



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## ESERCITAZIONE 9: DFT CON ARDUINO

G. Galbato Muscio

L. Gravina

L. Graziotto

18 Dicembre 2018

GRUPPO 11
-----------

---

### Abstract

Si utilizza il microcontrollore Arduino come hardware per il campionamento di segnali analogici e il software Processing per la loro analisi in frequenza. Si studiano segnali periodici e segnali impulsivi in presenza e assenza di rumore.

## Indice

<b>1</b>	<b>Apparato strumentale</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Segnale analogico in assenza di rumore</b>	<b>2</b>
2.1	Segnale sinusoidale . . . . .	2
2.2	Onda quadra . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Studio del rumore</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Studio di un segnale impulsivo</b>	<b>3</b>
4.1	Impulso in assenza di rumore . . . . .	3
4.2	Impulso in presenza di rumore . . . . .	3
<b>5</b>	<b>Appendice</b>	<b>4</b>

# 1 Apparato strumentale

Si vuole campionare il segnale analogico in ingresso utilizzando la più alta frequenza possibile: le misure vengono dunque memorizzate da Arduino in un buffer nella memoria e solo alla fine vengono trasmesse in seriale, in tal modo si riduce il tempo per effettuare la singola misura<sup>1</sup>, riducendolo approssimativamente a quello necessario per completare la funzione `analogRead()`, pari a circa  $t_A = 111 \mu s$ , la massima frequenza di campionamento è dunque  $f_{\max} = t_A^{-1} = 9.0 \text{ kHz}$ . Considerando la memoria dell'Arduino possono essere memorizzati fino a  $N = 800$  valori, dunque campionando alla frequenza massima la durata del campionamento è di circa  $t_{\text{camp}} = N/f_{\max} = 8.89 \text{ ms}$ .

Per evitare fenomeni di *aliasing*, deve essere verificata la seguente condizione sulla frequenza del segnale in ingresso

$$f_{\text{in}} \leq \frac{f_{\max}}{2} = 4.5 \text{ kHz} \equiv f_{\text{Nyquist}}. \quad (1)$$

## 2 Segnale analogico in assenza di rumore

Si campiono e si studiano in frequenza dei segnali analogici prodotti dal generatore di funzioni in assenza di rumore artificiale.

### 2.1 Segnale sinusoidale

Si campiona digitalmente un segnale sinusoidale analogico in ingresso a frequenze  $f_1 = (111 \pm 111) \text{ Hz}$ ,  $f_2 = (111 \pm 111) \text{ kHz}$  e infine  $f_3 = (111 \pm 111) \text{ kHz}$ , quest'ultima volutamente superiore al limite dettato dalla frequenza di Nyquist (1) per poter apprezzare i fenomeni di *aliasing*; le frequenze sono misurate con un oscilloscopio.

Si riportano in Figura ?? e in Figura ?? il segnale a frequenza  $f_1$  campionato da Arduino e la sua trasformata di Fourier discreta, rispettivamente. Sull'asse delle ascisse sono riportate

<sup>1</sup>La trasmissione seriale impiega un tempo non trascurabile per essere completata.

le frequenze di Fourier tenendo presente la relazione che lega la frequenza con l'indice della trasformata

$$f_{\text{fourier}} = k \frac{f_s}{N} \quad (2)$$

essendo  $f_s/N$  l'inverso della finestra temporale del campionamento, e dunque la minima frequenza misurabile: le altre frequenze della decomposizione saranno multipli interi della frequenza elementare. Nel grafico della trasformata viene inoltre riportata indicativamente la frequenza di Nyquist.

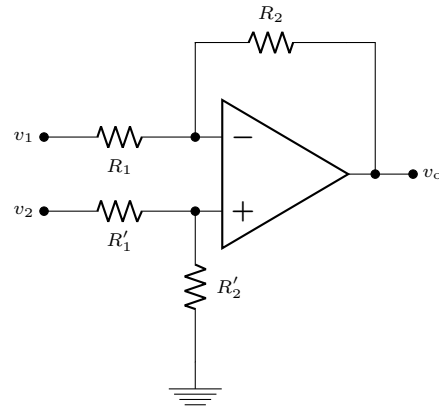
Come da aspettativa teorica, la trasformata ha un picco in corrispondenza della frequenza del segnale in ingresso, essendo questo sinusoidale ed essendo lontani dalla frequenza di Nyquist.

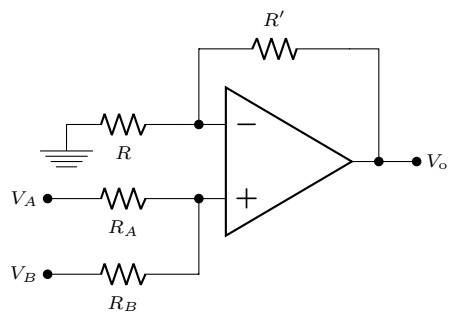
Analogamente, si riportano in Figura ??, ??, ?? e ?? i grafici ottenuti campionando due segnali di frequenza  $f_2$  e  $f_3$ . L'ultimo è a frequenza superiore a quella di Nyquist, la frequenza apparente è coerente con quanto previsto teoricamente, ovvero

$$f_{\text{alias}} = 2f_{\text{Nyquist}} - f_{\text{in}}. \quad (3)$$

### 2.2 Onda quadra

## 3 Studio del rumore





## 4 Studio di un segnale impulsivo

### 4.1 Impulso in assenza di rumore

### 4.2 Impulso in presenza di rumore

## 5 Appendice