



## ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTROTECHNICA ED ELETTRONICA  
ARTICOLAZIONE ELETTRONICA  
Tema di: ELETTROTECHNICA ED ELETTRONICA  
e SISTEMI AUTOMATICI 2019  
(sessione ordinaria)

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

### PRIMA PARTE

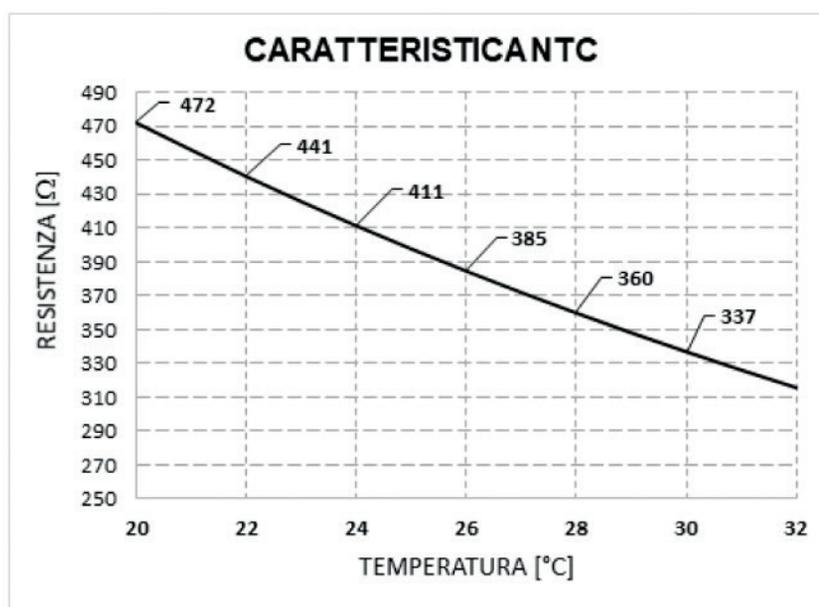
Un centro di fisioterapia è dotato di una vasca per la riabilitazione degli arti, finalizzata al recupero della capacità motoria, che si avvale anche della cromoterapia per un maggior comfort dei pazienti.

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 della seguente figura.



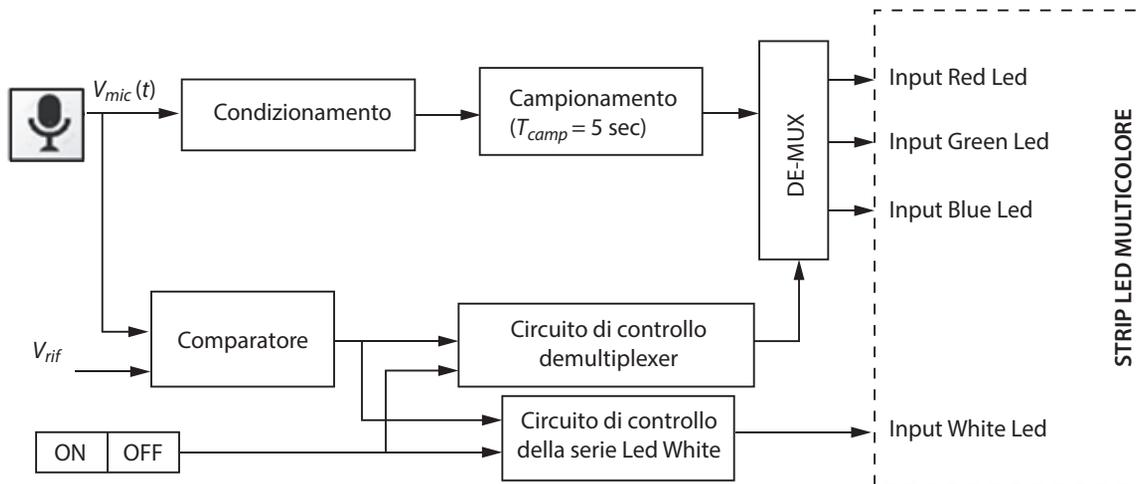
- un PH-metro con uscita digitale a 4 bit con capacità di rilevazione di valori compresi tra 6 e 9 e con precisione pari a 0,2. Al valore PH = 6 corrisponde la combinazione 0000 e le combinazioni successive sono ordinate secondo il codice binario naturale;
- un rilevatore di cloro libero che presenta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

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

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 a 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 a intervalli di 5 secondi, viene inviata al demultiplexer;
- il demultiplexer seleziona il singolo canale corrispondente alla serie colorata di led a 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	
GREEN	40-120	1,8-3,4
BLUE	15-60	
WHITE	60	2,4

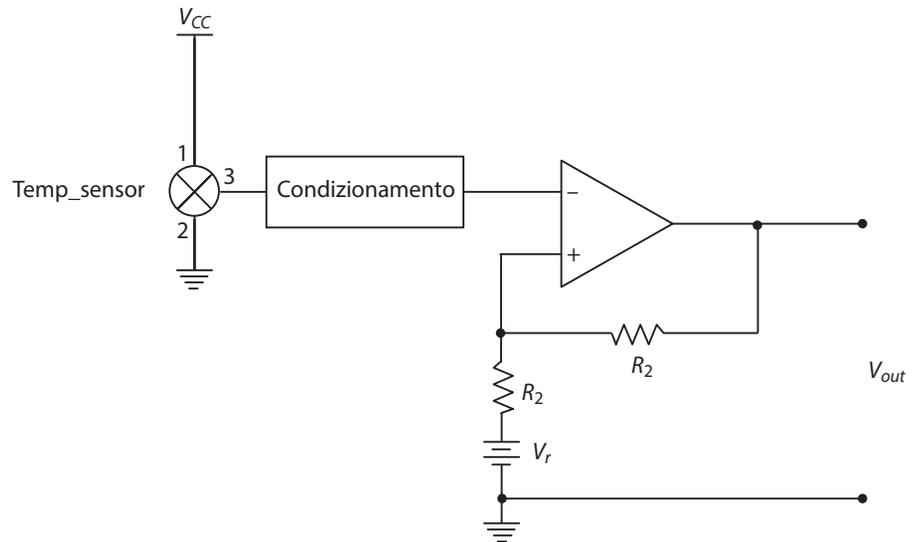
Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene opportune, deve:

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 a un valore medio di 27 °C. Per attuare il controllo della temperatura che deve essere mantenuta costante con una variazione massima di ±1°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  $V_r$ .

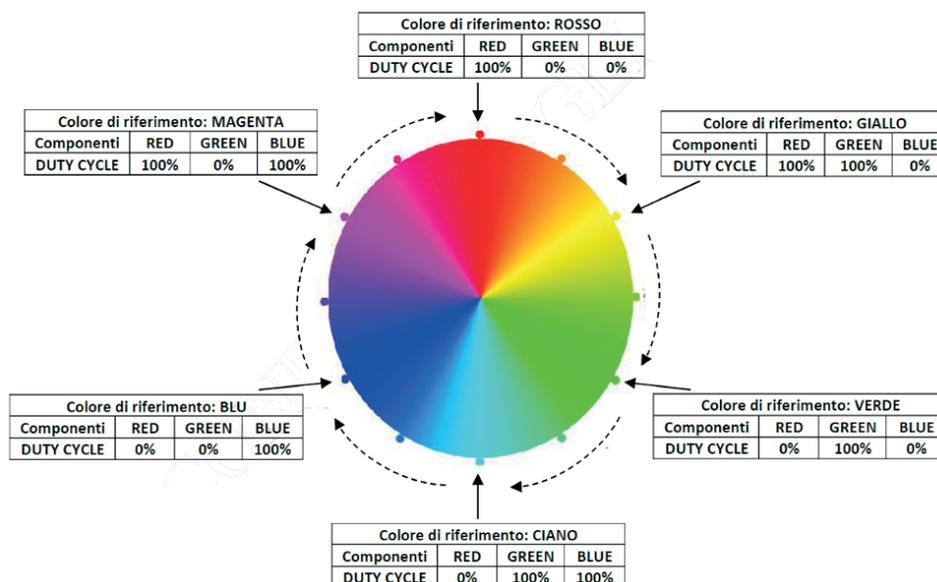


**Quesito 2**

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 a 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.

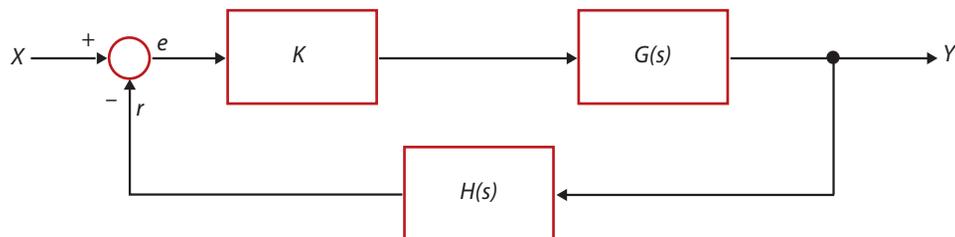
### Quesito 3

Nello schema di figura siano:

$$K = 2$$

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

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



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**.

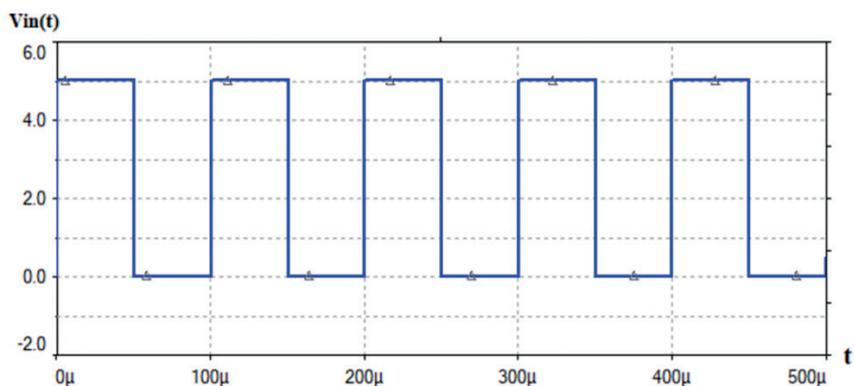


Figura A

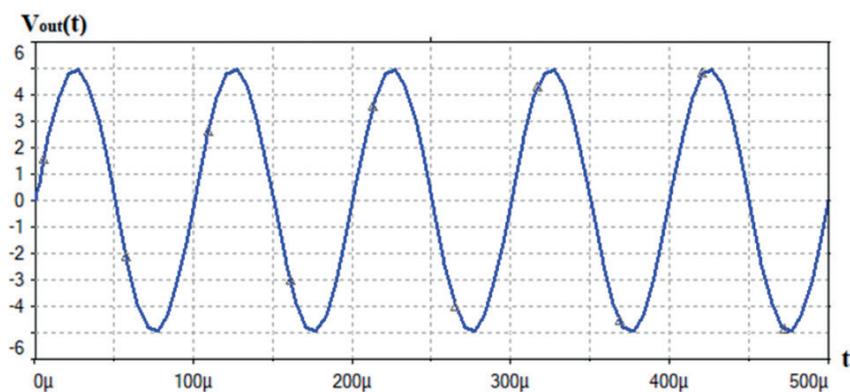


Figura B

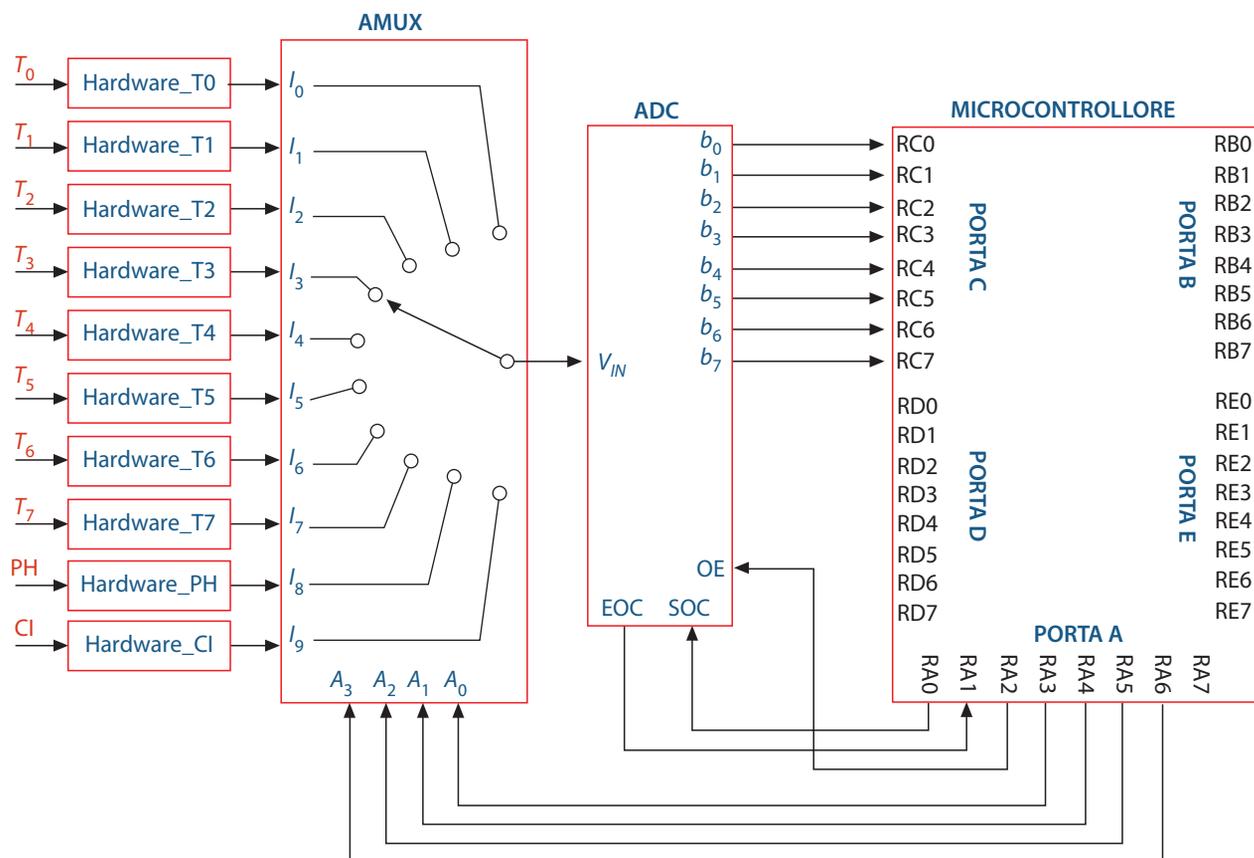
## SOLUZIONE PRIMA PARTE

**Quesito 1** – Il candidato fornisca uno schema del sistema di rilevazione e visualizzazione delle caratteristiche sanitarie dell'acqua utilizzando un microcontrollore o altro sistema programmabile di sua conoscenza.

Lo schema è la classica struttura costituita da un multiplexer analogico, da un convertitore ADC a 8 bit e un microcontrollore.

- Il MUX ha 10 ingressi per la selezione degli otto segnali  $T_0 \div T_7$  provenienti dai sensori NTC, del dato PH del PH-metro e del dato CI del rilevatore di cloro. Gli ingressi di selezione sono quattro, per la selezione degli ingressi dallo zero ( $0000_2$ ) al 10 ( $1010_2$ ). Con la dicitura Hardware è stato rappresentato in un singolo blocco il complesso dei blocchi fisici Sensore → Convertitore R-V → Condizionatore.
- Il blocco ADC ha un solo ingresso e otto uscite di conversione del segnale analogico sul byte digitale.
- Il blocco microcontrollore gestisce l'ADC con i segnali SOC, EOC e OE della portaA. Sempre dalla portaA escono i segnali di selezione  $A_3A_2A_1A_0$ . La portaC assolve al compito di acquisire i dati  $b_7 \div b_0$  provenienti dall'ADC.

Il microcontrollore inoltre si occupa della visualizzazione, che può avvenire o per mezzo di un set di display a sette segmenti, oppure comandando un display LCD.



**Quesito 2** – Dimensionare le interfacce necessarie all'adattamento dei segnali provenienti dai sensori e descrivere una possibile modalità di visualizzazione dei dati acquisiti.

I dispositivi di rilevazione ovvero NTC, PH-metro e rilevatore di cloro devono essere condizionati a fornire un range fisso di tensione  $0 \div 5$  adatto all'ADC posto a valle.

### • Adattatore temperatura

Dal grafico *Caratteristica NTC* si leggono i seguenti valori resistivi:

$$T_{MIN} = 26^\circ \rightarrow R(T_{MIN}) = 385 \Omega$$

$$T_{MAX} = 28^\circ \rightarrow R(T_{MAX}) = 360 \Omega$$

Per convertire questi intervalli di temperatura in tensioni si impiega un convertitore resistenza-tensione con operazionale. L'operazionale, in configurazione non invertente, applica questa corrispondenza lineare tra valore della resistenza e uscita:

$$V = \left(1 + \frac{R(T)}{R}\right) \cdot 5$$

Ponendo  $R = R(T_{MIN}) = 385\Omega$  risulta:

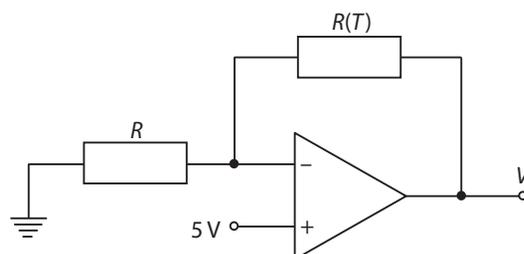
$$\text{per } T = T_{MIN} \rightarrow V_{MAX} = \left(1 + \frac{385}{385}\right) \cdot 5 = 10 \text{ V}$$

$$\text{per } T = T_{MAX} \rightarrow V_{MIN} = \left(1 + \frac{360}{385}\right) \cdot 5 = 9,67 \text{ V}$$

Deve invece essere:

$$\text{per } T = T_{MIN} \rightarrow V_{MIN} = 0 \text{ V}$$

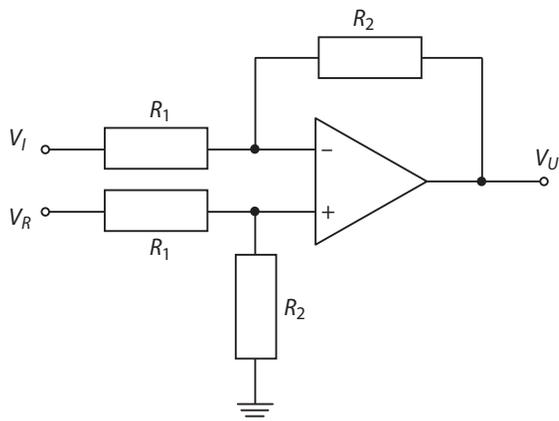
$$\text{per } T = T_{MAX} \rightarrow V_{MAX} = 5 \text{ V}$$



Per adattare l'intervallo discendente  $10 \div 9,67$  all'intervallo ascendente  $0 \div 5 \text{ V}$  si adotta un amplificatore differenziale ad azione opposta rispetto al caso normale.

Il circuito è il seguente: si noti appunto che l'ingresso  $V_I$  fa capo al morsetto meno e la tensione di riferimento  $V_R$  al morsetto più, all'opposto rispetto alla normalità.

Si riporta anche la formula e la dimostrazione. Si lascia al lettore il calcolo delle resistenze  $R_1$  e  $R_2$ .



$$V_U = V_I \cdot \frac{R_2}{R_1} + V_R \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$V_U = -(V_I - V_R) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

#### • Adattatore cloro

Il rilevatore di cloro libero presenta in uscita una corrente direttamente proporzionale alla concentrazione  $C$  secondo la relazione:

$$I_{OUT}(C) = (20 \cdot C - 10) \cdot 10^{-3} [\text{A}] \quad 0,8 < C < 1,3 [\text{mg/l}]$$

Lo schema del blocco di condizionamento visualizzato è composto da un convertitore corrente-tensione a operazionale che converte nella tensione  $V_U$  la corrente  $I_{OUT}$  fornita dal sensore  $C$ .

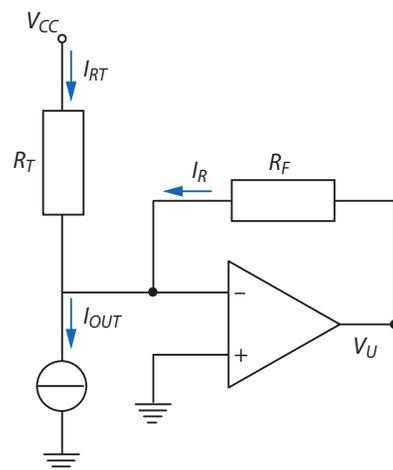
La resistenza  $R_T$  serve ad adattare il livello minimo, come di seguito analizzato. Si procede di seguito al dimensionamento dei componenti.

Si calcolano le correnti erogate agli estremi di concentrazione:

$$C = 0,8 \text{ mg/l e } C = 1,3 \text{ mg/l.}$$

$$I_{MIN} = 16 - 10 = 6 \text{ mA} \quad I_{MAX} = 26 - 10 = 16 \text{ mA}$$

Si calcola la differenza tra le due correnti:





$$\Delta I = 16 - 10 = 6 \text{ mA}$$

Scegliendo un ADC con dinamica di ingresso  $0 \div 5 \text{ V}$  alla  $\Delta I_{OUT}$  deve corrispondere  $\Delta V_U = 5 \text{ V}$ .

La resistenza  $R_F$  di amplificazione vale allora:

$$R = \frac{\Delta V_U}{\Delta I} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \text{ k}\Omega = 500 \Omega$$

I valori della tensione d'uscita corrispondenti ai limiti di concentrazione diventano allora:

$$V_U(0,8) = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 3 \text{ V}$$

$$V_U(1,3) = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 8 \text{ V}$$

Come previsto la variazione della tensione d'uscita vale  $\Delta V_U = 8 - 3 = 5 \text{ V}$ .

Ora è necessario adattare i livelli oltre all'intervallo. Per garantire una tensione  $V_U = 0$  in corrispondenza di  $I_{MIN} = 6 \text{ mA}$  si deve annullare  $I_R$  forzando una  $I_{RT} = I_{OUT}$ .

A questo scopo la  $R_T$  deve valere:

$$R_T = \frac{V_{cc}}{I(0,8)} = \frac{15}{6 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

#### • Concentrazione PH

$$\text{PH} = 6 \quad \rightarrow \quad \text{OUT} = 0000$$

$$\text{PH} = 9 \quad \rightarrow \quad \text{OUT} = 1111$$

Precisione = 0,2

In effetti, come dettato dal quesito, i 15 (1111) valori digitali sono adatti a rappresentare passi di 0,2 V:

$$\Delta \text{PH} = 9 - 6 = 3 \qquad \Delta V = \frac{3}{0,2} = 15$$

La lettura diretta digitale  $\text{OUT}_{(2)}$  convertita in analogico  $\text{OUT}_{(10)}$  base 10 vale:

$$\text{PH} = 6 + 0,2 \cdot \text{OUT}_{(10)}$$

Controprova: quando  $\text{OUT}_{(10)} = 15$  si ha:  $\text{PH} = 6 + 0,2 \cdot 15 = 6 + 3 = 9 \text{ c.v.d}$

I valori digitali ai quali il microcontrollore deve fare riferimento, corrispondenti ai valori minimo e massimo di PH sono:

$$\text{PH} = 6,8 \quad \rightarrow \quad \text{OUT}_{(10)} = 4 = 0100_{(2)} \qquad \text{PH} = 7,4 \quad \rightarrow \quad \text{OUT}_{(10)} = 7 = 0111_{(2)}$$

**Quesito 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.*

A ogni quota sono presenti quattro sensori. Si sceglie di sviluppare un programma in linguaggio C che tratti i dati di ogni quaterna di sensori come un vettore di quattro caselle. Per brevità il programma è sviluppato per una delle due quaterne, ma l'espansione non comporta alcuna difficoltà.

A scopo didattico si ripercorre tutta la catena di conversione dei dati, a partire dal dato grezzo di temperatura rilevato dal sensore per giungere alla sua visualizzazione, pertanto si dichiarano questi vettori:

- float TEMPERATURE[4] → Dato grezzo di temperatura nel range  $26 \div 28 \text{ }^\circ\text{C}$
- float TENSIONI[4] → Tensione all'uscita del circuito di condizionamento, nel range  $0 \div 5 \text{ V}$
- int ADCOUT[4] → Dato binario all'uscita del convertitore ADC nel range  $0 \div 255$
- float VISUALIZZAZIONE[4] → Temperatura visualizzata, range  $26 \div 28 \text{ }^\circ\text{C}$



$$T_{MIN} \text{ (dal campo)} = 26^\circ \quad \rightarrow \quad V_{ADC} = 0 \text{ V} \quad \rightarrow \quad \text{OUT}_{ADC} = 0 \quad \rightarrow \quad T_{MIN} \text{ (visualizzata)} = 26^\circ$$

$$T_{MAX} \text{ (dal campo)} = 28^\circ \quad \rightarrow \quad V_{ADC} = 5 \text{ V} \quad \rightarrow \quad \text{OUT}_{ADC} = 255 \quad \rightarrow \quad T_{MAX} \text{ (visualizzata)} = 28^\circ$$

1. Innanzitutto vanno calcolate le tensioni TENSIONI[4] all'uscita del condizionatore a partire dalle temperature rilevate dal sensore. Questa è una sezione puramente hardware, ma viene simulata nel software con la seguente formula:

$$TENSIONI = \frac{(TEMPERATURE - 26)}{(28 - 26) \cdot 5}$$

basata sulle seguenti corrispondenze:  $26 \longleftrightarrow 28 \rightarrow 0 \longleftrightarrow 5$

2. Nella sezione ADC avviene il colloquio tra ADC e Microcontrollore con i consueti segnali SOC, EOC, OE. Viene applicata la formula seguente, basata sulla corrispondenza  $0 \div 5 \text{ V} \rightarrow 0 \div 255 \text{ V}$

$$ADCOUT = \left( \frac{TENSIONI}{5} \right) \cdot 255$$

3. L'ultima sezione è squisitamente software e ha sede all'interno del microcontrollore, oppure di un sistema di elaborazione come un PC.

Trattasi di ricostruire i dati originari di temperatura  $T$  a partire dal dato binario  $N$  dell'ADC.

La corrispondenza  $N \rightarrow T$  è data dalla seguente proporzione:  $T - T_{MIN} : T_{MAX} - T_{MIN} = N - 0 : 255 - 0$

Dalla quale si risale alla formula seguente:  $T = (T_{MAX} - T_{MIN}) \cdot \frac{N}{255} + 26$

```

1 // Questo programma emula le sezioni di una catena di acquisizione
2
3 #include <stdio.h>
4
5 int main()
6 {
7     float TEMPERATURE[4]={26, 27, 28, 27.5};
8     float TENSIONI[4], ADCOUT[4], VISUALIZZAZIONE[4];
9     int i;
10
11     //All'origine nel campo ci sono le temperature da misurare e visualizzare
12     printf("Temperature originarie da misurare e visualizzare \n");
13     for(i=0;i<4;i=i+1)
14     {
15         printf("%3.1f \t", TEMPERATURE[i]);
16     }
17
18     // Nella sezione SENSORE le temperature vengono rappresentate da valori di resistenza
19     // Nella sezione di conversione Resistenza -> Tensione vengono rappresentate da tensioni
20     // Nella sezione CONDIZIONATORE il range viene portato a 0 - 5 V
21     // Il seguente ciclo for converte le temperature nelle tensioni all'uscita del CONDIZIONATORE
22     printf("\n\nTensioni all'uscita del circuito di condizionamento \n");
23     for(i=0;i<4;i=i+1)
24     {
25         TENSIONI[i]=(TEMPERATURE[i]-26)/(28-26)*5;
26         printf("%3.1f \t", TENSIONI[i]);
27     }
28
29     // Nella sezione ADC le tensioni vengono convertite in valori binari.
30     // Qui ha luogo il colloquio tra ADC e Microcontrollore mediante i consueti segnali SOC, EOC, OE
31     printf("\n\nValori binari all'uscita del convertitore ADC \n");
32     for(i=0;i<4;i=i+1)
33     {
34         ADCOUT[i]=(TENSIONI[i]/5)*255;
35         printf("%3.0f \t", ADCOUT[i]);
36     }
37
38     // Nella sezione di visualizzazione il dato binario che ricade nel range 0 - 255
39     // viene utilizzato per calcolare i corrispondenti valori originari misurati di temperatura
40     printf("\n\nTemperature originarie ricostruite e visualizzate \n");
41     for(i=0;i<4;i=i+1)
42     {
43         VISUALIZZAZIONE[i]=((28-26)/255.0)*ADCOUT[i]+26;
44         printf("%3.1f \t", VISUALIZZAZIONE[i]);
45     }
46 }

```

**Quesito 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.

Il segnale diretto al Input White Led deve trovarsi a livello alto se l'uscita del comparatore è bassa e l'interruttore è ON. Pertanto è sufficiente disporre una porta NOT seguita da una AND come nella figura.

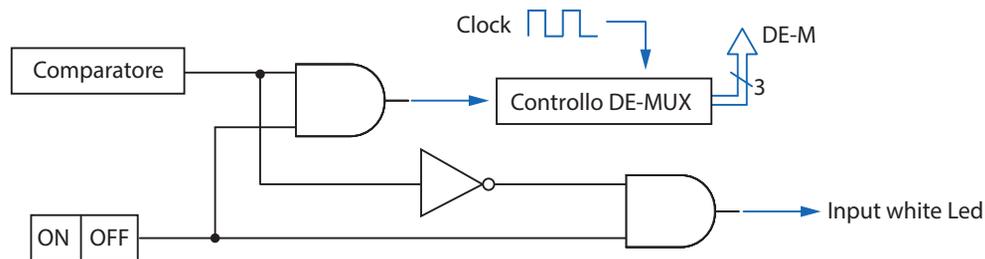
Viceversa il Controllo DE-MUX deve attivarsi se l'uscita del comparatore è alta e l'interruttore è ON, quindi è sufficiente una porta AND.

Il Controllo DE-MUX deve generare ciclicamente i segnali di selezione  $S_2S_1S_0$  visualizzati nella tabella.

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

Il conteggio va da 000 a 010 in quanto si devono selezionare solo tre ingressi e viene prodotto appunto da un contatore modulo tre. Per fare in modo che la selezione avvenga ogni minuto si può pilotare il contatore con un clock di periodo opportuno, generato mediante un circuito astabile.

Per aumentare il periodo del segnale prodotto dall'astabile si può fare ricorso a un divisore di frequenza.



**SOLUZIONE SECONDA PARTE**

**Quesito 1** – Si descriva, eventualmente con l'ausilio di grafici esplicativi, il comportamento del dispositivo nel suo insieme, specificando in particolare la funzione svolta dalla tensione  $V_r$ .

Il circuito dato è un comparatore a isteresi. L'impiego dell'isteresi nel controllo impedisce che si verifichino continue oscillazioni del segnale di comando ON-OFF del livello di temperatura.

Con un comparatore normale infatti, non appena oltrepassati  $27^\circ$  si determinerebbe uno spegnimento, ma la conseguente riduzione comporterebbe una subitanea accensione, seguita da un subitaneo spegnimento.

Posti i seguenti valori:

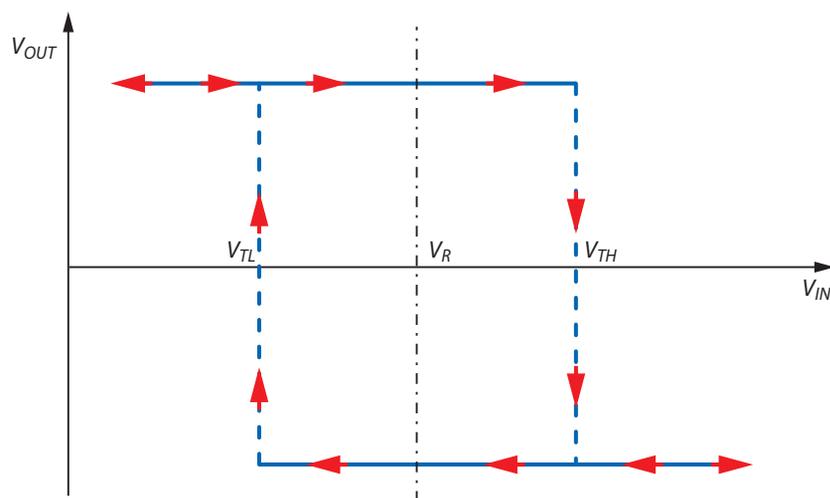
- $K_1 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$
- $K_2 = \frac{R_1}{(R_1 + R_2)}$

si stabiliscono le seguenti soglie  $V_{TH}$  e  $V_{TL}$  funzione delle tensioni di saturazione;

- $V_{TH} = K_1 \cdot V_{SATH} + K_2 \cdot V_r$
- $V_{TL} = K_1 \cdot V_{SATL} + K_2 \cdot V_r$

Si passa ora al calcolo di  $V_R$ , che rappresenta la tensione media all'uscita del condizionatore attorno alla quale si attesta il controllo, corrispondente alla temperatura media controllata.

per  $T = T_{MIN} = 26^\circ \rightarrow V_{MIN} = 0 \text{ V}$



$$\text{per } T = T_{MAX} = 28^\circ \quad \rightarrow \quad V_{MAX} = 5 \text{ V}$$

$$\text{per } T = T_{MEDIA} = 27^\circ \quad \rightarrow \quad V_{MEDIA} = \frac{(0+5)}{2} = 2,5 \text{ V} = V_r$$

**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.

Viene implementato con Arduino il primo passaggio di colore, dal ROSSO pieno al GIALLO = ROSSO + VERDE. A passi di  $\frac{256}{64} = 4$  deve pertanto essere variato il verde da 0 a 255.

Questo avviene grazie a un ciclo for da 1 a 63 a passi  $i*4-1$ .

I colori vengono poi impostati variando il duty cycle dell'onda PWM prodotta con l'istruzione AnalogWrite(pin, value).

$$0 < \text{value} < 255 \quad \rightarrow \quad 0 < \text{PWM} < 100 \%$$

Il tempo di ritardo a ogni loop è:  $\frac{180 \text{ s}}{(64 \cdot 4)} = 0,703125 \text{ s} = 7031 \text{ ms}$

```
int PinRosso = 6;
int PinVerde = 5;
int PinBlu = 4;
```

```
void setup()
```

```
{
  pinMode(PinRosso, OUTPUT);
  pinMode(PinVerde, OUTPUT);
  pinMode(PinBlu, OUTPUT);
}
```

```
void loop()
```

```
{
  for(int i = 1; i <= 64; i = i+1)
    impostaColore(255, i*4-1, 0);
  delay(7031);
}
```

```
void impostaColore(int red, int green, int blue)
```

```
{
  analogWrite(PinRosso, red);
  analogWrite(PinVerde, green);
  analogWrite(PinBlu, blue);
}
```

**Quesito 3** – Verificare la stabilità del sistema utilizzando il Criterio di Bode. Nel caso si presenti instabilità progettare una rete correttiva per rendere stabile il sistema.

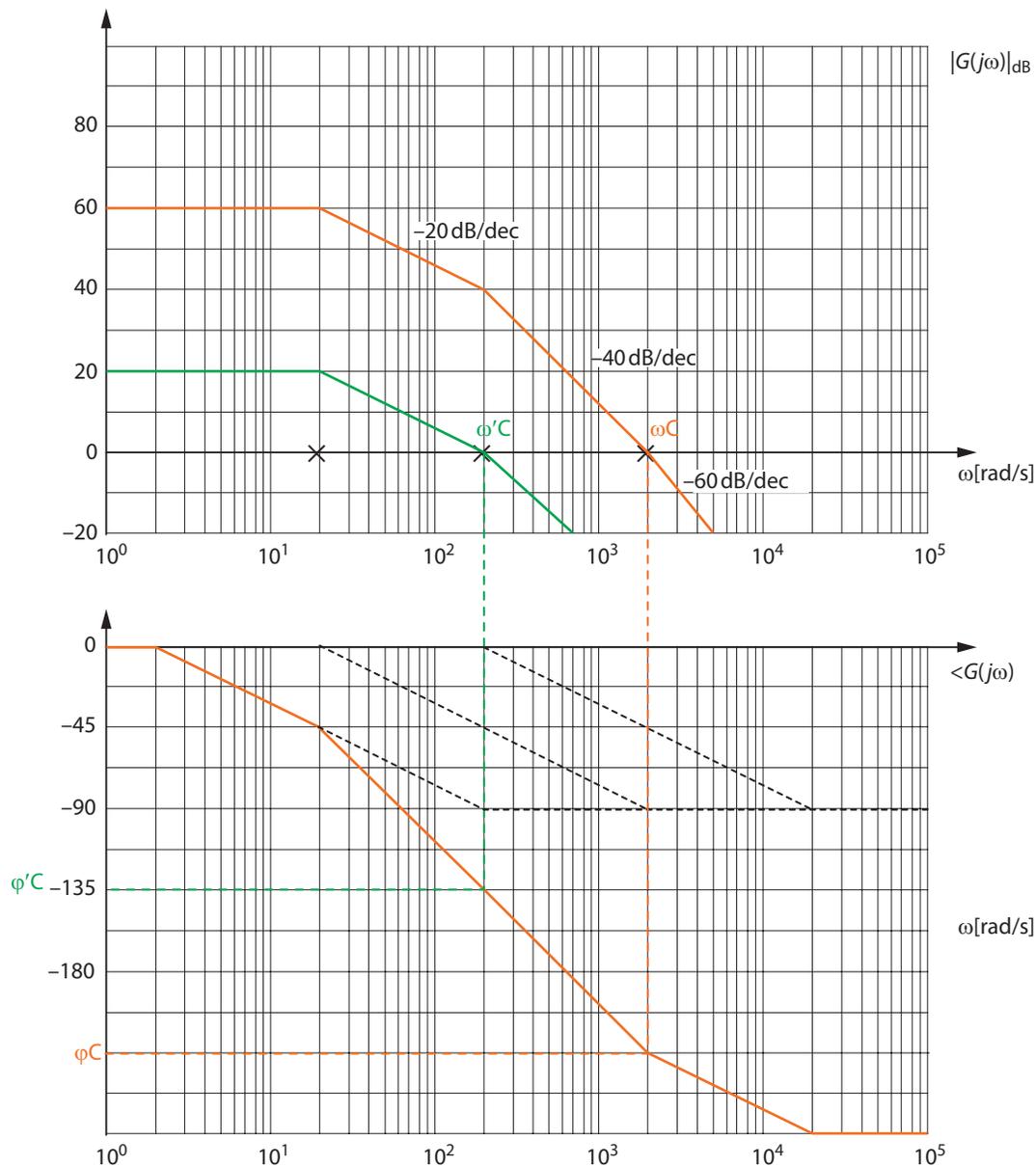
$$G(s) = \frac{10}{(1+5 \cdot 10^{-3} s)(1+5 \cdot 10^{-4} s)} \quad H(s) = \frac{50}{(1+5 \cdot 10^{-2} s)}$$

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

$$p_1 = \frac{1}{T_1} = 20; \quad p_2 = \frac{1}{T_2} = 200; \quad p_3 = \frac{1}{T_3} = 200; \quad 20 \log K = 60 \text{ dB}$$

Si riportano i diagrammi completi di Bode del modulo e della fase.

È stato scelto di stabilizzare mediante una attenuazione da 60 dB a 20 dB equivalente a una partizione di 1/100. Si può vedere che, mentre  $\varphi_C$  oltrepassava  $180^\circ$ , con l'intervento si ha un valore teorico  $\varphi_C = 135^\circ$  e quindi un sistema stabile con margine di fase  $\varphi_M = 45^\circ$ .



**Quesito 4** – Progettare un circuito che avendo in ingresso il segnale di Figura A fornisca in uscita il segnale di Figura B.

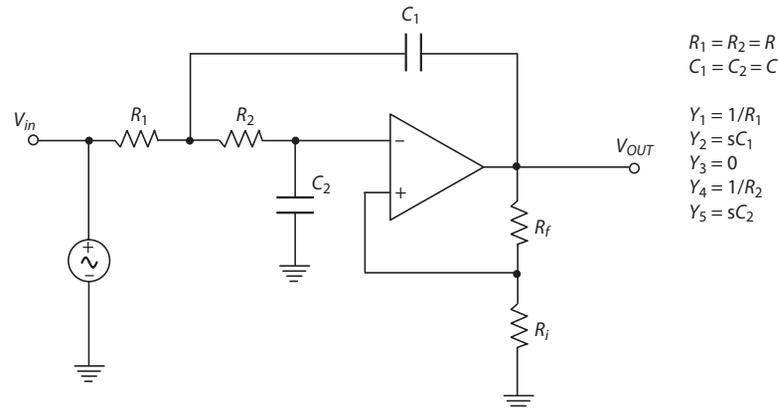
L'onda quadra ha  $T = 100 \text{ ms}$      $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{100 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ kHz}$      $\omega = 2\pi f = 6,28 \cdot 10000 = 62800 \text{ rad/s}$

Per ricavare la sinusoide della figura B è necessario estrarre la sola armonica fondamentale dell'onda quadra. Si deve utilizzare pertanto un filtro ad alta selettività, ponendo in cascata per esempio più filtri Butterworth. Si descrive di seguito il filtro del secondo ordine.

Butterworth del secondo ordine ha funzione di trasferimento con il seguente denominatore:

$$s^2 + 1,414s + 1$$

Questa è una possibile implementazione circuitale.



La f.d.t del circuito è questa:

$$\frac{\bar{V}_u}{\bar{V}_i} = \frac{\frac{K}{R^2 C^2}}{s^2 + s \cdot \frac{3-K}{RC} + \frac{1}{R^2 C^2}} = K \cdot \frac{\omega_N^2}{s^2 + 2\xi\omega_N s + \omega_N^2} \quad \omega_T = \frac{1}{RC}$$

Lo smorzamento del sistema si ricava ponendo a confronto il termine 1,414 della formula normalizzata con  $2\xi$ , che è il valore della formula generalizzata di un sistema di secondo ordine.

$$2\xi = 1,414$$

Note  $\omega_T$  e  $\xi$  si ricava  $K$  con la seguente formula.

$$\frac{3-K}{RC} = 2 \cdot \xi \cdot \omega_T = 2 \cdot \xi \cdot \frac{1}{RC} \quad K = 3 - 2\xi$$

Noto  $K$  si ricava il rapporto delle resistenze  $R_F$  e  $R_I$ .

$$K = 1 + \frac{R_F}{R_I}$$

Si lascia al lettore lo svolgimento dei calcoli.

## ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA  
 ARTICOLAZIONE ELETTRONICA  
 Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA  
 e SISTEMI AUTOMATICI 2019  
 (sessione straordinaria)

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

### PRIMA PARTE

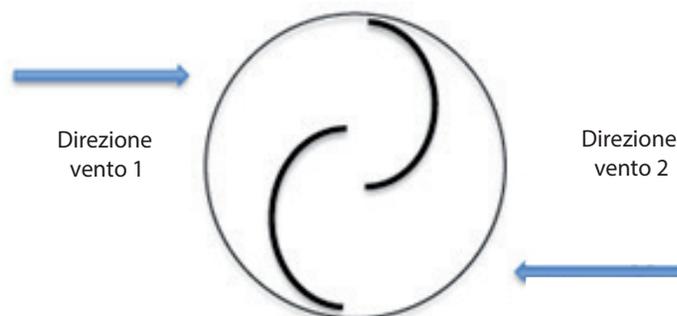
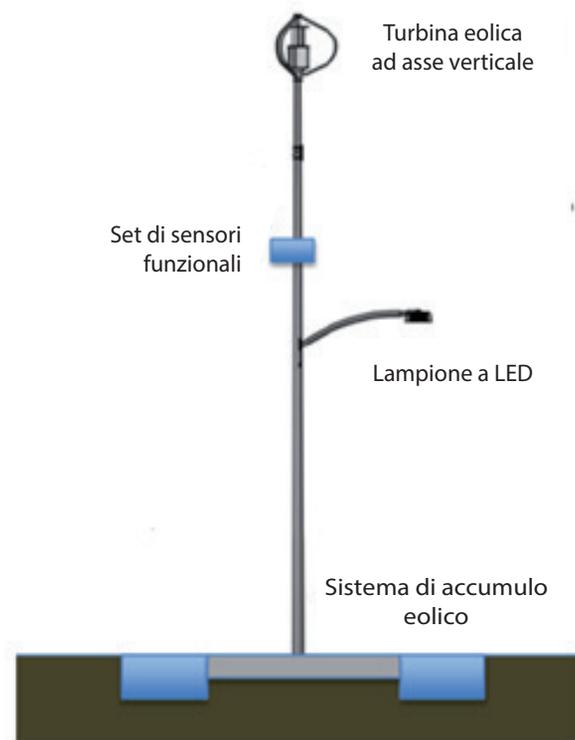
L'amministrazione comunale di una località di piccole dimensioni, nell'ambito di una serie di interventi per la tutela ambientale del territorio e della salute dei cittadini, intende dotarsi di lampioni "green", per l'illuminazione stradale, con alimentazione complementare a quella della rete elettrica. Ogni lampione, di potenza nominale 50 W, accumula, in appositi sistemi di stoccaggio, l'energia proveniente da fonte rinnovabile per mezzo di un sistema micro-eolico (vedi figura).

La struttura è dotata, inoltre, di un set di sensori funzionali per la rilevazione della velocità del vento, della qualità dell'aria e della intensità della luce naturale.

Il controllo dell'intero sistema è gestito da un sistema programmabile.

Il micro-sistema eolico è costituito da una turbina verticale di potenza nominale 300 W con una struttura semplificata come in figura.

La turbina inizia a ruotare quando la velocità del vento supera 1,5 m/s e il movimento è nel solo senso orario; se la velocità del vento supera i 30 m/s entra in funzione un sistema frenante che mantiene la velocità di rotazione costante impedendo danni alla struttura.



Il singolo impianto di illuminazione è dotato del seguente set di sensori funzionali:

**Anemometro** per la rilevazione della velocità del vento.

In grado di rilevare venti di intensità compresa nel range da 0 m/s a 60 m/s, fornisce in uscita una corrente proporzionale alla velocità del vento secondo la relazione:

$$I_{anem} = K_v \cdot v_w + 4 \text{ mA}$$

Dove:

$I_{anem}$  = corrente uscita anemometro [mA]

$v_w$  = velocità del vento [m/s]

$k_v = 0,267 \text{ [s} \cdot \text{mA/m]}$  .

**Sensore crepuscolare** per la rilevazione del livello di luce ambientale ( $L_{amb}$ ).

La tensione fornita in uscita da tale sensore varia linearmente nel range 0 – 20 lux secondo la relazione:

$$V_{cr} = 2,5 - L_{amb} \cdot k_L \text{ [V]}$$

essendo

$$k_L = 0,15 \text{ [V/lux]}$$

Se il livello di luminosità ambientale scende al di sotto di 10 lux il sistema di controllo provvede all'accensione del lampione la cui intensità luminosa deve essere adeguata alla luce ambientale in modo proporzionale, come riportato in tabella:

Luce ambientale [lux]	Intensità luminosa della lampada [lumen]
> 10 (giorno)	0
10 (tramonto)	2500
< 10 <sup>-2</sup> (notte senza luce lunare)	5000

L'intensità luminosa della lampada, dipendente dal segnale proveniente dal sensore crepuscolare, è regolata mediante un segnale PWM a Duty Cycle variabile (256 valori).

**Sensore di polveri sottili (PM10)** operante nel range 0 – 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con uscita in tensione a offset nullo e sensibilità  $S = 50 \text{ [mV} \cdot \text{m}^3/\mu\text{g]}$

**Sensore di CO (monossido di carbonio)** per la rilevazione di concentrazioni di CO nel range 0 – 50  $\text{mg}/\text{m}^3$ , con uscita in tensione variabile linearmente nel range 0 – 1 V.

Il candidato fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene opportune deve:

1. fornire uno schema a blocchi del sistema che gestisca il funzionamento del lampione utilizzando un sistema programmabile di sua conoscenza;
2. dimensionare le interfacce necessarie al condizionamento dei segnali provenienti dal set di sensori;
3. proporre una soluzione per la gestione della lampada (accensione, spegnimento e variazione di intensità luminosa);
4. sviluppare un algoritmo di gestione del processo, o altra struttura rappresentativa, che:
  - a. acquisisca i dati provenienti dai sensori di monitoraggio ambientale a intervalli di 5 minuti calcolandone la media ogni 8 ore memorizzandola in una opportuna struttura dati;
  - b. acquisisca il valore della velocità del vento ogni 20 secondi provvedendo ad attivare il sistema frenante, assimilabile a un sistema ON/OFF, secondo necessità.

## SECONDA PARTE

### Quesito 1

In riferimento alla prima parte della prova si modifichi l'algoritmo di gestione del processo relativamente all'acquisizione dei dati provenienti dai sensori di controllo della qualità dell'aria calcolando il numero di

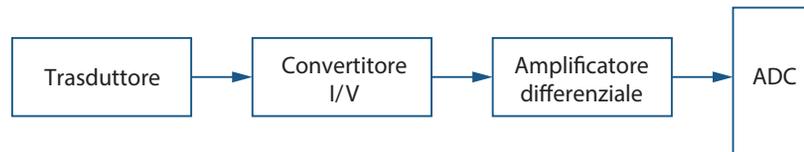
volte che i valori medi di polveri sottili e di CO hanno superato, su base mensile, i livelli consentiti da norma di legge ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per le polveri sottili e  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  per il CO). Codificare quindi l'algoritmo in un linguaggio coerente con l'hardware utilizzato.

### Quesito 2

In riferimento alla prima parte della prova e al processo di conversione A/D, si espongano le caratteristiche che deve possedere il convertitore per l'acquisizione dei segnali provenienti dai sensori di PM10 e CO determinando il numero minimo di bit necessario ad assicurare una precisione di  $\pm 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per il sensore di polveri sottili e  $\pm 0,05 \text{mg}/\text{m}^3$  per il quello di monossido di carbonio.

### Quesito 3

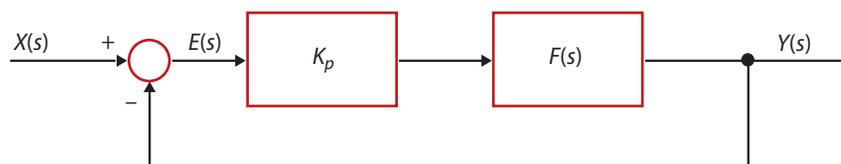
Indicare la procedura da attuare in laboratorio per testare la funzionalità del circuito di condizionamento tra un trasduttore di una generica grandezza fisica  $F$  con uscita in corrente e un ADC; proporre l'allestimento di un banco di misura per la rilevazione delle caratteristiche dei singoli blocchi individuando le grandezze oggetto di misura, gli strumenti idonei e la configurazione del banco nel suo complesso. Si definiscano quindi le procedure di misura da effettuare e una modalità di rappresentazione dei risultati ottenuti (tabellare, grafica, relazione tecnica, altro).



### Quesito 4

Calcolare l'errore di posizione  $\varepsilon_p$ , di velocità  $\varepsilon_v$  e di accelerazione  $\varepsilon_a$  per il seguente sistema essendo:

$$F(s) = \frac{10}{(s+1)(s+2)}; \quad k_p = 1$$



Determinare, inoltre, il minimo valore di  $K_p$  affinché l'errore a regime risulti minore di 0.1 applicando in ingresso un gradino di ampiezza 5.

## SOLUZIONE PRIMA PARTE

**Quesito 1** – Il candidato fornisca uno schema a blocchi del sistema che gestisca il funzionamento del lampione utilizzando un sistema programmabile di sua conoscenza.

Lo schema si compone della serie di condizionatori dei segnali provenienti dai trasduttori, di un MUX analogico a quattro ingressi, di un ADC e un microcontrollore.

I segnali che il microcontrollore scambia con il campo attengono principalmente alla conversione analogico-digitale dei segnali dei condizionatori. Infatti il microcontrollore:

1. attiva in sequenza gli ingressi di selezione  $A_1A_0$  del AMUX per inviare all'ADC i segnali:

- $A_1A_0 = 00 \rightarrow L_{amb}$
- $A_1A_0 = 01 \rightarrow \text{PM10}$
- $A_1A_0 = 10 \rightarrow \text{CO}$
- $A_1A_0 = 11 \rightarrow I_{anem}$

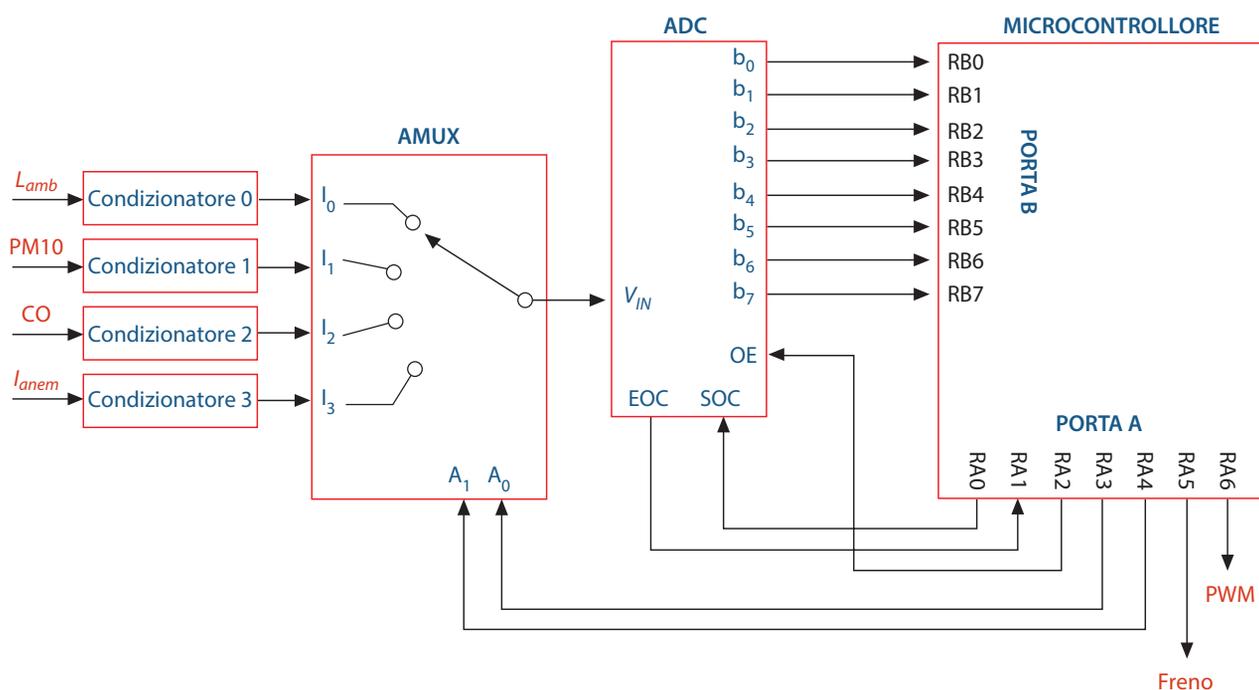
2. Gestisce la conversione dell'ADC con i segnali SOC, EOC, OE.
3. Acquisisce i segnali digitali a 8 bit tramite la porta B.

Oltre a ciò, il microcontrollore con due uscite della porta A:

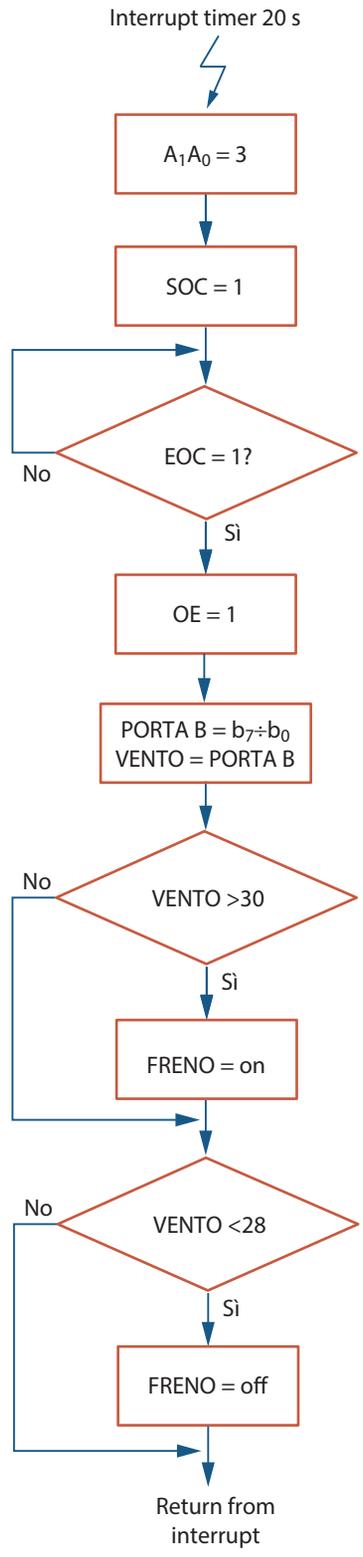
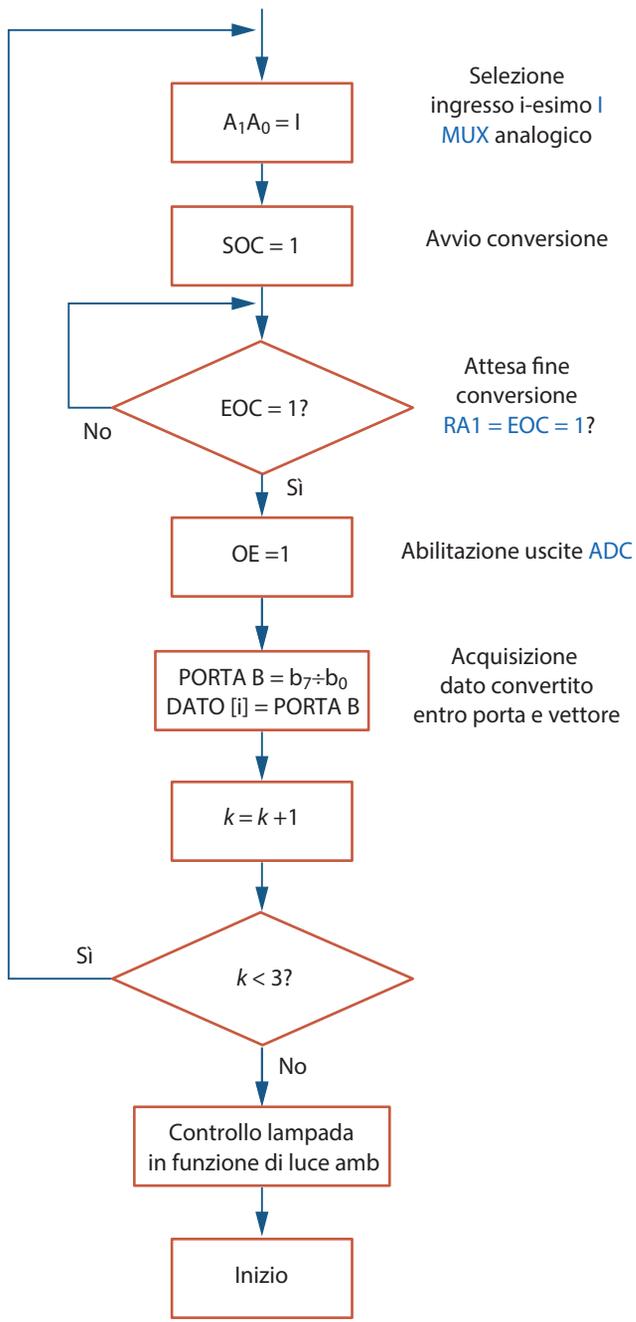
1. Attiva il freno quando la velocità del vento oltrepassa 30 m/s.
2. Comanda la lampada con diversa intensità luminosa, in funzione della luce ambientale.

Per questa ultima funzionalità si suppone che un terminale della porta sia abilitato al funzionamento PWM di modulazione di larghezza di impulsi. In tal caso è infatti possibile comandare il sistema di illuminazione con un'onda quadra a duty cycle variabile equivalente a una tensione analogica variabile.

La gestione logica di tutte le funzionalità descritte è demandata al programma che risiede nel microcontrollore.



Si riportano (pagina successiva) anche i diagrammi di flusso dell'algorithmo di gestione dei dati ambientali e di quello della velocità del vento. Si noti che quest'ultimo viene invocato a seguito dell'evento di interrupt di un timer ogni 20 s (cfr quesito 4).



**Quesito 2** – Dimensionare le interfacce necessarie al condizionamento dei segnali provenienti dal set di sensori.

### Anemometro

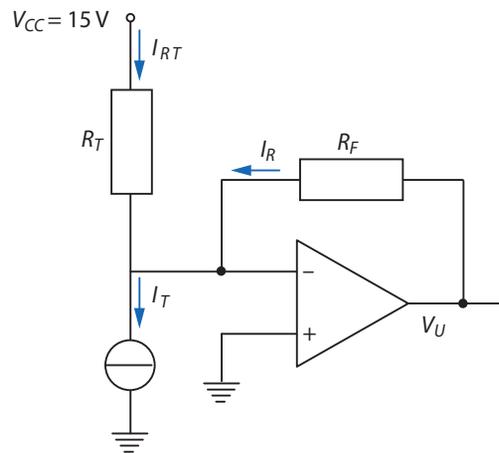
Si considera l'intervallo massimo di variazione della velocità del vento e si calcola il corrispondente intervallo di variazione della  $I_{anem}$ .

$$I_{anem} = k_v \cdot v_w + 4 \text{ mA}$$

$$v_w = 0 \quad \rightarrow \quad I_{ANEM-MIN} = 0,267 \cdot 0 + 4 \text{ mA} = 4 \text{ mA}$$

$$v_w = 60 \quad \rightarrow \quad I_{ANEM-MAX} = 0,267 \cdot 60 + 4 \text{ mA} = 20 \text{ mA}$$

Lo schema del blocco di condizionamento di seguito visualizzato è composto da una prima sezione che converte in tensione la corrente  $I_{anem}$  fornita dal sensore. La resistenza  $R_T$  serve a adattare il livello minimo.



Si calcola la differenza tra le correnti erogate agli estremi di velocità del vento.

$$\Delta I = 20 - 4 = 16 \text{ mA}$$

Scegliendo un ADC con dinamica di ingresso  $0 \div 5 \text{ V}$  alla  $\Delta I$  deve corrispondere  $\Delta V = 5 \text{ V}$ .

La resistenza  $R_F$  di amplificazione vale allora:

$$R = \frac{\Delta V_u}{\Delta I} = \frac{5}{16 \cdot 10^{-3}} = 0,3125 \text{ k}\Omega = 312 \Omega$$

I valori della tensione d'uscita corrispondenti ai limiti di velocità diventano allora:

$$V_u(4,4) = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 312 = 1,25 \text{ V}$$

$$V_u(20) = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 312 = 6,25 \text{ V}$$

Come previsto la variazione della tensione d'uscita vale  $\Delta V_u = 6,25 - 1,25 = 5 \text{ V}$ .

Ora è necessario adattare i livelli oltre all'intervallo. Per garantire una tensione  $V_u = 0$  in corrispondenza di  $I_{MIN} = 4,4 \text{ mA}$  si deve annullare  $I_R$  forzando una  $I_{RT} = I_{MIN}$ .

A questo scopo la  $R_T$  deve valere:

$$R_T = \frac{V_{cc}}{I_{MIN}} = \frac{15}{4 \cdot 10^{-3}} = 3750 \Omega$$

### Sensore crepuscolare

$$V_{cr} = 2,5 - L_{amb} \cdot k_L [\text{V}] \quad k_L = 0,15 [\text{V/lux}]$$

Si calcolano i valori di tensione corrispondenti ai limiti dell'intervallo di rilevazione del sensore.

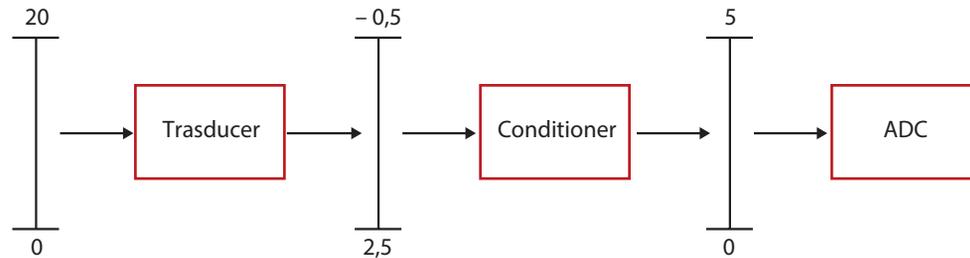
0 lux < intervallo rilevazione trasduttore < 20 lux

$$L_{amb} = 0 \quad \rightarrow \quad V_{cr} = 2,5$$

$$L_{amb} = 20 \quad \rightarrow \quad V_{cr} = 2,5 - 20 \cdot 0,15 = -0,5$$

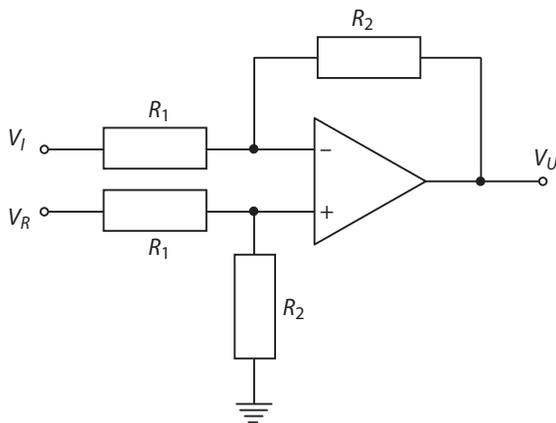
Il condizionatore del sensore crepuscolare deve adattare la gamma del segnale 2,5 ÷ -0,5 all'uscita del trasduttore alla gamma 0 ÷ 5 del segnale da inviare all'ADC.

Le corrispondenze tra i valori della luce ambientale e i diversi livelli di tensione sono riassunti nella seguente figura. Si può notare che il condizionatore, oltre a dover adattare livelli e intervalli dei segnali, deve operare una inversione, ovvero fornire uscita minima per ingresso massimo e viceversa.



Questa funzione viene implementata elettronicamente utilizzando come di consueto un amplificatore differenziale, apportando una modifica, che consiste nel collocare la tensione di riferimento  $V_R$  sulla linea afferente l'ingresso + e il segnale di ingresso  $V_I$  sulla linea afferente l'ingresso -.

Si fornisce qui la dimostrazione della relazione ingresso uscita valida in questa configurazione.



$$V_U = -V_I \cdot \frac{R_2}{R_1} + V_R \cdot \frac{R}{R_1 + R_2} \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_U = -(V_I - V_R) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Imponendo le relazioni sui limiti di gamma si ricava il sistema, che risolto porge la relazione di dimensionamento tra  $R_1$  e  $R_2$ . Nella due successive figure è mostrata la simulazione del circuito effettuata con Multisim. Si può osservare dal grafico come in effetti il circuito sia in grado di implementare le corrispondenze desiderate.

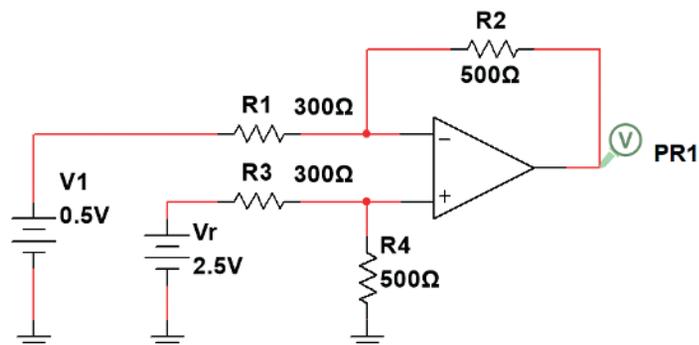
$$V_U = -(2,5 - V_R) \cdot \frac{R_2}{R_1} = 0 \quad V_R = 2,5$$

$$V_U = -(-0,5 - 2,5) \cdot \frac{R_2}{R_1} = 5$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{3}$$

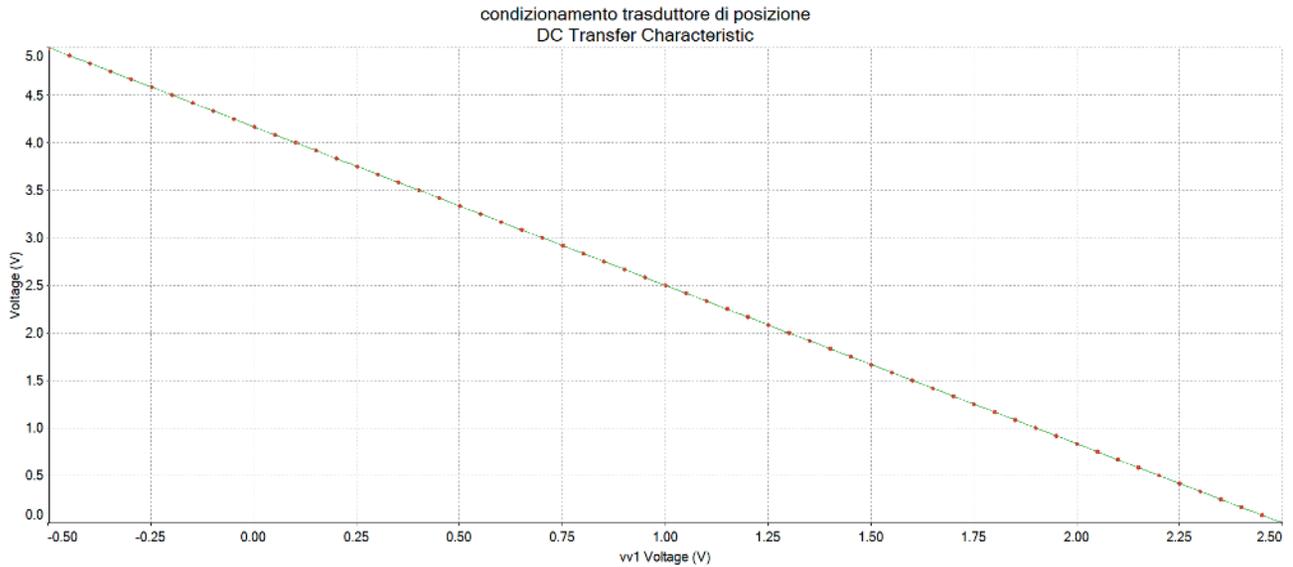
Controprova:

$$V_U = -(V_I - 2,5) \cdot \frac{5}{3}$$



$$V_U(2,5) = -(V_I - 2,5) \cdot \frac{5}{3} = 0 \text{ V}$$

$$V_U(-0,5) = -(-0,5 - 2,5) \cdot \frac{5}{3} = 5 \text{ V}$$



### Sensore di polveri sottili

Range  $0 \div 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$       Sensibilità  $S = 50 [\text{mV} \cdot \text{m}^3/\mu\text{g}]$

Anche in questo caso si procede a determinare i limiti di tensione.

$$\text{PM10} = 0 \quad \rightarrow \quad V_{\text{MIN}} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 0 = 0 \text{ V}$$

$$\text{PM10} = 100 \quad \rightarrow \quad V_{\text{MAX}} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 5 \text{ V}$$

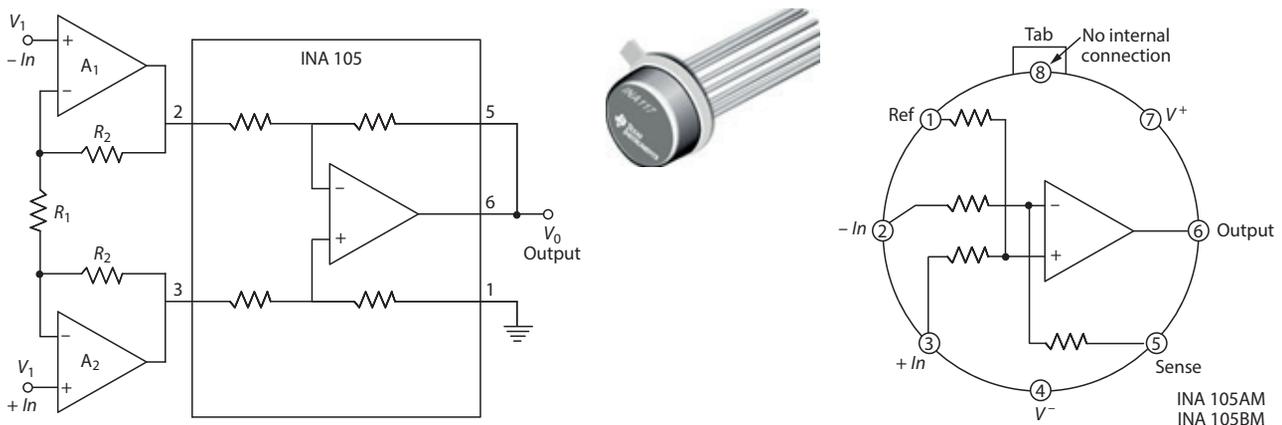
Si riscontra che non è necessario il condizionamento.

### Sensore di CO (monossido di carbonio)

Range  $0 \div 50 \text{ mg}/\text{m}^3$       Uscita variabile da 0 a 1V.

Per forzare la variazione della tensione da 0 a 5 V in questo caso è sufficiente amplificare di 5 il dato di tensione all'uscita del sensore.

All'uopo può essere utilizzato un amplificatore per strumentazione INA105 caratterizzato da una altissima impedenza di ingresso, tale da non caricare il sensore.



Si applica alla formula del INA la condizione che fa corrispondere alla tensione di 1 V la tensione di 5 V adeguata all'ingresso dell'ADC.

$$\text{OUT} = \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot (v_1 - v_2)$$

$$5 = \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot 1 \quad 1 + 2 \frac{R_2}{R_1} = 5 \quad \frac{R_2}{R_1} = 2$$

**Quesito 3** – Proporre una soluzione per la gestione della lampada (accensione, spegnimento e variazione di intensità luminosa).

Con il circuito di condizionamento prescelto la relazione Luce ambientale → Tensione condizionatore è:

$$V_U = -(V_{cr} - 2,5) \cdot \frac{5}{3} \quad \text{con } V_{cr} = 2,5 - L_{amb} \cdot 0,15 \text{ [V]}$$

- Luce ambientale 10 (tramonto) → tensione del condizionatore

$$V_{cr} = 2,5 - 10 \cdot 0,15 = 1$$

$$V_{\text{TRAMONTO}} = -(1 - 2,5) \cdot \frac{5}{3} = 1,5 \cdot \frac{5}{3} = 2,5 \text{ V} \quad \text{metà come si poteva presumere.}$$

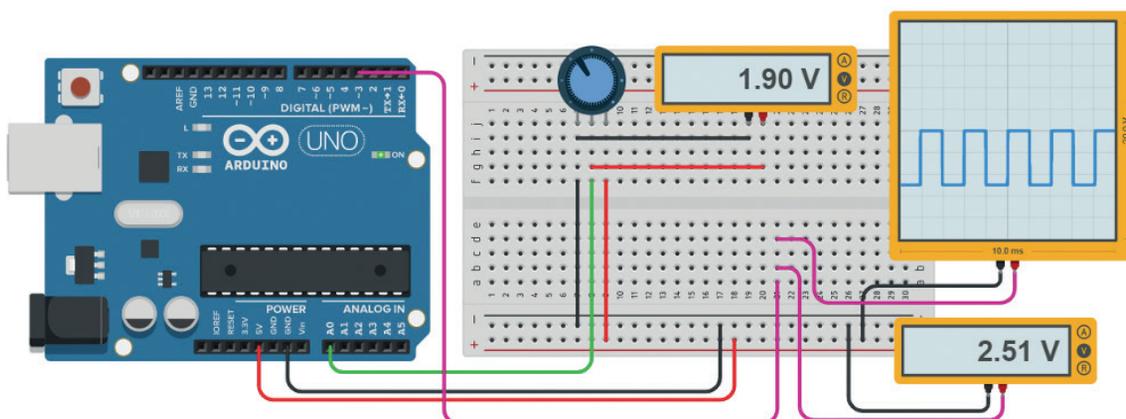
- Per Luce ambientale 0,01 (notte senza luce lunare) → tensione del condizionatore

$$V_{cr} = 2,5 - 0,0015 \cong 2,4985$$

$$V_{\text{SENZALUNA}} = -(2,4985 - 2,5) \cdot \frac{5}{3} = 2,5 \text{ mV}$$

Si sceglie di gestire il sistema con la scheda Arduino che in ingresso legge il dato analogico del sensore e produce in uscita il segnale PWM per il controllo di potenza della lampada.

Dato che l'ADC ha quanto  $q = \frac{5}{2^{10}} = 4,8 \text{ mV} > 2,5 \text{ mV}$  della soglia inferiore, si sceglie 1 come valore digitale inferiore. La soglia digitale superiore corrisponde ai 2,5 V quindi risulta  $\frac{1024}{2} = 512$ .



```

int AnIn;
const int Soglia_INF = 1, Soglia_SUP = 512;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  AnIn = analogRead(0);
  Serial.println(ADC);
  if (AnIn > Soglia_INF && AnIn < Soglia_SUP)
    analogWrite(3, 128); // metà intensità luminosa
  else if (AnIn < Soglia_INF)
    analogWrite(3, 255); // piena intensità luminosa
  else
    analogWrite(3, 0); // lampione spento
}

```

**Quesito 4** – *Sviluppare un algoritmo di gestione del processo, o altra struttura rappresentativa, che:*

- acquisisca i dati provenienti dai sensori di monitoraggio ambientale a intervalli di 5 minuti calcolandone la media ogni 8 ore memorizzandola in una opportuna struttura dati;*
- acquisisca il valore della velocità del vento ogni 20 secondi provvedendo ad attivare il sistema frenante, assimilabile a un sistema ON/OFF, secondo necessità.*

Variabili utilizzate:

- $V_{L_{AMB}}$ : tensione corrispondente alla luce ambientale.
- $V_{CO}$ : tensione corrispondente alla concentrazione di ossido di carbonio.
- $V_{PM10}$ : tensione corrispondente alla concentrazione di polveri sottili.
- $L_{AMB}$ : luce ambientale.
- CO: concentrazione di ossido di carbonio.
- PM10: concentrazione di polveri sottili.

#### Algoritmo a)

I sensori di monitoraggio ambientale sono relativi alla luce ambientale  $L_{AMB}$ , al CO e al PM10.

Si stabilisce di utilizzare dei vettori per registrare i dati provenienti dai sensori.

Per una maggiore razionalizzazione del programma i vettori sono inseriti in una struttura dati.

La lunghezza dei vettori dei sensori è:

$$8 \text{ ore} / 5 \text{ minuti} = 480 / 5 = 96$$

I vettori delle medie hanno solo tre celle perché  $24 \text{ ore} / 8 \text{ ore} = 3$ .

```

#include <stdio.h>

struct DATO
{
  float LAMB[96];
  float CO[96];
  float PM10[96] = {4, 3, 1.2, 2, 3.5, ..... };
};

struct MEDIA
{

```



```
float Media_LAMB[3];
float Media_CO[3];
float Media_PM10[3];
};

struct DATO DATI; struct MEDIA MEDIE; int i, k;
float SOMMA_LAMB = 0, MEDIA_LAMB, SOMMA_CO = 0, MEDIA_CO, SOMMA_PM10 = 0, MEDIA_
PM10;

int main()
{
    for(k = 0; k<3; k = k+1)
    {
        for(i = 0; i<96; i = i+1) {
            SOMMA_LAMB = SOMMA_LAMB+DATI.LAMB[i];
            SOMMA_CO = SOMMA_CO+DATI.CO[i];
            SOMMA_PM10 = SOMMA_PM10+DATI.PM10[i];
            printf("Ritardo di 5 minuti ..... \n");
        }
        MEDIA_LAMB = SOMMA_LAMB/96;
        MEDIA_CO = SOMMA_CO/96;
        MEDIA_PM10 = SOMMA_PM10/96;
        MEDIE.Media_LAMB[k] = MEDIA_LAMB;
        MEDIE.Media_CO[k] = MEDIA_CO;
        MEDIE.Media_PM10[k] = MEDIA_PM10;
    }
}
```

### Algoritmo b)

In questo programma si simula l'aumento e la diminuzione della velocità del vento rispettivamente con i tasti 'u' e 'd' (iniziali di up e down).

In funzione della velocità viene impostato il freno a 0 (non attivato) e 1 (attivato).

Si noti che sono presenti due soglie: superiore 30 m/s e inferiore 28 m/s, allo scopo di simulare il comportamento di un comparatore con isteresi.

```
#include <stdio.h>

int VELOCITA = 25, FRENO; char TASTO;

int main()
{
    do {
        TASTO = getchar();
        if(TASTO == 'u') VELOCITA = VELOCITA+1;
        if(TASTO == 'd') VELOCITA = VELOCITA-1;
        if(VELOCITA>30)
            FRENO = 1;
        if(VELOCITA<28)
            FRENO = 0;
        fflush(stdin);
        printf("%d \n", FRENO);
        printf("VELOCITA: %d", VELOCITA);
    }
    while(1);
}
```

**SOLUZIONE SECONDA PARTE**

**Quesito 1** – In riferimento alla prima parte della prova si modifichi l'algoritmo di gestione del processo relativamente all'acquisizione dei dati provenienti dai sensori di controllo della qualità dell'aria calcolando...

Si riporta la soluzione relativamente al PM10. Quella relativa al CO è analoga.

```
int main()
{
    int SOGLIA_PM10 = 50, i, SUPERAMENTO = 0;
    int PM10[10] = {40, 60, 30, 45, 35, 40, 60, 70, 80, 20};
    for(i = 0; i<10; i = i+1)
        if(PM10[i]>50) SUPERAMENTO = SUPERAMENTO+1;
    printf("La soglia di PM10 è stata oltrepassata %d volte \n", SUPERAMENTO);
}
```

**Quesito 2** – In riferimento alla prima parte della prova e al processo di conversione A/D, si espongano le caratteristiche che deve possedere il convertitore per l'acquisizione dei segnali provenienti dai sensori di PM10 e CO determinando...

Per determinare il numero di bit si deve calcolare innanzitutto il numero di intervalli di discretizzazione, che sono funzione della precisione richiesta ma anche dell'intervallo complessivo della grandezza da misurare.

In un secondo momento si applica la formula  $N = 2^R$  dove  $R$  = risoluzione = numero bit e  $N$  = numero di intervalli di discretizzazione.

- Sensore di polveri sottili PM10

$$\text{Range } 0 \div 100 \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad 0 \text{ V} < V_U < 5 \text{ V}$$

$$\text{Precisione} = 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad N = \frac{100[\mu\text{g}/\text{m}^3]}{0,05[\mu\text{g}/\text{m}^3]} = 2000$$

$$\text{Dalla formula } N = 2^R \text{ si ricava: } R = 11 \text{ per il quale si ha } 2^{11} = 2048 > 2000$$

- Sensore di CO

$$\text{Range } 0 \div 50 \text{ mg}/\text{m}^3 \quad 0 \text{ V} < V_U < 5 \text{ V} \quad \text{Condizionamento: amplificazione di 5}$$

$$\text{Precisione} = 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad N = \frac{50[\mu\text{g}/\text{m}^3]}{0,05[\mu\text{g}/\text{m}^3]} = 1000$$

$$\text{Per questo sarebbero sufficienti } R = 10 \text{ bit poiché: } 2^{10} = 1024 > 1000.$$

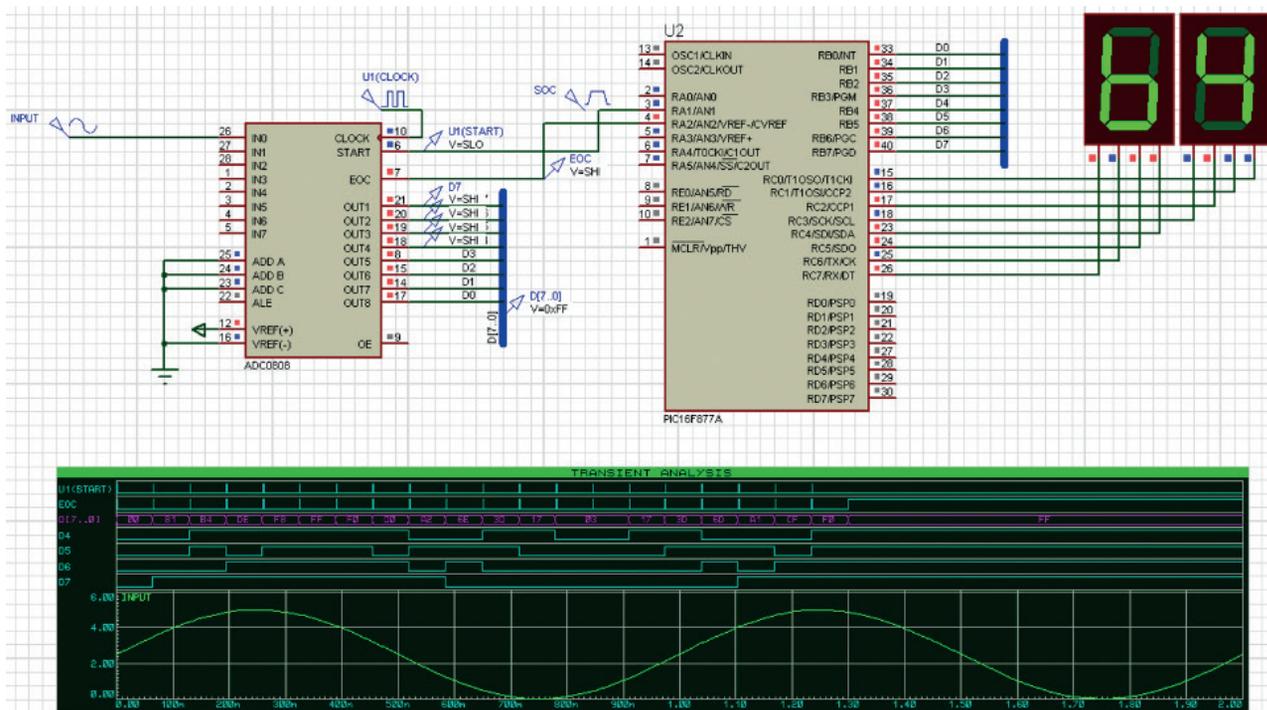
Il caso peggiore è quello del PM10 per cui  $R = 11$ .

**Quesito 3** – Indicare la procedura da attuare in laboratorio per testare la funzionalità del circuito di condizionamento tra un trasduttore di una generica grandezza fisica  $F$ ...

Si propone una soluzione pratica realizzabile con Proteus per la sezione finale comprendente un ADC e un microcontrollore per la gestione dei dati e la loro visualizzazione su display. Viene fornito anche il programma di gestione, che provvede a fornire il segnale SOC all'ADC, monitorare il susseguente EOC e salvare i dati in un vettore dei CAMPIONI.

Vengono anche sottoposti a indagine di misura, con un grafico equivalente a un analizzatore di stati logici, i livelli digitali dei segnali all'uscita dell'ADC. All'ingresso dell'ADC viene inviato, solo a scopo di prova, un segnale sinusoidale interamente positivo, di ampiezza 2,5 e offset 2,5 V.

Si lascia al lettore l'approntamento delle sezioni Trasduttore, Convertitore I/V e Amplificatore differenziale, ampiamente trattate nel presente testo *Corso di sistemi*.



```

int i;
unsigned char CAMPIONI[20];
void main() {
    ADCON1 = 0B10000110; // RA0 analogico, RA1, RA2, RA3 digitale
    TRISA = 0B00000100; // pin RA2 input
    TRISB = 0B11111111; // PORTB input
    TRISC = 0B00000000; // PORTC output

    for(i = 0; i < 20; i = i + 1)
    {
        PORTA.F1 = 0; // Impulso di SOC
        PORTA.F1 = 1;
        Delay_ms(1);
        PORTA.F1 = 0;

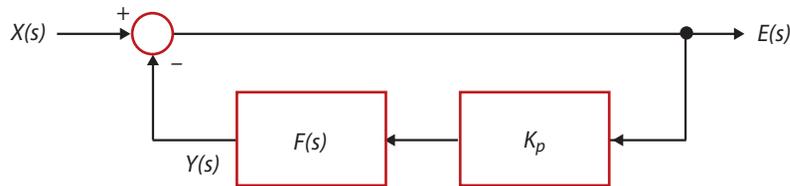
    do
    {
    }
    while(!PORTA.F2); // Attesa EOC
    CAMPIONI[i] = PORTB; // Aquisizione uscita ADC
    }

    for(i = 0; i < 20; i = i + 1) // Visualizzazione dei campioni prelevati
    {
        PORTC = CAMPIONI[i];
        Delay_ms(1000);
    }
} // ~

```

**Quesito 4** – Calcolare l'errore di posizione  $\varepsilon_p$ , di velocità  $\varepsilon_v$ , e di accelerazione  $\varepsilon_a$  per il seguente sistema essendo...

Per calcolare l'errore si deve ridisegnare lo schema a blocchi equivalente isolando  $E(s)$  all'uscita.



$$F(s) = \frac{10}{(s+1)(s+10)} \quad Kp = 1$$

$$\frac{E(s)}{X(s)} = \frac{1}{1 + \frac{10}{(s+1)(s+10)}} = \frac{(s+1)(s+10)}{(s+1)(s+10) + 10} = \frac{s^2 + 11s + 10}{s^2 + 11s + 20}$$

Gli errori di posizione, velocità e accelerazione si testano immettendo all'ingresso del sistema rispettivamente gli ingressi scalino, rampa, parabola.

Nel caso ad esempio dell'effettore di un robot o di un braccio di presa e posa infatti:

- scalino d'ingresso significa imporre una posizione;
- rampa equivale a comandare uno spostamento spaziale linearmente crescente, quindi a velocità costante;
- parabola equivale a imporre una velocità crescente, con accelerazione costante (Ricordiamo che la derivata della parabola  $k \cdot t^2$  è la retta  $2k \cdot t$ , appunto velocità crescente e accelerazione  $2k$  costante).

Ricorrendo al teorema del valore finale si calcolano gli errori.

Ricordiamo le trasformate di scalino, rampa e parabola unitarie.

$$\text{Scalino } L[1] = \frac{1}{s}; \quad L[t] = \frac{1}{s^2}; \quad L[t^2] = \frac{2}{s^3}$$

$$\varepsilon_p = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{s^2 + 11s + 10}{s^2 + 11s + 20} = \frac{1}{2}$$

$$\varepsilon_v = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s^2} \cdot \frac{s^2 + 11s + 10}{s^2 + 11s + 20} = \infty$$

$$\varepsilon_a = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{2}{s^3} \cdot \frac{s^2 + 11s + 10}{s^2 + 11s + 20} = \infty$$

In conclusione il sistema non riesce a controllare gli errori di velocità e accelerazione.

Per rispondere al quesito relativo a  $K_p$  si ricalcola la f.d.t lasciando  $K_p$  in forma letterale.

$$\frac{E(s)}{X(s)} = \frac{1}{1 + \frac{10K_p}{(s+1)(s+10)}} = \frac{(s+1)(s+10)}{(s+1)(s+10) + 10K_p} = \frac{s^2 + 11s + 10}{s^2 + 11s + 10 + K_p}$$

Si riapplica il teorema del valore finale al caso dell'ingresso a scalino, ponendo a 5 il livello dello scalino.

$$\varepsilon_p = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{5}{s} \cdot \frac{s^2 + 11s + 10}{s^2 + 11s + 10 + K_p} = \frac{50}{10 + K_p}$$

$$\frac{50}{10 + K_p} < 0,1 \quad K_p > 490$$

## ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITEC - ELETTROTECHNICA ED ELETTRONICA  
 ARTICOLAZIONE ELETTRONICA  
 Tema di: ELETTROTECHNICA ED ELETTRONICA  
 e SISTEMI AUTOMATICI 2019  
 (sessione suppletiva)

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

### PRIMA PARTE

Un laboratorio di analisi cliniche per la ricerca di uno specifico batterio si avvale di una macchina che rende possibile quantificare la presenza di un frammento di DNA identificativo del batterio in un campione biologico fornito dal paziente (PCR - Real Time). Il metodo consiste nel replicare e quantificare, in un'unica reazione, la sequenza di DNA del batterio presente nel campione immerso in una opportuna soluzione cui sono stati aggiunti preliminarmente marcatori fluorescenti. Tale processo, detto *amplificazione*, si ottiene sottoponendo il campione a un certo numero di cicli termici, a loro volta divisi in tre successive fasi. Al termine di ciascun ciclo termico la sostanza viene eccitata mediante luce a una specifica lunghezza d'onda: i marcatori fluorescenti si legano selettivamente al DNA del batterio che si amplifica a ogni ciclo aumentando, di conseguenza, la probabilità che avvenga il fenomeno di fluorescenza. Quando questo si manifesta si può ricavare la quantità di molecole del batterio presenti originariamente nella sostanza con la relazione:

$$K(n) = K(0)2^n$$

Dove

$K(n)$  = numero molecole DNA al ciclo n-esimo

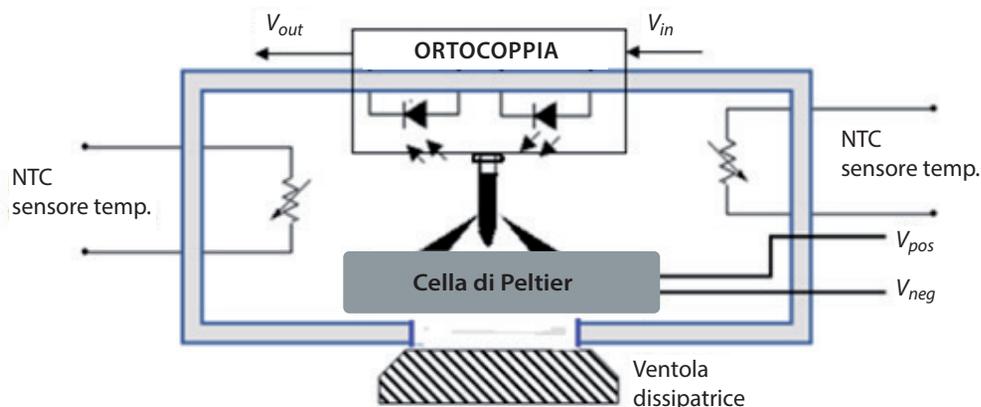
$K(0)$  = numero molecole DNA presenti originariamente

$n$  = numero di cicli termici effettuati

Il valore così calcolato verrà successivamente confrontato con una tabella di riferimento che riporta, per ciascun tipo di elemento analizzato, il valore limite della concentrazione di molecole di batterio, definendo in tal modo la presenza o meno di una infezione.

Una generica macchina PCR-Real time, rappresentata in figura, è costituita da un contenitore isolato termicamente dall'esterno in cui si trovano:

- una cella di Peltier che attua i cicli termici necessari all'amplificazione del DNA;
- due termistori NTC per il controllo della temperatura all'interno del contenitore;
- un circuito di eccitazione e rilevazione luminosa (optocoppia) costituito da un emettitore LED a luce blu e un fotodiiodo.



Le caratteristiche di tali componenti sono di seguito descritte.

**Cella di Peltier:** è una piastra metallica, con tensione di alimentazione 24 Volt, che racchiude uno strato di materiale semiconduttore. A seconda della polarizzazione le due facce della piastra invertono il loro funzionamento: polarizzando direttamente si surriscalda la faccia superiore e si raffredda quella inferiore e polarizzando inversamente si ottiene il comportamento contrario. Nell'apparecchio per la PCR – Real Time alla superficie inferiore della cella di Peltier è collegata una ventola di dissipazione del calore.

**Termistori NTC:** presentano una caratteristica resistenza-temperatura rispondente alla relazione:

$$R(T) = R_0 \cdot e^{\beta \left( \frac{T_0 - T}{T \cdot T_0} \right)}$$

Con:

$$R_0 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 3000 \text{ K}$$

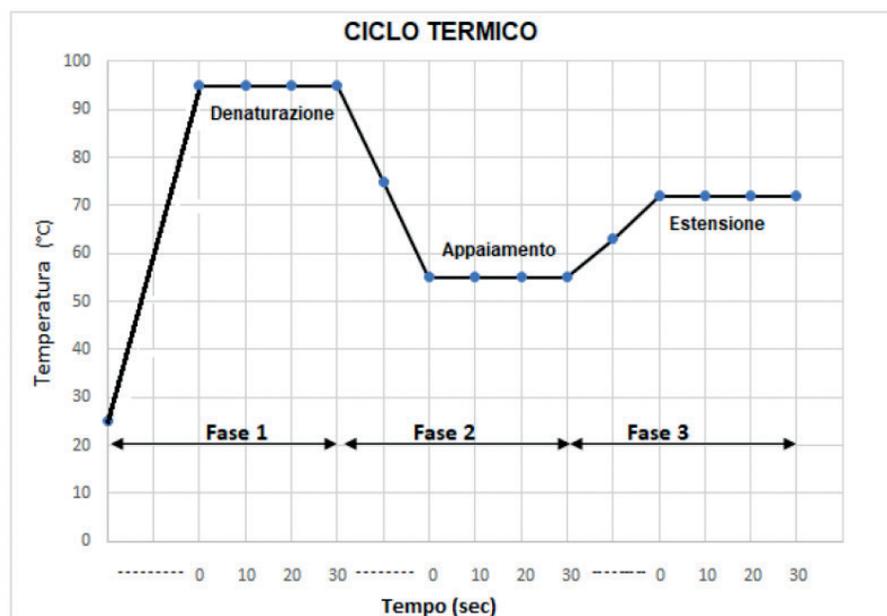
$$T_0 = 273 \text{ K}$$

**Optocoppia:** presenta una tensione di soglia di 3,5 V necessaria al diodo LED per l'emissione del segnale luminoso, mentre il fotodiodo a esso accoppiato è caratterizzato da una dark current di 2 nA. La soglia di fluorescenza indicativa della positività di un batterio è fissata a 100 volte il valore di dark current.

La macchina PCR è dotata, infine, di un display di visualizzazione dei dati rilevati.

L'apparato di misura è provvisto di un sistema micro-programmabile che gestisce le singole fasi, attuando il seguente processo:

- a. la chiusura dello sportello della PCR - Real Time avvia i cicli termici, che si ripeteranno per 40 volte. Ciascun ciclo realizza una sequenza di riscaldamento e raffreddamento del campione costituita da tre fasi come mostrato in figura.



- **Fase 1:** si riscalda il campione fino a 95 °C mantenendo la temperatura per 30 secondi. Si suppone che il primo ciclo del processo inizi a temperatura ambiente e nei cicli successivi la Fase 1 abbia temperatura iniziale uguale a quella finale della Fase 3 (72 °C).
- **Fase 2:** si raffredda il campione fino a 55 °C mantenendo la temperatura per 30 secondi.
- **Fase 3:** si riscalda nuovamente il campione fino a 72 °C mantenendo la temperatura per 30 secondi.

La corretta polarizzazione della cella di Peltier consente il riscaldamento o il raffreddamento della superficie della piastra all'interno del contenitore, e nel caso di raffreddamento il processo è coadiuvato dall'attivazione della ventola di dissipazione del calore posta al di sotto della cella di Peltier. Il controllo della temperatura si effettua sulla media dei valori rilevati dai due termistori.

- b. Alla fine del singolo ciclo termico il diodo LED dell'optocoppia viene polarizzato direttamente per un tempo di 50 ms terminati i quali viene acquisita e memorizzata la risposta del fotodiode.
- c. Completati i 40 cicli realizzativi dell'intero processo il software analizza i dati memorizzati relativi alla risposta del fotodiode e individua il numero d'ordine del ciclo in cui è stata eventualmente superata la soglia di corrente fissata.

Il candidato fatte le opportune ipotesi aggiuntive deve:

- a. proporre uno schema a blocchi dell'intero sistema di controllo evidenziando le connessioni tra dispositivi di input, di output e il dispositivo programmabile scelto per la gestione del processo e descrivendone la funzionalità;
- b. progettare le interfacce necessarie al condizionamento dei segnali provenienti dai termistori e dal fotodiode e alla gestione dell'alimentazione della cella di Peltier;
- c. determinare un opportuno intervallo di acquisizione e controllo della temperatura volendo garantire una precisione  $\pm 0,1$  °C sapendo che la cella di Peltier garantisce una velocità di variazione della temperatura di  $\pm 5$  °C/sec sia durante le fasi di riscaldamento che di raffreddamento;
- d. definire un algoritmo di gestione del processo, o altra struttura rappresentativa, che al termine dei cicli individui e visualizzi il numero d'ordine del ciclo cui è avvenuta la reazione oppure, nel caso che questa non si verifichi, visualizzi la cifra 0. Codificarne quindi un segmento significativo in un linguaggio di programmazione adeguato all'hardware progettato.

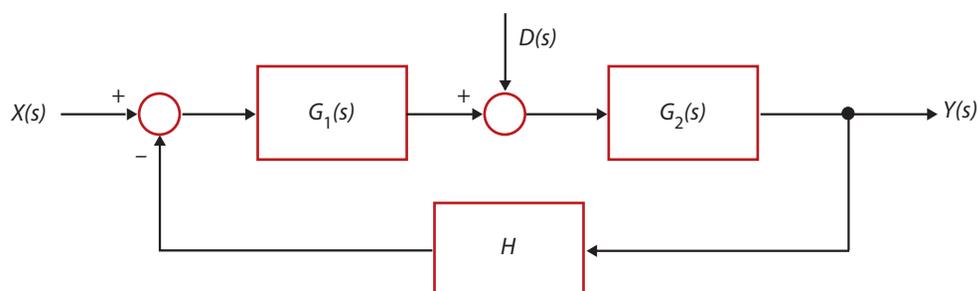
## SECONDA PARTE

### Quesito 1

In riferimento al tema proposto nella prima parte si discutano le possibili implementazioni circuitali utilizzabili per la generazione del segnale di eccitazione del LED nell'optocoppia. Si consideri la possibilità di variare potenza dell'impulso in modo da rendere utilizzabile la macchina per differenti tipi di marcatori fluorescenti.

### Quesito 2

In riferimento al processo descritto nella prima parte, l'accidentale apertura dello sportello del contenitore può essere assimilata a un disturbo esterno che interviene sul sistema. Nello schema a blocchi in figura è riportato un caso specifico di sistema sollecitato da un disturbo  $D(s)$



Si ricavi la risposta a regime permanente del sistema ad anello chiuso sollecitato da un segnale a gradino  $x(t)$  di ampiezza 2, il disturbo  $d(t)$  sia assimilabile a un segnale a gradino di ampiezza 0,1 e le F.d.T. dei blocchi siano:

$$G_1(s) = \frac{1}{(1 + 2 \cdot 10^{-1} s)}$$

$$G_2(s) = \frac{5}{(1 + 2 \cdot 10^{-2} s)}$$

$$H = 2$$

**Quesito 3**

Nel circuito di figura la termoresistenza  $R(T)$  assume valore proporzionale alla temperatura secondo la relazione:

$$R(T) = 100 \cdot (1 + \alpha_1 + \alpha_2 T^2) \text{ } [\Omega]$$

Con:

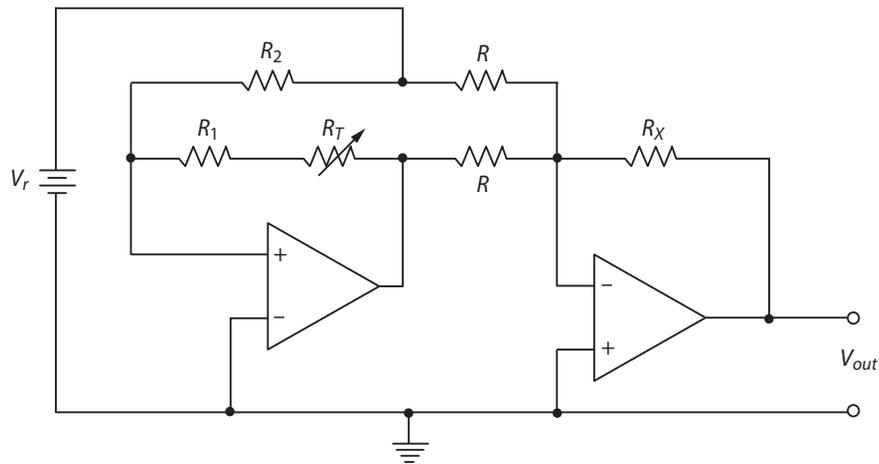
$$\alpha_1 = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha_2 = -5,77 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

E inoltre:

$$R_1 = 2,0 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$$

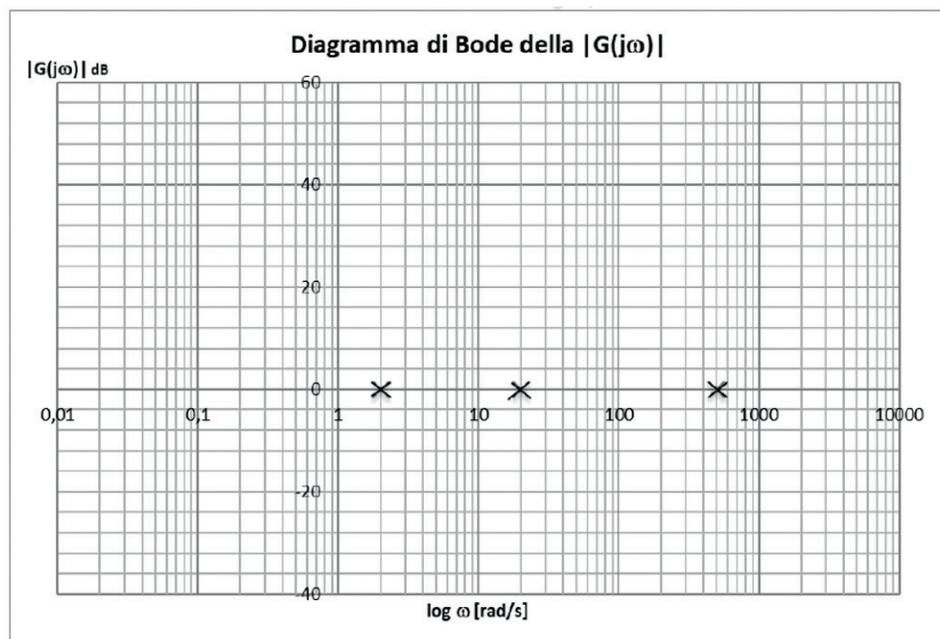


Dopo aver determinato l'espressione della  $V_{out}$  in funzione dei componenti presenti, determinare per quale valore di temperatura questa assume valore nullo.

**Quesito 4**

Si tracci il diagramma di Bode del modulo e della fase di una funzione di trasferimento  $G(s)$  con guadagno statico  $K = 100$ , uno zero nell'origine e i tre poli riportati sul diagramma sottostante.

Si ricavi quindi l'espressione della funzione di trasferimento a partire dalle informazioni in possesso.



## SOLUZIONE PRIMA PARTE

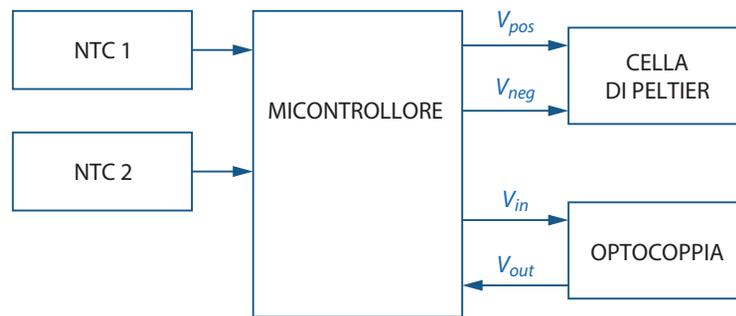
**Quesito 1** – Proporre uno schema a blocchi dell'intero sistema di controllo evidenziando le connessioni tra dispositivi di input, di output e il dispositivo programmabile scelto per la gestione del processo e descrivendone la funzionalità.

La figura descrive in modo essenziale i blocchi presenti nel sistema e i segnali scambiati.

Per semplicità si ipotizza che i circuiti di condizionamento degli ingressi e il circuito di potenza per il comando della cella di Peltier siano inglobati nei blocchi stessi.

Il microcontrollore deve gestire questi blocchi come di seguito descritto.

1. Produzione del ciclo di riscaldamento/raffreddamento – segnali  $V_{POS}$ ,  $V_{NEG}$ .
2. Al termine del ciclo invio  $V_{IN}$  alla optocoppia e rilevazione  $I_{OUT}$  per fluorescenza.
3. Intercettazione del numero di ciclo  $n$  per il quale si è verificata la fluorescenza.
4. Ripetizione del ciclo per 40 volte.
5. Registrazione al termine di ogni ciclo delle concentrazioni  $K(i)$  del DNA.
6. Se si è verificata la fluorescenza al ciclo  $n$ , deduzione di  $K(0)$  con la formula inversa  $K(0) = \frac{K(n)}{2^N}$ .



**Quesito 2** – Progettare le interfacce necessarie al condizionamento dei segnali provenienti dai termistori e dal fotodiodo e alla gestione dell'alimentazione della cella di Peltier.

### Termistore NTC

$$R(T) = R_0 \cdot e^{\beta \cdot \frac{T_0 - T}{T \cdot T_0}} \quad R_0 = 1 \text{ k}\Omega \quad \beta = 300 \text{ K} \quad T_0 = 273 \text{ K}$$

La temperatura varia da 25 °C a 95 °C.

Per sicurezza si considera l'intervallo 0 °C <  $T$  < 100 °C.

Si determina  $R(T)$  per  $T_{MIN} = 0$  °C e  $T_{MAX} = 100$  °C. Si nota che la resistenza diminuisce all'aumentare di  $T$ .

Provando inoltre a diagrammare  $R(T)$  si noterebbe che la resistenza non decresce linearmente nel campo di temperatura.

$$R(0) = 1000 \cdot e^{\frac{3000 \cdot (273 - 273)}{273 \cdot 273}} = 1000 \cdot e^0 = 1000 \Omega$$

$$R(100) = 1000 \cdot e^{\frac{3000 \cdot (273 - 373)}{273 \cdot 373}} = 1000 \cdot e^{-2,946} = 52,5 \Omega$$

Per conferire alla funzione  $R(T)$  un andamento lineare si deve procedere come descritto in questo *Corso di sistemi* nell'unità relativa ai sensori ovvero:

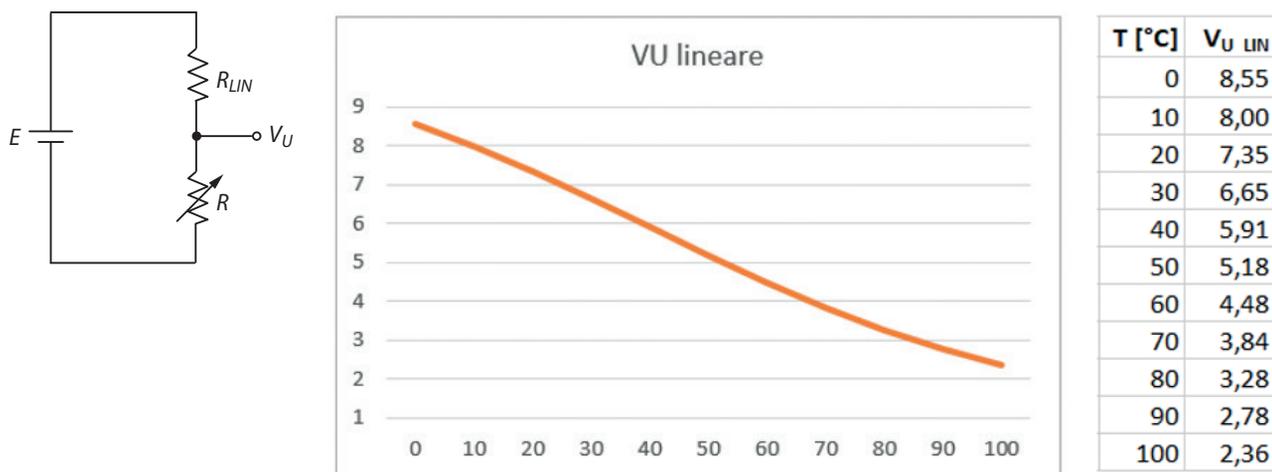
1. Si deve calcolare la resistenza in corrispondenza della temperatura media  $T_{MED} = 50$  °C;

$$R_T(50) = 1000 \cdot e^{\frac{3000 \cdot (273 - 323)}{323 \cdot 273}} = 1000 \cdot e^{-1,7} = 182 \Omega$$

2. Si colloca in serie alla  $R$ , come nel circuito della figura seguente, una resistenza  $R_{LIN}$  di linearizzazione così calcolata:

$$R_{LIN} = R_{TM} \cdot \frac{\beta - 2T_{MED}}{\beta + 2T_{MED}} = 182 \cdot \frac{3000 - 2 \cdot 50}{3000 + 2 \cdot 50} = 182 \cdot 0,935 = 170 \, \Omega$$

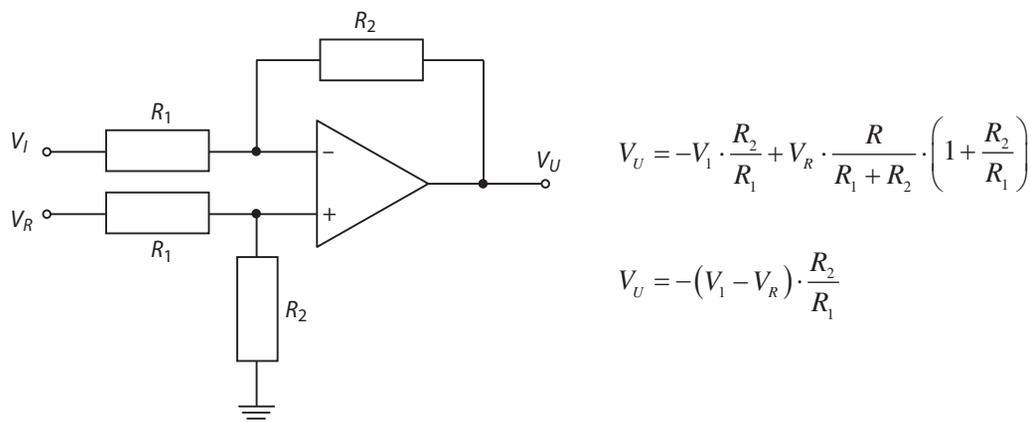
Si provi a impostare un foglio di lavoro per il calcolo di  $V_U$  in funzione di  $T$  e si perverrà a un grafico lineare come quello della figura.



Dopo aver reso lineare la relazione si deve modificare il range di tensione  $V_U$  in modo che per  $0 < T < 100 \, ^\circ\text{C}$  la tensione  $V_U$  vari nel campo  $0 < V_U < 10 \, \text{V}$  atteso dal convertitore ADC.

$$\begin{aligned} T_{MIN} = 0 \, ^\circ\text{C} &\rightarrow V = 8,55 \, \text{V} &\rightarrow V = 0 \, \text{V} \\ T_{MAX} = 100 \, ^\circ\text{C} &\rightarrow V = 2,36 \, \text{V} &\rightarrow V = 10 \, \text{V} \end{aligned}$$

Per questo si deve ricorrere a un amplificatore differenziale inverso, ovvero con la tensione di riferimento  $V_R$  facente capo al terminale + dell'operazionale. Si riportano circuito e formule e si lascia il calcolo delle resistenze al lettore.



### Optocoppia

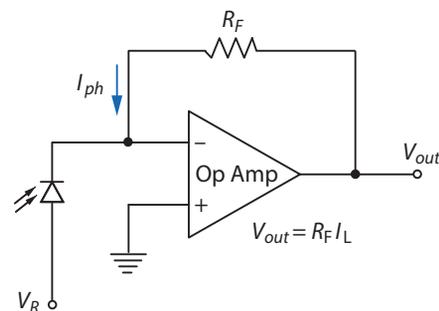
Si può utilizzare un circuito convertitore corrente-tensione con operazionale.

Noto che Dark current  $I_{DARK} = 2 \, \text{nA}$  per la soglia di fluorescenza della positività al batterio fissata a 100 volte il valore di dark current si ha:

$$I_{DARK} \cdot 100 = 2 \cdot 10^{-9} \cdot 10^2 = 0,2 \, \mu\text{A}$$

Si ricava dal circuito, scegliendo una  $R_F = 1 \, \text{M}\Omega$ :

$$V_{OUT} = 0,2 \, \mu\text{A} \cdot 1 \, \text{M}\Omega = 0,2 \, \text{mV}$$



**Quesito 3** – Determinare un opportuno intervallo di acquisizione e controllo della temperatura volendo garantire una precisione  $\pm 0,1$  °C sapendo che la cella di Peltier garantisce una velocità di variazione della temperatura di  $\pm 5$  °C/sec sia durante le fasi di riscaldamento che di raffreddamento.

La velocità massima è nella prima parte del profilo, nel quale la temperatura sale di 70 °C in 20 s.

La pendenza è:  $70/20 = 3,5$  °C/s

Per una precisione di 0,1 °C il periodo di campionamento deve essere:

$$T_{CAMP} = 0,1/3,5 = 28,6 \text{ ms}$$

Questo è riferito al monitoraggio del profilo, ma il problema dell'intervallo di acquisizione si pone anche in relazione alla velocità di variazione della temperatura 5 °C/s nella cella Peltier.

Questo dato è più restrittivo, pertanto si ripete il calcolo di  $T_{CAMP}$  e si valida questo risultato, ovvero:

$$T_{CAMP} < 0,1/5 = 20 \text{ ms}$$

**Quesito 4** – Definire un algoritmo di gestione del processo, o altra struttura rappresentativa, che al termine dei cicli individui e visualizzi il numero d'ordine del ciclo cui è avvenuta la reazione oppure, nel caso che questa non si verifichi, visualizzi la cifra 0. Codificarne quindi un segmento significativo in un linguaggio di programmazione adeguato all'hardware progettato.

Nell'algoritmo illustrato nel seguente diagramma di flusso:

1. si produce per 40 volte il ciclo termico;
2. a ogni ciclo si registra in un vettore  $K[i]$  la concentrazione di molecole del DNA;
3. si verifica il grado di fluorescenza; se questa è presente si registra in un Vettore[i] il numero 1 per tenere traccia del numero di ciclo in cui è subentrato l'evento;
4. al termine dell'algoritmo, a differenza di quanto richiesto nel testo del problema, noto:
  - a. il numero del ciclo  $n$  nel quale si è verificata la fluorescenza;
  - b. la concentrazione  $K(n)$  rilevata corrispondentemente; si calcola la concentrazione iniziale  $K(0)$  con la formula inversa ovvero:

$$K(0) = \frac{K(n)}{2^n}$$

Si sceglie di codificare il segmento di programma che genera il profilo di comando.

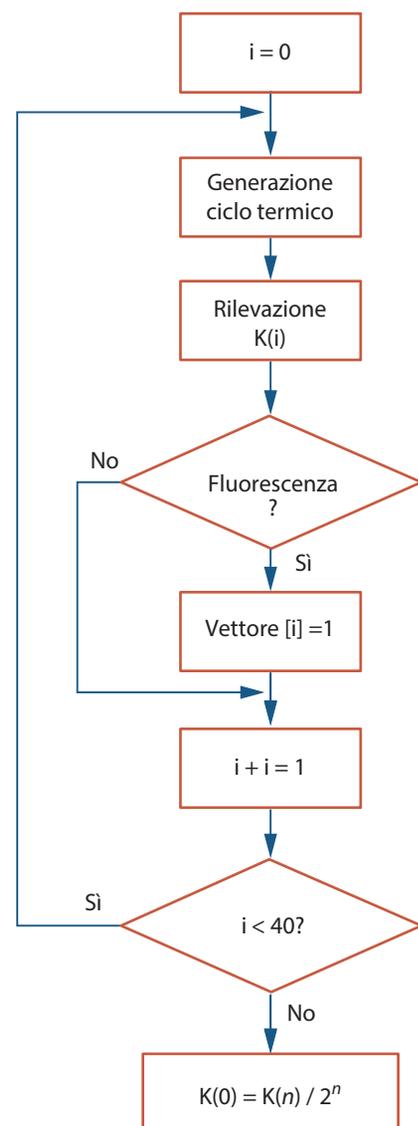
Le pendenze crescenti e decrescenti vengono implementate con cicli for. È necessario calcolare per ogni ciclo il numero di ripetizioni CICLI, in funzione del periodo di generazione discreto scelto.

Si sceglie  $T = T_{CAMP} = 20$  ms.

Si identifica con *Durata* la durata di ogni spezzona del profilo.

- Gli spezzoni costanti durano 30 s quindi danno luogo a CICLI =  $30/20 \text{ ms} = 1500$ .
- Gli altri spezzoni durano 20 s quindi danno luogo a CICLI =  $20/20 \text{ ms} = 1000$ .

1. Prima parte – pendenza:  $\frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{\text{Durata}} = \frac{(95 - 25)}{20 \text{ s}} = \frac{3,5 \text{ °C}}{\text{s}} = \frac{0,07 \text{ °C}}{20 \text{ ms}}$



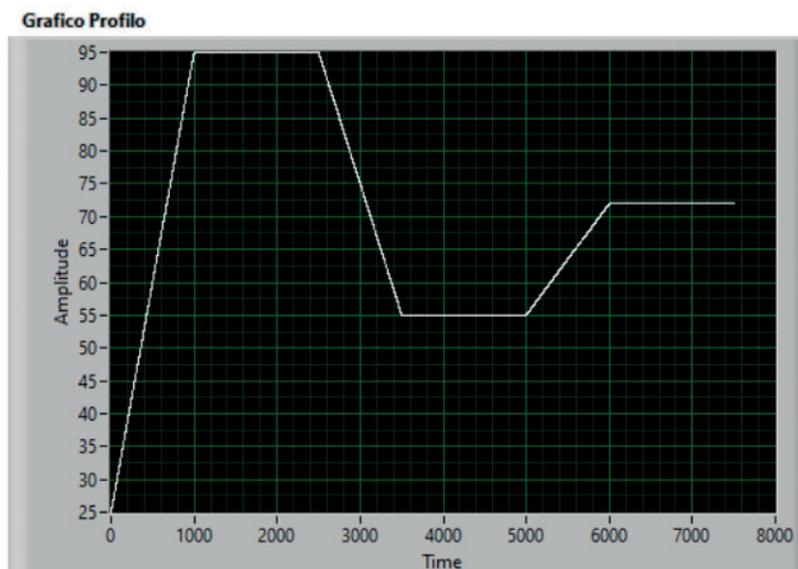
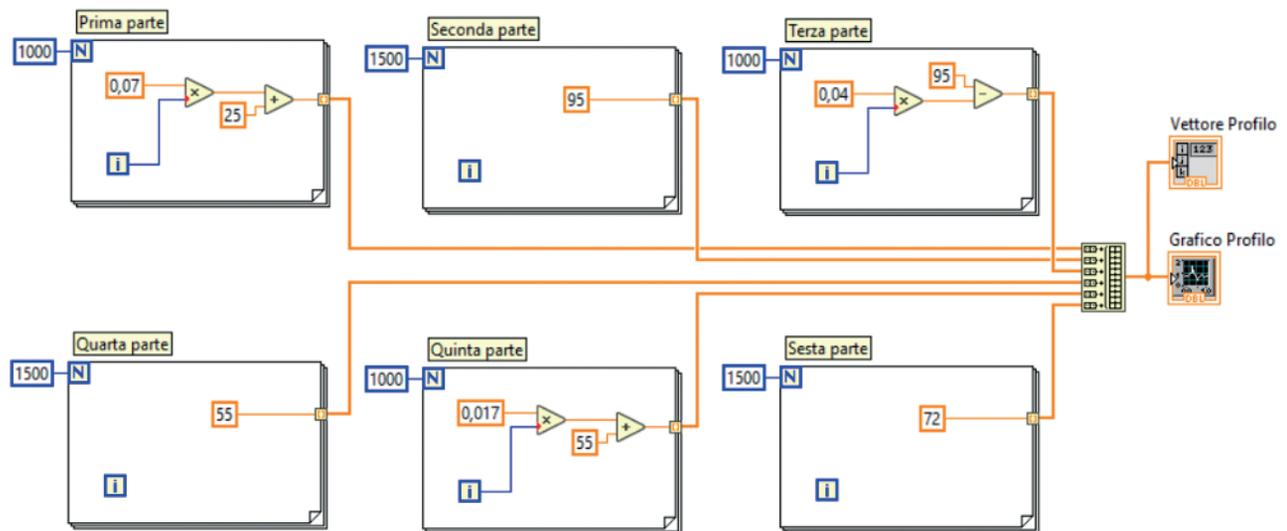
2. Seconda parte – pendenza:  $0\text{ }^{\circ}\text{C/s}$

3. Terza parte – pendenza:  $\frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{\text{Durata}} = \frac{(95 - 55)}{20\text{ s}} = \frac{-2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{s}} = \frac{-0,04\text{ }^{\circ}\text{C}}{20\text{ ms}}$

4. Quarta parte – pendenza:  $0\text{ }^{\circ}\text{C/s}$

5. Quinta parte – pendenza:  $\frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{\text{Durata}} = \frac{(72 - 55)}{20\text{ s}} = \frac{0,85\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{s}} = \frac{0,017\text{ }^{\circ}\text{C}}{20\text{ ms}}$

6. Sesta parte – pendenza:  $0\text{ }^{\circ}\text{C/s}$



Allo stesso modo si può procedere in linguaggio C.

## SOLUZIONE SECONDA PARTE

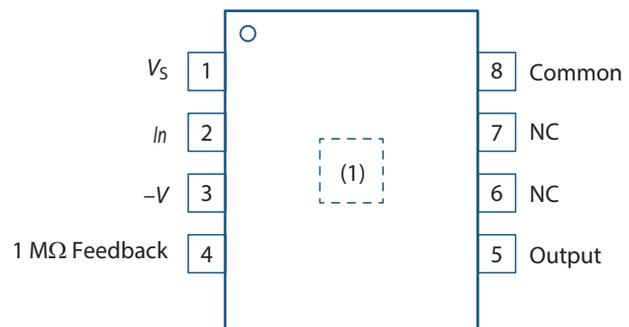
**Quesito 1** – In riferimento al tema proposto nella prima parte si discutano le possibili implementazioni circuitali utilizzabili per la generazione del segnale di eccitazione del LED nell'optocoppia. Si consideri la possibilità di variare potenza dell'impulso in modo da rendere utilizzabile la macchina per differenti tipi di marcatori fluorescenti.

Si riporta una possibile soluzione che impiega un fotodiodo accoppiato con un led.

Si fa riferimento al fotodiodo OPT101 e se ne riportano:

1. una breve descrizione in inglese;
2. la piedinatura;
3. La tabella delle funzioni dei pin;
4. Un circuito implementativo.

The OPT101 is a monolithic photodiode with on-chip transimpedance amplifier. The integrated combination of photodiode and transimpedance amplifier on a single chip eliminates the problems commonly encountered in discrete designs, such as leakage current errors, noise pick-up, and gain peaking as a result of stray capacitance. Output voltage increases linearly with light intensity. The amplifier is designed for single or dual power-supply operation.

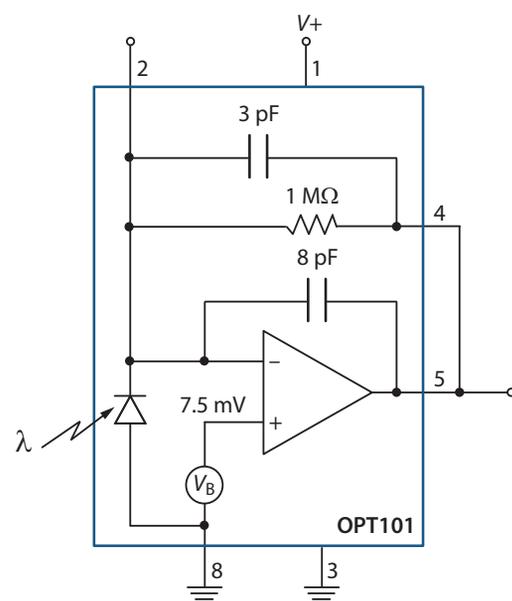


Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	V <sub>S</sub>	Power	Power supply of device. Apply 2.7 V to 36 V relative to -V pin.
2	-In	Input	Negative input of op amp and the cathode of the photodiode. Either do not connect, or apply additional op amp feedback.
3	-V	Power	Most negative power supply. Connect to ground or a negative voltage that meets the recommended operating conditions.
4	1MΩ Feedback	Input	Connection to internal feedback network. Typically connect to Output, pin 5.
5	Output	Output	Output of device.
6	NC	—	Do not connect
7	NC	—	Do not connect
8	Common	Input	Anode of the photodiode. Typically, connect to ground.

Il circuito implementativo è in sostanza un convertitore corrente-tensione con operazionale.

1. I terminali 4 e 5 sono collegati insieme per la connessione al feedback interno, come descritto nella tabella Pin Functions (connection to internal feedback network).
2. La rete di feedback è costituita da una resistenza di 1 MΩ. Poiché non entra corrente nel terminale negativo dell'operazionale, tutta la corrente  $I_F$  generata dal fotodiodo va a interessare la resistenza di feedback, pertanto l'uscita al terminale 5 vale:  $V_{OUTPUT} = I_F \cdot 10^6$ .
3. Il fotodiodo è influenzato dal livello di luminosità, simbolizzato nello schema dalla lettera  $\lambda$ .



**Quesito 2** – In riferimento al processo descritto nella prima parte, l'accidentale apertura dello sportello del contenitore può essere assimilata a un disturbo esterno che interviene sul sistema. Nello schema a blocchi in figura è riportato un caso specifico di sistema sollecitato da un disturbo  $D(s)$ ...

Grazie alla sovrapposizione degli effetti è possibile analizzare singolarmente gli effetti del gradino di ingresso e del disturbo.

**Effetto del gradino di ingresso**

$$G_1(s) = \frac{1}{(1+0,2s)} \quad G_2(s) = \frac{1}{(1+0,02s)} \quad H = 2$$

$$G_1(s)G_2(s) = \frac{1}{(1+0,2s)(1+0,02s)} = \frac{1}{0,004s^2 + 0,22s + 1}$$

$$G_R = \frac{\frac{1}{0,004s^2 + 0,22s + 1}}{1 + \frac{2}{0,004s^2 + 0,22s + 1}} = \frac{1}{0,004s^2 + 0,22s + 3} = \frac{250}{s^2 + 55s + 750} = \frac{1}{3} \cdot \frac{750}{s^2 + 55s + 750}$$

Si tratta di un sistema di secondo ordine al limite tra assenza e presenza oscillazioni.

$$\omega_N = \sqrt{750} = 27,4 \quad 2\xi\omega_N = 55 \quad \xi = \frac{55}{54,8} = 1,004$$

Pertanto ha andamento simile alla carica del condensatore ma veloce, con valore a regime di  $\frac{1}{3}$ . Sulla velocità di crescita comanda la costante di tempo più bassa quindi  $\tau = 0,2 \quad 5\tau = 1$

Si può verificare il risultato con il programma Scilab.

```
--> s = %s
s =
s

--> GR=G/(1+G*H)
GR =
250
-----
2
750 + 55s + s

--> G1 = 1/(1+0.2*s)
G1 =
1
-----
1 + 0.2s

--> G2 = 1/(1+0.02*s)
G1 =
1
-----
1 + 0.02s

--> H = 2
H =
2.

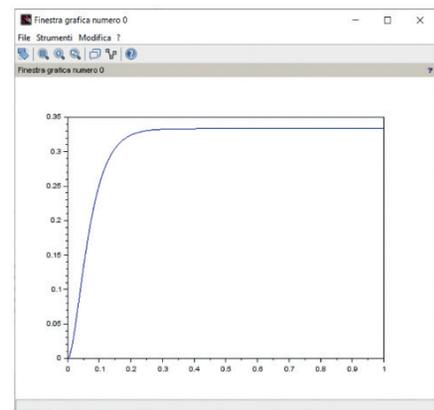
--> G = G1*G2
G =
1
-----
1 + 0.22s + 0.004s

--> GR_LIN=syslin('c',GR)
GR_LIN =
250
-----
750 + 55s + s

--> t = [0:1e-3:1];

--> y = csim('step',t,GR_LIN);

--> plot(t,y)
```



**Effetto del disturbo**

In questo caso il disturbo è imposto come ingresso e la f.d.t equivalente vale:

$$G_D = \frac{G_2}{1+G_1G_2H} = \frac{\frac{1}{(1+0,02s)}}{1+\frac{2}{0,004s^2+0,22s+1}} = \frac{(1+0,2s)}{0,004s^2+0,22s+3} =$$

$$= \frac{(250+50s)}{s^2+55s+750} = \frac{1}{3} \cdot \frac{750}{s^2+55s+750} + \frac{50s}{s^2+55s+750}$$

Il primo termine è come quello della risposta all'ingresso, pertanto fornisce una risposta a regime di valore  $\frac{1}{3}$  moltiplicato per l'ampiezza del disturbo che vale 0,1.

Risulta quindi un valore di regime di 0,033, come si vede nel grafico ricavato con Scilab .

Come dimostrato con seguente passaggio del teorema del valore finale, il secondo termine non dà contributo a regime.

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{0,1}{s} \cdot \frac{50s}{s^2+55s+750} = 0$$

```
--> GD = G2 / (1+G1*G2*H)
```

$$GD = \frac{250 + 50s}{s^2 + 55s + 750}$$

```
--> GD_LIN = syslin('c',GD)
```

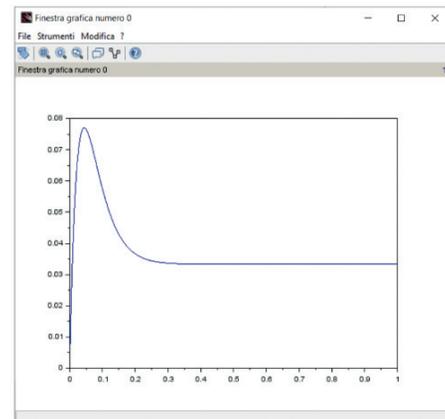
$$GD\_LIN = \frac{250 + 50s}{s^2 + 55s + 750}$$

```
--> t = [0:1e-3:1];
```

```
--> y = csim('step',t,GD_LIN)
```

```
--> y = 0.1*y
```

```
--> plot(t,y)
```



Il carattere del transitorio è invece dettato dal secondo termine.

Si tratta infatti di una f.d.t del secondo ordine con  $\xi < 1$

```
--> s = %s
```

```
s =
```

```
s
```

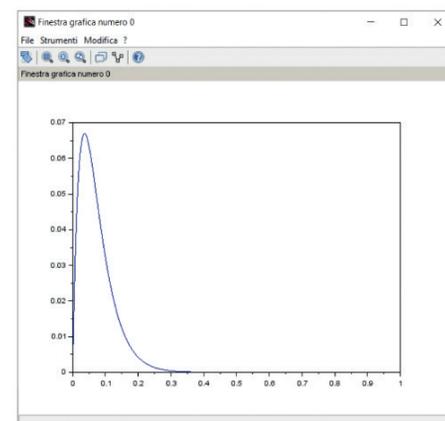
```
--> G = (50*s) / (S^2+55*s+750)
```

$$G = \frac{50s}{s^2 + 55s + 750}$$

```
--> t = [0:1e-3:1];
```

```
--> y = csim('step',t,G_LIN)
```

```
--> plot(t,y)
```



**Quesito 3** – Dopo aver determinato l'espressione della  $V_{out}$  in funzione dei componenti presenti. Determinare per quale valore di temperatura questa assume valore nullo.

$$R(T) = 100 \cdot (1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2)$$

$$R(T) = 100 \cdot (1 + 3.9 \cdot 10^{-3} T - 5.77 \cdot 10^{-3} T^2)$$

Lo schema del secondo operazionale è un sommatore che, nell'ipotesi  $R_x = R$ , semplicemente somma i due ingressi con guadagno  $A = -\frac{R}{R} = -1$  invertendoli di segno.

L'ingresso superiore è sottoposto direttamente alla tensione  $V_r$ , quello inferiore all'uscita del primo operazionale.

Il primo operazionale è anch'esso in configurazione invertente e il suo guadagno è:

$$A = -\frac{(R_1 + R_T)}{R_2}$$

Complessivamente si ha:

$$V_{OUT} = V_R \frac{R_1}{R_2} + V_R \frac{R_T}{R_2} - V_R \quad G_{TOT} = \frac{R_1 - R_2 + R_T}{R_2}$$

Si deve imporre  $G_{TOT} = 0$  e di conseguenza  $R_T = R_2 - R_1$

In altri termini deve essere  $R_1 + R_T = R_2$

Si poteva giungere a questo risultato con un ragionamento diretto, considerando che, affinché l'uscita sia nulla, il primo operazionale deve avere guadagno  $-1$ .

Imponendo l'espressione si ricava l'equazione:

$$100 \cdot (1 + 3.9 \cdot 10^{-3} T - 5.77 \cdot 10^{-3} T^2) = 200$$

$$3.9 \cdot 10^{-3} T - 5.77 \cdot 10^{-3} T^2 = 1$$

Si lascia al lettore la soluzione dell'equazione di secondo grado.

**Quesito 4** – Si tracci il diagramma di Bode del modulo e della fase di una funzione di trasferimento  $G(s)$  con guadagno statico  $K = 100$ , uno zero nell'origine e i tre poli riportati sul diagramma sottostante. Si ricavi quindi l'espressione della funzione di trasferimento a partire dalle informazioni in possesso.

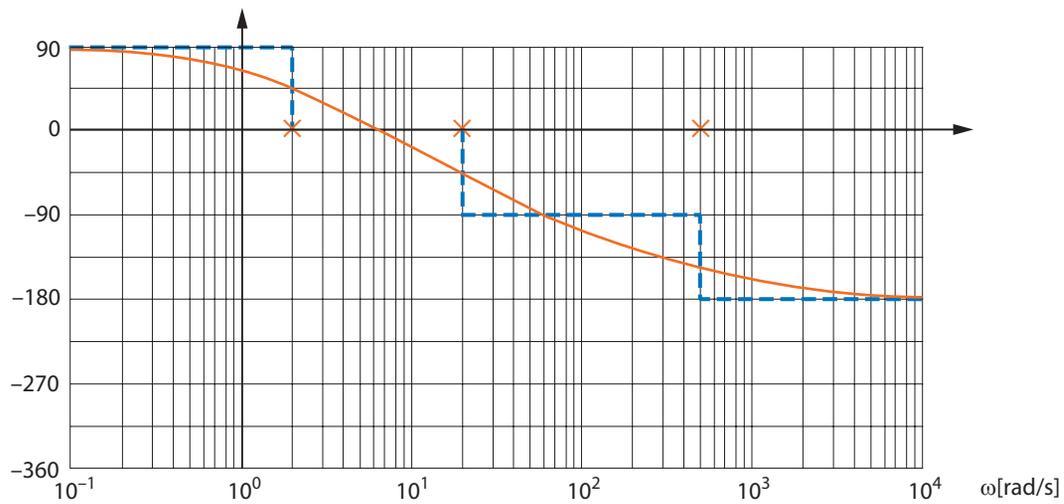
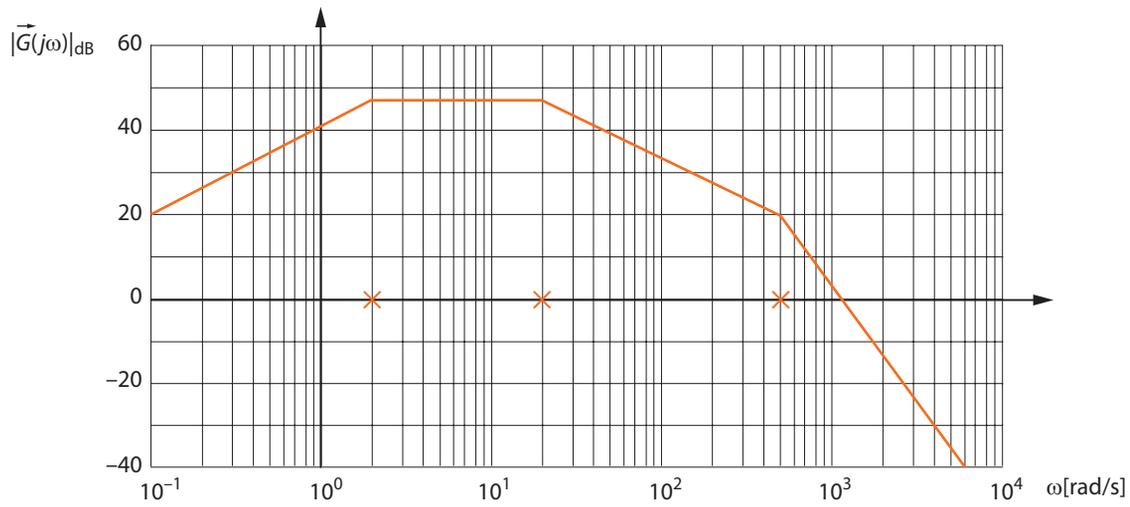
IL guadagno statico in dB vale:

$$20 \log K = 40 \text{ dB}$$

Lo zero nullo, come noto (cfr. questo testo *Corso di sistemi automatici, vol. 2*), determina una pendenza iniziale di  $+20 \text{ dB/dec}$ .

Il passaggio in corrispondenza di  $\omega = 1 \text{ rad/sec}$  si ha in corrispondenza dei  $40 \text{ dB}$ .

Lo zero nullo nel diagramma di Bode della fase implica un valore iniziale di  $90^\circ$ .



Si ricavano ora le costanti di tempo a partire dai poli, per scrivere la f.d.t.

$$\tau_1 = \frac{1}{2} = 0,5; \quad \tau_2 = \frac{1}{20} = 0,05; \quad \tau_3 = \frac{1}{500} = 0,002;$$

$$G(s) = \frac{K \cdot j\omega}{(1 + j\omega\tau_1)(1 + j\omega\tau_2)(1 + j\omega\tau_3)} = \frac{100 \cdot j\omega}{(1 + j\omega 0,5)(1 + j\omega 0,05)(1 + j\omega 0,002)}$$

I grafici ricavati con Scilab confermano l'analisi svolta.

