

# Misura della temperatura con sensore LM335

Questa relazione è stata effettuata dal gruppo 3 del laboratorio di SETM, formato da Carbone Orazio (S300511), Dandolo Giacomo (S296525), Favellato Francesco (S312697) e Genduso Cristina (S293536).

## 1 Caratteristiche dell'esperienza

### 1.1 Obiettivo

L'obiettivo di questa esperienza è sviluppare un termometro digitale utilizzando un sensore elettronico di temperatura e una scheda Arduino Uno. Per fare ciò, sono stati progettati il circuito di condizionamento del sensore e implementate funzioni di acquisizione e analisi dei dati per la misura della temperatura. Una parte significativa del lavoro è dedicata alla valutazione dell'incertezza associata alle misure.

### 1.2 Materiale utilizzato

1. Componenti elettronici:

- sensore di temperatura LM335;
- scheda Arduino Uno;
- resistenze per il circuito di condizionamento.

2. Software:

- IDE Arduino per la programmazione delle funzioni di acquisizione e di analisi dei dati;
- Serial Monitor per la lettura dei valori usati per il calcolo della temperatura.

3. Strumentazione:

- multimetro digitale per la verifica delle tensioni;
- PC con porta USB per il collegamento alla scheda Arduino Uno.

### 1.3 Descrizione del sensore LM335

Il sensore LM335 è un sensore di temperatura che opera come diodo Zener, con una tensione di breakdown proporzionale alla temperatura assoluta ( $T$ ) espressa in Kelvin. La relazione fondamentale è:

$$V_{out} = 10 \frac{mV}{K \cdot T}$$

Le sue caratteristiche principali sono:

- sensibilità  $S$ ;

$$S = 10 \frac{mV}{K}$$

- campo operativo  $C_o$ ;

$$C_o = (-40 \pm 100) ^\circ C$$

- incertezza nominale massima  $I_{n,max}$  a  $25^\circ C$ ;

$$I_{n,max} = \pm 2 ^\circ C$$

- corrente operativa  $I_o$ :

$$I_o = (0.4 \pm 5) mA$$

## 2 Circuito di condizionamento

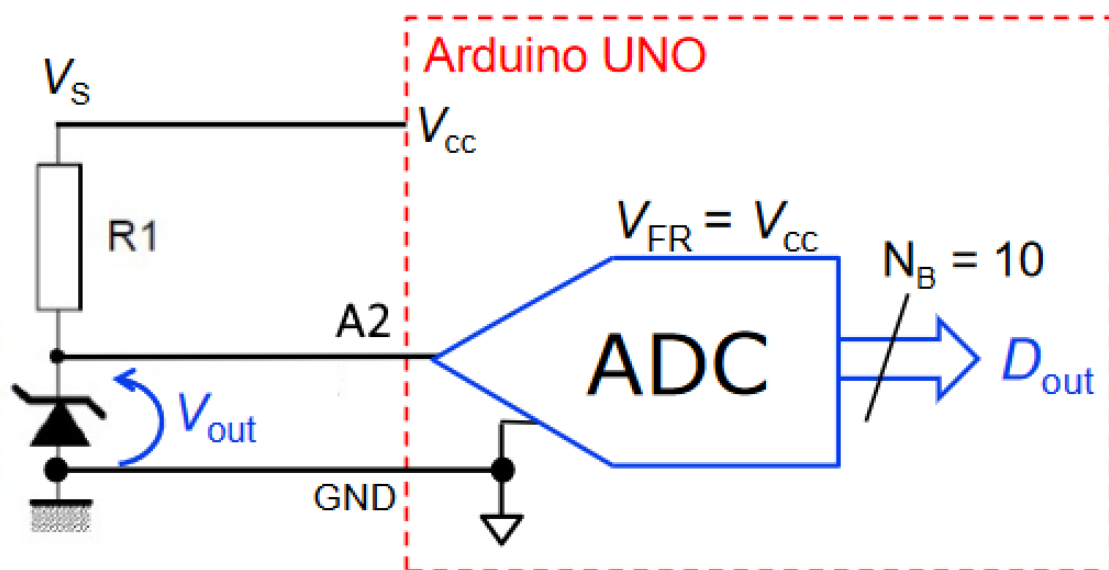
### 2.1 Progettazione

Il sensore è stato polarizzato inversamente per garantire un'uscita proporzionale alla temperatura. E' stato scelto un valore adeguato per  $R_1$ , tenendo conto della corrente nominale del sensore e della tensione  $V_s$  fornita dalla scheda Arduino.

$$V_s = 5 V$$

Il sensore è stato collegato all'ingresso analogico A2 della scheda Arduino Uno, con il riferimento  $V_{cc}$  impostato sulla tensione di alimentazione  $V_s$  attraverso una porta USB 3.0.

$$V_{cc} = V_s = 5 V$$



Rappresentazione dello schema di principio del circuito di condizionamento

## 2.2 Configurazione e acquisizione dei dati

L'ADC della scheda Arduino è stato configurato con una risoluzione a  $N_b = 10$  bit. Si ha, inoltre, una tensione Full Range  $V_{FR} = V_{cc}$ . Sono stati campionati i dati del sensore  $D_{out}$  a intervalli regolari e convertiti in valori di temperatura utilizzando la seguente funzione di taratura:

$$T = D_{out} \cdot \frac{V_{FR}}{2^{N_b}} \cdot \frac{1}{S}$$

## 2.3 Valutazione delle misure e dell'incertezza

Sono stati considerati i contributi di incertezza relativi come segue:

- precisione del sensore  $\delta_s$ ;

$$\delta_s = 2.00 \text{ } ^\circ C$$

- tensione di riferimento  $\delta_{cc}$ ;

$$\delta_{cc} = 0.05 \text{ } ^\circ C$$

- quantizzazione e non linearità dell'ADC  $\delta_q$ ;

$$\delta_q = \frac{1}{2} LSB = 0.25 \text{ } ^\circ C$$

L'incertezza complessiva è stata calcolata considerando tutti i contributi principali definiti.

$$\delta T_{tot} = \sqrt{\delta_s^2 + \delta_{ADC}^2 + \delta_q^2} \approx 2.02 \text{ } ^\circ C$$

## 2.4 Esempio di misurazione

Eseguendo una misurazione attraverso il sensore e utilizzando il Serial Monitor, abbiamo registrato una temperatura di  $T = 298.55 \text{ K}$ .

Successivamente, utilizzando il multimetro digitale, abbiamo misurato una tensione di uscita di  $V_{out} = 2.98 \text{ V}$ . Per provare che il circuito sia corretto, utilizziamo una formula inversa per trovare la temperatura a partire dalla tensione di uscita e dalla sensibilità.

$$V_{out} = S \cdot T \Rightarrow T = \frac{V_{out}}{S} = 298.00 \text{ K}$$

Si noti come, rispetto al valore ottenuto dalla scheda Arduino, si ha una differenza di meno di  $0.55 \text{ K}$ , che risulta compatibile con l'incertezza.

## 2.5 Discussione dell'analisi

L'analisi dell'incertezza ha evidenziato che la misura della temperatura è soggetta a una fonte di incertezza principalmente legata alla precisione intrinseca del sensore LM335. Utilizzando una tensione di riferimento interna  $V_{int} = 1.1 \text{ V}$  più stabile, sarebbe possibile ridurre ulteriormente l'incertezza complessiva. Inoltre, il contributo dell'errore di quantizzazione dell'ADC, sebbene limitato, può diventare rilevante a basse risoluzioni.

La misura effettuata con il multimetro digitale ha confermato la validità delle letture fornite dal sistema Arduino, dimostrando una buona coerenza tra i risultati.

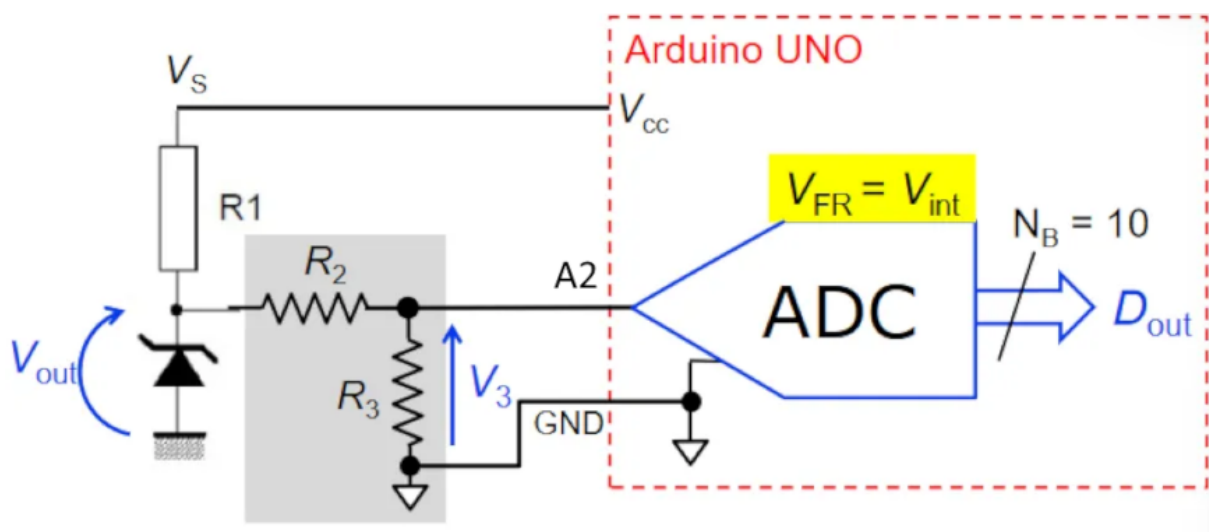
### 3. Proposta di modifica del circuito

Per migliorare la qualità delle misure, si potrebbe implementare un circuito modificato con le seguenti caratteristiche:

1. uso di un riferimento di tensione interno;
  - configurare l'ADC di Arduino per utilizzare il riferimento interno di tensione  $V_{int} = 1.1\text{ V}$ , che definisce anche la tensione di Full Range ;
  - attraverso la configurazione modificata si ottiene una maggiore stabilità della misura, ma è richiesta una riduzione proporzionale della tensione d'uscita del sensore.
2. aggiunta di un partitore di tensione;
  - inserire un partitore resistivo per adattare il range del sensore alla tensione di riferimento dell'ADC;
  - i valori delle resistenze  $R_2$  ed  $R_3$  devono permettere un'attenuazione maggiore di 3, minimizzando l'effetto di carico, per permettere di misurare i valori corretti di temperatura.
3. riduzione delle interferenze.
  - aggiungere un condensatore di bypass tra l'uscita del sensore e il riferimento di massa per filtrare i disturbi ad alta frequenza.

Per questo tipo di circuito si dovrà utilizzare una funzione di taratura differente, definita come segue:

$$T = D_{out} \cdot \frac{V_{int}}{2^{N_b}} \cdot \frac{1}{S} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$



Rappresentazione dello schema di principio del circuito di condizionamento modificato

## 4. Conclusioni

L'esperienza ha permesso di sviluppare un termometro digitale funzionante e di valutare con attenzione le incertezze associate al processo di misura. L'incertezza ottenuta è in linea con le specifiche del sensore.

Eventuali miglioramenti potrebbero essere implementati adottando una tensione di riferimento più precisa o eseguendo una calibrazione sperimentale più accurata del sistema, come illustrato nel punto 3.