



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

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

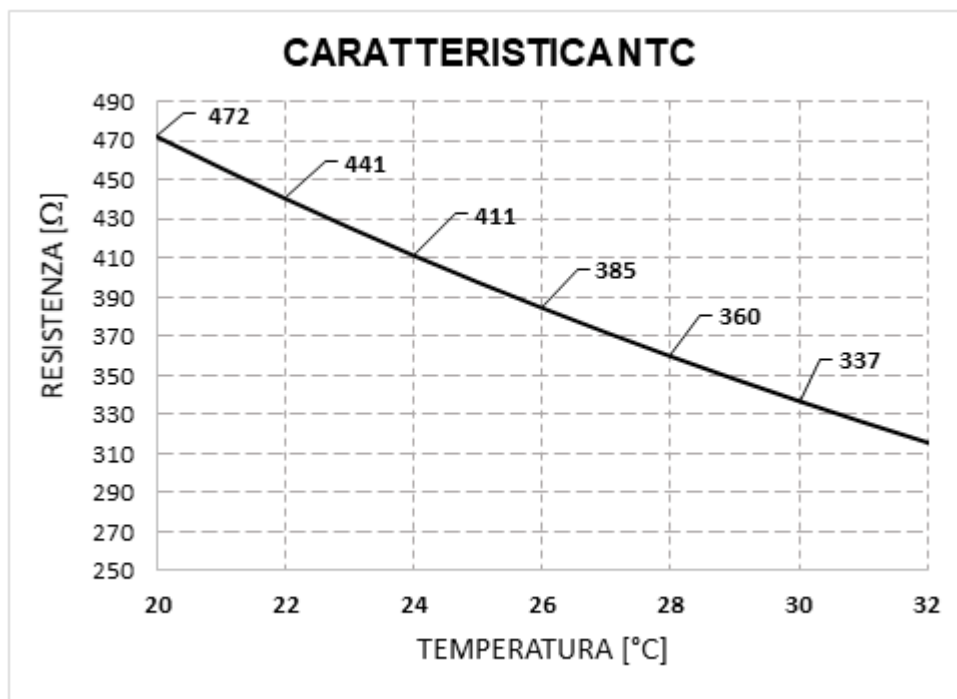
Un centro di fisioterapia è dotato di una vasca per la riabilitazione degli arti, finalizzata al recupero della capacità motoria, che si avvale anche della cromoterapia per un maggior comfort dei pazienti.

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;



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA
 ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA e SISTEMI AUTOMATICI

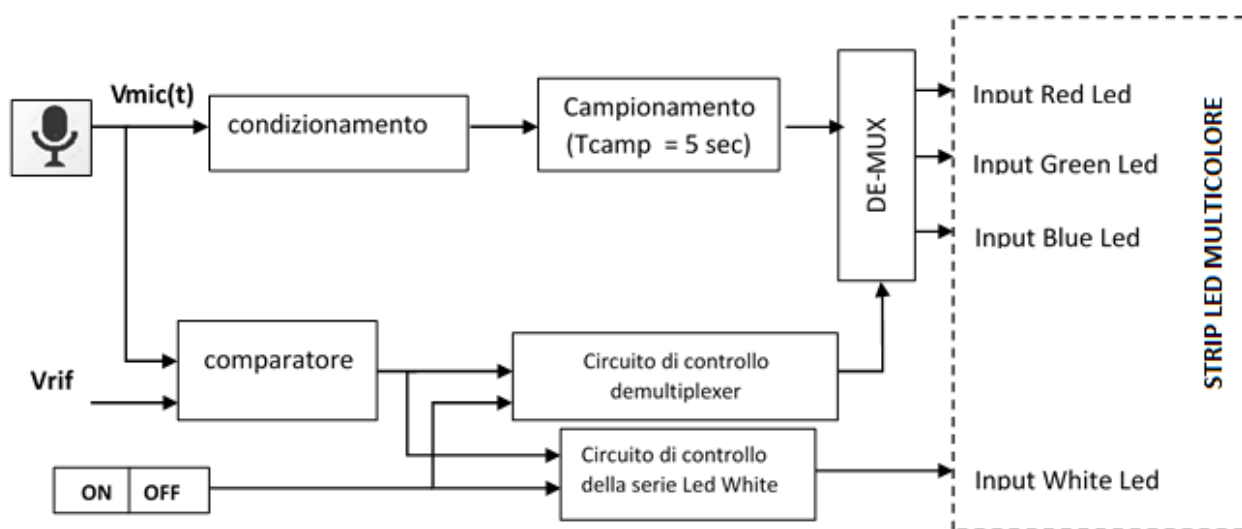
- un rilevatore di cloro libero che presenta in uscita una corrente direttamente proporzionale alla concentrazione \mathcal{C} secondo la relazione:

$$I_{OUT}(\mathcal{C}) = (20 \cdot \mathcal{C} - 10) \cdot 10^{-3} \quad [\text{A}]$$

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:





Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA

ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA e SISTEMI AUTOMATICI

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.



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA

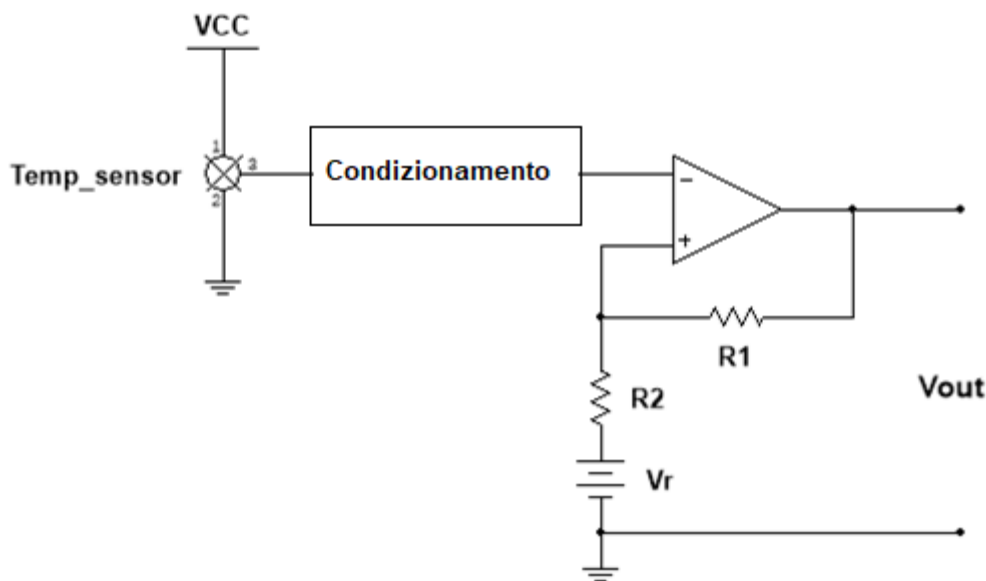
ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA e SISTEMI AUTOMATICI

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°C . Per attuare il controllo della temperatura che deve essere mantenuta costante con una variazione massima di $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 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:



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

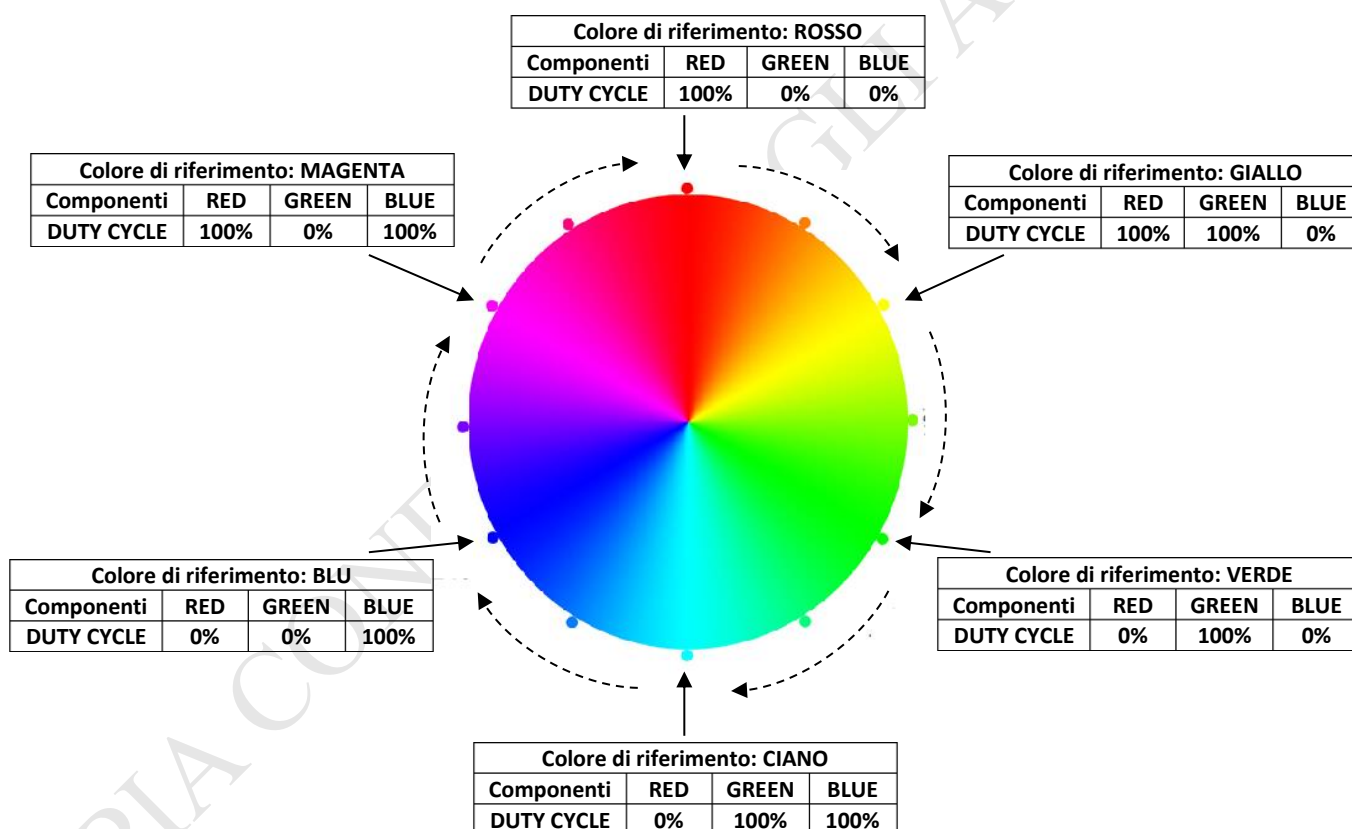
Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA

ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA e SISTEMI AUTOMATICI

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.



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA

ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA e SISTEMI AUTOMATICI

Quesito 3

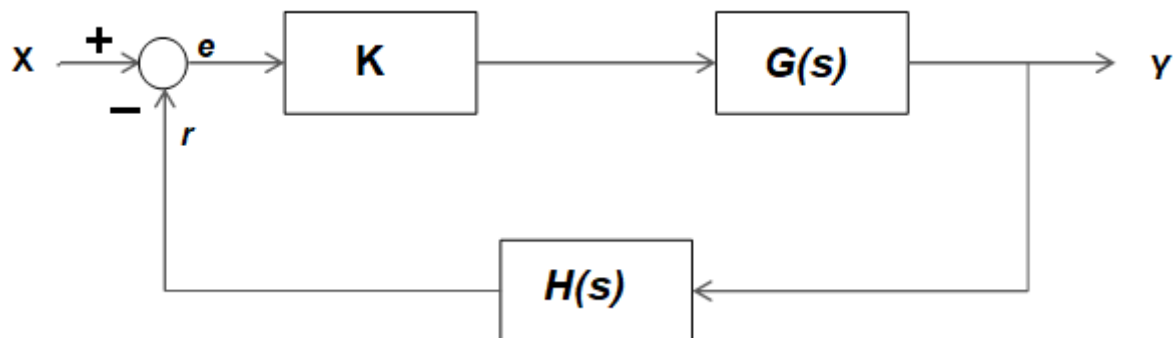
Nello schema di figura siano:

$$K = 2$$

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

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

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**.

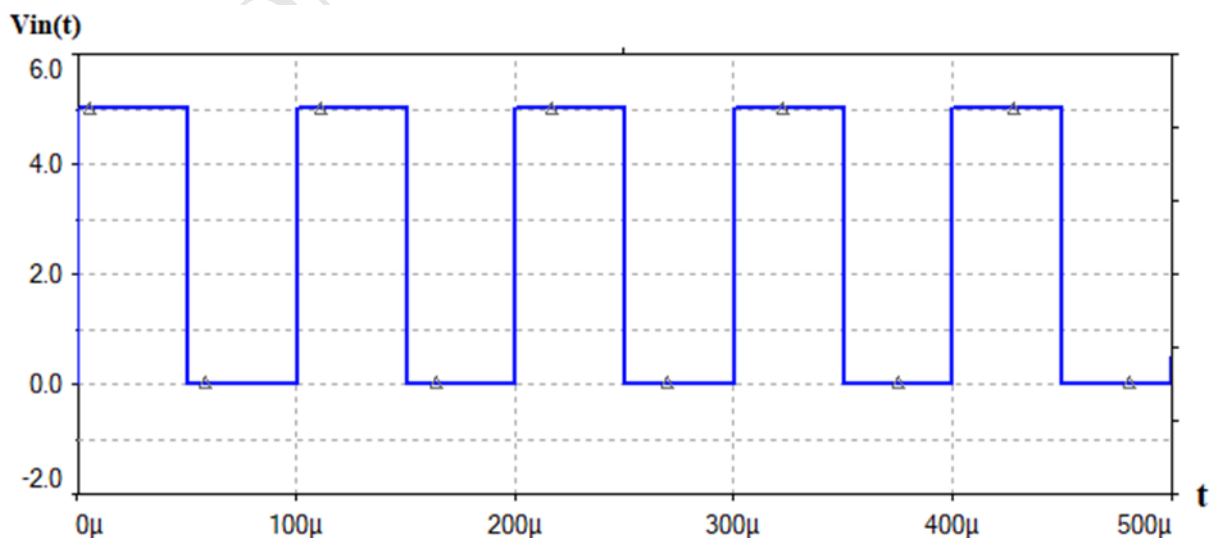


Figura A



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA

ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA e SISTEMI AUTOMATICI

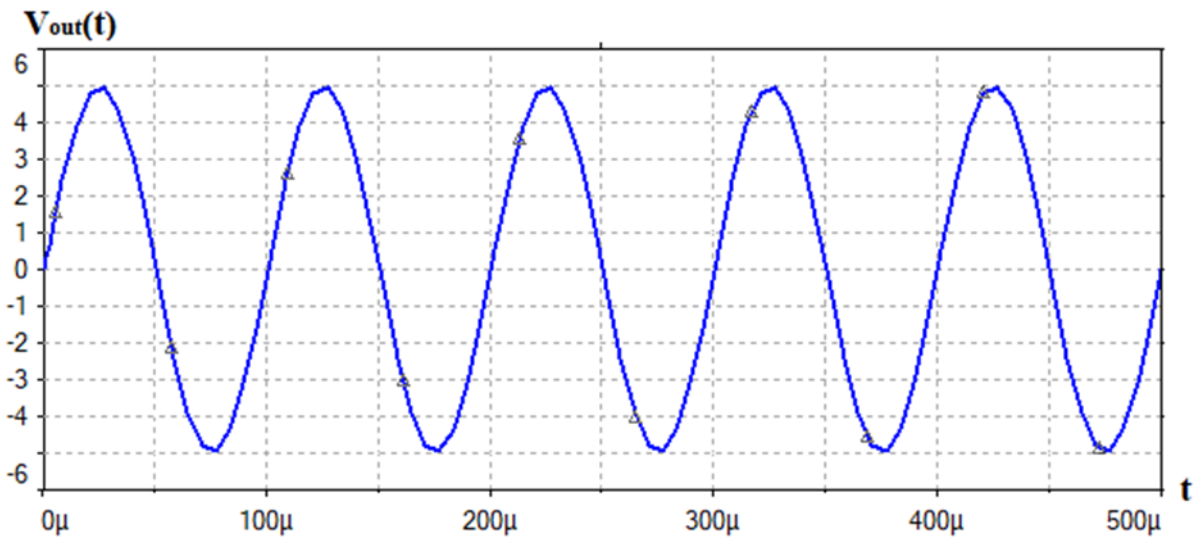


Figura B

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici scientifiche e/o grafiche purché non siano dotate di capacità di calcolo simbolico (O.M. n. 205 Art. 17 comma 9).

È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per i candidati di madrelingua non italiana.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla lettura del tema.

La prova è suddivisa in una prima parte, di tipo progettuale, e in una seconda parte articolata in quattro quesiti, fra i quali il candidato sceglie i due che intende svolgere. In linea con le due simulazioni di seconda prova che il MIUR ha reso disponibili negli scorsi mesi, la prima parte è centrata sulla programmazione di un microcontrollore che deve governare l'acquisizione di dati provenienti da diversi trasduttori e pilotare alcuni attuatori, nell'occasione rappresentati da luci colorate. Nessuna sorpresa, quindi, rispetto alle attese sui temi trattati e sulle competenze richieste; ma allineata alle precedenti simulazioni è anche la complessità della prova, il cui svolgimento completo e dettagliato richiede, a parere dei docenti, più tempo delle sei ore previste e un'esperienza di progettazione che non tutti i candidati possiedono. Può aver ingenerato confusione la presenza di una tabella (luminosità dei LED in funzione della tensione elettrica), inserita nella prima parte della prova, che però trova utilizzo soltanto nella seconda parte. Quest'ultima, come s'è detto, comprende quattro quesiti. Il primo non comporta difficoltà, poiché propone l'analisi di un circuito piuttosto noto (trigger di Schmitt), reperibile nei manuali scolastici. Ben più impegnativo è il secondo, quasi un progetto d'esame a sé stante, che richiede la realizzazione di un sistema elettronico a LED in grado di comporre, attraverso la somma dei tre colori primari, una luce avente una sfumatura di colore a scelta dell'operatore. Tradizionale e non difficile appare il terzo quesito: uno studio di stabilità in anello chiuso di un sistema dinamico di terz'ordine, da svolgere col criterio di Bode; non essendoci specifiche sull'errore a regime, l'eventuale rete correttiva può essere del semplice tipo proporzionale. Infine, l'ultimo quesito chiede la trasformazione di un'onda quadra in un'onda sinusoidale della stessa frequenza, cosa che si può ottenere con un filtraggio di tipo passa-basso, in grado di estrarre la prima armonica del segnale d'ingresso

PRIMA PARTE

PUNTO 1

Si tratta di definire le caratteristiche di un sistema di acquisizione dati e non di controllo. Il sistema presenta:

- quattro ingressi digitali, corrispondenti ai quattro bit $B_0..B_3$ forniti dal sensore di PH "S1";
- un ingresso analogico C relativo al sensore di concentrazione di cloro "S2";
- otto ingressi analogici T1..T8 ciascuno relativo a un sensore di temperatura ("ST1"... "ST8").

Le uscite del sistema, poiché non è prevista un'azione di controllo sulle variabili monitorate, si limitano a quelle necessarie a pilotare il sistema di visualizzazione. Lo schema a blocchi proposto è quello sotto riportato.

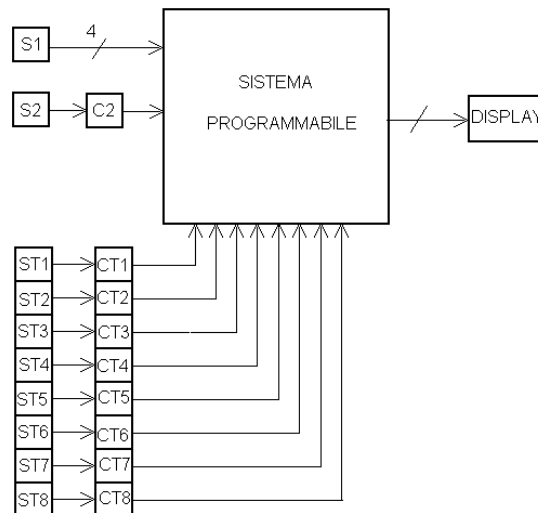


Figura 1

Come sistema programmabile si sceglie un microcontrollore della famiglia Arduino, anche in considerazione della facilità con cui esso consente il pilotaggio di un display. Si ritiene, infatti, che sia sufficiente un singolo display, sul quale, a turno, si possono visualizzare le tre grandezze fisiche monitorate. Il numero di linee di ingresso/uscita rende la versione Arduino UNO inadeguata al progetto; si potrà scegliere una scheda Arduino MEGA.

PUNTO 2

A parte i bit forniti dal sensore di PH, che possono essere acquisiti direttamente da Arduino tramite quattro dei suoi pin digitali, gli altri segnali, di natura analogica, per poter essere acquisiti correttamente dovranno essere convertiti in segnali di tensione variabili nell'intervallo $0 \div 5$ V.

Per il sensore di concentrazione di cloro, che ha un'uscita in corrente, si sceglie di far corrispondere i valori di concentrazione ai valori di tensione riassunti nella seguente Tabella 1.

C [mg/l]	I_o [mA]	V_{oc} [V]
0.5	0	0
0.8	6	1.5
1.3	16	4
1.5	20	5

Tabella 1

Nel costruire la tabella si è ritenuto che il sensore e il relativo circuito di condizionamento debbano funzionare anche leggermente fuori dell'intervallo di riferimento 0.8 mg/l ÷ 1.3 mg/l. Con la scelta qui proposta, non occorre eliminare alcun offset. Le relazioni matematiche fra le grandezze in gioco risultano

$$20 \cdot C [\text{mg/l}] = 10 + 1000 \cdot I_o [\text{A}] \quad (1)$$

$$V_{oc} [\text{V}] = 250 \cdot I_o [\text{A}] \quad (2)$$

$$C [\text{mg/l}] = \frac{V_{oc} [\text{V}]}{5} + 0,5 \quad (3)$$

La (1) esprime la relazione ingresso/uscita del sensore fornita dalla traccia. La (2) è la relazione ingresso/uscita del convertitore corrente/tensione da progettare, con le scelte dei valori in tabella. La (3) rappresenta l'operazione che dovrà svolgere il sistema di monitoraggio per ricavare la concentrazione di cloro dalla tensione acquisita.

Realizzare il convertitore I/V con un solo stadio pone difficoltà per il valore relativamente basso (250 Ω) della resistenza di reazione per l'amplificatore operazionale. Si sceglie pertanto uno schema a doppio stadio, che ha pure il vantaggio (nell'ipotesi che la corrente del sensore sia entrante nel circuito) di eliminare il segno negativo sulla tensione d'uscita.

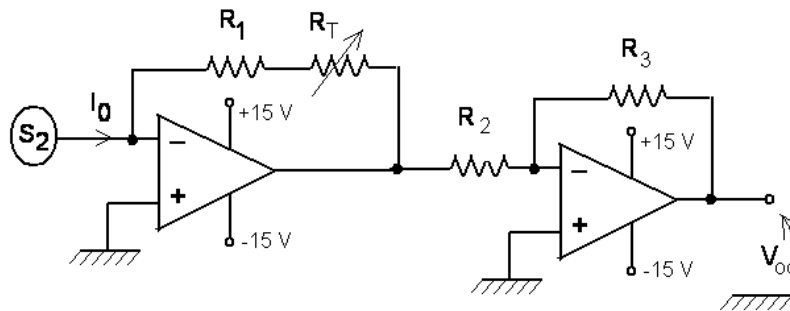


Figura 2

Si può usare un amplificatore operazionale doppio, ad esempio un 747C. Dalla relazione di progetto

$$V_{oc} = \frac{R_3}{R_2} \cdot (R + R_T) \cdot I_o \quad (4)$$

Si ricava un possibile dimensionamento: $R_1 = 820 \Omega$, $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$. Per R_T si può usare un trimmer da 500 Ω. Si può verificare che in nessun resistore la potenza dissipata, con la massima corrente prevista di 20 mA, raggiunge mezzo W.

Gli otto sensori di temperatura sono connessi ad altrettanti circuiti di condizionamento, tutti uguali fra loro. La necessità di un condizionamento del segnale nasce dal fatto che, in un NTC, la variazione di temperatura produce una variazione di resistenza, che deve essere tradotta in una variazione di tensione. La soluzione più consolidata prevede di inserire il sensore NTC in un circuito a ponte.

Supponiamo di assumere come valore di riferimento, per la resistenza del termistore NTC, quello corrispondente alla temperatura di 24 °C. La ridotta sensibilità dei ponti resistivi, problema che non riguarda soltanto gli NTC, richiede uno stadio di amplificazione, perciò si propone un circuito a doppio stadio (Figura 3).

Infatti, è normale che le variazioni di tensione fornite da un ponte resistivo siano dell'ordine delle centinaia di mV.

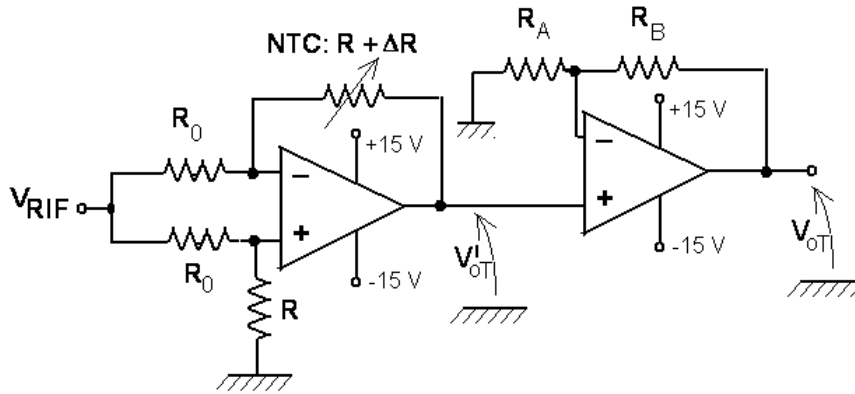


Figura 3

Qui, si sceglie di far variare la tensione in uscita dal ponte fra 0 e 500 mV, prendendo spunto da alcuni esempi di dimensionamento reperibili in testi e manuali scolastici, e fra 0 e 4 V la tensione in uscita dal circuito di condizionamento. Ne deriva la tabella di funzionamento sotto riportata.

$T [^{\circ}C]$	$\Delta R [\Omega]$	$V'_{OT} [mV]$	$V_{OT} [V]$
24	0	0	0
26	-26	250	2
28	-51	500	4

Tabella 2

I valori di ΔR sono ricavati dal grafico della traccia ministeriale. La non linearità della caratteristica del termistore non costituisce un problema, visto che l'intervallo di valori d'interesse è assai breve. Scegliendo una tensione V_{RIF} di 15 V, si ricava il seguente possibile dimensionamento: $R = 411 \Omega$ (* 390 Ω + trimmer da 100 Ω), $R_0 = 1119 \Omega$ (* 680 Ω + trimmer da 500 Ω), $R_A = 10 \text{ k}\Omega$, $R_B = 70 \text{ k}\Omega$ (*68 $\text{k}\Omega$ + trimmer).

La visualizzazione può avvenire con uno schermo LCD pilotato dal microcontrollore Arduino, mediante le funzioni dell'apposita libreria "LiquidCrystal.h". Sullo schermo, ciclicamente e in sequenza, si mostreranno il grado di acidità PH, la percentuale di cloro libero e la differenza tra le medie delle temperature rilevate dai sensori posti sulle due diverse quote. È sufficiente un piccolo schermo articolato in due righe da 16 colonne ciascuna, sul quale il microcontrollore farà comparire messaggi nella forma sotto esemplificata.

P	H	=	X	.	X										

C	L	O	R	O	=	X	.	X	M	G	/	I			

D	E	L	T	A	T	=	X	.	X	°					

PUNTO 3

L'algoritmo si intende inserito in un ciclo ripetuto indefinitamente, come è consueto per i programmi eseguiti dal microcontrollore Arduino o da un PLC. La lentezza della variazione nel tempo delle grandezze fisiche monitorate fa sì che la frequenza di campionamento non sia un parametro

critico. Si sceglie di rappresentare l'algoritmo di gestione, di cui la traccia non richiede la codifica in uno specifico linguaggio di programmazione, con la simbologia grafica dei *flowchart* (diagramma di flusso).

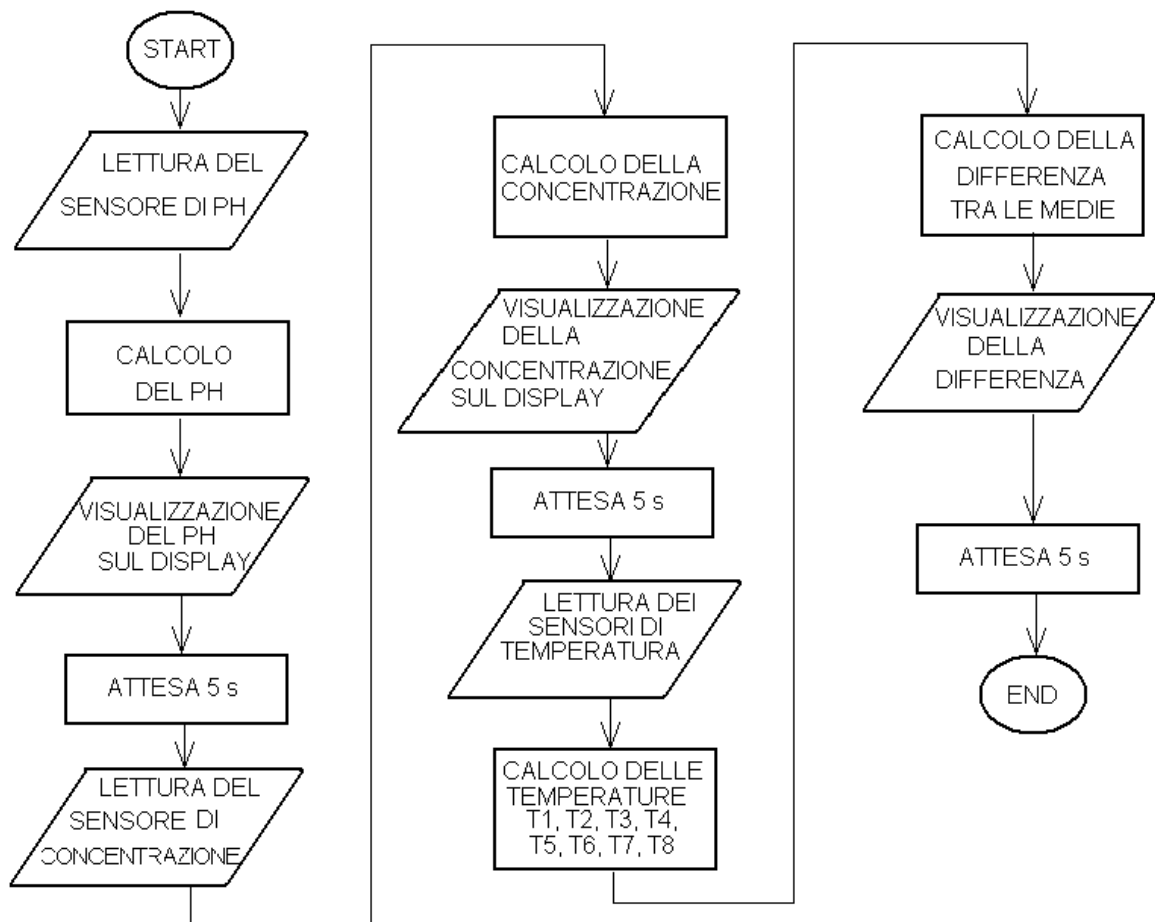


Figura 4

Il calcolo del PH si esegue con una conversione dal sistema di numerazione binario a quello decimale e con l'introduzione di un fattore di scala. Al fattore PH = 6 corrisponde la sequenza di bit 0000 (valore decimale 0), al fattore PH = 9 corrisponde la sequenza 1111 (valore decimale 15) e ad ogni numero naturale compreso fra 0 e 15 corrisponderà un valore intermedio del PH fra 6 e 9, a passi di 0.2.

Il calcolo della concentrazione di cloro si esegue con la formula (3). Infine, il calcolo di ogni temperatura si esegue con l'equazione della caratteristica ingresso/uscita del relativo trasduttore, completo del circuito di condizionamento, ricavabile dalla Tabella 2.

PUNTO 4

La linea White Led deve essere attivata quando l'interruttore azionato dall'operatore è in posizione ON e l'uscita del comparatore è a livello basso. Supponendo che, in posizione ON, l'interruttore fornisca in uscita una tensione di 5 V e che l'uscita del comparatore assuma il valore di zero o di 5 V, il circuito di controllo richiesto può essere composto da una parte logica, realizzabile con porte logiche integrate 7404 – 7408, e da un'interfaccia verso il circuito d'uscita. Di quest'ultimo, il testo non indica i parametri elettrici necessari al dimensionamento, essenzialmente la corrente o la potenza assorbita dal complesso del LED. In ogni caso, essendo necessaria, in uscita dal circuito

logico, un'amplificazione di potenza, l'interfaccia sarà costituita da un transistor, in configurazione "driver", oppure da un circuito a relè.

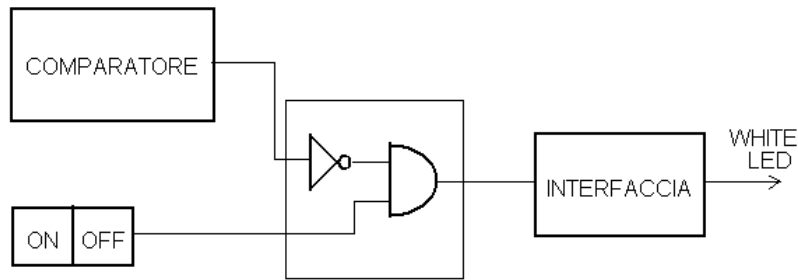


Figura 5

Il demultiplexer cui si fa riferimento nella traccia deve essere di tipo analogico (ADEMUX), come quelli utilizzati nei sistemi di distribuzione dati. Il relativo circuito di controllo, quando l'interruttore è in posizione ON e l'uscita del già citato comparatore è a livello alto, deve generare ciclicamente la sequenza di bit che, applicata agli ingressi di selezione dell'ADEMUX, determina il trasferimento del segnale d'ingresso a una delle tre linee d'uscita.

Rivolgendosi agli integrati commerciali, si può suggerire a titolo d'esempio il 74HC4051D, un circuito con 8 linee di dato (di ingresso o di uscita), un ingresso di ENABLE attivo a livello basso (utile per il collegamento col comparatore) e 3 ingressi di selezione S_0 , S_1 e S_2 . Si tratta di un integrato in grado di gestire segnali analogici variabili fra -5 e $+5$ V e di funzionare sia come multiplexer sia come demultiplexer.

Per l'applicazione in oggetto, poiché si utilizzeranno soltanto tre delle otto linee di dato, il blocco di controllo dell'ADEMUX dovrà generare ciclicamente la sequenza di bit

S_2	S_1	S_0
0	0	0
0	0	1
0	1	0

Riguardo alla temporizzazione richiesta, si tratta di generare due onde periodiche S_1 e S_0 come in Figura 6.

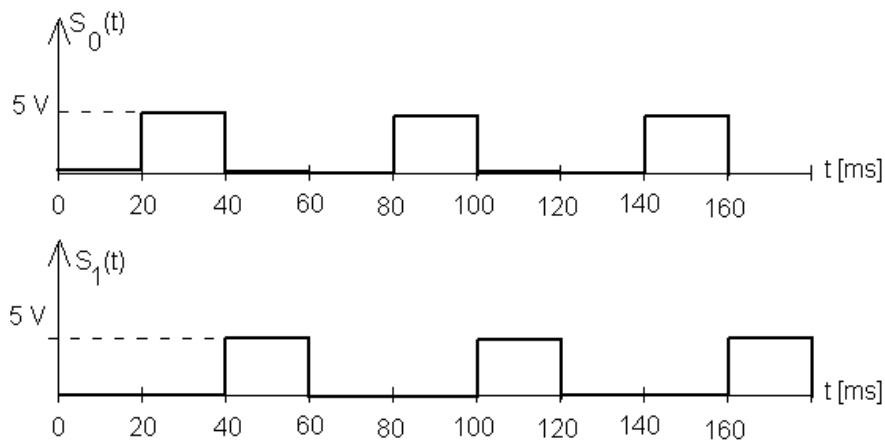


Figura 6

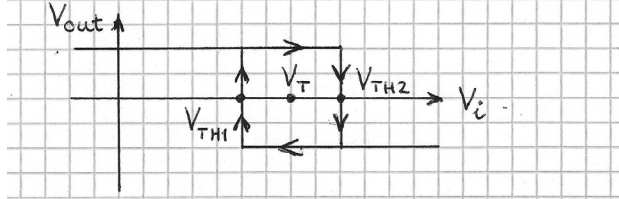
L'ingresso S_2 sarà invece collegato a massa (GND). Il periodo di entrambe le onde è pari a 1 minuto.

SECONDA PARTE

QUESITO 1

Il circuito proposto è un comparatore a isteresi, realizzato come trigger di Schmitt invertente. Esso è impiegato principalmente per evitare fluttuazioni indesiderate, fra i valori V_{sat} e $-V_{sat}$ dell'uscita di un amplificatore operazionale, usato come comparatore, quando l'ingresso oscilla attorno alla soglia di riferimento. Nel progetto qui considerato, il segnale d'ingresso V_i è fornito dal sensore di temperatura col relativo circuito di condizionamento e il riferimento è $27\text{ }^\circ\text{C}$.

Il funzionamento del trigger di Schmitt è definito da due tensioni di soglia, espresse dalle relazioni (6) e (7).

$$V_{TH1} = \frac{-V_{sat} \cdot R_2 + V_r \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad (6)$$
$$V_{TH2} = \frac{V_{sat} \cdot R_2 + V_r \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad (7)$$
$$V_T = V_r \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (8)$$


La tensione costante V_r , in genere ottenuta da un generatore di tensione di riferimento, determina, come si vede dalle formule, i valori delle tensioni di soglia e, sostanzialmente, trasla attorno al valore V_T , dato dalla formula (8), la caratteristica ingresso/uscita del circuito qui rappresentata, dalla tipica conformazione a isteresi.

QUESITO 2

L'alternativa *software* al sistema di pilotaggio dei quattro canali della *strip* Red – Green – Blue – White può venire da un secondo microcontrollore Arduino, distinto da quello qui proposto per il monitoraggio delle grandezze fisiche, scelta motivata dalla semplicità con cui si controlla, da programma, questo dispositivo per generare segnali di tensione di tipo PWM.

La transizione di ogni componente cromatica, o colore fondamentale, deve avvenire dallo 0% al 100% in 30 s; in questo intervallo di tempo, i gradini di variazione dell'intensità cromatica debbono essere almeno 64. Fissando il numero dei gradini di variazione a 100, si ottiene per ogni combinazione dei colori primari R – G – B una durata di 300 ms.

L'intensità luminosa dei LED bianchi, invece, viene aggiornata con la stessa dinamica in base al segnale microfonico, che viene campionato ogni 5 s.

Nella programmazione di Arduino, la generazione di un segnale di tipo PWM avviene con l'istruzione

```
analogWrite (pin, value);
```

nella quale "pin" è il numero del piedino selezionato per l'uscita e "value" è un parametro compreso fra 0 e 255. Al valore zero corrisponde una tensione d'uscita avente valor medio nullo e a 255 una tensione avente valor medio 5 V. Ai valori di tensione richiesti per il funzionamento dei LED colorati corrispondono i valori del parametro "value" indicati nel prospetto seguente:

2.4 V → 122
 3.4 V → 173.

Il ridotto numero di linee di ingresso e uscita da gestire consente di scegliere la versione UNO del popolare microcontrollore, che dispone di 6 pin digitali in grado di funzionare in modalità PWM (3, 5, 6, 9, 10 e 11).

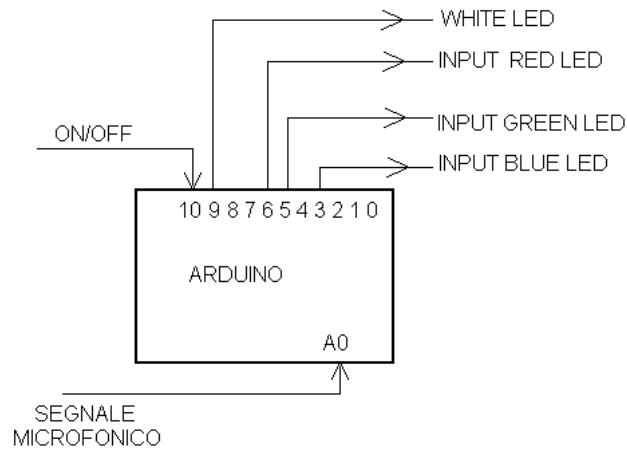
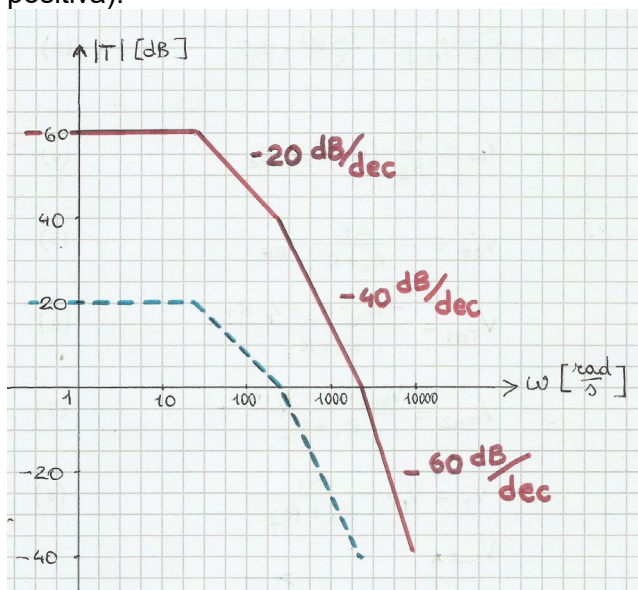


Figura 7

Nel determinare i parametri che definiscono il *duty cycle* dei diversi segnali PWM, associati ai vari colori, il programma esegue in sostanza una conversione di scala.

QUESITO 3

Tracciato il diagramma logaritmico del modulo della funzione di trasferimento in anello aperto $T(s) = K \cdot H(s) \cdot G(s)$, indicata col tratto rosso nella Figura 8, dal criterio di Bode si deduce l'instabilità del sistema in anello chiuso. Le condizioni di applicabilità del criterio sono rispettate, in quanto la funzione di trasferimento proposta è del tipo "a fase minima" (nessun polo o zero con parte reale positiva).



$$T(s) = \frac{(1+0'02s)(1+0'002s)(1+0'0002s)}{1000}$$

Figura 8

Non sussistendo specifiche sulla precisione del controllo automatico, la quale, attraverso l'espressione dell'errore a regime, si traduce in un vincolo sul guadagno statico, si può proporre una rete correttiva di tipo proporzionale al fine di ridurre il guadagno stesso. Introducendo un'attenuazione di 40 dB, si ottiene il diagramma indicato a tratteggio azzurro nella Figura 8, a cui corrisponde un comportamento stabile in anello chiuso con un margine di fase ottimale. Un'attenuazione di 40 dB si ottiene con una riduzione da 1000 a 10 del guadagno statico.

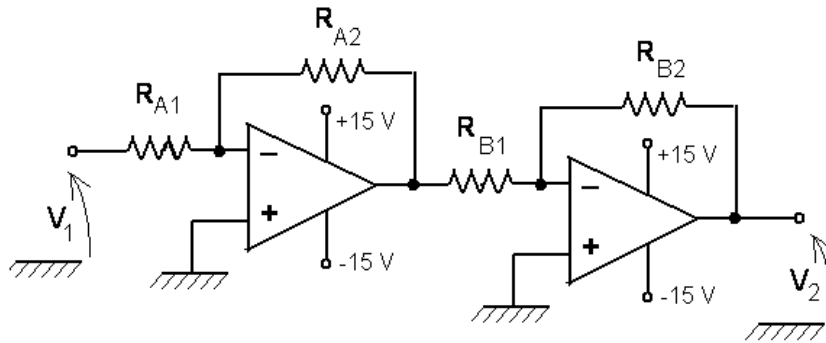


Figura 9

Nell'ipotesi che i segnali del sistema in esame, almeno per la parte del nodo di confronto e del regolatore, siano di tipo elettrico e che il relativo livello di potenza permetta l'uso di amplificatori operazionali, si propone la rete correttiva indicata in Figura 9. Per ottenere un'attenuazione pari a 40 dB si potranno scegliere $R_{A1} = R_{B1} = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{A2} = R_{B2} = 1 \text{ k}\Omega$.

QUESITO 4

Poiché le due onde $v_{in}(t)$ e $v_{out}(t)$ debbono essere in fase tra loro, non è possibile utilizzare un oscillatore sinusoidale. Conviene ricorrere a un filtraggio di tipo passa-banda, dopo aver eliminato la componente continua, pari a 2.5 V, del segnale d'ingresso, con un traslatore di livello.

Un passa-banda a banda stretta, cioè con elevata selettività, richiederebbe più celle filtranti in cascata, in modo da realizzare una funzione di trasferimento di ordine abbastanza elevato. Qui, per brevità, si mostrerà soltanto il dimensionamento di una cella filtrante del secondo ordine. Lo schema di riferimento è riportato nella Figura 10.

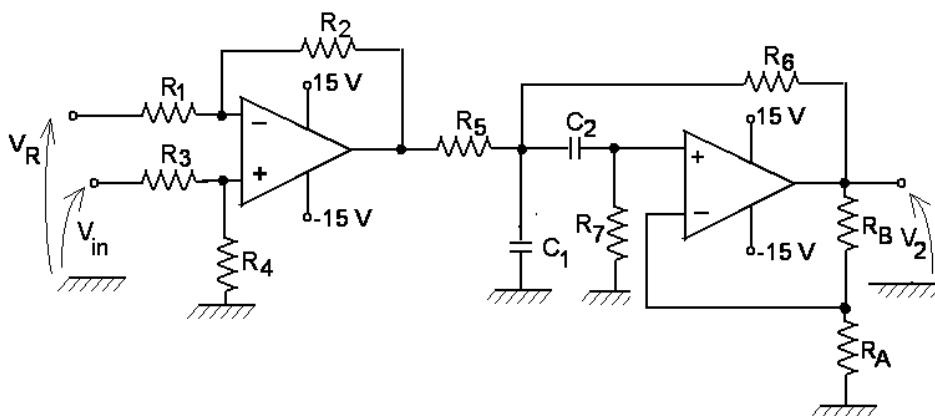


Figura 10

Si tratta di un filtro VCVS preceduto da un amplificatore differenziale. Quest'ultimo è impiegato per sottrarre dall'onda quadra V_{in} unipolare, indicata nella traccia ministeriale come variabile fra 0 e 5 V, la componente continua pari a 2.5 V.

La relazione che lega l'uscita v'_o dell'amplificatore differenziale ai due ingressi è espressa dalla formula (9):

$$V_o' = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{in} - \frac{R_2}{R_1} V_R \quad (9)$$

Supponendo di disporre di una tensione continua $V_R = 5$ V, si perviene al dimensionamento del circuito: $R_1 = R_4 = 20$ k Ω (* serie 10 k Ω + 10 k Ω), $R_2 = R_3 = 10$ k Ω .

Il dimensionamento del filtro è un po' più complesso. Per ridurre i calcoli, si può scegliere, come è suggerito da testi e manuali scolastici, la soluzione "a componenti uguali", che ha il vantaggio di poter porre $R_5 = R_6 = R_7 = R$ e $C_1 = C_2 = C$, con l'inconveniente di non poter fissare liberamente il guadagno a centro banda A_0 e il fattore di merito Q , nel senso che fissato uno di questi due parametri resta determinato l'altro e viceversa. Questa limitazione, nel presente progetto, è però accettabile.

Le formule di progetto si ricavano dai manuali:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{\sqrt{2}}{RC} \quad (10)$$

$$A_0 = \frac{K}{4 - K} \quad (11)$$

$$K = 1 + \frac{R_B}{R_A} \quad (12)$$

La frequenza di centro banda f_0 va fatta coincidere con quella dell'onda sinusoidale che si desidera ottenere, cioè 10 kHz (nella traccia è indicato il periodo $T = 100$ μ s, da cui si ricava $f_0 = 1/T$). Da questo valore si ottiene subito ω_0 , la pulsazione corrispondente, 62832 rad/s, e dalla relazione (10) si possono dedurre i valori di R e C . In realtà, la formula indica il valore del prodotto $R \cdot C$; considerando che la scelta del condensatore pone qualche vincolo (il funzionamento in regime sinusoidale non consente l'impiego di condensatori polarizzati, perciò C dovrà essere inferiore al μ F) conviene fissare C e ricavare R . Ad esempio, con $C = 10$ nF, si trova $R = 2250$ Ω (* 2.2 k Ω).

Alla frequenza di centro banda è necessario che il filtro abbia un'amplificazione pari a 2, che è il rapporto fra l'ampiezza dell'onda sinusoidale richiesta, 5 V, e quella dell'ingresso a onda quadra, 2.5 V. La formula del guadagno a centro banda A_0 è la (11), dalla quale si ricava $K = 8/3$.

Dalla formula (12) si ricava infine il rapporto R_B/R_A , che deve risultare 5/3. Fissando $R_A = 27$ k Ω , si ricava $R_B = 45000$ Ω (* serie 27 k Ω + 18 k Ω).

Un'ultima osservazione: i manuali forniscono l'espressione del guadagno A_0 in funzione del fattore di merito Q , il quale è un indice della selettività del filtro. Infatti, tradizionalmente il progetto di un filtro passa-banda si imposta a partire da questo fattore. Ma, trattandosi di una procedura che non è più comunemente svolta nei programmi scolastici, qui si è preferito un approccio più semplice, basato sulla relazione diretta fra il guadagno del filtro e le resistenze R_A e R_B .