

ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE 2019

Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA
ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA E SISTEMI AUTOMATICI

Il candidato svolga la prima parte della prova e due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

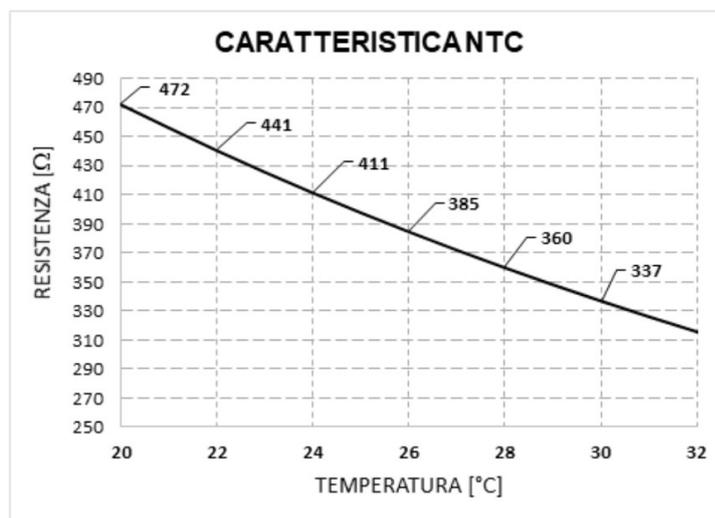
Un centro di fisioterapia è dotato di una vasca per la riabilitazione degli arti, finalizzata al recupero della capacità motoria, che si avvale anche della cromoterapia per un maggior comfort dei pazienti.

L'acqua della vasca deve garantire specifiche caratteristiche sanitarie, tra cui temperatura compresa tra 26°C e 28°C, PH tra 6,8 e 7,4 e una percentuale di cloro libero minima pari a 0,8 mg/l e non superiore a 1,3 mg/l.

Tali parametri vengono monitorati in tempo reale grazie a specifici sensori di seguito descritti e i valori rilevati vengono riportati su appositi display nella consolle dell'operatore addetto al controllo.

I dispositivi preposti alla rilevazione dei valori sono:

- otto termistori NTC disposti a coppie su ciascun lato della vasca, posizionati rispettivamente alla quota di 20 cm e 80 cm dal fondo vasca. Ogni sensore presenta la caratteristica IN/OUT in figura:



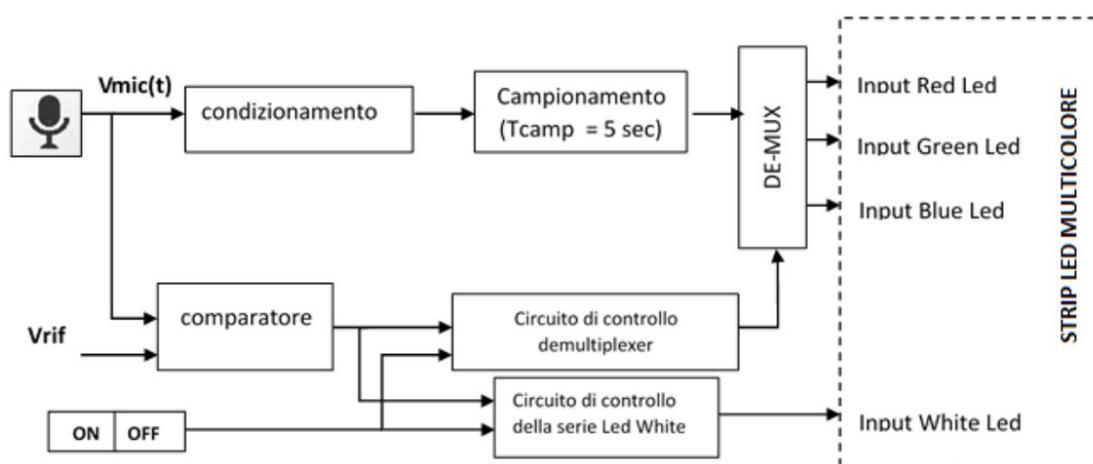
- un PH-metro con uscita digitale a 4 bit con capacità di rilevazione di valori compresi tra 6 e 9 e con precisione pari a 0,2. Al valore PH=6 corrisponde la combinazione 0000 e le combinazioni successive sono ordinate secondo il codice binario naturale;
- un rilevatore di cloro libero che presenta in uscita una corrente direttamente proporzionale alla concentrazione C secondo la relazione:

$$I_{out}(C) = (20 \cdot C - 10) \cdot 10^{-3} [A]$$

Sul fondo della vasca lungo tutto il perimetro è, inoltre, collocata una strip a tenuta stagna di led multicolore (Red-Green-Blue-White) impiegata nella cromoterapia. La strip presenta quattro ingressi di tensione, uno per ciascuna linea di colore. L'illuminazione viene gestita in modalità combinata durante l'utilizzazione della vasca come di seguito descritto:

- un interruttore, azionato dall'operatore, accende la sola linea White Led;
- l'eventuale diffusione di brani musicali nell'ambiente determina lo spegnimento della linea White Led e l'avvio della sequenza cromatica secondo l'ordine Red Led–Green Led–Blue Led ad intervalli di 1 minuto: l'intensità luminosa dei led colorati è regolata dalla musica diffusa nell'ambiente;
- riportando nella posizione OFF l'interruttore si spengono tutte le serie di led.

La realizzazione dell'effetto si ottiene mediante lo schema di seguito riportato:



Le caratteristiche elettriche e le funzioni dei dispositivi presenti nello schema sono le seguenti:

- la capsula microfonica fornisce in uscita una tensione $V_{mic}(t)$ con valori compresi tra 10 mV e 70 mV in modo proporzionale al volume e alle frequenze dei suoni diffusi nell'ambiente. Tale tensione, opportunamente trattata e campionata ad intervalli di 5 secondi, viene inviata al demultiplexer;
- il demultiplexer seleziona il singolo canale corrispondente alla serie colorata di led ad intervalli di 1 minuto: l'operazione avviene solo se il livello audio rilevato dal microfono fornisce una tensione superiore a 20 mV, corrispondente all'effettiva diffusione di suoni musicali;–la luminosità delle linee di led colorati inserite nella strip dipende dalla tensione applicata come mostrato in tabella (la linea di White Led ha luminosità fissa).

Colore	Range di intensità luminosa (Lm/m)	Range di differenza di potenziale applicato (V)
RED	25 – 90	1,8 – 3,4
GREEN	40 – 120	
BLUE	15 – 60	
WHITE	60	2,4

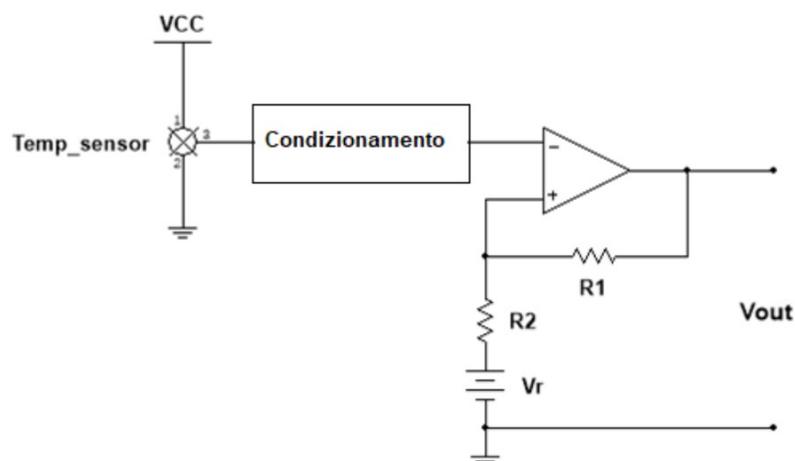
Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene opportune, deve:

1. fornire uno schema del sistema di rilevazione e visualizzazione delle caratteristiche sanitarie dell'acqua utilizzando un microcontrollore o altro sistema programmabile di sua conoscenza;
2. dimensionare le interfacce necessarie all'adattamento dei segnali provenienti dai sensori e descrivere una possibile modalità di visualizzazione dei dati acquisiti;
3. sviluppare un algoritmo di gestione delle acquisizioni e della visualizzazione di tali valori che per la temperatura fornisca la differenza tra le medie delle temperature rilevate dai sensori posti alle due diverse quote;
4. implementare i blocchi di controllo del demultiplexer e dell'Input White Led presenti nello schema e descrivere una possibile soluzione per la realizzazione delle temporizzazioni richieste.

SECONDA PARTE

Quesito 1

In riferimento alla prima parte della prova si consideri il problema del mantenimento della temperatura ambiente ad un valore medio di $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Per attuare il controllo della temperatura che deve essere mantenuta costante con una variazione massima di $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ si utilizza il circuito del tipo in figura, pilotato da un sensore termico il cui segnale viene opportunamente condizionato. Gli attuatori che consentono il ripristino delle condizioni ideali sono azionati dalla tensione V_{out} . Si descriva, eventualmente con l'ausilio di grafici esplicativi, il comportamento del dispositivo nel suo insieme specificando in particolare la funzione svolta dalla tensione V_r .



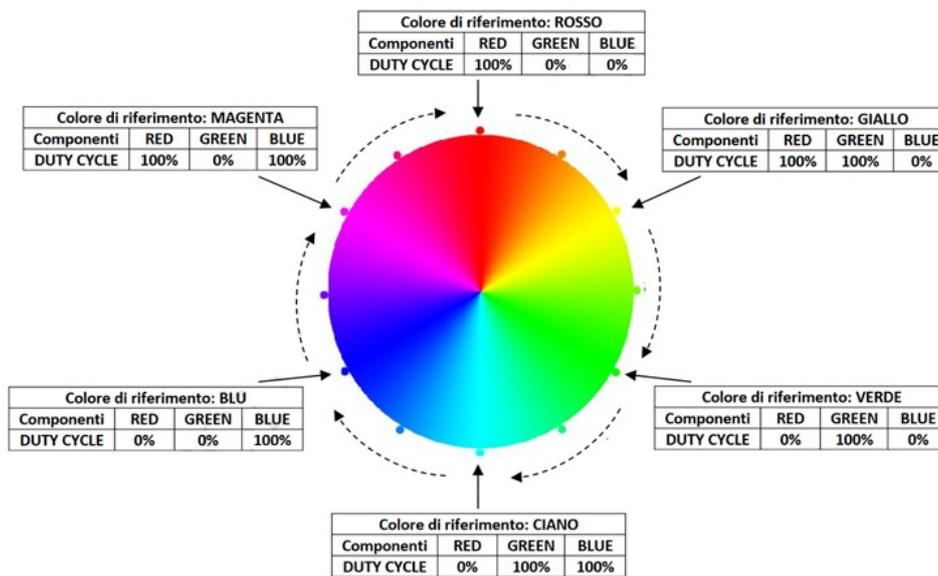
Quesito 2

In relazione al tema esposto nella prima parte si proponga una alternativa software che effettui il pilotaggio dei quattro canali della strip RGBW mediante rispettivi segnali PWM, in modo da variare l'intensità luminosa di ciascuna linea di led: l'effetto che si vuole ottenere corrisponde ad una illuminazione della vasca che cambia colore attraverso le differenti sfumature dell'intero spettro del visibile. Per ottenere tale effetto si sfrutta il modello additivo RGB grazie al quale i diversi colori si ottengono come somma pesata dei tre colori

primari (Red-Green-Blue). Il processo viene avviato tramite l'interruttore sulla consolle del tecnico che attiva contemporaneamente le quattro linee la cui luminosità è gestita come segue:

1. intensità luminosa della linea White regolata mediante il segnale PWM a Duty Cycle variabile in funzione del segnale proveniente dal microfono;
2. intensità luminosa delle linee Red, Green e Blue regolata mediante la variazione graduale del Duty Cycle dei rispettivi segnali PWM.

La variazione di Duty Cycle per i segnali PWM applicati alle tre linee Red, Green e Blue che realizzano il cambio cromatico tra un colore di riferimento e il successivo è riportata in figura.



Si consideri che la durata di un intero ciclo di variazione cromatica è di 180 secondi: l'effetto di illuminazione desiderato viene garantito se la variazione di intensità luminosa della singola componente (Red, Green e Blue) nel passaggio da un colore di riferimento al successivo avviene in non meno di 64 step.

La medesima temporizzazione può essere utilizzata per la regolazione della luminosità della linea White. Il processo termina riportando nella posizione OFF l'interruttore con conseguente spegnimento della strip di led.

Quesito 3

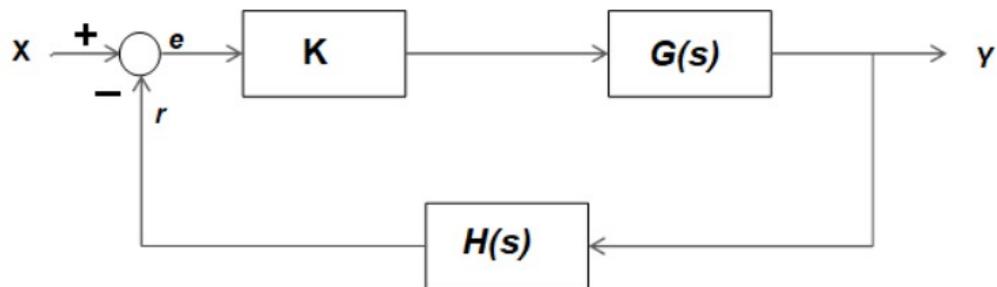
Nello schema di figura siano:

$$K = 2$$

$$G(s) = \frac{10}{(1 + 5 \cdot 10^{-3} s)(1 + 5 \cdot 10^{-4} s)}$$

$$H(s) = \frac{50}{(1 + 5 \cdot 10^{-2} s)}$$

Verificare la stabilità del sistema utilizzando il Criterio di Bode.
Nel caso si presenti instabilità progettare una rete correttiva per rendere stabile il sistema.



Quesito 4

Progettare un circuito che avendo in ingresso il segnale di Figura A fornisca in uscita il segnale di Figura B.

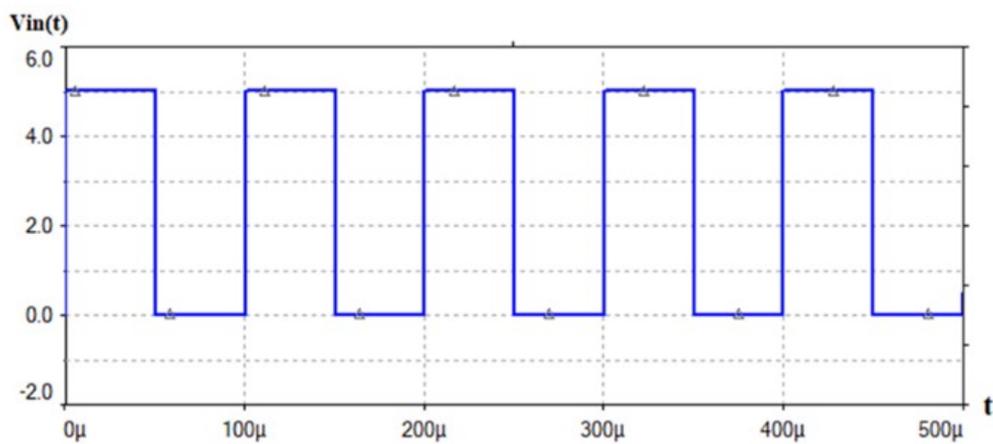


Figura A

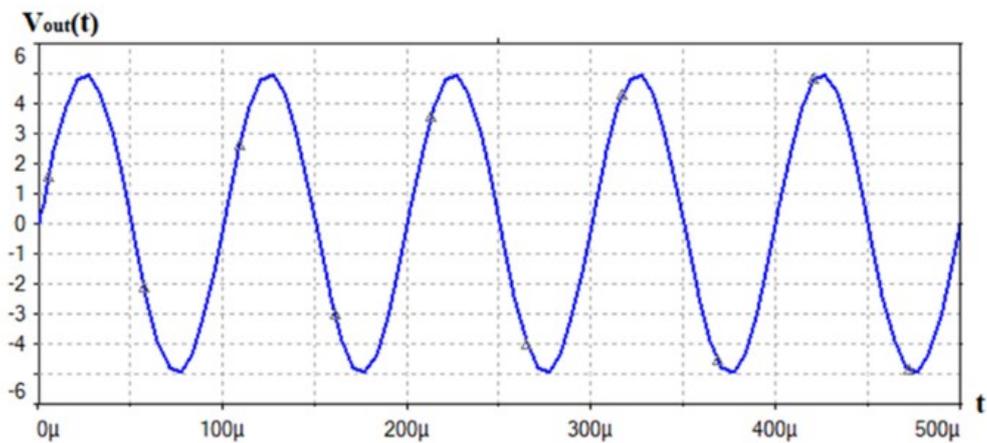


Figura B

SOLUZIONE PRIMA PARTE

Punto 1

Il microcontrollore deve ricevere in ingresso:

- 8 segnali analogici provenienti dai sensori di temperatura;
- 1 segnale analogico proveniente dal rilevatore di cloro;
- 4 bit dal PH-metro

Inoltre deve pilotare un display LCD, ad esempio 2 righe e 16 colonne, mediante 6 linee digitali.

Poiché il classico Arduino UNO possiede solo 6 ingressi analogici, è necessario utilizzare il modello Mega che è invece provvisto di 16 ingressi analogici.

Lo schema complessivo del sistema viene rappresentato in Figura 1.

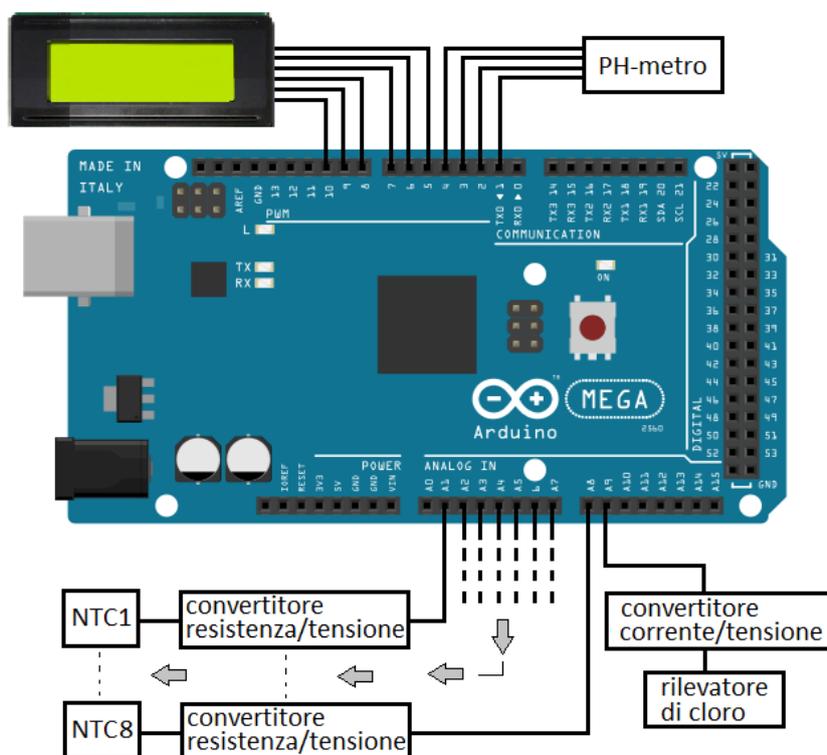


Figura 1

Punto 2

I segnali d'ingresso richiedono i seguenti circuiti di condizionamento:

- il PH-metro ha 4 uscite digitali e quindi può essere collegato direttamente a 4 ingressi digitali di Arduino;
- ognuno degli 8 termistori NTC richiede una conversione resistenza/tensione che produca una tensione proporzionale alla variazione di resistenza;
- il rilevatore di cloro ha uscita in corrente e quindi il condizionamento deve essere un convertitore corrente/tensione.

Conversione resistenza/tensione per i termistori

Il circuito di condizionamento (Figura 2) converte le variazioni della resistenza R_T (termistore NTC) in variazioni della tensione d'uscita V_o secondo la seguente relazione lineare:

$$V_o = \frac{E}{R_{T0}} \Delta R_T$$

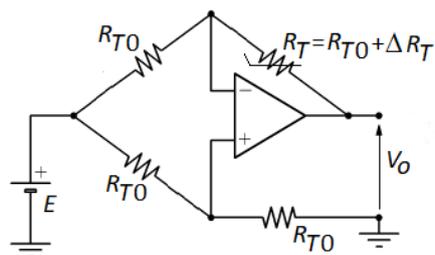


Figura 2

Fissando quindi un valore di riferimento $R_{T0}=472 \Omega$, corrispondente alla resistenza dell'NTC a 20°C , e supponendo un'alimentazione $E=5\text{ V}$, si ottengono i seguenti valori di tensione:

- per $T = 20^\circ\text{C} \rightarrow V_o = 0\text{ V}$;
- per $T = 30^\circ\text{C} \rightarrow V_o = 0,71\text{ V}$.

Poiché in questo caso non è richiesta una risoluzione elevata, non si ritiene di amplificare la tensione per portarla nel range $0\text{-}5\text{ V}$ accettato da Arduino.

Conversione corrente/tensione per il rilevatore di cloro

Si effettua la misura nel campo di valori da $0,5\text{ mg/l}$ a 2 mg/l .

Dalla formula che fornisce la corrente in funzione della concentrazione si ricava:

- $I_{o(0,5)} = 0\text{ A}$ per concentrazione $0,5\text{ mg/l}$;
- $I_{o(2)} = +30\text{ mA}$ per concentrazione 2 mg/l .

Il convertitore I/V, seguito da un amplificatore invertente, viene mostrato in Figura 3:

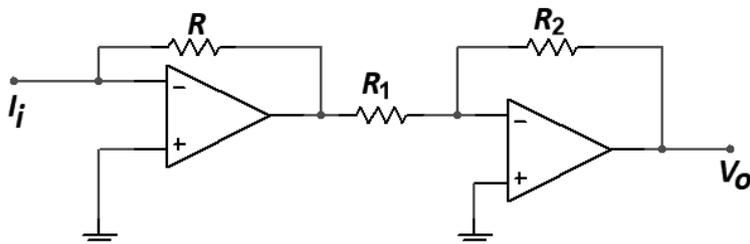


Figura 3

La relazione corrente/tensione del convertitore è $V_o = -I_i R$; quindi con $R=150 \Omega$ la tensione sarà:

- $V_{o(0,5)} = 0\text{ V}$ per concentrazione $0,5\text{ mg/l}$;
- $V_{o(2)} = -4,5\text{ V}$ per concentrazione 2 mg/l .

Con l'amplificatore invertente a guadagno unitario ($R_2 = R_1 = 1\text{ k}\Omega$) si ottiene l'inversione del segno della tensione, portandola nel range da 0 V a $4,5\text{ V}$.

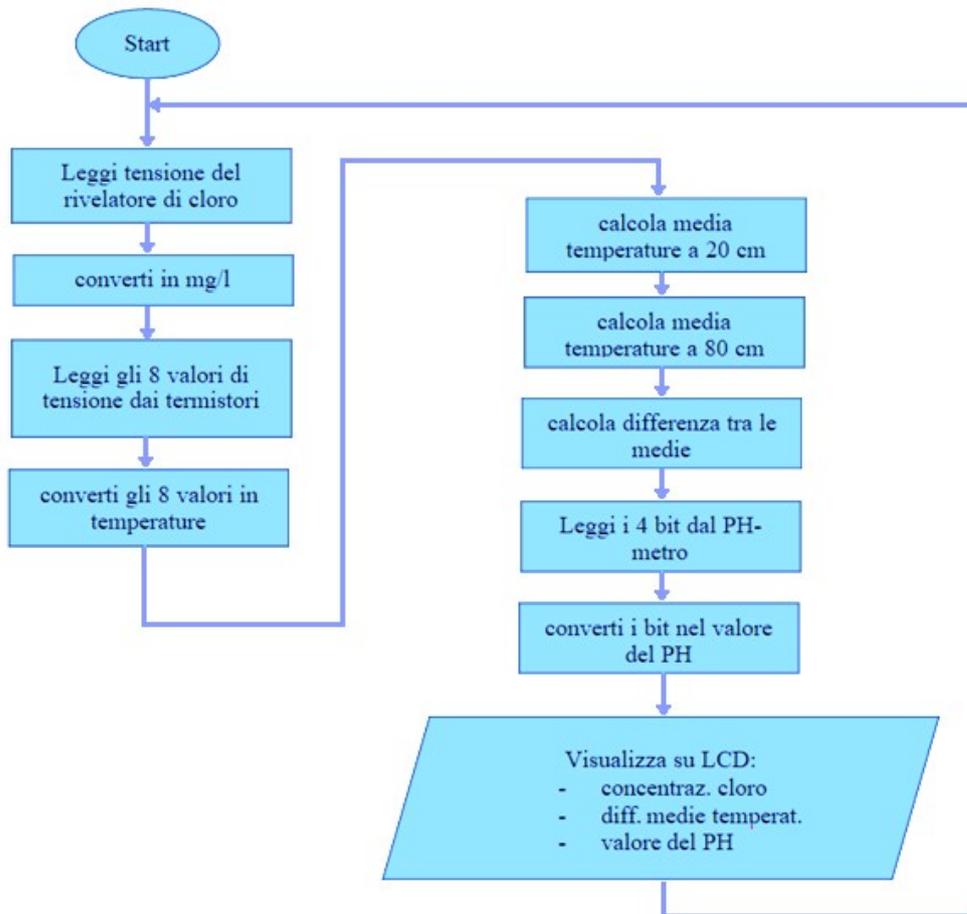
In alternativa si può far scorrere la corrente I_i sul resistore R e disaccoppiare la tensione prodotta ai capi con un inseguitore.

Per quanto riguarda la visualizzazione dei risultati, considerando 2 cifre per ognuno dei 10 valori da visualizzare, si può usare un display LCD a 4 righe e 16 colonne.

Se invece, come richiesto al punto 3, è sufficiente condensare le misure delle temperature in un unico valore, potrebbe bastare un display LCD a 2 righe e 16 colonne.

Punto 3

Si riporta di seguito il diagramma di flusso.



Punto 4

Pilotaggio del demultiplexer (Figura 4):

Per la selezione dell'uscita (Red, Green o Blue) su cui indirizzare la tensione proveniente dal campionatore si utilizza un contatore modulo 3, che incrementa il valore in uscita sui fronti di discesa di un segnale di clock generato da un oscillatore ad onda rettangolare con periodo $T=1$ min.

Il funzionamento del demultiplexer è abilitato dal pin EN, che si porta a livello alto solo quando sono alti contemporaneamente l'uscita del comparatore che rivela la presenza del suono e l'interruttore di accensione (On-Off).

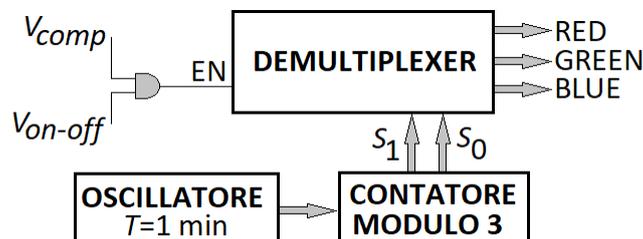


Figura 4

La corrispondenza tra uscite del contatore e colori attivati è data dalla tabella di seguito riportata.

S1	S2	Colore
0	0	Red
0	1	Green
1	0	Blue

La Figura 5 rappresenta una possibile realizzazione con FF-JK del contatore asincrono modulo 3.

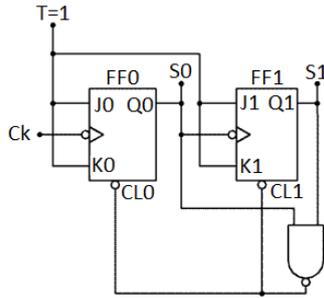


Figura 5

La Figura 6 rappresenta lo schema di un oscillatore a 555 che può essere usato per fornire il clock al contatore.

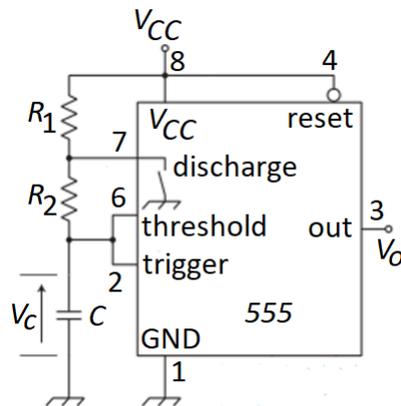


Figura 6

La formula che lega il periodo del segnale d'uscita con i valori dei componenti è la seguente:

$$T = 0,7 (R_1 + R_2) C$$

Utilizzando i valori commerciali valori $R_1=6,8 \text{ M}\Omega$, $R_2=1 \text{ M}\Omega$ e $C=10 \text{ }\mu\text{F}$ si ricava un periodo pari a 61,6 s.

Pilotaggio della strip LED White (Figura 7):

La strip White deve accendersi quando l'uscita del comparatore è bassa e l'interruttore on-off alto; questo si ottiene con una porta NAND negando l'ingresso del comparatore.

L'uscita della NAND pilota la base di un transistor; nel caso di suono sotto la soglia del comparatore e interruttore On l'uscita della NAND è bassa, quindi il transistor è interdetto e la V_{white} alta (2,4 V-strip accesa); negli altri casi il transistor è in saturazione e quindi l'uscita è prossima a 0 V.

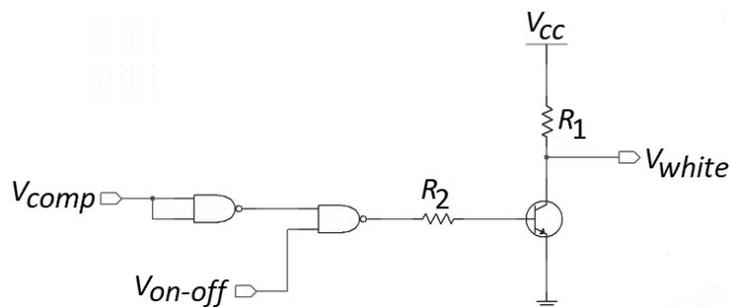


Figura 7

SOLUZIONE SECONDA PARTE

Quesito 1

Il circuito che esegue il condizionamento del segnale prodotto dal sensore di temperatura è un trigger di Schmitt invertente che realizza un comparatore con isteresi la cui caratteristica di trasferimento viene rappresentata nella Figura 8.

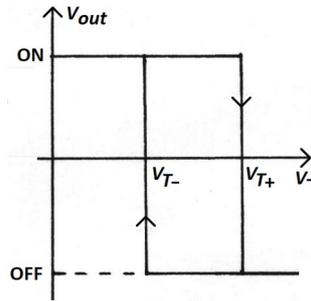


Figura 8

Le tensioni di soglia V_{T-} e V_{T+} sono i valori delle tensioni prodotte dal condizionamento in corrispondenza delle temperature $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $28\text{ }^{\circ}\text{C}$; quando la temperatura scende sotto i $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ la V_{out} si porta a livello alto e accende il riscaldatore (ON), quando supera i $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ la V_{out} si porta a livello basso e spegne il riscaldatore (OFF).

La tensione V_r modifica il valor medio delle tensioni di soglia in modo che la caratteristica, invece di avere le soglie simmetriche rispetto all'origine, sia spostata sulla destra.

Per le formule relative alle tensioni di soglia, tenendo conto della tensione V_r , risulta:

$$V_{T+\hat{i}} = V_{sat} \frac{R_2}{R_1+R_2} + V_r \frac{R_1}{R_1+R_2} \hat{i}$$

$$V_{T-\hat{i}} = -V_{sat} \frac{R_2}{R_1+R_2} + V_r \frac{R_1}{R_1+R_2} \hat{i}$$

Quesito 2

Si impiega la scheda Arduino Uno; dallo schema riportato in Figura 9 si evidenzia che:

- il microfono (opportunamente condizionato) è collegato al pin analogico A0;
- l'interruttore On-Off è collegato al pin digitale 2, impostato con il pull-up interno;
- le quattro linee colore sono collegate a quattro pin digitali abilitati al PWM.

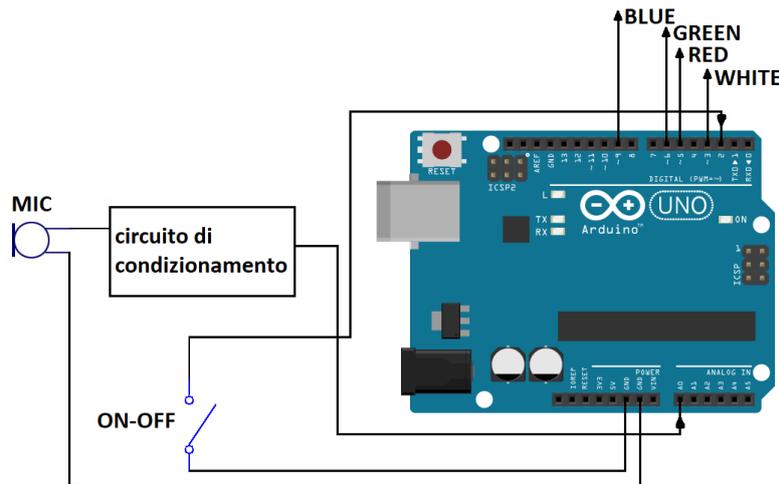
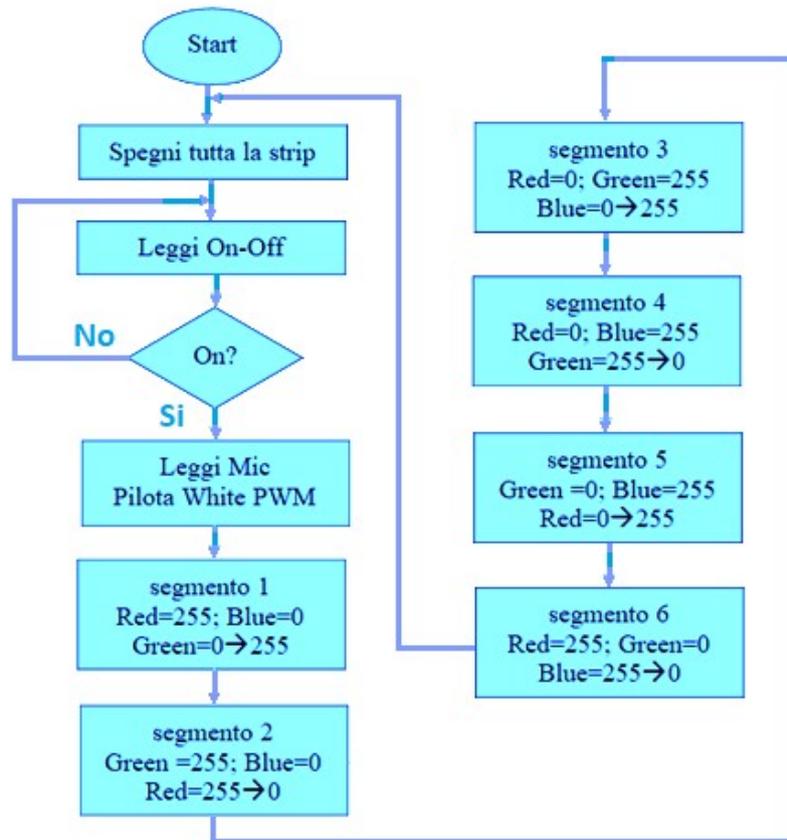


Figura 9

Il flow chart dell'algoritmo di gestione della cromoterapia viene di seguito riportato.



Si riporta di seguito il codice per Arduino con i relativi commenti.

```

constintpinOnOff=2; // pin 2 interruttore On-Off
constintpinMic=0; // pin A0 microfono
constintpinWhite=3; // pin 3 linea White (PWM)
constintpinRed=5; // pin 5 linea Red (PWM)
constintpinGreen=6; // pin 6 linea Green (PWM)
constintpinBlue=9; // pin 9 linea Blue (PWM)
intcont; // contatore dei cicli FOR
void setup() {
pinMode(pinOnOff, INPUT_PULLUP);
}
voidloop() {
// spegni tutti i colori della strip
analogWrite(pinWhite, 0);
analogWrite(pinRed, 0);
analogWrite(pinGreen, 0);
analogWrite(pinBlue, 0);
do { // leggi interruttore On-Off finché non è premuto
} while (digitalRead(pinOnOff));
int suono=analogRead(pinMic); // leggi l'intensità sonora dal microfono (0-1023)
intwhite=suono/4;// converti in intervallo 0-255 per pilotare PWM
analogWrite(pinWhite, white); // pilota in PWM la linea White
// segmento 1 (64 step, 30 secondi)
analogWrite(pinRed, 255);
analogWrite(pinBlue, 0);
for (cont =0; cont<=255; cont=cont+4){ // il Green va da 0 a 255 a passi di 4 (64 step)
analogWrite(pinGreen, cont);
delay (468); // ogni step dura 468 ms, totale 30 s
}
// segmento 2
analogWrite(pinGreen, 255);

```

```

analogWrite(pinBlue, 0);
for (cont =255; cont>=0; cont=cont-4){
analogWrite(pinRed, cont);
delay (468);
}
// segmento 3
analogWrite(pinRed, 0);
analogWrite(pinGreen, 255);
for (cont =0; cont<=255; cont=cont+4){
analogWrite(pinBlue, cont);
delay (468);
}
// segmento 4
analogWrite(pinRed, 0);
analogWrite(pinBlue, 255);
for (cont =255; cont>=0; cont=cont-4){
analogWrite(pinGreen, cont);
delay (468);
}
// segmento 5
analogWrite(pinGreen, 0);
analogWrite(pinBlue, 255);
for (cont =0; cont<=255; cont=cont+4){
analogWrite(pinRed, cont);
delay (468);
}
// segmento 6
analogWrite(pinRed, 255);
analogWrite(pinGreen, 0);
for (cont =255; cont>=0; cont=cont-4){
analogWrite(pinBlue, cont);
delay (468);
}
}
}

```

Quesito 3

Sistema privo di rete correttice

Per la f.d.t. ad anello aperto si ottiene:

$$F(s) = K \cdot G(s) \cdot H(s) = \frac{1000}{(1+5 \cdot 10^{-3} s)(1+5 \cdot 10^{-4} s)(1+5 \cdot 10^{-2} s)}$$

Risultano un guadagno statico pari a 60 dB e tre pulsazioni di taglio pari rispettivamente a $\omega_1=20$ rad/s, $\omega_2=200$ rad/s e $\omega_3=2000$ rad/s.

Considerando per il modulo una curva ideale il punto di attraversamento a 0 dB avviene alla pulsazione $\omega_0=2000$ rad/s.

Per la fase risulta quindi:

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{\omega_0}{\omega_1} = \tan^{-1} \frac{2000}{20} = 89^\circ$$

$$\varphi_2 = \tan^{-1} \frac{\omega_0}{\omega_2} = \tan^{-1} \frac{2000}{200} = 84^\circ$$

$$\varphi_3 = \tan^{-1} \frac{\omega_0}{\omega_3} = \tan^{-1} \frac{2000}{2000} = 45^\circ$$

Per il margine di fase risulta:

$$m.d.f. = 180^\circ - 89^\circ - 84^\circ - 45^\circ = -38^\circ$$

Si ha quindi una evidente condizione di instabilità (m.d.f. negativo).

Sistema con rete correttrice

Per portare il sistema alla stabilità con un buon margine di fase si può agire sul guadagno statico riducendolo a 20 dB; si può utilizzare il proposito un regolatore semplicemente proporzionale collocato sulla linea di andata a monte del sistema con costante di guadagno pari a 0,01.

Considerando per il modulo una curva ideale il punto di attraversamento a 0 dB avviene alla pulsazione $\omega_0 = 200$ rad/s.

Per la fase risulta quindi:

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{\omega_0}{\omega_1} = \tan^{-1} \frac{200}{20} = 84^\circ$$

$$\varphi_2 = \tan^{-1} \frac{\omega_0}{\omega_2} = \tan^{-1} \frac{200}{200} = 45^\circ$$

$$\varphi_3 = \tan^{-1} \frac{\omega_0}{\omega_3} = \tan^{-1} \frac{200}{2000} = 6^\circ$$

Per il margine di fase risulta:

$$m.d.f. = 180^\circ - 84^\circ - 45^\circ - 6^\circ = 45^\circ$$

Il sistema diventa stabile con un buon margine di fase.

I due diagrammi di Bode del modulo con il sistema privo di regolatore e con regolatore vengono mostrati in figura 10.

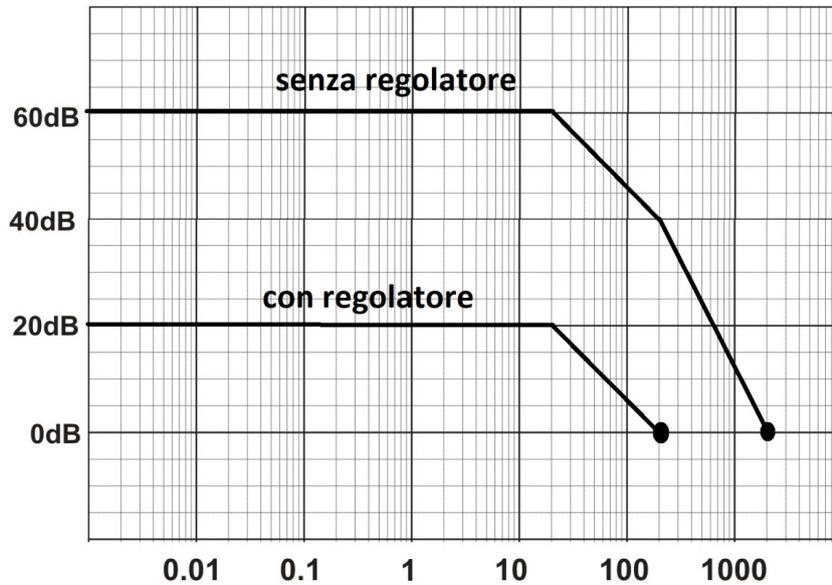


Figura 10

Quesito 4

Il segnale d'ingresso è un'onda quadra di periodo $T=100 \mu\text{s}$ e frequenza $f=1/T=10 \text{ kHz}$; l'ampiezza vale $V_i=5 V_{pp}$ con valor medio $V_m=5 V$.

Il segnale d'uscita è una sinusoida con la stessa frequenza ($f=10 \text{ kHz}$) dell'onda quadra in ingresso e con valor medio nullo; l'ampiezza vale $10 V_{pp}$.

Per ottenere il risultato richiesto si può utilizzare un circuito che:

- trasformi l'onda quadra in triangolare mediante un integratore;
- arrotondi i picchi con un circuito formatore di sinusoida a diodi;
- adatti il livello con un amplificatore.

Lo schema elettrico corrispondente viene rappresentato in Figura 11.

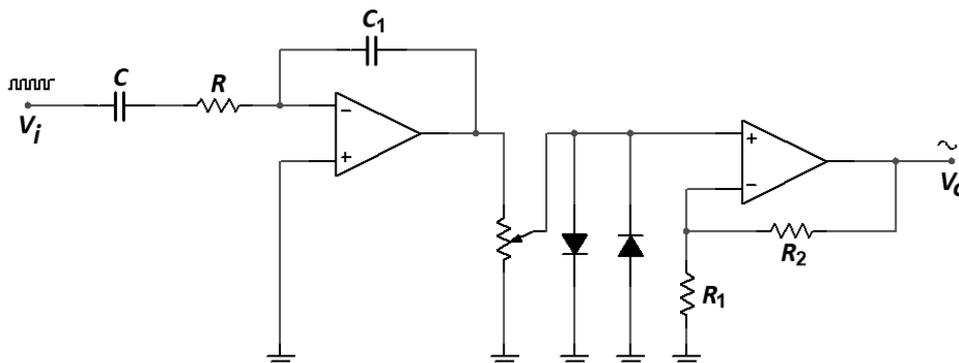


Figura 11

Il condensatore C_1 insieme al resistore R realizza un filtro passa-alto, eliminando la componente continua dell'onda quadra; con $R=1 \text{ k}\Omega$ e $C_1=1 \mu\text{F}$ la frequenza di taglio risulta pari a $15,9 \text{ Hz}$.

L'integratore invertente trasforma l'onda quadra in triangolare.

La formula dell'integratore invertente è

$$\Delta V_o = \frac{-\Delta V_i \cdot \Delta t}{RC}$$

dove $\Delta t=50 \mu\text{s}$ è il semiperiodo dell'onda quadra, $\Delta V_i=5 V$ l'ampiezza dell'onda quadra e ΔV_o (supposta pari a $4 V$) l'ampiezza dell'onda triangolare.

Scegliendo $R=1 \text{ k}\Omega$ si ricava $C=62 \text{ nF}$.

Mediante il potenziometro si regola l'ampiezza dell'onda triangolare in modo che superi di qualche decimo di volt la soglia dei diodi (circa 0,65 V); entrando in conduzione in corrispondenza dei picchi positivi e negativi, i diodi smussano i picchi dell'onda triangolare rendendola sinusoidale, di ampiezza di picco di circa 0,7 V. Per portare i picchi a ± 5 V, come richiesto, s'impiega un amplificatore non invertente con guadagno pari a

$$G = \frac{5}{0,7} = 7,1$$

e si dimensionano R_1 e R_2 in base alla formula seguente:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Scegliendo $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ si ricava $R_2 = 6,1 \text{ k}\Omega$.