**Relazione di Laboratorio: Misura della Temperatura con Sensore LM335 e Arduino Uno**

**Obiettivo dell’Esperienza**

L'obiettivo di questa esperienza è stato sviluppare un termometro digitale utilizzando:

* Un sensore elettronico di temperatura (LM335);
* Una scheda Arduino Uno.

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 stata dedicata alla valutazione dell'incertezza associata alle misure.

**Materiale Utilizzato**

1. **Componenti elettronici**:
   * Sensore di temperatura LM335;
   * Scheda Arduino Uno;
   * Resistenze per il circuito di condizionamento.
2. **Software**:
   * Arduino IDE per la programmazione e acquisizione dati;
   * Serial Monitor per la lettura dei valori di temperatura.
3. **Strumentazione**:
   * Multimetro digitale per la verifica delle tensioni;
   * PC con porta USB per il collegamento ad Arduino Uno.

**Descrizione del Sensore LM335**

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

Caratteristiche principali:

* Sensibilità: ;
* Campo operativo: ;
* Incertezza nominale (max) a : ;
* Corrente operativa: .

**Procedura Sperimentale**

1. **Progettazione del circuito di condizionamento**:
   * Il sensore è stato polarizzato inversamente per garantire un'uscita proporzionale alla temperatura.
   * È stato scelto un valore adeguato per ​, tenendo conto della corrente nominale del sensore e della tensione fornita dalla scheda Arduino ().
2. **Collegamento al microcontrollore Arduino Uno**:
   * Il sensore è stato collegato all’ingresso analogico A2 dell’Arduino Uno, con il riferimento impostato sulla tensione di alimentazione ().
   * La scheda Arduino è stata alimentata tramite porta USB.
3. **Configurazione e acquisizione dati**:
   * L’ADC della scheda Arduino è stato configurato con una risoluzione a 10 bit.
   * Sono stati campionati i dati dal sensore a intervalli regolari e convertiti in valori di temperatura utilizzando la funzione di taratura:
4. **Valutazione delle misure e dell'incertezza**:
   * Sono stati considerati i contributi di incertezza relativi a:
     + Precisione del sensore();
     + Tensione di riferimento ( variabile da per USB 3.0);
     + Quantizzazione e non linearità dell’ADC.

**Risultati**

1. **Dati acquisiti**:
   * **Esempio di misurazione**:
     + Temperatura registrata:;
     + Tensione di uscita: (equivalente a ).
2. **Calcolo dell’incertezza complessiva**: L'incertezza totale è stata calcolata considerando tutti i contributi principali:
   * **Incertezza del sensore**:
     + , come specificato dal produttore.
   * **Incertezza del riferimento ​**:
     + porta a un'incertezza nella misura di .
   * **Quantizzazione dell’ADC**:
     + L’errore massimo è pari a , equivalente a .

Propagando queste componenti:

​​

Risultato finale:

1. **Verifica con Multimetro Digitale**:
   * **Temperatura misurata**: ;
   * Differenza rispetto all’Arduino: , compatibile entro l’incertezza.

**Discussione**

L’analisi dei dati ha evidenziato che la misura della temperatura è soggetta a una principale fonte di incertezza legata alla precisione intrinseca del sensore LM335. Con l’uso di una tensione di riferimento interna 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.

**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 . Questo permette una maggiore stabilità della misura, ma richiede una riduzione 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. Ad esempio, se varia tra , il partitore potrebbe ridurre questa tensione al range .
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.

**Conclusioni**

L’esperienza ha permesso di sviluppare un termometro digitale funzionante e di valutare con attenzione le incertezze associate al processo di misura. L’accuratezza 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 sopra.