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

MISURE E STRUMENTAZIONE **9 febbraio 2018**

Prof. Michele Norgia **Secondo appello AA 2017/2018**

Tempo a disposizione 2 h 5min (1 h 5min solo II parte) **Aula T.2.2 ore 13.15**

Cognome e nome: ___________________________________ ____________________ *(stampatello)*

Matricola e firma __ __ __ __ __ __ ____________________ *(firma leggibile)*

Esercizi svolti (almeno parzialmente): precompito 1 2 3 4 (7+8+5+7+5 =32p) *(crocettare)*

N.B. si consiglia di crocettare, qui sopra, gli esercizi almeno parzialmente svolti. Si richiede di **crocettare tutti i sottopunti**, ad es. 1c), 1d), degli esercizi ai quali si è dato risposta.

Crocettare ☐ SOLO SECONDA PARTE (ESERCIZI 3 e 4)

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 alla 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 $\boldsymbol{m} = \mathbf{1.000(29)\ kg}$

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 $\boldsymbol{c_v} = \mathbf{3140.1(63)\ J/(kg \times K)}$

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:

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

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

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

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

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

La temperatura iniziale vale quindi: $\boldsymbol{T_0 = 25.00\ (27)\ °C}$

L'incertezza relativa vale quindi: $u_r(T_0) = u(T_0) / T_0 = 1.1\%$
L'incertezza sulla temperatura finale T_f: $u(T_f) = (2\ °C) / 2 = 1\ °C$, essendo il fattore di copertura dell'incertezza estesa $k \cong 2$ per $P = 95\%$.
Quindi la temperatura finale vale $\boldsymbol{T_f = 180.0(10)\ °C}$
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 °C partendo da T_0:
$\Delta Q = m \times c\ \Delta T = 1\ \text{kg} \times 3140.1\ \text{J/(kg} \times \text{K)} \times (180\ °C - 25\ °C) = 486.7155\ \text{kJ}$
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:

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

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

L'incertezza totale sull'energia spesa vale quindi:

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

Quindi l'incertezza di ΔQ vale:

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

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

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

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

$\boldsymbol{k \geq 27.47}$ $\Rightarrow$ le due misure sono **incompatibili.** Questo risultato non deve stupire, poiché l'energia necessaria a portare il forno a 180 °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.

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

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

(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 (Ω)
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 ricavi il valore della corrente I erogata dal generatore attraverso un metodo di regressione ai minimi quadrati.

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 10000 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 della misura precedente.

2d) L'uscita di una termocoppia, con sensibilità di 20 μV/K e giunto freddo mantenuto a 25 °C costanti, è misurata tramite un amplificatore da strumentazione con guadagno di 26 dB. Quanto vale l'uscita dell'amplificatore se il giunto caldo è posto a 100 °C?

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:

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

2a) 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:

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

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 Ω/V** e ***b*=-20.99 Ω**, da cui $I=1/m=0.00241$ A≅**2.4 mA**

Si osserva che rispetto al modello previsto dalla legge di Ohm i dati sperimentali evidenzierebbero un valore di "resistenza spuria" (per $V=0$ si ha $R\neq0$) pari a $R_{00}=b\cong-21$ Ω che sicuramente origina dalle inesattezze nelle misure sperimentali dei valori R_i e V_i.

2b) Volendo acquisire 10000 misure in 1 s, per 5 canali (che misurano i 5 resistori), sono necessari 50000 campioni al secondo, per cui la minima velocità richiesta è **50 kSa/s**.

2c) 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 ΔV < 10.4 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).

2d) La termocoppia fornirà in uscita $V_{TC} = S_{TC} \times \Delta T$= 20 μV/K × 75 K=1.5 mV, che vengono amplificati con un guadagno di 20 (26 dB), per cui in uscita all'amplificatore si avranno **30 mV**.

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

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

(35 min) **Esercizio 3**

(svolgere su questo foglio e sul retro)

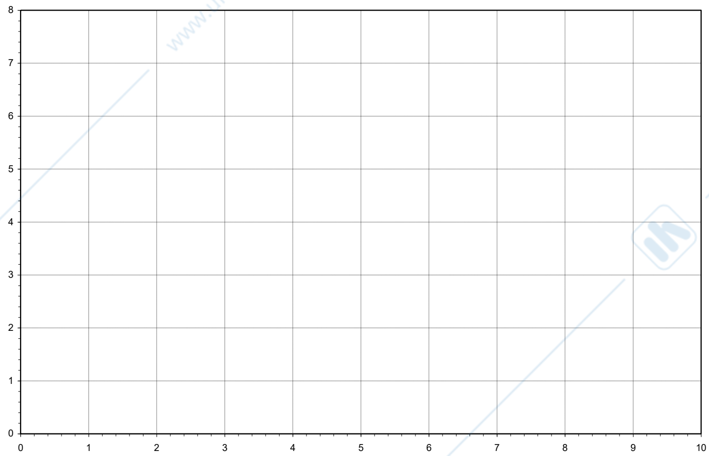
3) Mediante un oscilloscopio analogico a 2 canali e 100 MHz di banda, si vuole misurare la tensione di alimentazione di una scheda elettronica. L'alimentazione è a circa 15 V, con sovrapposto un disturbo sinusoidale al doppio della frequenza di rete, con ampiezza efficace pari a 2.8 mV.

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'ingesso**. 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.

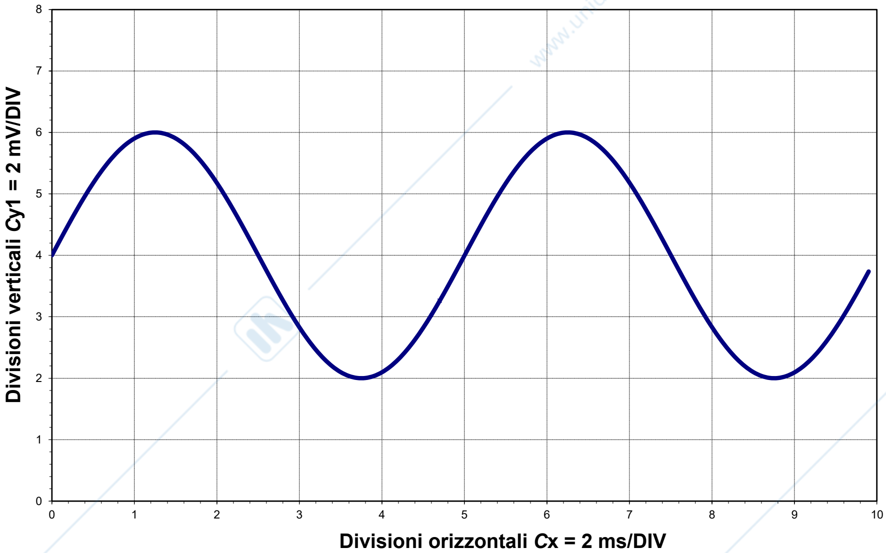
3b) Per visualizzare il disturbo spostiamo il livello di zero a centro schermo, passiamo alla **connessione in AC**, portando la deflessione verticale a **2 mV/DIV** (il segnale ha un'ampiezza picco-picco di 8 mV).

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 Hz = 10 ms, per cui impostiamo **2 ms/DIV** per visualizzare 2 periodi.

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

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



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:

$$\boldsymbol{r} = \frac{\pi f T_I}{\left|\sin(\pi f T_I)\right|}$$

dove T_I 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_I =10 ms, si ottiene una bassa reiezione, pari a ***r*=6.4** in tensione, corrispondente a circa **16 dB**.

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

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

(25 min) **Esercizio 4**

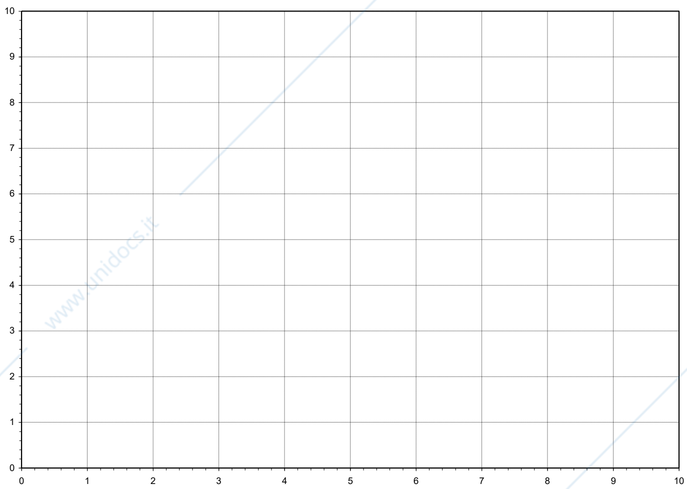
(svolgere su questo foglio e sul retro)

4a) Alcuni sensori comunicano i dati ad una centralina tramite il protocollo XBee. Un singolo canale di trasmissione XBee emette uno spettro all'incirca piatto largo 500 kHz, centrato a 2425 MHz, con potenza complessiva pari a 1 μW. Si disegni lo schermo di un analizzatore di spettro (*NF*=24 dB) che misura questo segnale, con *SPAN*=50 MHz, *RBW*=1 MHz e 10 dB/div..

4b) Che cosa cambierebbe nella misura se si impostasse *RBW*=100 kHz?

3c) Si disegni la nuova schermata acquisita, sulla stessa griglia per confronto.

NOTA: La costante di Boltzmann è k=1.38×10^{-23} J/K.



4a) Nel caso di *RBW* = 1 MHz, il segnale largo 500 kHz può essere considerato come un segnale a banda stretta (sinusoidale) con potenza -30 dBm (1 μW), in quanto la sua potenza ricade interamente all'interno del filtro.

Il fondo di rumore dell'analizzatore di spettro vale

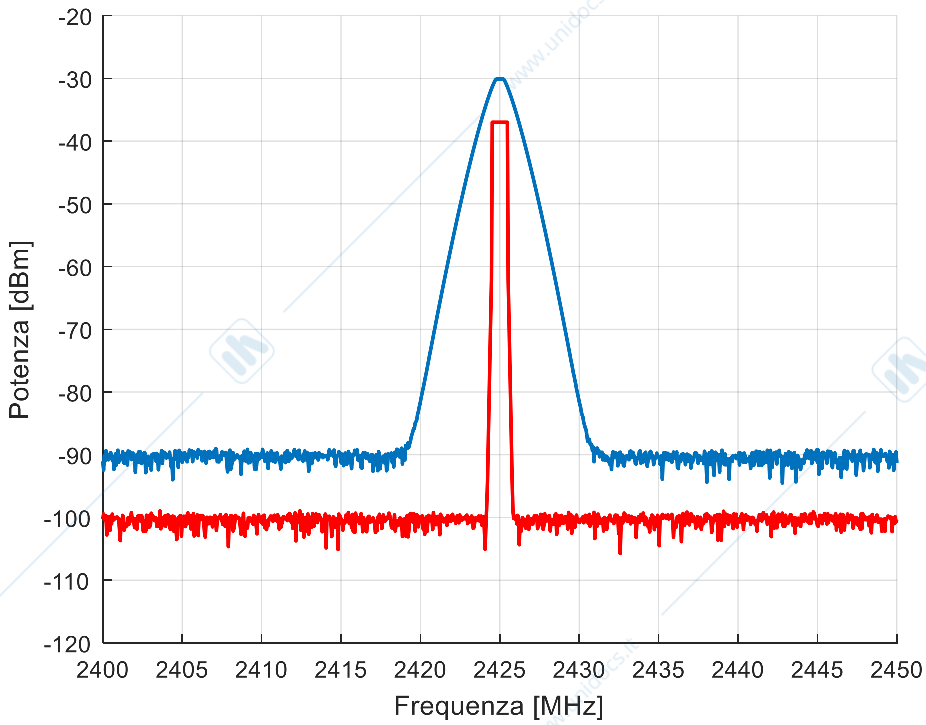
P_{AS}(dBm)=kT+NF+10logRBW= -174 dBm/Hz+24 dB +60 dBHz = **-90 dBm**.

L'impostazione dell'asse delle potenze dell'AS può essere: *Reference level*=-20 dBm con 10 dB/div.

Riportiamo la curva sullo schermo in blu.

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

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



4b) Nel caso di *RBW*=100 kHz, si avrebbe un abbassamento del fondo di rumore di 10 dB, un miglioramento della risoluzione in frequenza di un fattore 10 e un rallentamento della traccia di un fattore 100, in questo caso irrilevante, considerando che il tempo di traccia vale circa

$$T = \frac{3SPAN}{RBW^2}$$

4c) Nel caso di *RBW*=100 kHz, il segnale largo 500 kHz non può più essere approssimato con un segnale a banda stretta (sinusoidale). La potenza visualizzata sarà quella integrata sulla banda del filtro a IF. Dato che *RBW* è un quinto della larghezza di banda del segnale, la potenza all'interno del filtro vale circa 1/5 della potenza totale, per cui **-37 dBm** (0.2 µW).

Il fondo di rumore dell'analizzatore di spettro in questo caso vale

P_{AS}(dBm)=kT+NF+10logRBW= -174 dBm/Hz+24 dB +50 dBHz = **-100 dBm**.

Riportiamo la curva sullo schermo in rosso.

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

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

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