at the top intersect at a small circle in the top-left corner. Another vertical line on the right and a horizontal line at the bottom intersect at a small circle in the bottom-right corner. A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

# Campionamento e quantizzazione

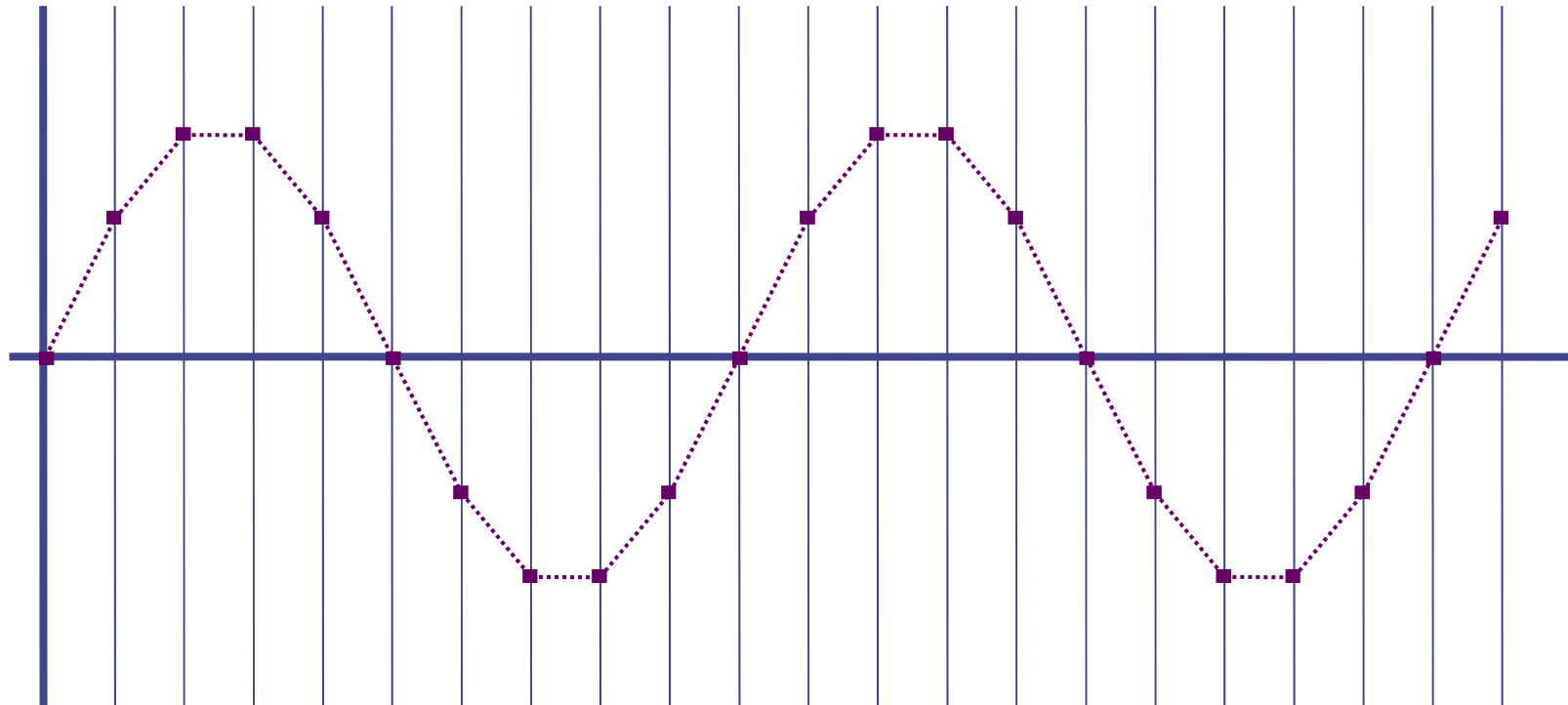
## Segnale analogico (continuo nel tempo e in ampiezza)



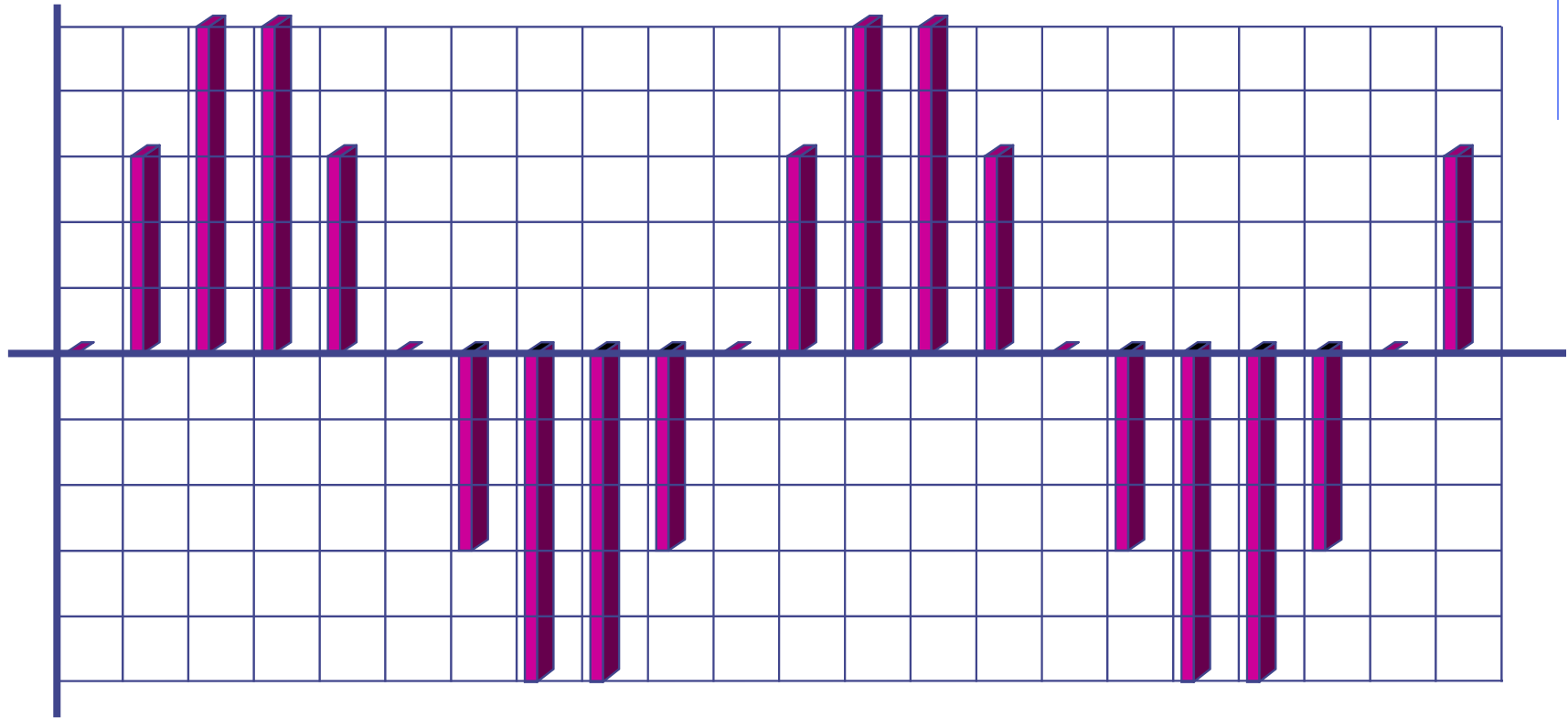
# Segnale quantizzato (continuo nel tempo, discreto in ampiezza)



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



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





The image features a white background with several thin blue lines. A vertical line on the left and a horizontal line at the top intersect at a right angle, marked with a small blue circle. Another horizontal line is positioned below the top one, and a vertical line on the right intersects it at a right angle, also marked with a small blue circle. A third horizontal line is located at the bottom, and a vertical line on the right intersects it at a right angle, marked with a small blue circle. 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 ( $sr = \textit{sample rate}$ )

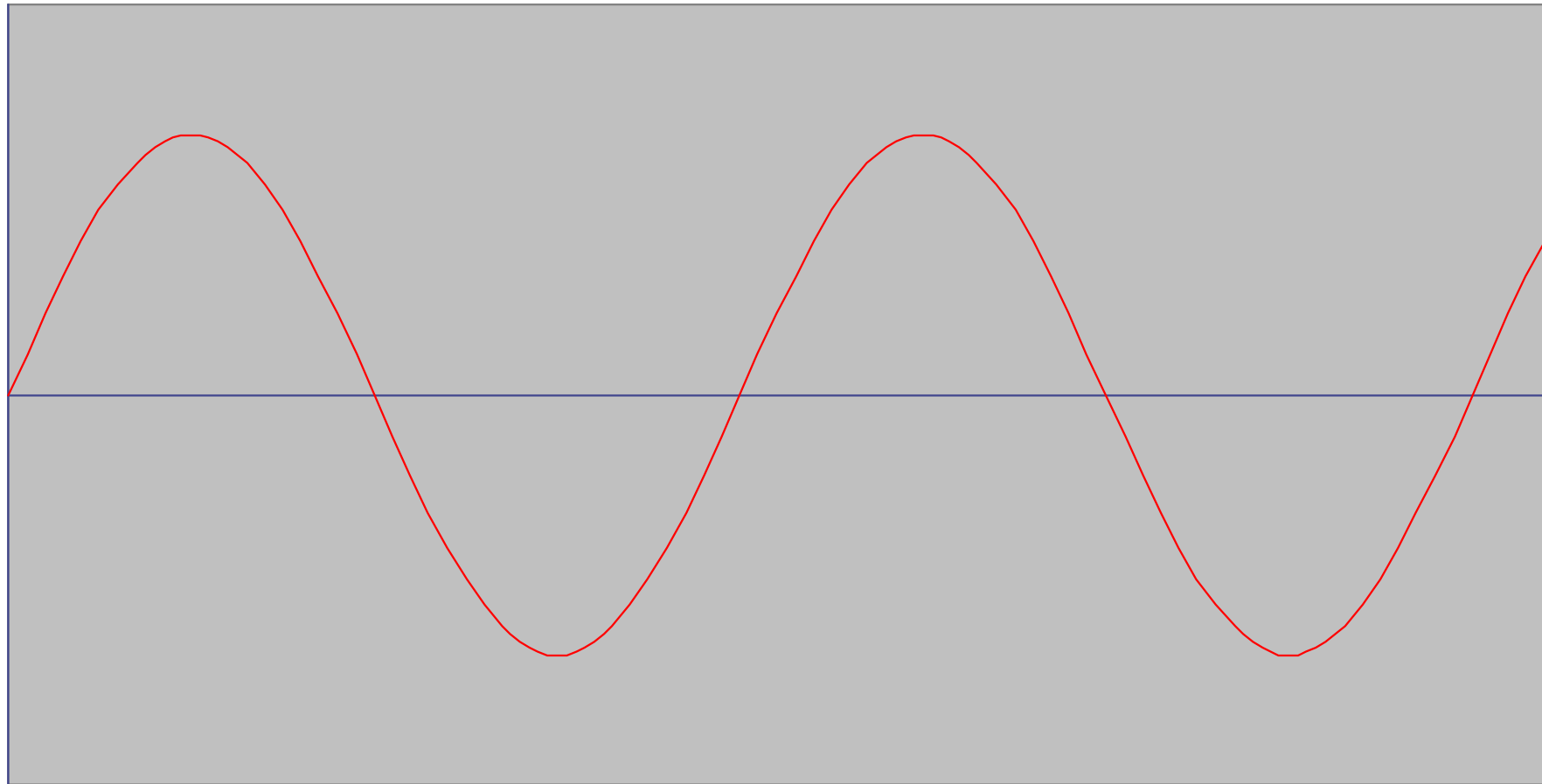


## Il campionamento vero e proprio

- 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

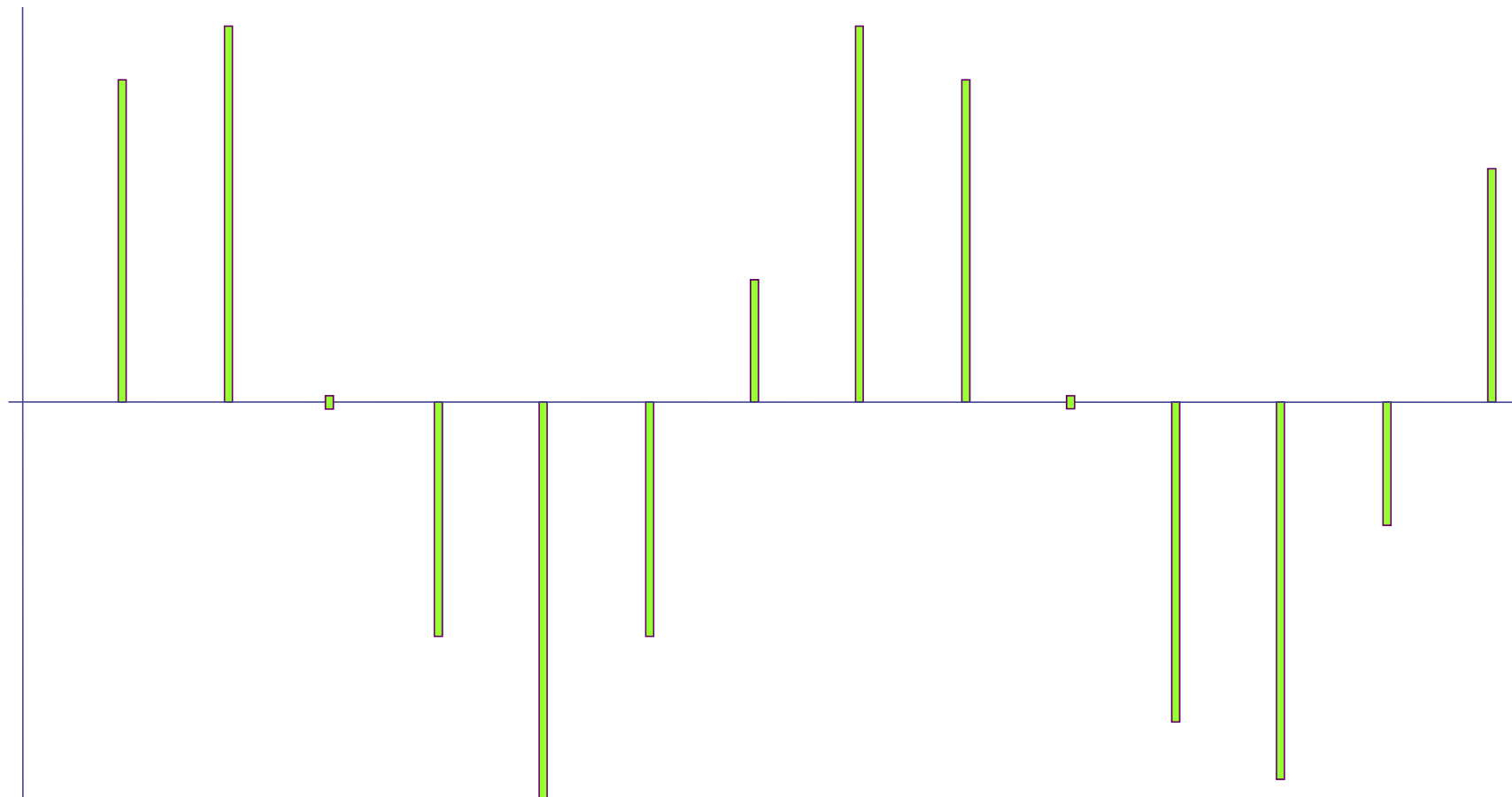


## Campionamento: il segnale sorgente (sinusoide a frequenza $f$ )



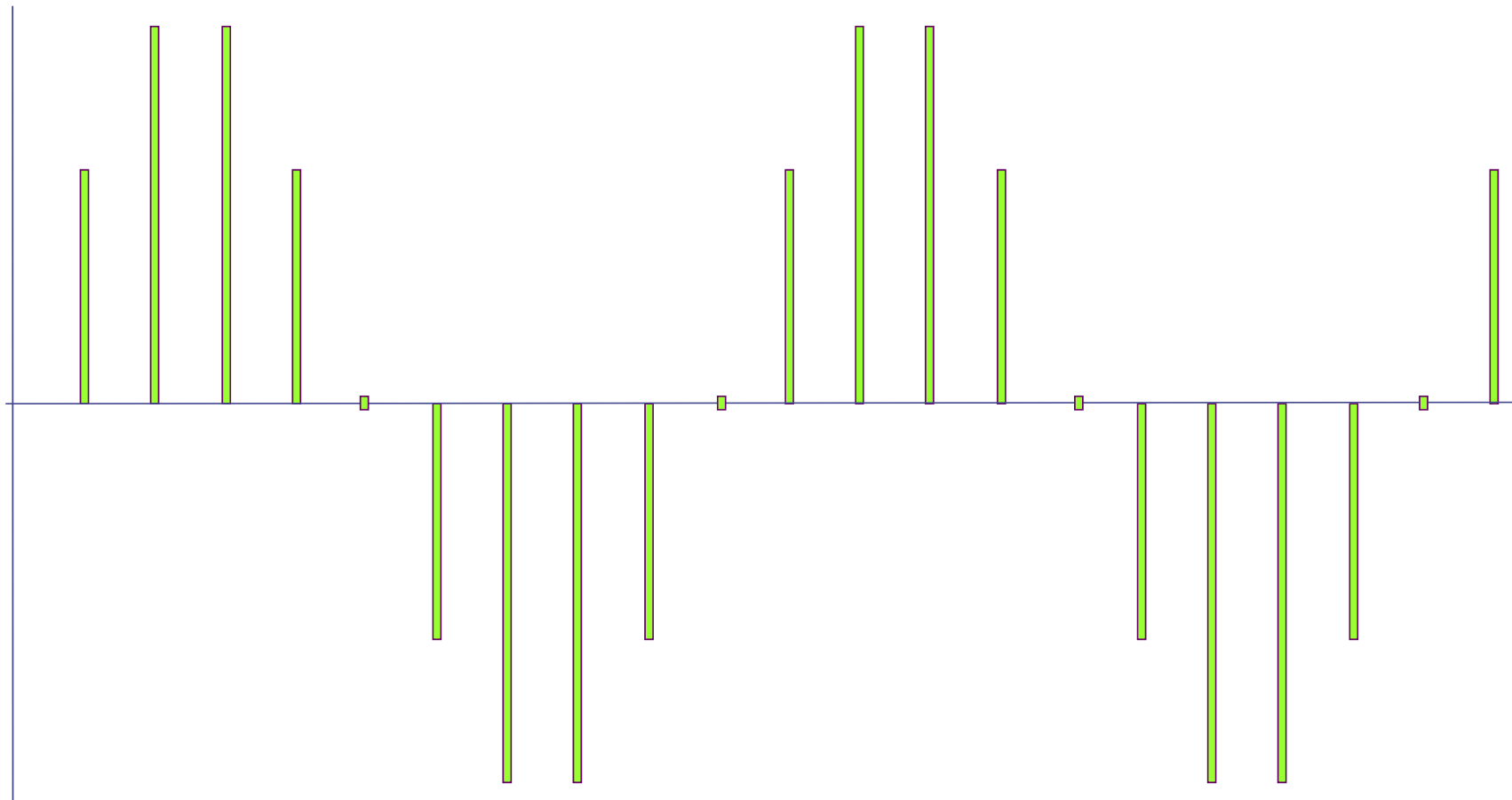


# Campionamento con frequenza $f$



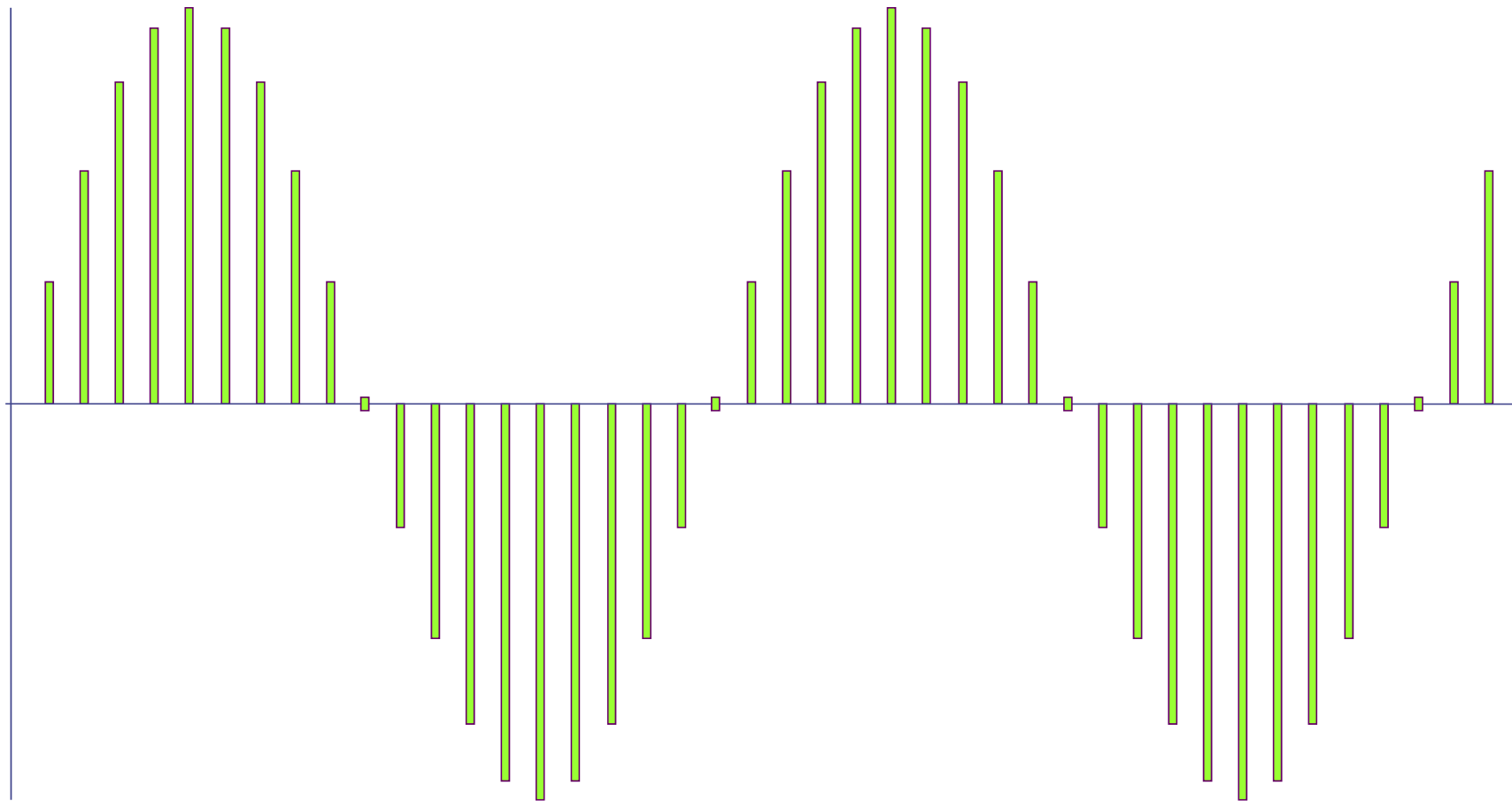


# Campionamento con frequenza $2f$





# Campionamento con frequenza 3f





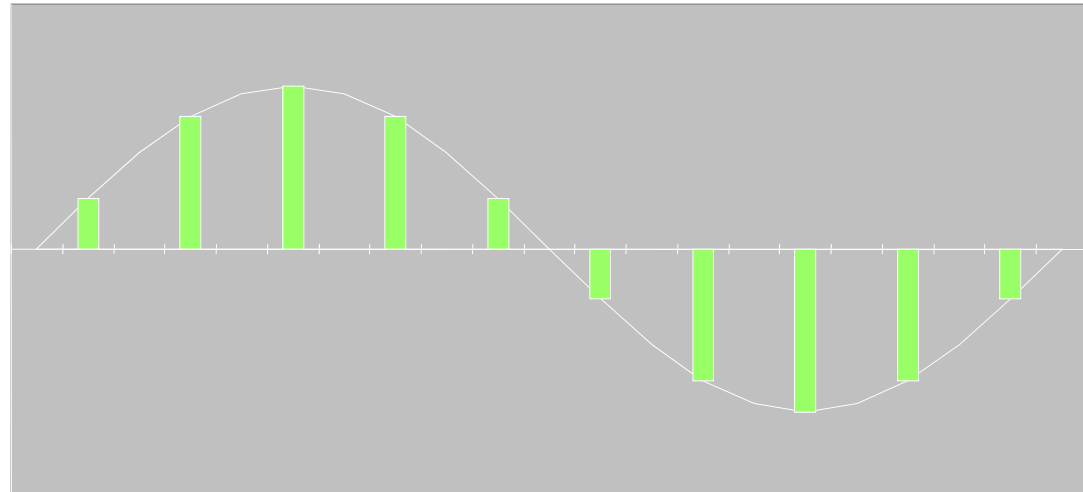


## La dimensione degli intervalli

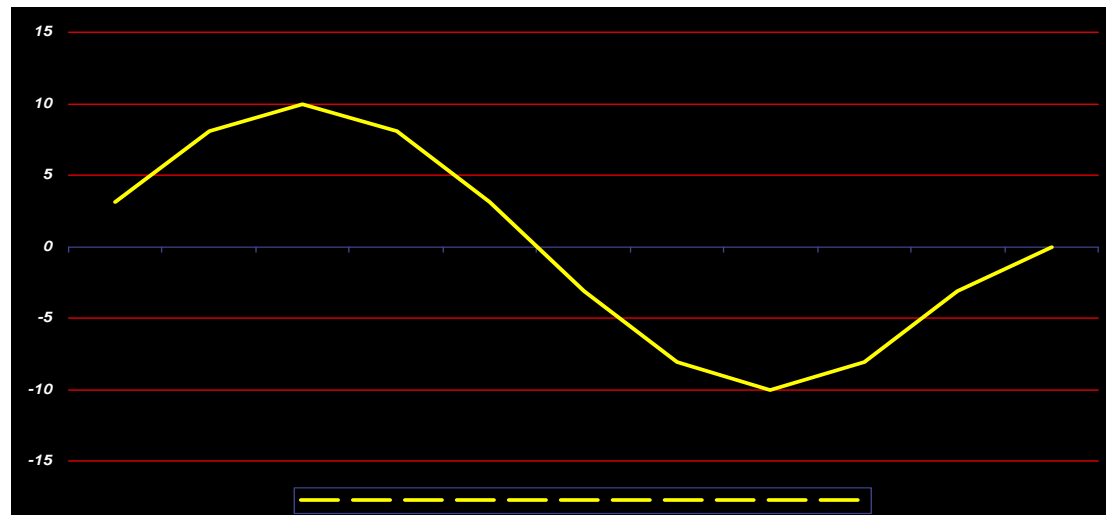
- Maggiore frequenza di campionamento, più accurata descrizione del segnale
- Come si fa a non avere perdita di informazione ?
- Qual è il minimo valore della frequenza di campionamento ?

## Un campionamento corretto

Segnale campionato:

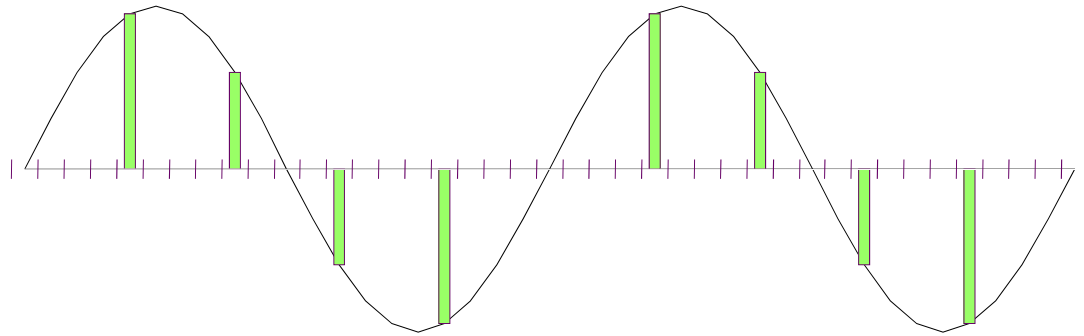


Segnale ricostruito:

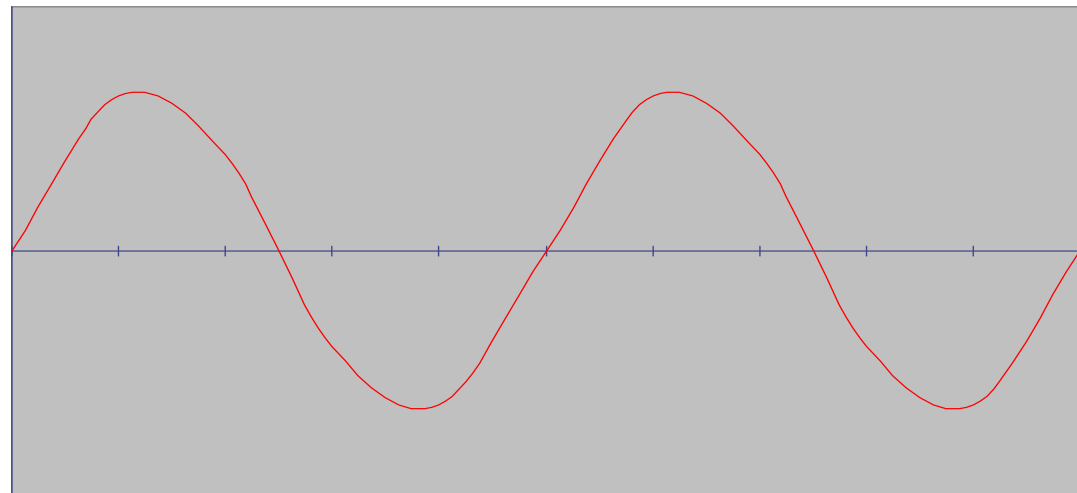


## Un campionamento critico

Segnale campionato:

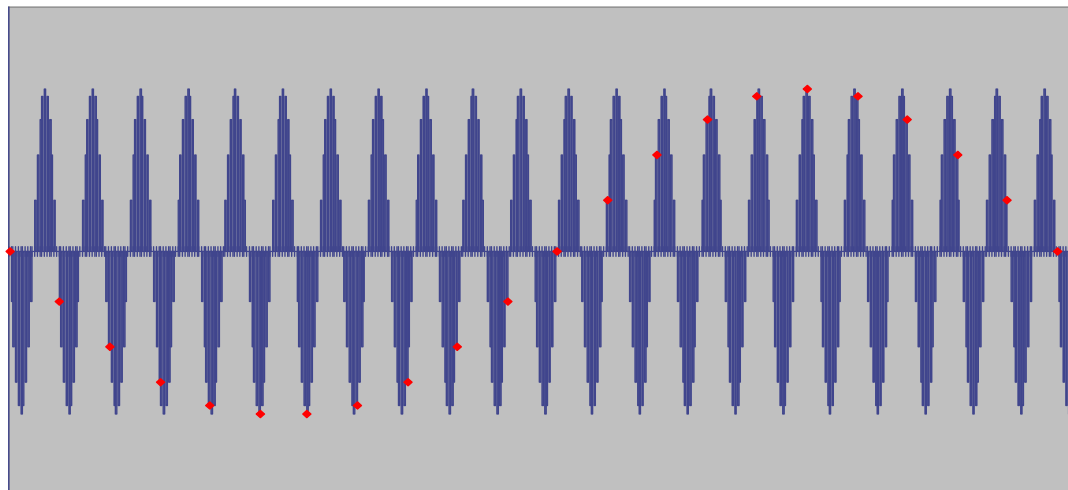


Segnale ricostruito:

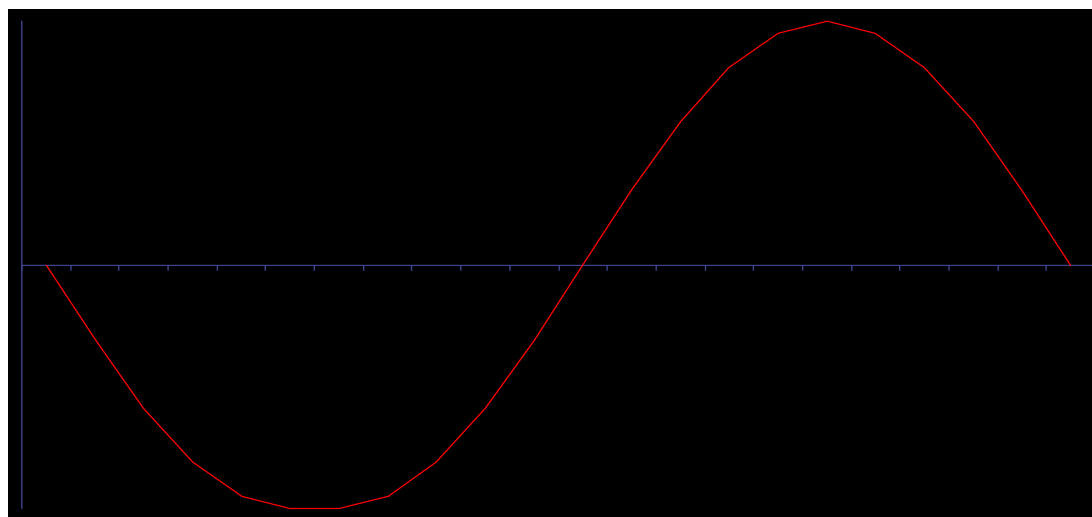


## Un campionamento scorretto: aliasing

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

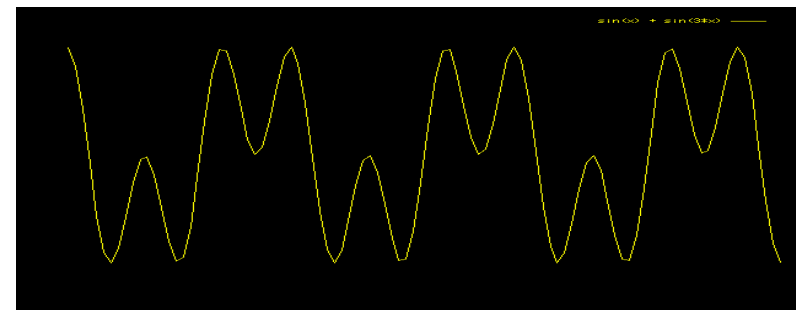
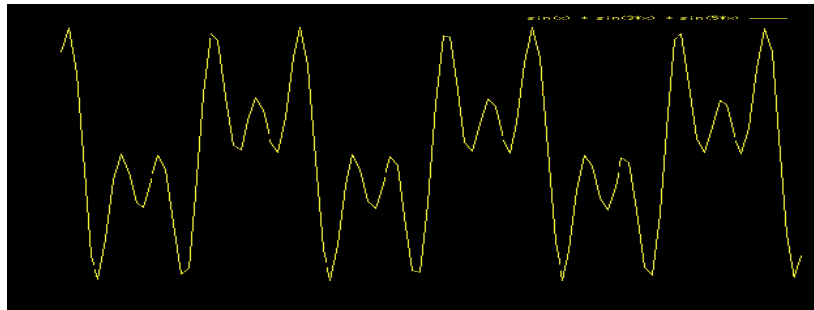


## Operativamente si inverte il problema

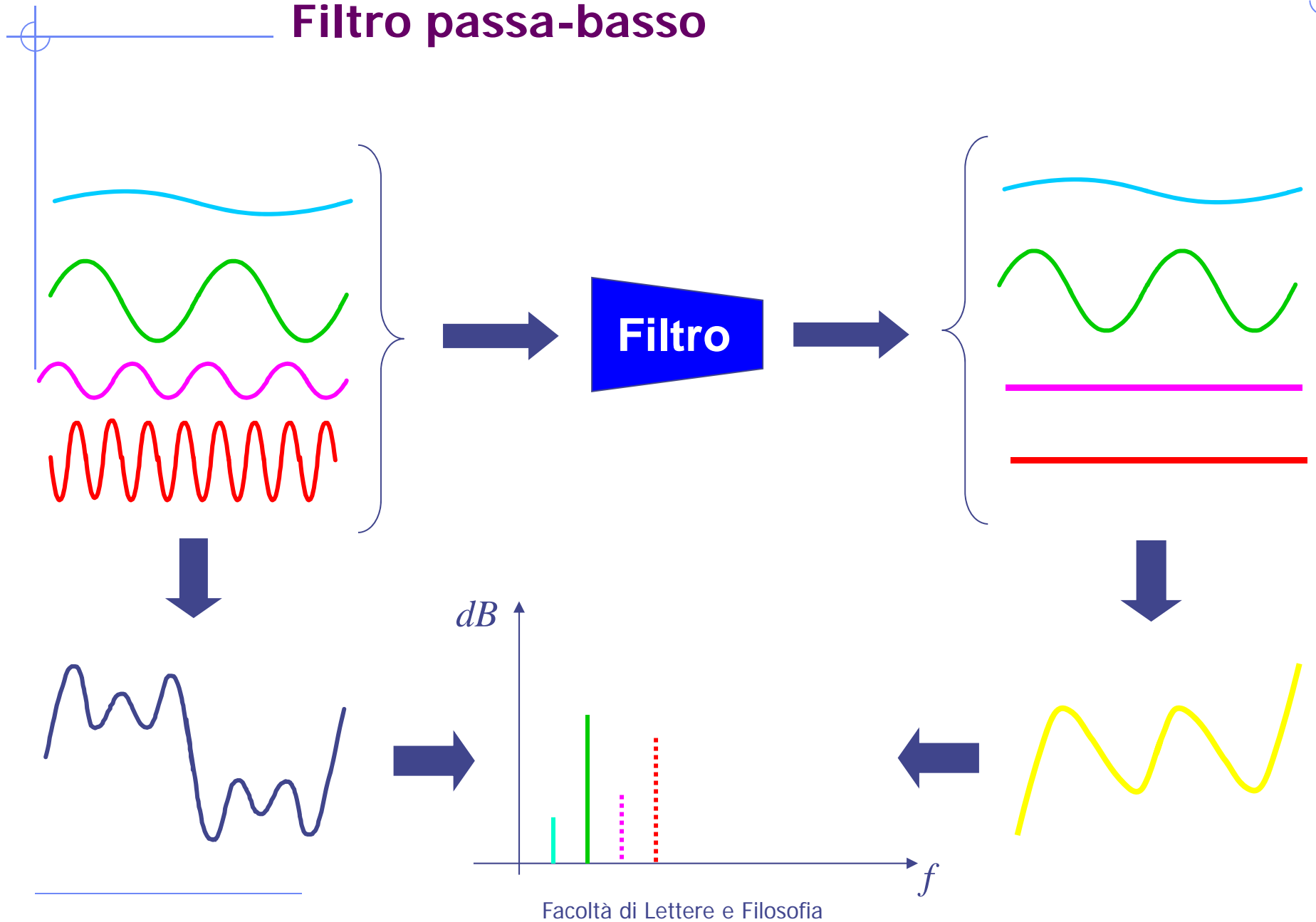
- Si fissa la frequenza di Nyquist
- Si fa in modo che nel segnale in ingresso non vi siano frequenze superiori alla metà della frequenza di Nyquist
- Filtro **PASSA BASSO**

## 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. A vertical line on the left and a horizontal line at the top intersect at a right angle, marked with a small blue circle. Another horizontal line is positioned below the top one, and a vertical line on the right intersects it at a right angle, also marked with a small blue circle. A third horizontal line is located at the bottom, and a vertical line on the right intersects it at a right angle, marked with a small blue circle. The text 'La quantizzazione' is centered in the upper-left quadrant.

# 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, ...)
  - ...

The image features a white background with several thin blue lines. A vertical line on the left and a horizontal line at the top intersect at a small blue circle. Another horizontal line is positioned below the top one, and a vertical line on the right intersects it at another small blue circle. A third horizontal line is located further down, and a vertical line on the right intersects it at a third small blue circle. The text is centered in the upper-middle part of the page.

**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

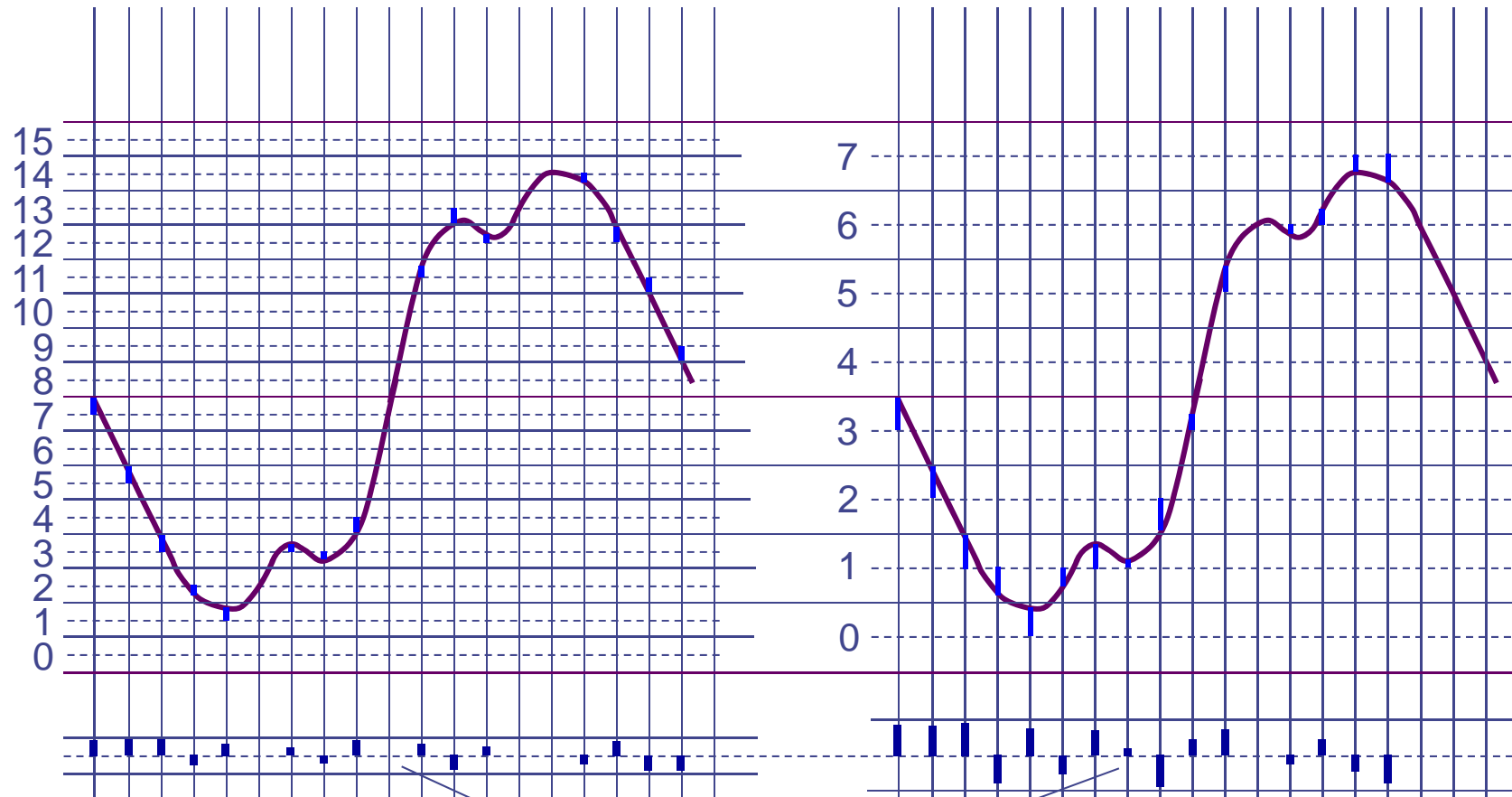


## La quantizzazione vera e propria

- 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*)



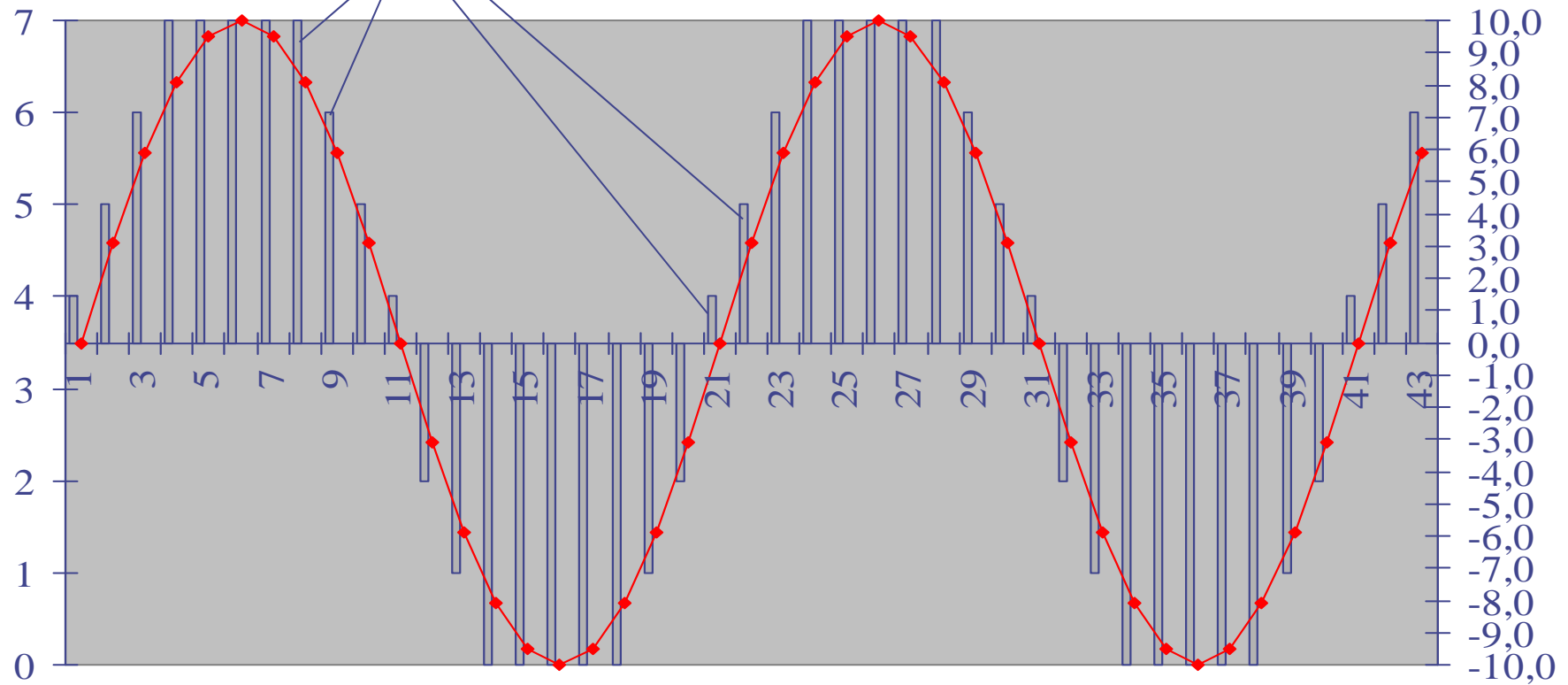
## Quantizzazione con 4 e 3 bit



*Errore di quantizzazione*

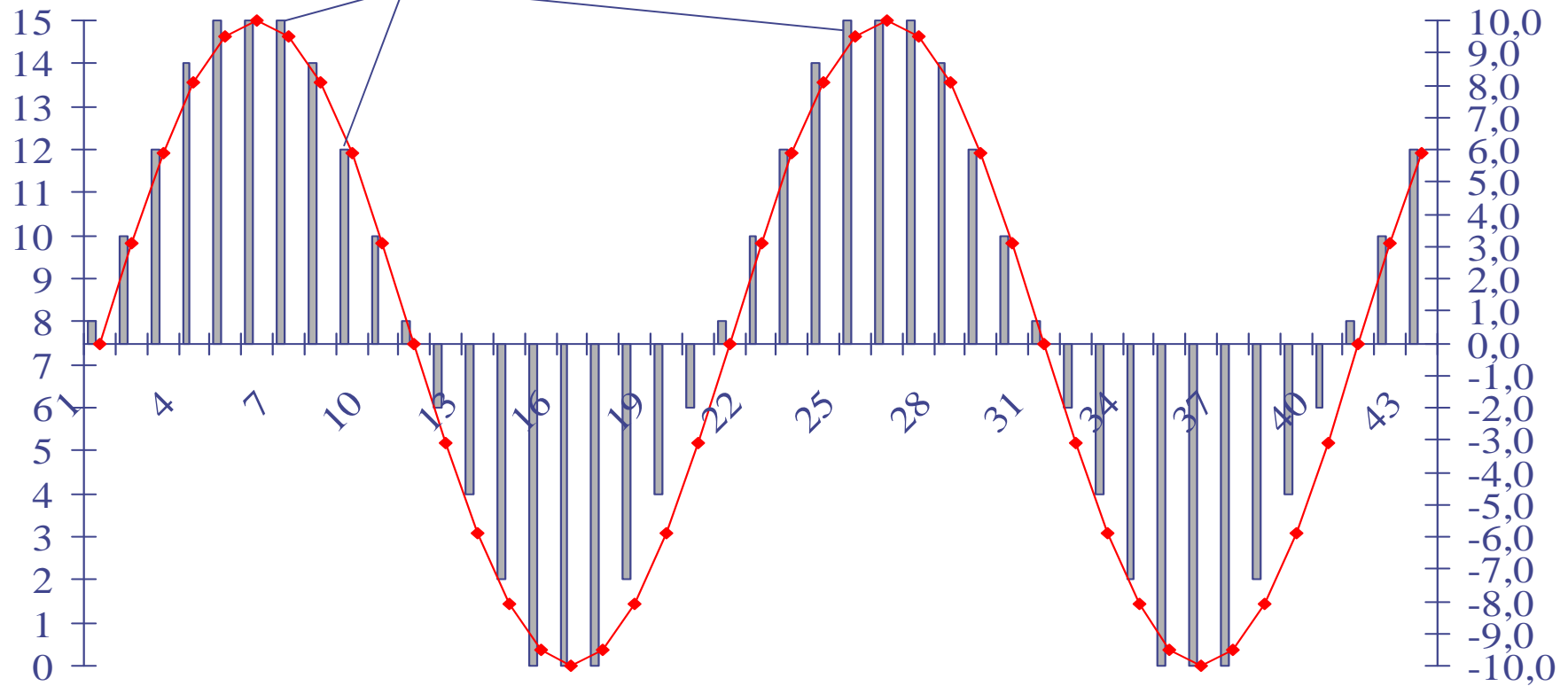
## Quantizzazione con 3 bit

*Errore di quantizzazione*



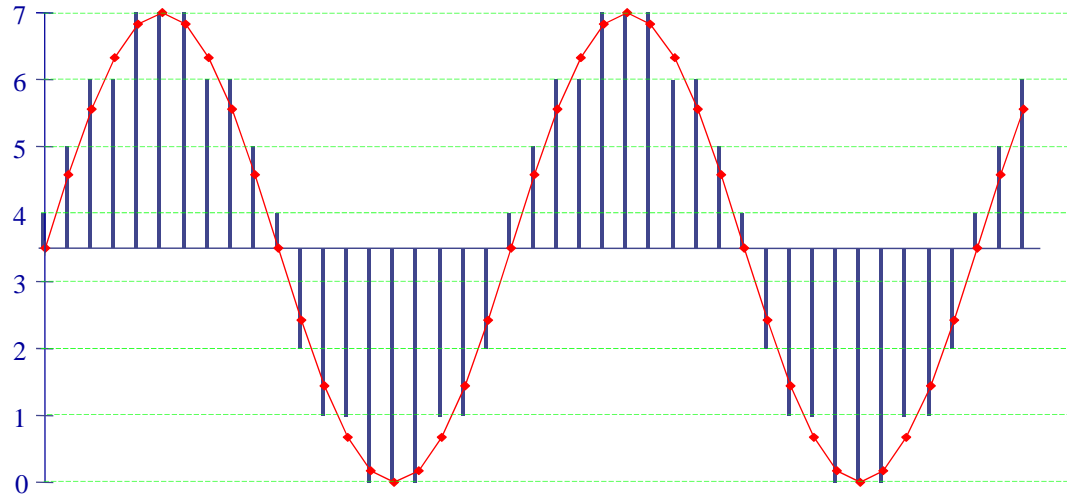
## Quantizzazione con 4 bit

### *Errore di quantizzazione*

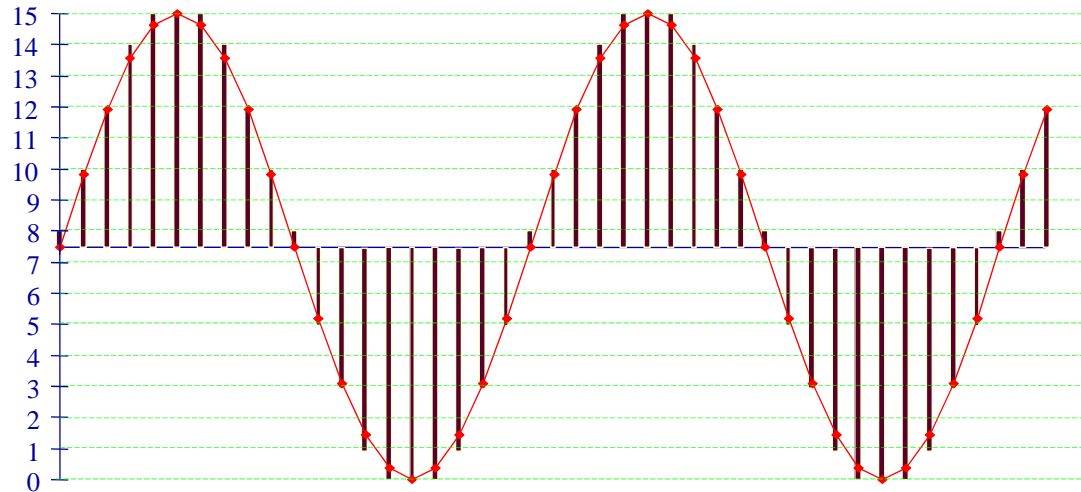


## Confronto

Quantizzazione a 3 bit  
(8 livelli)



Quantizzazione a 4 bit  
(16 livelli)





## 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.