



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## ESERCITAZIONE 8: FAMILIARIZZAZIONE CON ARDUINO

G. Galbato Muscio

L. Gravina

L. Graziotto

11 Dicembre 2018

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

---

### Abstract

Si studia il tempo impiegato dal microcontrollore Arduino UNO a svolgere determinate istruzioni, da operazioni aritmetiche, a calcolo di funzioni, a operazioni di Input/Output. Si studia il comportamento dei pin dotati di *pulse width modulation*. Si realizza, mediante la funzione di lettura analogica, un ADC, e se ne calcolano i valori di calibrazione. Si compie infine un campionamento digitale di un segnale analogico periodico.

## Indice

<b>1</b>	<b>Comunicazione seriale</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><i>Pulse Width Modulation</i></b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Calibrazione ADC</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Acquisizione dati dall'ADC</b>	<b>3</b>

# 1 Comunicazione seriale

Si realizza un programma per Arduino finalizzato a misurare i tempi impiegati per lo svolgimento di alcune istruzioni, e la dipendenza di tali tempi dall'ordine di grandezza dei numeri da manipolare. La funzione `micros()` permette di registrare i tempi di esecuzione, che vengono riportati in Tabella 1: in questa prima fase, i numeri sono di tipo `float` con una cifra dopo la virgola, e il tempo di esecuzione è misurato escludendo quello impiegato per la scrittura su schermo del risultato.

Tabella 1: Misure per la stima dei tempi di esecuzione

Operazione	$t_0$ [μs]	$t_1$ [μs]	$\Delta t$ [μs]
$a + b$			
$a \cdot b$			
$a/b$			
$\sqrt{a}$			
$\sin(a)$			
$\max\{a, b\}$			

Per ottenere una stima più precisa, si ripete ogni operazione inserendola all'interno di un ciclo `for` che la iteri per  $N = 1000$  volte; quindi si ottiene il tempo medio di esecuzione come  $(t_1 - t_0)/N$ . Si riportano i risultati in Tabella 2; anche in questo caso non sono inclusi i tempi necessari alla scrittura a schermo.

Tabella 2: Misure per la stima dei tempi di esecuzione, con  $N = 1000$  iterazioni

Operazione	$t_0$ [μs]	$t_1$ [μs]	$\Delta t/N$ [μs]
$a + b$			
$a \cdot b$			
$a/b$			
$\sqrt{a}$			
$\sin(a)$			
$\max\{a, b\}$			

Per l'operazione di moltiplicazione, si studia la dipendenza del tempo di esecuzione dal numero di cifre: con il ciclo `for` si varia il numero  $a$  da moltiplicare per 10 e si misura volta per volta il tempo di esecuzione. Il grafico che descrive l'andamento di  $t$  al variare di  $a$  è riportato in Figura ??; si osserva che esso risulta

essere dipendente solo dal numero di cifre di cui  $a$  è composto.

Per stimare il tempo impiegato a scrivere su schermo si realizza una stringa di caratteri di lunghezza via via maggiore, che viene quindi stampata a video, come da Listato riportato. Si riporta in Figura ?? il grafico del tempo di esecuzione dell'istruzione di output a video in funzione del numero di caratteri della stringa.

## 2 Pulse Width Modulation

Si utilizzano i pin digitali in modalità *pulse width modulation* (PWM), che permette di ottenere un'onda quadra con *duty cycle* variabile scegliendo un valore compreso tra 0 e 255. La frequenza è fissata: per il pin 9 è di 111 Hz, mentre per il pin 6 di 111 Hz, misurate entrambe con l'oscilloscopio.

Si connette innanzitutto al pin dotato di PWM un LED protetto verso massa da una resistenza  $R = 111 \text{ k}\Omega$ , misurata con il multimetro: si osserva l'aumento di luminosità del LED al crescere del *duty cycle*. Successivamente si connette direttamente il pin 9 al canale CH1 dell'oscilloscopio, e si riportano le istantanee per valori del *duty cycle* del 111% e del 111% rispettivamente nelle Figure ?? e ??.

Si ripete l'operazione di scrittura analogica con la PWM utilizzando un'onda triangolare, e si riporta in Figura ?? l'istantanea dell'oscilloscopio, e un'onda sinusoidale, riportando in Figura ?? lo screenshot dell'oscilloscopio. I listati sono riportati nel seguito.

## 3 Calibrazione ADC

Si utilizza il pin 3 di ingresso analogico, al quale è inviata una tensione continua compresa tra 0 e 5V mediante il generatore di tensione. Mediante il Listato seguente, si converte il valore analogico della tensione  $V_{in}$  in un valore digitale  $Val_V$  a 10 bit (dunque compreso tra 0 e  $2^{10} - 1 = 1023$ ), proporzionale al primo. La tensione in ingresso  $V_{in}$  è misurata con il multimetro, mentre la tensione corrispondente al

valore digitale acquisito da Arduino è

$$V_x = 5.0 \text{ V} \frac{\text{Val}_V}{1023}.$$

Si riportano in Tabella 3 le misure per la calibrazione dell'ADC.

Tabella 3: Misure per la calibrazione dell'ADC

$V_{\text{in}}$ [V]	$\text{Val}_V$	$V_x$ [V]
---------------------	----------------	-----------

Nel grafico di Figura ?? sono riportati i punti sperimentali e la retta  $y = mx + q$  che meglio li interpola, di coefficiente angolare  $m = 111 \text{ V}^{-1}$  e intercetta  $q = 111$ , compatibili con i valori previsti  $m^{(\text{atteso})} = 1023/5.0 \text{ V}$  e  $q^{(\text{atteso})} = 0$ . Il chi quadro è, inoltre,  $\chi^2 = 111$ , che si confronta con il numero di gradi di libertà (111).

Invertendo la relazione per il coefficiente angolare, si ottiene la costante di calibrazione  $k$  dell'ADC, per cui si avrà, nel seguito

$$V_x = \text{Val}_V \cdot k = \text{Val}_V \cdot 111.$$

## 4 Acquisizione dati dall'ADC

Si esegue un campionamento digitale di un segnale analogico, utilizzando l'ADC studiato nella Sezione precedente. La frequenza del campionamento è variabile fino ad un massimo imposto dalle caratteristiche di Arduino di circa 9 kHz, dunque si sceglierà una frequenza inferiore, come da Listato seguente.

Si invia pertanto, mediante il generatore di segnali, un segnale sinusoidale di ampiezza picco-picco 111 V e frequenza 111 kHz; si agisce inoltre sull'offset affinché l'onda abbia tensione sempre positiva. Il codice scritto per Arduino esegue il campionamento e lo salva su file, quindi esso viene analizzato successivamente. Si riporta in Figura ?? l'acquisizione del segnale sinusoidale, con  $V_x$  calcolata a partire dal valore digitale mediante la costante di calibrazione ricavata in precedenza. Si riporta inoltre in Figura ?? un'istantanea dell'oscilloscopio per questa configurazione.

Si ripete il campionamento per un segnale triangolare, e si riportano in Figura ?? il grafico di  $V_x$  acquisita in funzione del tempo e in Figura ?? l'istantanea dell'oscilloscopio per questa configurazione.