

FONDAMENTI DELLA MISURAZIONE**9 febbraio 2018****Prof. Michele Norgia****Quinto appello AA 2016/2017****Tempo a disposizione 1h35min TOT, 1h IIP****Aula T.2.2 ore 13.15**

COGNOME: _____ Nome: _____ (stampatello)

Corso di Laurea: _____ Matricola e firma _____ (firma

leggibile)

Punteggi: (precompito 8+ESE1 10+ESE2 7+ESE3 8 =33 p)

Crocettare la scelta e gli esercizi svolti (almeno parzialmente)ESAME INTERO (1 2 3) SOLO SECONDA PARTE(2 3) **SOLUZIONI****(35 min)****Esercizio 1***(svolgere su questo foglio e sul retro)*

1) Si vuole cucinare un pollo di massa 1.0 kg, misurata attraverso una bilancia da cucina con risoluzione $\Delta m = 0.1$ kg. Il calore specifico del pollo, considerato per semplicità come un solido di materiale uniforme, vale $c = 3140.1$ J/(kg · K) con una incertezza dello 0.2 %. Il pollo viene posto in un forno che si trova inizialmente alla temperatura ambiente T_0 della cucina: questa è nota attraverso 5 misure ripetute ($T_{0,i} = 25.8, 24.7, 25.4, 24.3, 24.8$ °C) ottenute da un termometro posto nella cucina. Il forno viene quindi portato alla temperatura di cottura finale $T_f = 180$ °C conosciuta con incertezza estesa di 2 °C al 95 %.

1a) Ricavare le misure (i valori e le incertezze tipo) della massa m del pollo, del suo calore specifico c , della temperatura T_0 e T_f .

1b) Si calcoli l'energia necessaria ΔQ e la sua incertezza per portare il pollo alla temperatura T_f .

1c) Il produttore stima che il consumo energetico per portare il forno da T_0 a T_f sia pari $\Delta Q_{pr} = 900(1)$ kJ. Si valuti la compatibilità tra le misure ΔQ e ΔQ_{pr} , e si commenti il risultato.

1d) Si spieghi quale tipo di misura è stata effettuata (diretta/indiretta) per conoscere l'energia ΔQ . Si indichi la causa principale di incertezza in questa misura.

1a) Il peso del pollo presenta un'incertezza di quantizzazione dovuta alla limitata risoluzione della bilancia:

$$u(m) = 0.1 \text{ kg} / \sqrt{12} = 0.029 \text{ kg}$$

Quindi possiamo esprimere il peso come $m = 1.000(29)$ kg

L'incertezza relativa vale quindi: $u_r(m) = u(m) / m = 2.9\%$

L'incertezza sul calore specifico si calcola partendo dall'incertezza relativa fornita dal testo:

$$u(c) = c \times u_r(c) = 6.3 \text{ J/(kg} \times \text{K)}$$

Quindi possiamo esprimere il calore specifico come $c_v = 3140.1(63)$ J/(kg × K)

Per quanto riguarda resistenza di temperatura T_0 , il valor medio delle $N=5$ misure ripetute è:

$$T_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0,i} = 25 \text{ °C}$$

Calcoliamo quindi la sua deviazione standard campionaria:

$$s(T_{0,i}) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (T_{0,i} - T_0)^2} \cong 0.5958 \text{ °C}$$

da cui si calcola lo scarto tipo del valor medio (incertezza di categoria A) come:

$$u(T_0) = \frac{s(T_{0,i})}{\sqrt{N}} = \frac{0.5958}{\sqrt{5}} \text{ °C} \cong 0.27 \text{ °C}$$

La temperatura iniziale vale quindi: $T_0 = 25.00$ (27) °C

L'incertezza relativa vale quindi: $u_r(T_0) = u(T_0) / T_0 = 1.1\%$

L'incertezza sulla temperatura finale T_f : $u(T_f) = (2 \text{ }^\circ\text{C}) / 2 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$, essendo il fattore di copertura dell'incertezza estesa $k \approx 2$ per $P = 95\%$.

Quindi la temperatura finale vale $T_f = 180.0(10) \text{ }^\circ\text{C}$

L'incertezza relativa vale quindi: $u_r(T_f) = u(T_f) / T_f = 0.56\%$.

1b) Il calcolo dell'energia spesa si ottiene attraverso la misura indiretta il calore necessario per portare il forno a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ partendo da T_0 :

$$\Delta Q = m \times c \Delta T = 1 \text{ kg} \times 3140.1 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times (180 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) = 486.7155 \text{ kJ}$$

L'incertezza totale può determinata prima calcolando l'incertezza su $\Delta T = T_f - T_0$ e quindi quella di ΔQ come somma delle incertezze relative dei singoli componenti della misura.

L'incertezza di ΔT vale:

$$u(\Delta T) = \sqrt{u^2(T_0) + u^2(T_f)} = \sqrt{(0.071 + 1)} \text{ }^\circ\text{C} \approx 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

L'incertezza relativa vale quindi: $u_r(\Delta T) = u(\Delta T) / \Delta T = 0.65\%$

L'incertezza totale sull'energia spesa vale quindi:

$$u_r(\Delta Q) = \sqrt{u_r^2(m) + u_r^2(c) + u_r^2(\Delta T)} \approx 0.03 = 3\%$$

Quindi l'incertezza di ΔQ vale:

$$u(\Delta Q) = u_r(\Delta Q) \times \Delta Q \approx 15 \text{ kJ}$$

Possiamo esprimere l'energia come $\Delta Q = 487 (15) \text{ kJ}$

1c) Utilizziamo il criterio di compatibilità standard tra le due misure indipendenti:

$$|\Delta Q - \Delta Q_{pr}| \leq k \sqrt{u^2(\Delta Q) + u^2(\Delta Q_{pr})} = 413 \leq k \sqrt{(15)^2 + (1)^2}$$

$k \geq 27.47 \Rightarrow$ le due misure sono **incompatibili**. Questo risultato non deve stupire, poiché l'energia necessaria a portare il forno a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ è di gran lunga superiore a quella che serve a scaldare il pollo, in quanto tiene conto della massa del forno da scaldare e di tutte le perdite energetiche dovute agli scambi termici del forno con l'ambiente esterno.

1d) La misura di energia effettuata è sicuramente una **misurazione indiretta** in quanto il misurando viene ricavato, indirettamente, dalla conoscenza di più parametri di ingresso. Un esempio di misurazione diretta sarebbe stata in questo caso la lettura della massa m ottenuta posizionando il pollo sulla bilancia.

La **causa principale di incertezza** sulla misura di ΔQ è sicuramente dovuta alla **misura della massa m del pollo** in quanto la scarsa risoluzione della bilancia implica la causa di incertezza più elevata. Per migliorare la misura bisognerebbe utilizzare una bilancia che presenti una risoluzione superiore. La misura indiretta inoltre può essere soggetta ad **errori "di modello"**, conseguenti anche alle ipotesi di lavoro fatte, (in questo caso è certamente irrealistico che il forno non assorba energia/calore nel riscaldarsi) per cui l'equazione della misura indiretta potrebbe essere anche differente da quella utilizzata.

(25 min)

Esercizio 2

(svolgere su questo foglio e sul retro)

2) Con un generatore a corrente costante si alimentano, in successione, 5 diversi carichi resistivi e si legge la tensione prodotta. Le 5 resistenze hanno valori nominali:

$$R_i = 100, 200, 500, 1000, 2000 (\Omega)$$

e i 5 valori di tensione letta sono

$$V_i = 0.3, 0.5, 1.4, 2.3, 4.9 (V)$$

2a) Dopo avere ipotizzato un modello teorico per la legge $R=f(V)$, si stimino i coefficienti dell'equazione descrittiva attraverso un metodo di regressione ai minimi quadrati e in particolare si ricavi il valore della corrente I erogata dal generatore.

2b) Intendiamo effettuare le 5 misure contemporaneamente, utilizzando 5 generatori di corrente e una scheda DAQ. Supponendo di volere fare per ogni resistore la media di 1000 misure in 1 s, si calcoli la minima frequenza di campionamento della scheda.

2c) Supponendo un'unica dinamica possibile ± 5 V, si calcoli il numero minimo di bit della scheda per avere un'incertezza di quantizzazione inferiore all'1 % per ogni dato acquisito.

N.B. Si riportano qui sotto le formule che esprimono il coefficiente angolare m e l'intercetta b sull'asse Y della retta di regressione ai minimi quadrati:

$$m = \frac{\sum x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \sum y_i}{\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2} \quad b = \frac{-m \sum x_i + \sum y_i}{n}$$

2b) Per quanto previsto dalla legge di Ohm, la tensione V ai capi di un resistore di valore R è legata alla corrente I che lo attraversa dalla relazione: $V=RI$. Pertanto, un modello teorico (analitico) che descrive l'andamento dei valori di resistenza con i valori di tensione è fornito dall'equazione:

$$R=(1/I) \cdot V \text{ ovvero } y=mx+b \text{ con } m=1/I \text{ e } b=0 \text{ (idealmente)}$$

Applicando ai dati x_i (tensione) e y_i (resistenza) il metodo della regressione ai minimi quadrati, si ricavano il coefficiente angolare e il termine noto di tale retta:

$$m=415.42 \Omega/V \text{ e } b=-20.99 \Omega, \text{ da cui } I=1/m=0.00241 \text{ A} \approx 2.4 \text{ mA}$$

Si osserva che rispetto al modello previsto dalla legge di Ohm i dati sperimentali evidenzerebbero un valore di "resistenza spuria" (per $V=0$ si ha $R \neq 0$) pari a $R_0=b \approx -21 \Omega$ che sicuramente origina dalle inesattezze nelle misure sperimentali dei valori R_i e V_i .

2c) Volendo acquisire 1000 misure in 1 s, per 5 canali (che misurano i 5 resistori), sono necessari 5000 campioni al secondo, per cui la minima velocità richiesta è **5 kSa/s**.

2d) Calcoliamo l'incertezza di quantizzazione richiesta dal minimo dato $V_i = 0.3$ V:

$$u_q(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}} < 0.3/100 \text{ V} = 3 \text{ mV}$$

da cui $\Delta V < 10.4 \text{ mV}$.

Supponendo un'unica dinamica possibile ± 5 V, possiamo calcolare il numero minimo di livelli necessari:

$$N = \frac{D}{\Delta V} > \frac{10 \text{ V}}{10.4 \text{ mV}} = 961$$

Da cui si ricava che sono necessari almeno **10 bit** ($2^{10}=1024$)

(35 min)

Esercizio 3

(svolgere su questo foglio e sul retro)

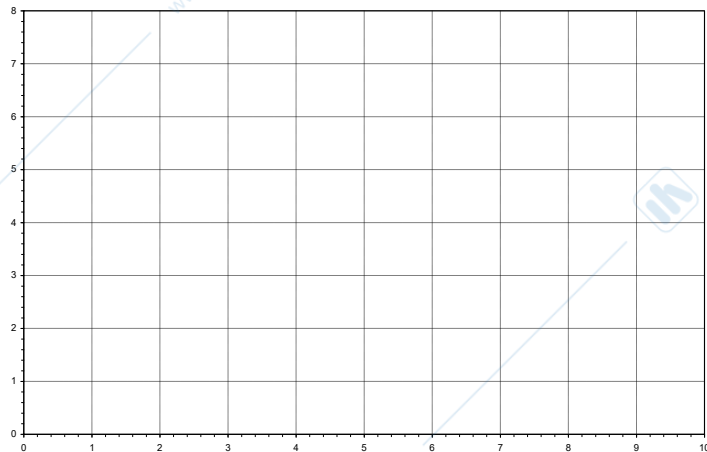
3) Mediante un oscilloscopio analogico a 2 canali e 100 MHz di banda, si vuole misurare la tensione di alimentazione di una scheda elettronica. L'alimentazione è a circa 15 V, con sovrapposto un disturbo sinusoidale al doppio della frequenza di rete, con ampiezza efficace pari a 2.8 mV.

3a) Si descrivano le operazioni da effettuare e le impostazioni dell'oscilloscopio per misurare il valore della tensione di alimentazione.

3b) Si descrivano le impostazioni più adatte per misurare al meglio il disturbo e si disegni la schermata corrispondente, impostata per visualizzarne 2 periodi.

3c) Per valutare con migliore accuratezza il valore di tensione continua si impiega un multimetro. Che tipologia di convertitore analogico-digitale è contenuta in tale strumento? Quale parametro del convertitore è importante per ottimizzare la reiezione al disturbo? A che valore deve essere impostato in questo caso, per avere anche la massima velocità di misura possibile?

3d) Se la frequenza di rete diventasse 60 Hz, come negli USA, che cosa cambierebbe nella misura del voltmetro?



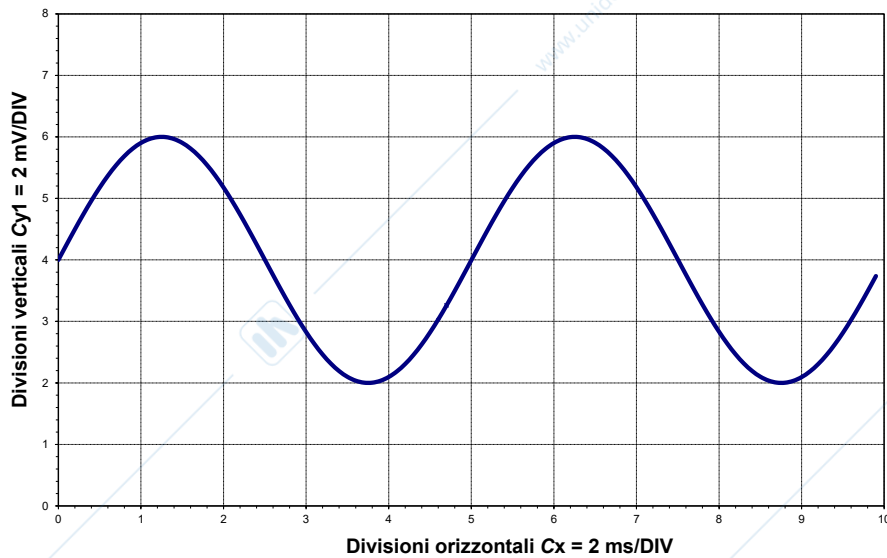
3a) Per poter misurare una tensione continua con un oscilloscopio analogico è indispensabile prima di tutto impostare un livello di zero, connettendo **a GND l'ingresso**. In questo caso possiamo **impostare lo zero sul livello più basso dello schermo**. Il **trigger** dovrà essere impostato in modalità **AUTO**.

Passiamo quindi alla **connessione in DC** della tensione da misurare, impostando 5 V/DIV e visualizzando quindi una continua a circa 3 divisioni dal fondo, da cui ricaviamo il valore di 15 V. Ovviamente con questa scala il disturbo non è visibile.

3b) Per visualizzare il disturbo spostiamo il livello di zero a centro schermo, passiamo alla **connessione in AC**, portando la deflessione verticale a **2 mV/DIV** (il segnale ha un'ampiezza picco-picco di 8 mV).

Data la bassa ampiezza del disturbo, è conveniente impostare il **trigger su LINE** (rete di alimentazione a 50 Hz), con livello 0V e slope positiva.

Il periodo del disturbo è pari a $1/100 \text{ Hz} = 10 \text{ ms}$, per cui impostiamo **2 ms/DIV** per visualizzare 2 periodi.



3c) Il multimetro impiega tipicamente un **voltmetro a doppia rampa**.

Il parametro fondamentale per questo tipo di misura è il **tempo di integrazione** (tempo di salita della doppia rampa), in quanto determina la reiezione al disturbo associato. In questo caso il tempo di integrazione dovrà essere un **multiplo intero del periodo del disturbo**, pari a 10 ms. Per avere la massima velocità di misura dovremo impostarlo quindi a **10 ms**.

3d) La reiezione in ampiezza ad un generico disturbo a frequenza f è:

$$r = \frac{\pi f T_1}{|\sin(\pi f T_1)|}$$

dove T_1 è il tempo di integrazione.

In questo caso, la frequenza del disturbo passerebbe da 100 Hz a 120 Hz, per cui la reiezione non sarebbe più teoricamente infinita.

Nel caso di $f=120$ Hz, mantenendo $T_1=10$ ms, si ottiene una bassa reiezione, pari a $r=6.4$ in tensione, corrispondente a circa **16 dB**.

Esercizio ____ (continua)

[foglio addizionale per eventuale esercizio "lungo"]

INDICARE IL RICHIAMO IN FONDO ALLA PAGINA DELL'ESERCIZIO CORRISPONDENTE

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari