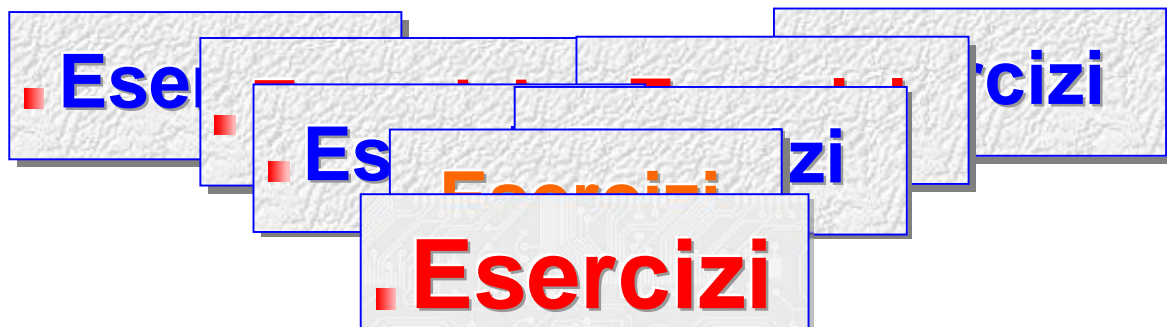


Classe : 4A\_IPAI - 5A\_IPAI

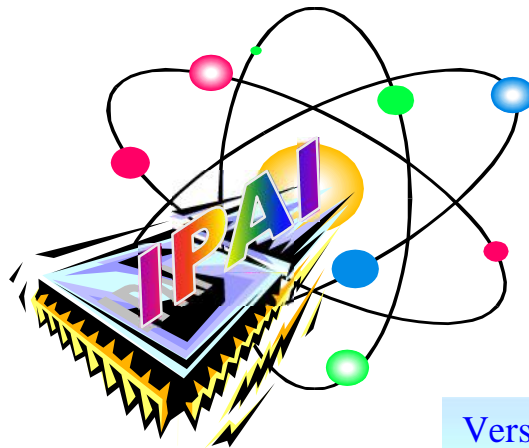
A.S. : 2019-2020

Docenti : Tufoni Franco -- Enrico Ruggieri

Disciplina : Tecnologie elettriche-elettroniche, dell'automazione e applicazioni



- **Sensori - Trasduttori**
- **Condizionamento**



Vers. 3.5 02-04-2020

**Indice**

<b>Esercizio</b>	<b>Sensore/Trasduttore</b>	<b>Pagina</b>
<b>1</b>	Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100	<b>3</b>
<b>2</b>	Sensore di temperatura: Termoresistenza rame-nichel	<b>4</b>
<b>3</b>	Sensore di temperatura: Termoresistenza platino	<b>5</b>
<b>4</b>	Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100	<b>6</b>
<b>5</b>	Trasduttore di temperatura: AD590	<b>7</b>
<b>6</b>	Sensore di umidità: Capacitivo	<b>8</b>
<b>7</b>	Trasduttore di pressione: RS286-709	<b>9</b>
<b>8</b>	Trasduttore di forza: Estensimetri	<b>10</b>
<b>9</b>	Trasduttore di velocità: Dinamo tachimetrica	<b>12</b>
<b>10</b>	Trasduttore di velocità: Encoder	<b>13</b>
<b>11</b>	Trasduttore di temperatura: Termocoppia	<b>14</b>
<b>12</b>	Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K	<b>15</b>
<b>13</b>	Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K	<b>15</b>
<b>14</b>	Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K	<b>16</b>
<b>15</b>	Trasduttore di temperatura: LM 35	<b>17</b>
<b>16</b>	Trasduttore di temperatura: Generico	<b>18</b>
<b>17</b>	Sensore di posizione lineare: Potenzometro	<b>19</b>
<b>18</b>		
<b>19</b>		
<b>20</b>		
<b>21</b>		

**Esercizio 1 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100)**

Un sensore PT100 (termoresistenza) viene utilizzato per misurare una temperatura variabile nel range  $-20\text{ °C} \div +130\text{ °C}$ .  
Calcolare il range della termoresistenza.

**Caratteristiche del PT100:**

Materiale	Platino
Resistenza $R_0$ ( $0\text{ °C}$ )	$100\ \Omega + 0,1\ \%$
Coefficiente di temperatura ( $\alpha$ )	$3,85 \cdot 10^{-3}\ \text{°C}^{-1}$
Range di funzionamento	$-50\text{ °C} \div 260\text{ °C}$

Caratteristica di trasferimento:

$$R_T = R_0 \tilde{N}(1 + rT)$$

**Soluzione****RT a  $-20\text{ °C}$** 

$$RT(-20\text{ °C}) = R_0 * (1 + r * T)$$

$$RT(-20\text{ °C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3}(-20))$$

$$RT(-20\text{ °C}) = 100 * (1 - 0,077)$$

$$RT(-20\text{ °C}) = 100 * 0,923 = 92,3\Omega$$

$$RT(-20\text{ °C}) = 92,3\Omega$$

**RT a  $+130\text{ °C}$** 

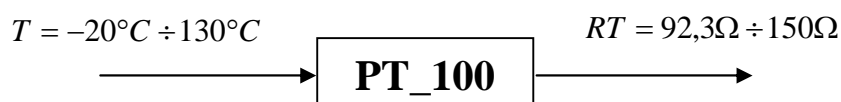
$$RT(+130\text{ °C}) = R_0 * (1 + r * T)$$

$$RT(+130\text{ °C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3}(130))$$

$$RT(+130\text{ °C}) = 100 * (1 + 0,5)$$

$$RT(+130\text{ °C}) = 100 * 1,5 = 150\Omega$$

$$RT(+130\text{ °C}) = 150\Omega$$



 **Esercizio 2 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza rame-nichel)**

Una termoresistenza in rame-nichel con coefficiente di temperatura  $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e resistenza  $R_0 (0^\circ\text{C}) = 100\Omega$  viene utilizzata per misurare una temperatura variabile nel range  $-10^\circ\text{C} \div +480^\circ\text{C}$ . Calcolare il range della termoresistenza.

**Soluzione**

Per la termoresistenza si usa sempre la formula  $R_T = R_0(1 + \alpha T)$

**RT a  $-10^\circ\text{C}$**

$$RT(-10^\circ\text{C}) = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

$$RT(-10^\circ\text{C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3}(-10))$$

$$RT(-10^\circ\text{C}) = 96,15\Omega$$

$$RT(-10^\circ\text{C}) = 96,15\Omega$$

**RT a  $+480^\circ\text{C}$**

$$RT(+480^\circ\text{C}) = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

$$RT(+480^\circ\text{C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3}(480))$$

$$RT(+480^\circ\text{C}) = 284,80\Omega$$

$$RT(+480^\circ\text{C}) = 284,80\Omega$$



 **Esercizio 3 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza platino)**

Una termoresistenza in platino con coefficiente di temperatura  $\alpha = 3,91 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e resistenza  $R_0 (0^\circ\text{C}) = 400\Omega$  viene utilizzata per misurare una temperatura variabile nel range  $-50 \text{ } ^\circ\text{C} \div +180 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Calcolare il range della termoresistenza.

**Soluzione**

Per la termoresistenza si usa sempre la formula  $R_T = R_0(1 + \alpha T)$

**RT a  $-50^\circ\text{C}$**

$$RT(-50^\circ\text{C}) = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

$$RT(-50^\circ\text{C}) = 400 * (1 + 3,91 * 10^{-3} (-50))$$

$$RT(-50^\circ\text{C}) = 321,80\Omega$$

$$RT(-50^\circ\text{C}) = 321,80\Omega$$

**RT a  $+180^\circ\text{C}$**

$$RT(+180^\circ\text{C}) = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

$$RT(+180^\circ\text{C}) = 400 * (1 + 3,91 * 10^{-3} (180))$$

$$RT(+180^\circ\text{C}) = 681,52\Omega$$

$$RT(+180^\circ\text{C}) = 681,52\Omega$$



**Esercizio 4 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100)**

In figura è riportato un estratto della tabella di corrispondenza °C→Ohm della termoresistenza PT100.

Determinare la resistenza corrispondente alla temperatura di:

- a)  $T = -15\text{ °C}$
- b)  $T = +48\text{ °C}$

**Termoresistenze al Platino PT100  
TABELLA DI CORRISPONDENZA °C → OHM**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-200	18,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-190	22,80	22,37	21,94	21,51	21,08	20,65	20,22	19,79	19,36	18,93
-180	27,08	26,65	26,23	25,80	25,37	24,94	24,52	24,09	23,66	23,23
-170	31,32	30,90	30,47	30,05	29,63	29,20	28,78	28,35	27,93	27,50
-160	35,53	35,11	34,69	34,27	33,85	33,43	33,01	32,59	32,16	31,74
-150	39,71	39,30	38,88	38,46	38,04	37,63	37,21	36,79	36,37	35,95
-140	43,87	43,45	43,04	42,63	42,21	41,79	41,38	40,96	40,55	40,13
-130	48,00	47,59	47,18	46,76	46,35	45,94	45,52	45,11	44,70	44,28
-120	52,11	51,70	51,29	50,88	50,47	50,06	49,64	49,23	48,82	48,41
-110	56,19	55,78	55,38	54,97	54,56	54,15	53,74	53,33	52,92	52,52
-100	60,25	59,85	59,44	59,04	58,63	58,22	57,82	57,41	57,00	56,60
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,87	61,47	61,06	60,66
-80	68,33	67,92	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70
-70	72,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,13	76,73
-40	84,27	83,88	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,40	89,01	88,62
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12

**Soluzione**

a)  $T = -15\text{ °C}$   
 $R_t(-15\text{ °C}) = 94,12\ \Omega$

b)  $T = +48\text{ °C}$   
 $R_t(+48\text{ °C}) = 118,62\ \Omega$





 **Esercizio 5** (Trasduttore di temperatura: AD590)

Un trasduttore AD590 viene utilizzato per misurare una temperatura variabile nel range  $0^{\circ}\text{C} \div 70^{\circ}\text{C}$ . Calcolare il range della corrente erogata dal trasduttore.



Caratteristica di trasferimento dell'AD590:  $I = K * T$

$T \Rightarrow$  temperatura espressa in K

$K \Rightarrow 1\text{-}\mu\text{A/K}$  (costante del trasduttore)

**Soluzione**

Calcolo range della temperatura in K

$$T = 0^{\circ}\text{C} \div 70^{\circ}\text{C}$$

$$\downarrow$$

$$+273$$

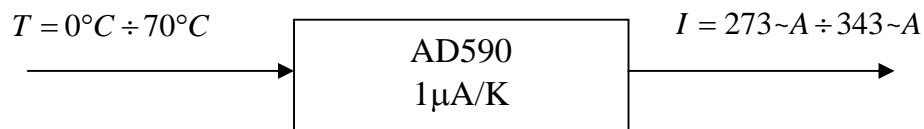
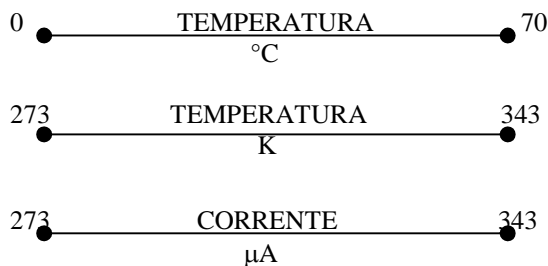
$$T_{\min}(K) = 0 + 273 = 273K$$

$$T_{\max}(K) = 70 + 273 = 343K$$

.Calcolo range della corrente erogata dal trasduttore.

$$I_{\min} = K * T_{\min} = 1 * 10^{-6} * 273 = 273\text{-}\mu\text{A}$$

$$I_{\max} = K * T_{\max} = 1 * 10^{-6} * 343 = 343\text{-}\mu\text{A}$$



**Esercizio 6** (Sensore di umidità: Capacitivo)

Un sensore capacitivo di umidità viene utilizzato per misurare un'umidità relativa variabile nel range 20%÷80%. Calcolare il range della capacità.

Caratteristica di trasferimento del sensore:

$$C = C_o + A * U_R$$

Dove  $C_o = 130 pF$ ,  $A = 0,41 pF$  ed  $U_R$  è l'umidità relativa.

**Soluzione**

$$C_{\min} = (C_o + A * U_{R \min}) pF$$

$$C_{\min} = (130 + 0,41 * 20) pF$$

$$C_{\min} = (130 + 8,2) pF$$

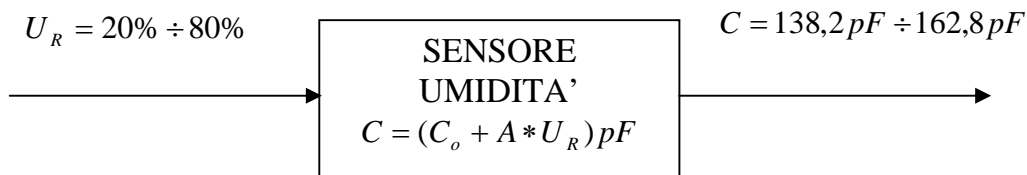
$$C_{\min} = 138,2 pF$$

$$C_{\max} = (C_o + A * U_{R \max}) pF$$

$$C_{\max} = (130 + 0,41 * 80) pF$$

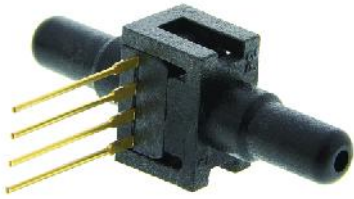
$$C_{\max} = (130 + 32,8) pF$$

$$C_{\max} = 162,8 pF$$





**Esercizio 7** (Trasduttore di pressione: RS286-709)

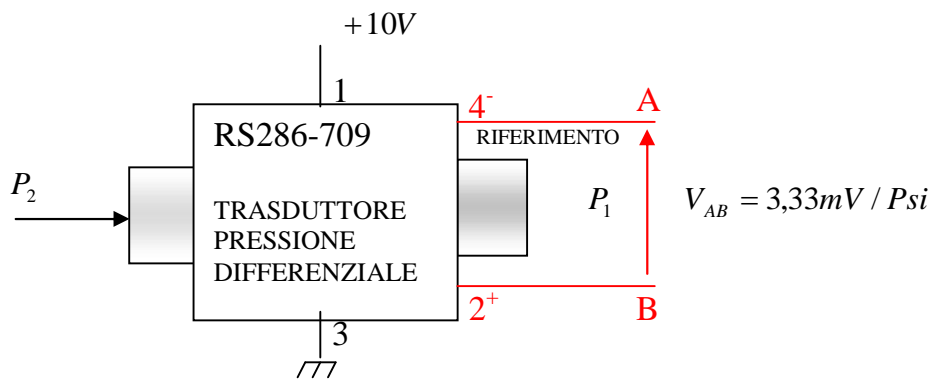


Un trasduttore di pressione differenziale (RS286-709) viene utilizzato per misurare una pressione variabile nel range 0Psi÷20Psi. Calcolare il range d'uscita del trasduttore.

Caratteristiche del trasduttore RS286-709

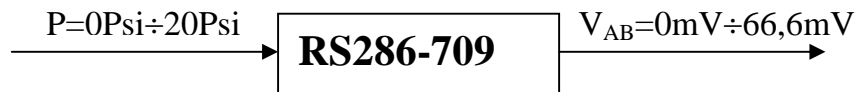
- Struttura a ponte (Fig.23, pag.16);
- Compensato in temperatura;
- Tensione massima d'uscita 100mV;
- Range di pressione 0Psi÷30Psi;
- Sovrappressione massima 60Psi;
- Tensione di alimentazione 10V.
- Caratteristica di trasferimento (sensibilità/Psi) 3,33 mV/Psi

**Soluzione**



$$P_{\min} = 0Psi \Rightarrow V_{AB \min} = 0mV$$

$$P_{\max} = 20Psi \Rightarrow V_{AB \max} = 20 * 3,33 * 10^{-3} = 66,6mV$$



**Esercizio 8 - (Trasduttore di forza: Estensimetri)**

Su una barra di alluminio, sono stati incollati due estensimetri uguali,  $R_S$  (estensimetro sollecitato)  $R_T$  (estensimetro utilizzato per la compensazione in temperatura) del tipo  $R_S$  632-180 (Fig. 1).

Supponendo che le variazioni di resistenza subite da  $R_S$  è  $\Delta R = 0.025\Omega$ . Calcolare:

1. la variazione di lunghezza  $\Delta L$ ;
2. la sollecitazione di trazione  $F$ ;
3. la tensione  $V_{AB}$ .

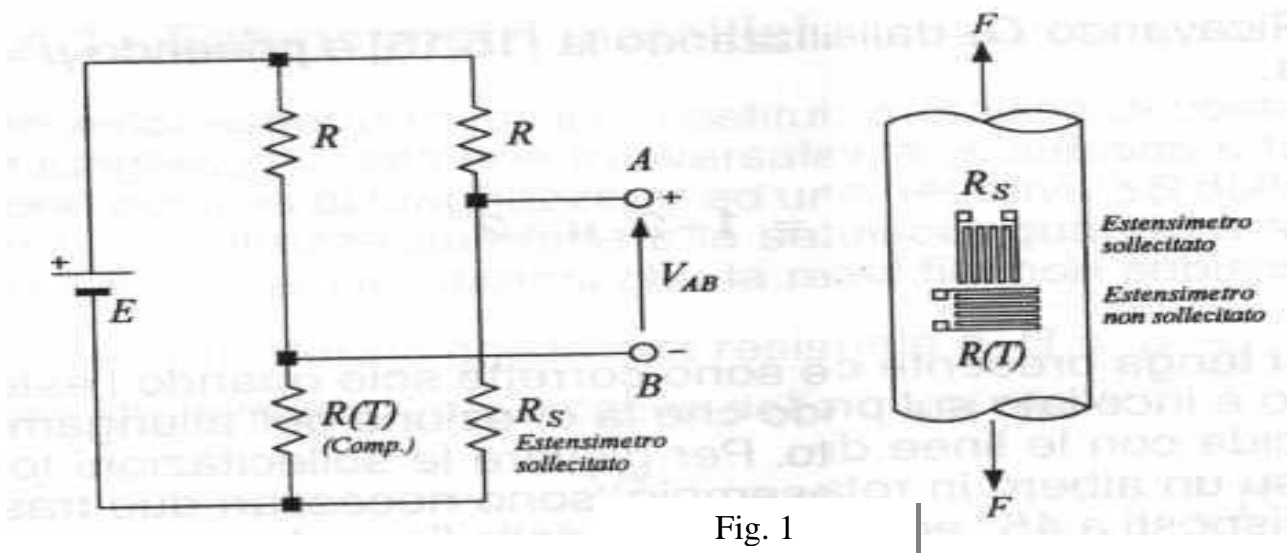


Fig. 1

Caratteristiche dell'estensimetro  $R_S$

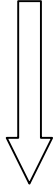
- Deformazione massima dal 2% al 4%
- Resistenza 120  $\Omega$  (valore di  $R$ )
- Tolleranza resistenza  $\pm 0,5\%$
- Fattore di allungamento  $G_F = 2,1$
- Range di temperatura  $-30^\circ\text{C}$  a  $180^\circ\text{C}$
- $\Delta R = 0,025$

Caratteristiche del provino

- Materiale alluminio
- Sezione  $S = 400\text{mm}^2$
- Lunghezza  $L = 15\text{cm}$
- Modulo di elasticità  $E = 6,37 * 10^{10} \text{N/m}^2$

**Soluzione****1) Calcolo L**

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\epsilon) \cdot \frac{\Delta L}{L}$$



$$\frac{\Delta R}{R} = G_F \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta L = \frac{L}{G_F} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{0.15}{0.1} \cdot \frac{0.0025}{120} = 14.8 \cdot 10^{-6} m$$

**2) Calcolo sollecitazione di trazione F**

$$F = \frac{S \cdot E}{G_F} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$$F = \frac{400 \cdot 10^{-6} \cdot 6.37 \cdot 10^{10}}{120} \cdot \frac{0.025}{120} = \frac{2548 \cdot 10^4}{2.1} \cdot \frac{0.025}{120} = 2,52 \cdot 10^3 N$$

$$F = 2.52 N \quad \begin{array}{l} \curvearrowright L = 14.8 \cdot 10^{-6} m \\ \curvearrowright R = 0.025 \end{array}$$

**3) Calcolo Vab**

La tensione  $V_{ab}$ , per la forza  $F = 2.52 \cdot 10^3 N$ ,  $E = 12V$  ed  $R = 1.2K$  (Fig.1) risulta :

$$V_{ab} = \left( \frac{R_s}{R + R_s} - \frac{R_{(T)}}{R + R_{(T)}} \right) \cdot E \quad \text{sostituendo si ottiene } V_{ab} = 206 \cdot 10^{-6} V$$

$$R_s = 120 + R = 120 + 0.025 = 120.025$$

$$R = 1.2K$$

$$R_{(T)} = 120$$

$$E = 12V$$

 **Esercizio 9** - (Trasduttore di velocità: Dinamo tachimetrica)

Calcolare la tensione d'uscita prodotta da una dinamo tachimetrica sapendo che la costante K è pari a 5mV/r.p.m. quando la velocità è di 120giri/S.



Caratteristica di trasferimento della dinamo tachimetrica:

$$V = K_t \cdot n$$

V      tensione d'uscita continua della dinamo

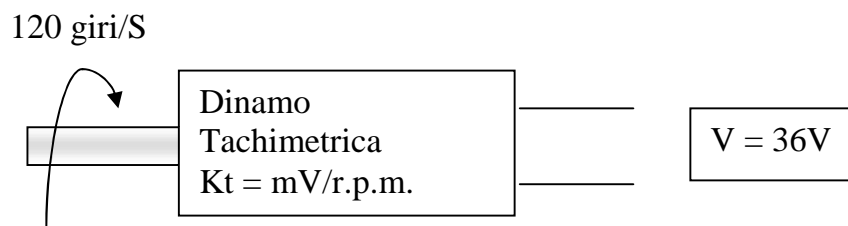
$K_t$     costante tachimetrica

n      rotazioni per minuto (r.p.m.)

### Soluzione

$$n = 60 \cdot 120 = 7200 \text{ r.p.m.}$$

$$V = K_t \cdot n = 7200 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 36V$$



 **Esercizio 10 - (Trasduttore di velocità: Encoder)**

Quale risoluzione (numeri di impulsi per giro) ha un encoder per la misura di posizione di  $0.25^\circ$ ?

Supponendo che l'encoder sia solidale con un albero di un motore in rotazione alla velocità di 720 r.p.m. (Fig. 1), calcolare il periodo del segnale rilevato dal fototransistor.

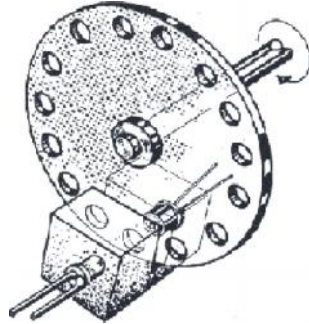
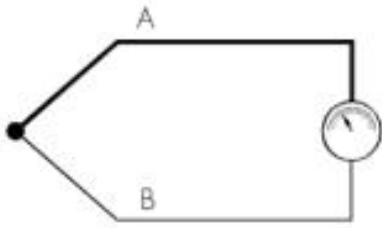


Fig. 1

### Soluzione

- Numero impulsi =  $360 / 0.25 = 1440$  (impulsi per ogni giro)
- Rotazione al secondo =  $720 / 60 = 12$
- Frequenza (impulsi al secondo) =  $1440 \cdot 12 = 17280$  Hz
- Periodo =  $1 / f = 1 \div 17280 = 57,8 \mu\text{s}$

**Esercizio 11 - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia)**



Una termocoppia viene utilizzata per misurare una temperatura variabile nel range  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \div +2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La termocoppia utilizzata presenta le seguenti caratteristiche:

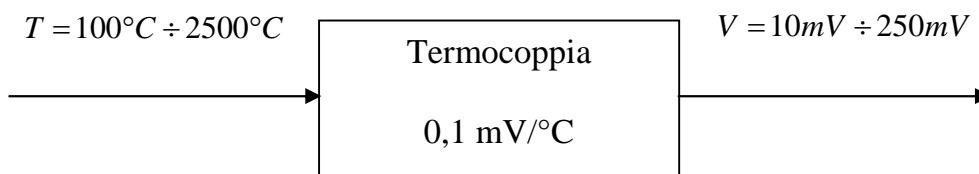
1. caratteristica di funzionamento  $V=K*T$ 
  - a.  $V$ = differenza di potenziale in uscita misurata in mV
  - b.  $K$ =coefficiente di proporzionalità pari a  $0,1\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
  - c.  $T$ =temperatura in gradi centigradi
2. Range di funzionamento della termocoppia  $0^{\circ}\text{C} \div 3000^{\circ}\text{C}$

Calcolare il range d'uscita della termocoppia

**Soluzione**

$$T=100\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow V=K*T=0,1*100=10\text{ mV}$$

$$T=2500\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow V=K*T=0,1*2500=250\text{ mV}$$



**Esercizio 12 - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K)**

Una termocoppia di tipo K ha il giunto freddo alla temperatura  $T_1=20^\circ\text{C}$ , determinare la tensione in uscita quando il giunto caldo si trova alla temperatura  $T_2=70^\circ\text{C}$  e quando il giunto caldo si trova a  $T_2=600^\circ\text{C}$ .



Caratteristiche della termocoppia di Tipo K (Chromel (Ni-Cr) (+)/Alumel (Ni-Al) (-))

- Range di funzionamento  $-200^\circ\text{C} \div 1260^\circ\text{C}$
- Sensibilità  $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

**Soluzione**a)  $T_2=70^\circ\text{C}$ 

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot (T_2 - T_1) = 41 \cdot 10^{-6} \cdot (70 - 20) = 2,05\text{mV}$$

$$V_o(70^\circ\text{C})=2,05\text{mV}$$

b)  $T_2=600^\circ\text{C}$ 

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot (T_2 - T_1) = 41 \cdot 10^{-6} \cdot (600 - 20) = 23,78\text{mV}$$

$$V_o(600^\circ\text{C})=23,78\text{mV}$$

**Esercizio 13 - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo J)**

Una termocoppia di tipo J ha il giunto freddo alla temperatura  $T_1=25^\circ\text{C}$ ; si misura la tensione del giunto caldo ottenendo un valore minimo di 5mV e uno massimo di 30mV. Trovare le corrispondenti temperature.



Caratteristiche della termocoppia di Tipo J ((ferro(+)) costantana(-))

- Range di funzionamento  $-200^\circ\text{C} \div 750^\circ\text{C}$
- Sensibilità  $51,7\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

**Soluzione**a)  $V_o=5\text{mV}$ 

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot T_2 - S \cdot T_1$$

$$T_2 = \frac{V_o + S \cdot T_1}{S} = \frac{5 \cdot 10^{-3} + 51,7 \cdot 10^{-6} \cdot 25}{51,7 \cdot 10^{-6}}$$

$$T_2 = 121,71^\circ\text{C}$$

$$T_2=121,71^\circ\text{C}$$

a)  $V_o=30\text{mV}$ 

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot T_2 - S \cdot T_1$$

$$T_2 = \frac{V_o + S \cdot T_1}{S} = \frac{30 \cdot 10^{-3} + 51,7 \cdot 10^{-6} \cdot 25}{51,7 \cdot 10^{-6}}$$

$$T_2 = 605,27^\circ\text{C}$$

$$T_2=605,27^\circ\text{C}$$



**Esercizio 14** - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K)

In figura è riportato un estratto della tabella di calibrazione di un termocoppia di Tipo K con giunto di riferimento (Giunto freddo) a 0°C. Determinare la tensione di uscita corrispondente alla temperatura di 175 °C.

## Tabella di calibrazione per termocoppia tipo K ( NiCr-Ni )

FEM termoelettrica in mV - Giunto di riferimento a 0°C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,163
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,530	1,571
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,230	2,271	2,312	2,354	2,395
60	2,436	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,810
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,100	3,142	3,184	3,225
80	3,267	3,308	3,350	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,640
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,013	4,055
100	4,098	4,138	4,179	4,220	4,262	4,303	4,344	4,385	4,427	4,468
110	4,509	4,550	4,591	4,633	4,674	4,715	4,756	4,797	4,838	4,879
120	4,920	4,961	5,002	5,043	5,084	5,124	5,165	5,206	5,247	5,288
130	5,328	5,369	5,410	5,450	5,491	5,532	5,572	5,613	5,653	5,694
140	5,735	5,775	5,815	5,856	5,896	5,937	5,977	6,017	6,058	6,098
150	6,138	6,179	6,219	6,259	6,299	6,339	6,380	6,420	6,460	6,500
160	6,540	6,580	6,620	6,660	6,701	6,741	6,781	6,821	6,861	6,901
170	6,941	6,981	7,021	7,060	7,100	7,140	7,180	7,220	7,260	7,300
180	7,340	7,380	7,420	7,460	7,500	7,540	7,579	7,619	7,659	7,699
190	7,739	7,779	7,819	7,859	7,899	7,939	7,979	8,019	8,059	8,099
200	8,138	8,178	8,218	8,258	8,298	8,338	8,378	8,418	8,458	8,499
210	8,539	8,579	8,619	8,659	8,699	8,739	8,779	8,819	8,860	8,900

**Soluzione****V<sub>out</sub>=7,140 mV**

FEM termoelettrica in mV - Giunto di riferimento a 0°C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,163
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,530	1,571
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,230	2,271	2,312	2,354	2,395
60	2,436	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,810
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,100	3,142	3,184	3,225
80	3,267	3,308	3,350	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,640
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,013	4,055
100	4,098	4,138	4,179	4,220	4,262	4,303	4,344	4,385	4,427	4,468
110	4,509	4,550	4,591	4,633	4,674	4,715	4,756	4,797	4,838	4,879
120	4,920	4,961	5,002	5,043	5,084	5,124	5,165	5,206	5,247	5,288
130	5,328	5,369	5,410	5,450	5,491	5,532	5,572	5,613	5,653	5,694
140	5,735	5,775	5,815	5,856	5,896	5,937	5,977	6,017	6,058	6,098
150	6,138	6,179	6,219	6,259	6,299	6,339	6,380	6,420	6,460	6,500
160	6,540	6,580	6,620	6,660	6,701	6,741	6,781	6,821	6,861	6,901
170	6,941	6,981	7,021	7,060	7,100	7,140	7,180	7,220	7,260	7,300
180	7,340	7,380	7,420	7,460	7,500	7,540	7,579	7,619	7,659	7,699
190	7,739	7,779	7,819	7,859	7,899	7,939	7,979	8,019	8,059	8,099
200	8,138	8,178	8,218	8,258	8,298	8,338	8,378	8,418	8,458	8,499
210	8,539	8,579	8,619	8,659	8,699	8,739	8,779	8,819	8,860	8,900



**Esercizio 16 (Trasduttore di temperatura: Generico)**

Un trasduttore di temperatura con caratteristica di trasferimento

$V(T)=V_0+K*T$  dove T è la temperatura espressa in °C,  $V_0=0,45V$  e  $K = 15mV/°C$  viene utilizzato per misurare una temperatura variabile nel range  $15 °C \div +30 °C$ .

Calcolare:

- Range del trasduttore
- La temperatura corrispondente ad una tensione di 845 mV

**Soluzione**

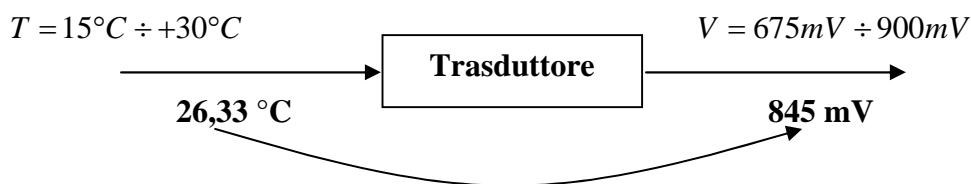
- Range del trasduttore

$$T=15^{\circ}C \quad \rightarrow \quad V(15^{\circ}C)=0,45+15*15*10^{-3}=675 \text{ mV}$$

$$T=30^{\circ}C \quad \rightarrow \quad V(30^{\circ}C)= 0,45+30*15*10^{-3}=900 \text{ mV}$$

- La temperatura corrispondente ad una tensione di 845 mV

$$V(T)=V_0+K*T \text{ quindi } T = \frac{V(T) - V_0}{K} = \frac{0,845 - 0,45}{15 \cdot 10^{-3}} = 26,33^{\circ}C$$



**Esercizio 17 (Sensore di posizione lineare: Potenzimetro)**

Un sensore di posizione lineare (potenziometro), con caratteristica di trasferimento  $R_p = R_0 + K \cdot p$ , viene utilizzato per misurare la lunghezza di un oggetto nel range 0cm ÷ 14cm. Determinare:

- 1) il range di uscita del sensore.
- 2) La lunghezza dell'oggetto quando il sensore restituisce 2,7 K

**Dati tecnici del sensore:**

Caratteristica di trasferimento:  $R_p = R_0 + K \cdot p$

$R_p$  = resistenza fornita dal sensore in funzione della posizione

$R_0 = 2,2K$

$K = 100 \text{ } \Omega/\text{cm}$

$p$  = posizione lineare in cm

$I_{\max} < 2,5\text{mA}$

**Soluzione****1) Calcolo range di uscita**

a)  $p = 0\text{cm}$  Valore minimo

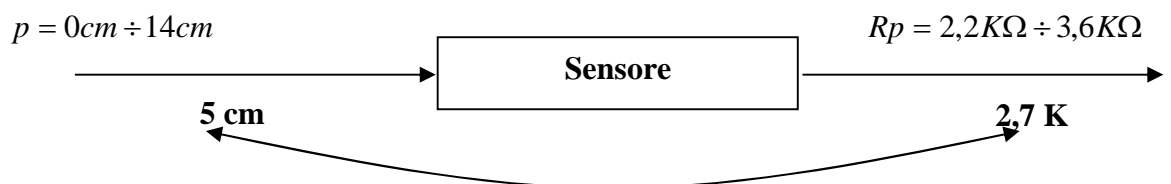
$$R_p = R_0 + K \cdot p \quad \rightarrow \quad R_{p(0\text{cm})} = 2,2 \cdot 10^3 + 100 \cdot 0 = 2,2 \text{ K}$$

b)  $p = 14\text{cm}$  Valore massimo

$$R_p = R_0 + K \cdot p \quad \rightarrow \quad R_{p(14\text{cm})} = 2,2 \cdot 10^3 + 100 \cdot 14 = 3,6 \text{ K}$$

**2) Calcolo lunghezza oggetto per  $R_p = 2,7 \text{ K}$** 

$$R_p = R_0 + K \cdot p \quad p = \frac{R_p - R_0}{K} = \frac{2,7 \cdot 10^3 - 2,2 \cdot 10^3}{100} = 5\text{cm}$$



Classe : 4A\_IPAI - 5A\_IPAI

A.S. : 2019-2020

Docenti : Tufoni Franco -- Enrico Ruggieri

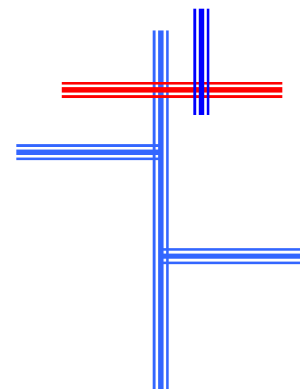
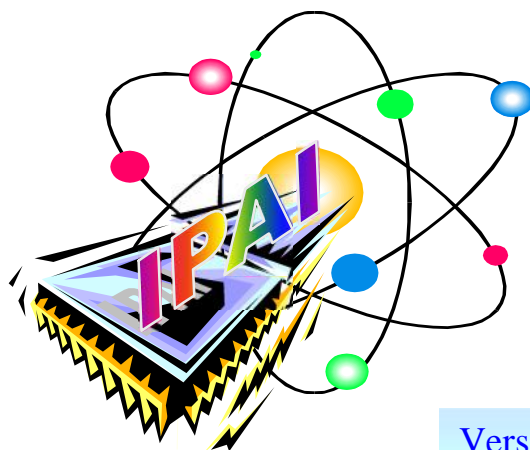
Disciplina : Tecnologie elettriche-elettroniche, dell'automazione e applicazioni



Ese  
Es  
Esercizi  
Esercizi  
Esercizi

**Esercizi**

**Condizionamento**



Vers. 3.5 02-04-2020



### Esercizio 1 - Condizionamento sensore di temperatura PT100

Un trasduttore PT100 (termoresistenza) viene utilizzato per misurare una temperatura variabile nel range  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \div +130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Progettare un circuito di condizionamento affinché a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  corrispondano 0V ed a  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  corrispondano 5V

#### Caratteristiche del PT100:

Materiale	Platino
Resistenza $R_0$ ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	$100\ \Omega + 0,1\ \%$
Coefficiente di temperatura ( $\alpha$ )	$3,85 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Range di funzionamento	$-50\text{ }^{\circ}\text{C} \div 260\text{ }^{\circ}\text{C}$
Caratteristica di trasferimento	$R_T = R_0 \cdot (1 + r \cdot T)$
Imax	3 mA

### Soluzione

Tramite un ponte di Wheatstone, si realizza la conversione  $R \Rightarrow V$  e l'offset, mentre per l'amplificazione si utilizza un amplificatore di precisione per strumentazione AD524 della Analog Devices. In Fig. 1 lo schema del progetto.

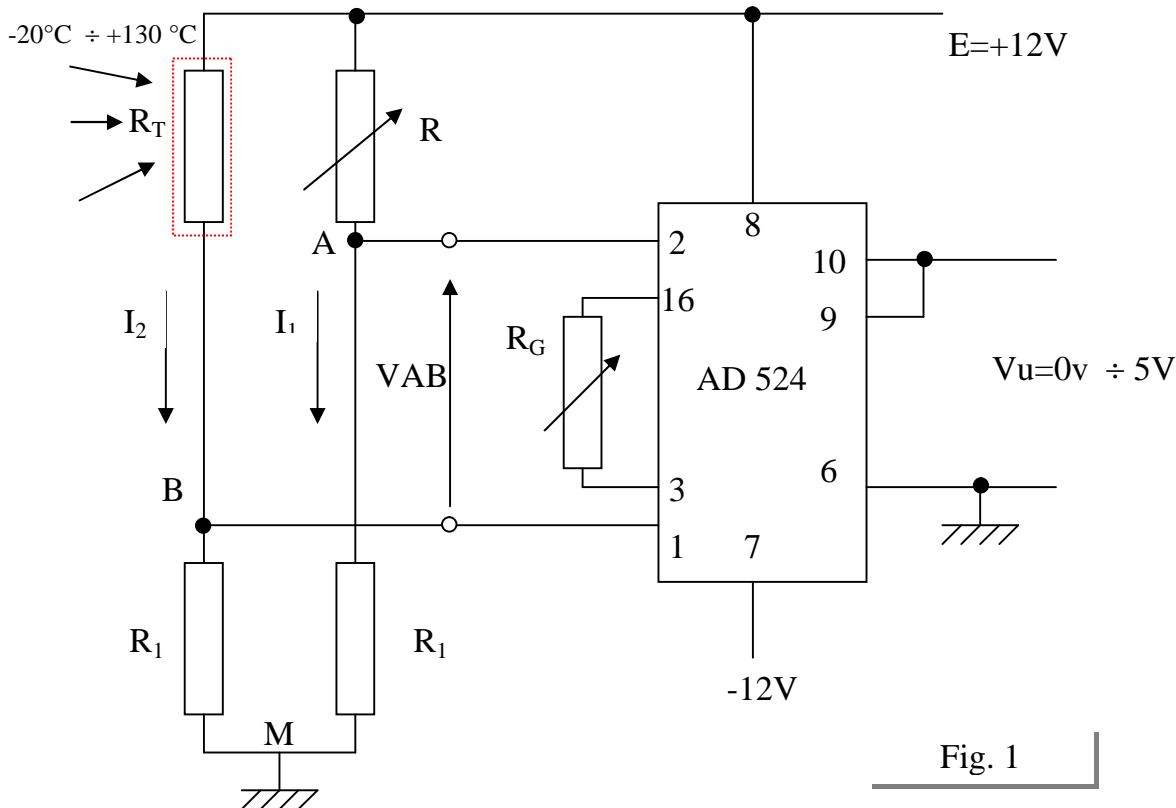


Fig. 1

#### Caratteristiche integrato AD524:

- elevata soppressione di modo comune;
- elevata linearità, basso rumore;
- elevatissima impedenza d'ingresso ( $10^9\ \Omega$ );
- alimentazione duale  $\pm 6\text{V} \div \pm 18\text{V}$ ;
- guadagni fissi (1, 10, 100, 1000) ottenibili senza componenti esterni;
- guadagni compresi tra 1 e 1000 ottenibili con l'utilizzo di un resistore esterno ( $R_G$ );
- $R_G = \frac{40 \cdot 10^3}{G - 1}$        $G =$  guadagno amplificatore, regolabile tramite  $R_G$ .       $R = 20\text{K}$

### ● Calcolo Range di RT

$$T = -20^{\circ}\text{C}$$

$$RT = R_0 (1 + \alpha T) = 100 (1 + 3.85 \cdot 10^{-3} \cdot (-20)) = \mathbf{92,3}$$

$$T = +130^{\circ}\text{C}$$

$$RT = R_0 (1 + \alpha T) = 100 (1 + 3.85 \cdot 10^{-3} \cdot 130) = \mathbf{150,05}$$

$$T = -20^{\circ}\text{C} \div +130^{\circ}\text{C} \longrightarrow RT = 92,3 \div 150,05$$

Per l'equilibrio del ponte ( Offset )  $T = -20^{\circ}\text{C} \longrightarrow V_{AB} = 0\text{ V}$  si pone:

$$R = RT (-20^{\circ}\text{C}) = \mathbf{92,3}$$

La resistenza R viene realizzata con un resistore fisso da 47  $\Omega$  con in serie un trimmer da 100  $\Omega$  ( Fig. 2).

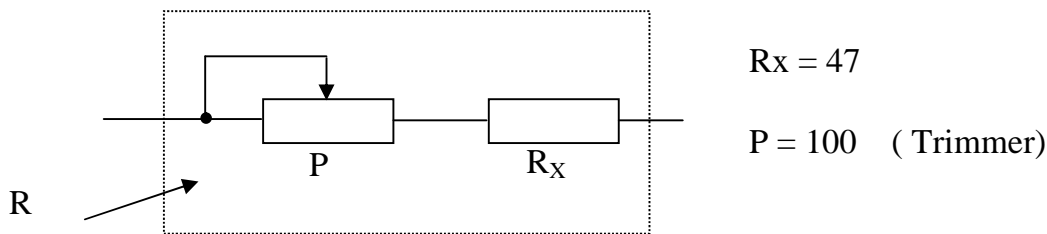


Fig.2

### ● Calcolo R1

Poiché l'amplificatore per strumentazione AD524 non carica il ponte di Wheatstone, il valore della resistenza R1, fissata una intensità di corrente pari a  $I_2 = 3\text{ mA}$  ( per non auto-riscaldare il trasduttore ) si ricava dalla relazione:

$$I_2 = \frac{E}{R1 + RT(-20^{\circ}\text{C})} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ ( Peggior condizione )}$$

quindi:

$$R1 = \frac{E}{I_2} - RT(-20^{\circ}\text{C}) = \frac{12}{3 \cdot 10^{-3}} - 92,3 = 4000 - 92,3 = 3907,7 \text{ ( Valore commerciale. } 3,9\text{ K )}$$

$$R1 = \mathbf{3,9\text{ K}}$$



### ● Calcolo Range $V_{AB}$

La tensione  $V_{AB}$  viene espressa dalla seguente relazione

$$V_{AB} = V_{AM} - V_{BM} = R_1 \cdot I_1 - R_1 \cdot I_2$$

$$V_{AB} = R_1 \frac{E}{R + R_1} - R_1 \frac{E}{RT + R_1}$$

1.  $T = -20^\circ \text{C} \longrightarrow V_{AB\min}$

$$V_{AB\min} = R_1 \cdot \frac{E}{R + R_1} - R_1 \cdot \frac{E}{RT(-20^\circ\text{C}) + R_1}$$

Essendo:  $R = RT(-20^\circ \text{C}) \longrightarrow$

$$V_{AB\min} = 0\text{V}$$

2.  $T = +130^\circ \text{C} \longrightarrow V_{AB\max}$

$$V_{AB\max} = R_1 \frac{E}{R + R_1} - R_1 \frac{E}{RT(130^\circ\text{C}) + R_1}$$

$$V_{AB\max} = \frac{12}{3900 + 92,3} - \frac{12}{3900 + 150,05}$$

$$V_{AB\max} = 11,72257 - 11,55541 = 0,167153$$

$$V_{AB\max} = 167,153 \text{ mV}$$

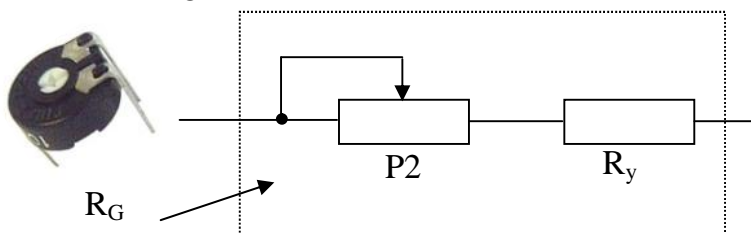
### ● Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione AD524

$$G = \frac{V_{u\text{MAX}}}{V_{AB\text{MAX}}} = \frac{5}{167,153 \cdot 10^{-3}} = 29,913$$

### ● Calcolo $R_G$

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3}{29,913 - 1} = \frac{40 \cdot 10^3}{28,913} = 1383,5 \Omega$$

La resistenza  $R_G$  viene realizzata con una resistenza fissa da 680  $\Omega$  con in serie un trimmer da 1,2K ( Fig.3)



$$R_y = 680$$

$$P2 = 1,2 \text{ K (TRIMMER)}$$

Fig.3

## Esercizio 2 – Condizionamento trasduttore di temperatura AD590

Il trasduttore di temperatura AD590, prodotto dalla Analog Devices in forma integrata, è realizzato con materiale semiconduttore e produce in uscita una corrente proporzionale alla temperatura (espressa in gradi Kelvin).

**E' un dispositivo a due terminali e per tensioni di alimentazioni nel range 4 ÷ 30V genera una corrente di 1  $\mu\text{A/K}$  (fig 1).**

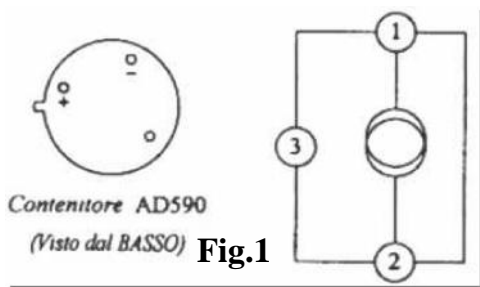


Fig.1

Nelle applicazioni pratiche si pone il problema di convertire il segnale di uscita dell'AD590 in tensione. Molto spesso è necessario adattare il segnale alle specifiche dei convertitori A/D. Per effettuare la conversione  $I \Rightarrow V$ , si possono utilizzare i circuiti di Fig. 2 e Fig. 3.

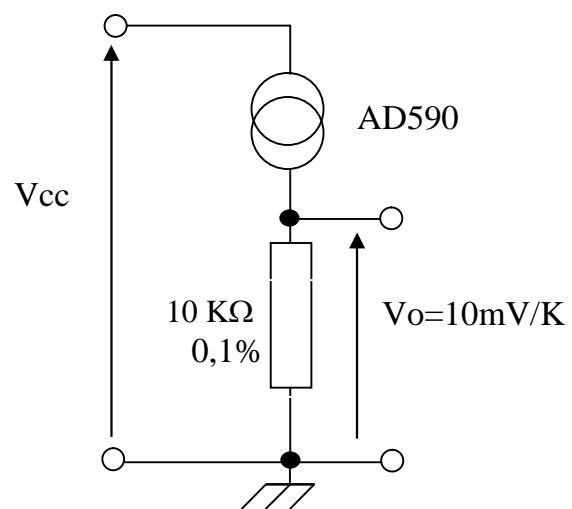
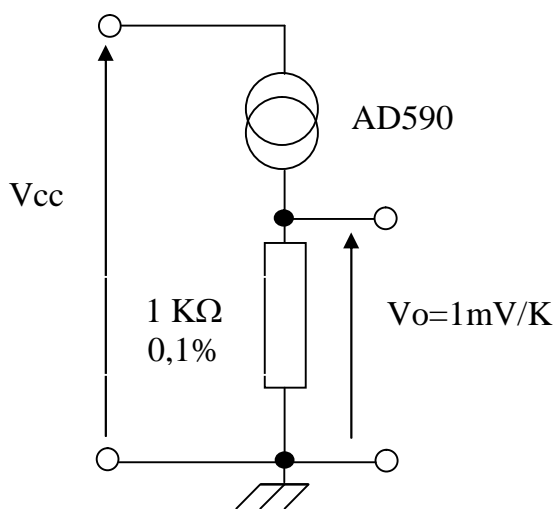


Fig. 2

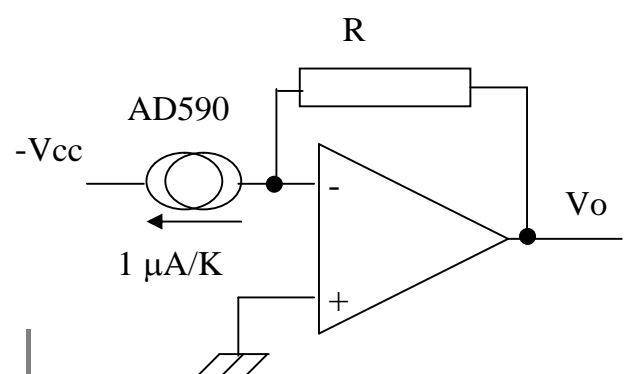
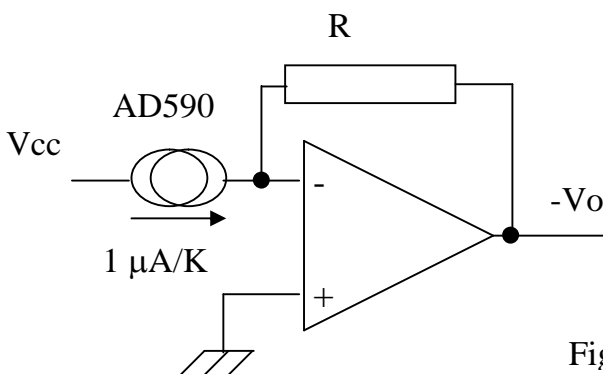


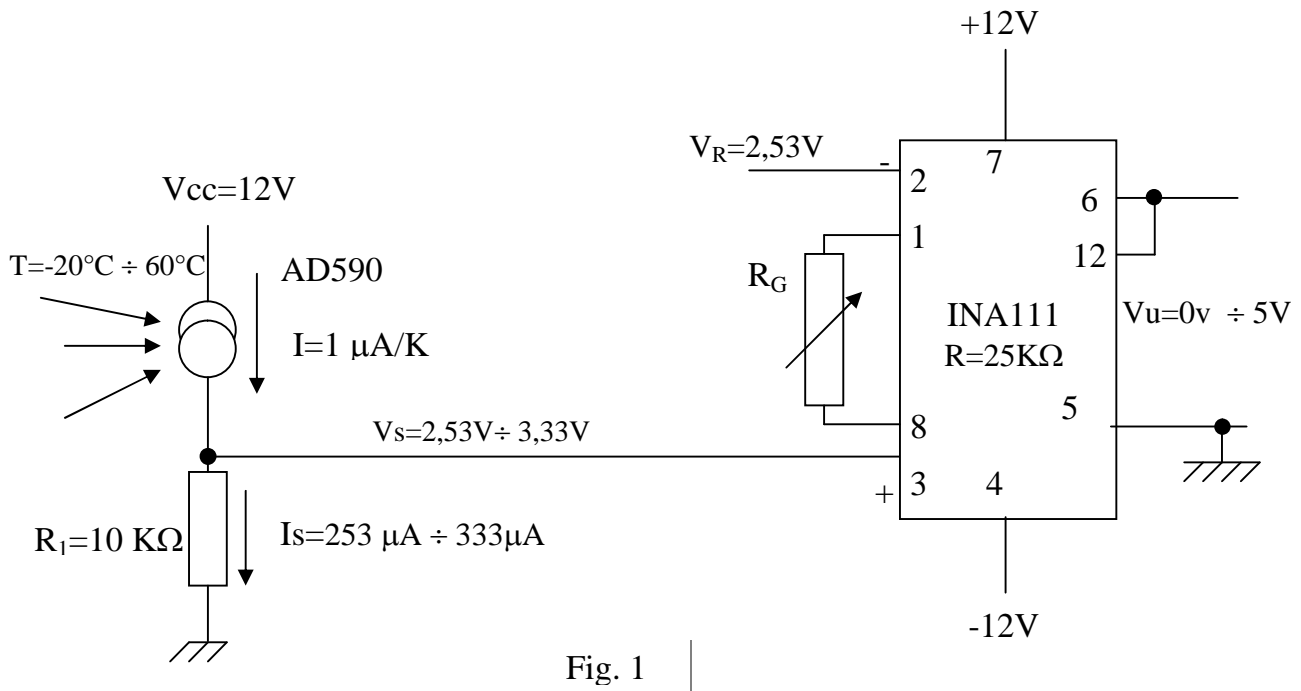
Fig. 3

È consigliabile la conversione  $I/V$  con amplificatore operazionale perché l'operazionale svolge sia la funzione di amplificazione che quella di circuito separatore.

**Esempio:** Si dimensiona un circuito di condizionamento per un trasduttore AD590 in grado di fornire una tensione compresa nel range  $0V \div 5V$ , quando la temperatura varia nell'intervallo  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \div 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Soluzione

Nella Fig. 1 lo schema elettrico del circuito con amplificatore per strumentazione INA111. La conversione I/V è realizzata con la resistenza  $R_1$ .



#### ● Conversione range temperatura $^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{K}$

$$T(^{\circ}\text{C}) = -20^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = -20 + 273 = 253\text{K}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 60^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 60 + 273 = 333\text{K}$$

#### ● Calcolo range della corrente erogata dal trasduttore AD590

$$T(^{\circ}\text{C}) = -20^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 253\text{K} \quad \rightarrow \quad I_s = 253 * 1 * 10^{-6} = 253 \mu\text{A}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 60^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 333\text{K} \quad \rightarrow \quad I_s = 333 * 1 * 10^{-6} = 333 \mu\text{A}$$

#### ● Calcolo range tensione $V_s$ (si pone $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ 0,1%)

$$T(^{\circ}\text{C}) = -20^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 253\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s = R_1 * I_s = 253 * 1 * 10^{-6} * 10 * 10^3 = 2,53 \text{ V}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 60^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 333\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s = R_1 * I_s = 333 * 1 * 10^{-6} * 10 * 10^3 = 3,33 \text{ V}$$



### Esercizio 3 – Condizionamento trasduttore di temperatura AD590

Un trasduttore di temperatura fornisce una corrente di  $1 \mu\text{A}$  per ogni grado Kelvin.

Progettare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra  $0\text{V}$  e  $+10\text{V}$  quando la temperatura varia tra  $-15^\circ\text{C}$  e  $+35^\circ\text{C}$ .

### Soluzione

Nella Fig. 1 si propone uno schema di condizionamento con amplificatore per strumentazione. La conversione corrente-tensione è realizzata con la resistenza  $R_1$ .

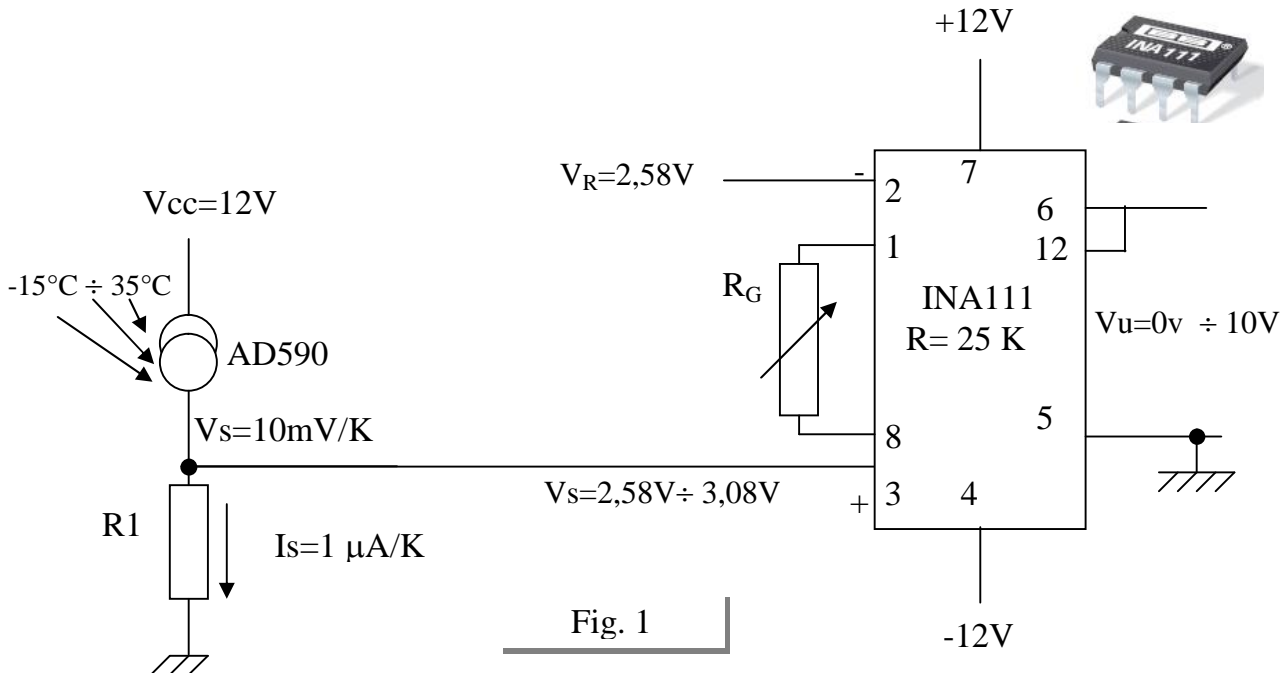


Fig. 1

#### ● Conversione range temperatura $^\circ\text{C} \rightarrow \text{K}$

$$T(^{\circ}\text{C})=-15^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K})=-15+273=258\text{K}$$

$$T(^{\circ}\text{C})=+35^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K})=+35+273=308\text{K}$$

#### ● Calcolo range della corrente erogata dal trasduttore AD590

$$T(^{\circ}\text{C})=-15^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K})=258\text{K} \quad \rightarrow \quad I_s=258 \cdot 1 \cdot 10^{-6}=258 \mu\text{A}$$

$$T(^{\circ}\text{C})=+35^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K})=308\text{K} \quad \rightarrow \quad I_s=308 \cdot 1 \cdot 10^{-6}=308 \mu\text{A}$$

#### ● Calcolo range tensione $V_s$ (si pone $R_1=10 \text{ K}\Omega$ 1%)

$$T(^{\circ}\text{C})=-15^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K})=258\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s=R_1 \cdot I_s=258 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^3=2,58 \text{ V}$$

$$T(^{\circ}\text{C})=+35^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K})=308\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s=R_1 \cdot I_s=308 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^3=3,08 \text{ V}$$

#### ● Calcolo $V_R$ (Offset)

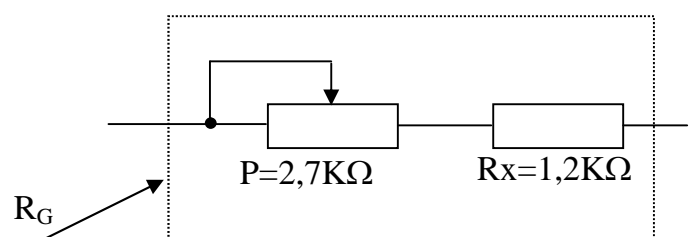
Per realizzare l'offset ( $V_0=0\text{V}$  per  $T=-15^\circ\text{C}$ ) si pone  $V_R=V_s(-15^\circ\text{C})=2,58\text{V}$

#### ● Calcolo guadagno $G$ dell'amplificatore per strumentazione INA111 ( $R=25\text{K}\Omega$ )

$$G = \frac{V_{u_{MAX}}}{V_{s_{max}} - V_R} = \frac{10}{3,08 - 2,58} = 20$$

#### ● Calcolo $R_G$

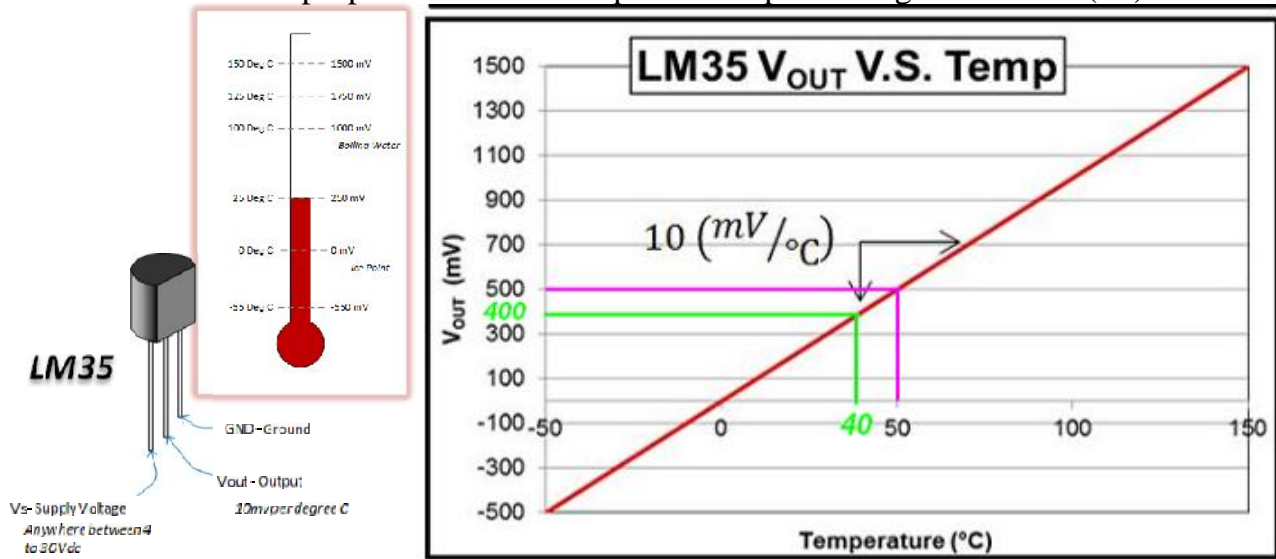
$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{20 - 1} = 2632 \Omega$$



## Esercizio 4 – Condizionamento trasduttore di temperatura LM35

### Struttura e caratteristiche:

Il circuito integrato LM35 è un trasduttore di temperatura prodotto dalla National e fornisce una tensione d'uscita proporzionale alla temperatura espressa in gradi Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

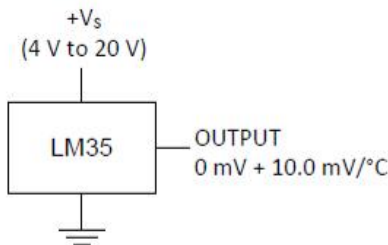


Le sue caratteristiche principali sono:

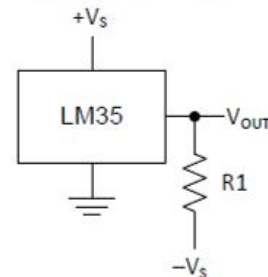
- range di temperatura:  $-55 \div 150$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- tensione di alimentazione da 4 a 30 [V]
- uscita lineare in tensione uguale a  $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$

Il costruttore consiglia i seguenti circuiti applicativi.

#### Basic Centigrade Temperature Sensor ( $2^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$ )



#### Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Choose  $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = 1500 \text{ mV}$  at  $150^{\circ}\text{C}$   
 $V_{\text{OUT}} = 250 \text{ mV}$  at  $25^{\circ}\text{C}$   
 $V_{\text{OUT}} = -550 \text{ mV}$  at  $-55^{\circ}\text{C}$

### Esempio:

Dimensionare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra  $0\text{V}$  e  $+5\text{V}$  quando la temperatura varia tra  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $+50^{\circ}\text{C}$ .





## Esercizio 5 – Condizionamento trasduttore di temperatura

Un trasduttore di temperatura fornisce una tensione di 10 mV per ogni grado Kelvin.

Progettare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra 0V e +5V quando la temperatura varia tra  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $+40^{\circ}\text{C}$ .

### Soluzione

Nella Fig. 1 lo schema elettrico del circuito con l'amplificatore per strumentazione INA 111

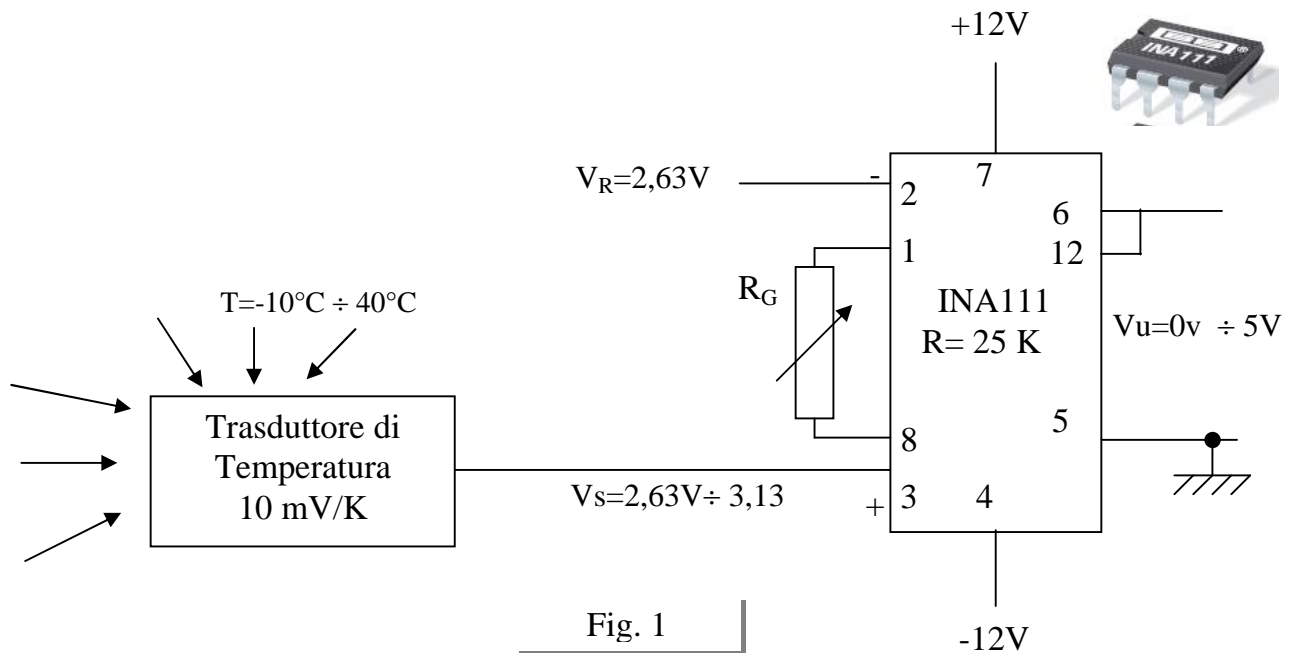


Fig. 1

#### ● Conversione range temperatura $^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{K}$

$$T(^{\circ}\text{C}) = -10^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = -10 + 273 = 263\text{K}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 40^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 40 + 273 = 313\text{K}$$

#### ● Calcolo range della tensione fornita dal trasduttore

$$T(^{\circ}\text{C}) = -10^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 263\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s = 263 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 2,63 \text{ V}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 40^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad T(\text{K}) = 313\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s = 313 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3,13 \text{ V}$$

#### ● Calcolo $V_R$ (Offset)

Per realizzare l'offset ( $V_0 = 0\text{V}$  per  $T = -10^{\circ}\text{C}$ )

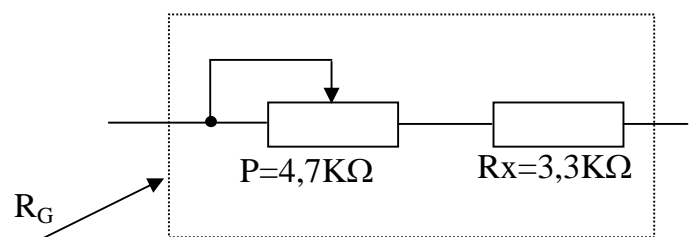
si pone  $V_R = V_s(-10^{\circ}\text{C}) = 2,63\text{V}$

#### ● Calcolo guadagno $G$ dell'amplificatore per strumentazione INA111

$$G = \frac{V_{u_{\text{MAX}}}}{V_{s_{\text{max}}} - V_R} = \frac{5}{3,13 - 2,63} = 10$$

#### ● Calcolo $R_G$

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{10 - 1} = 5555,56\Omega$$



## Esercizio 6 - Condizionamento trasduttore di posizione angolare

Si progetti un circuito di condizionamento per un sensore di posizione angolare (potenziometro) in grado di fornire una tensione d'uscita compresa nel range  $0V \div 5V$  quando la posizione varia nell'intervallo  $0^\circ \div 120^\circ$ .

Caratteristica di trasferimento del sensore:  $R_p = R_0 + K \cdot g$

$R_p$  = resistenza fornita dal sensore in funzione della posizione

$R_0 = 1K$        $K = 10 \text{ } /^\circ$        $g$  = Gradi relativi alla posizione

$I_{\max} < 1,5mA$

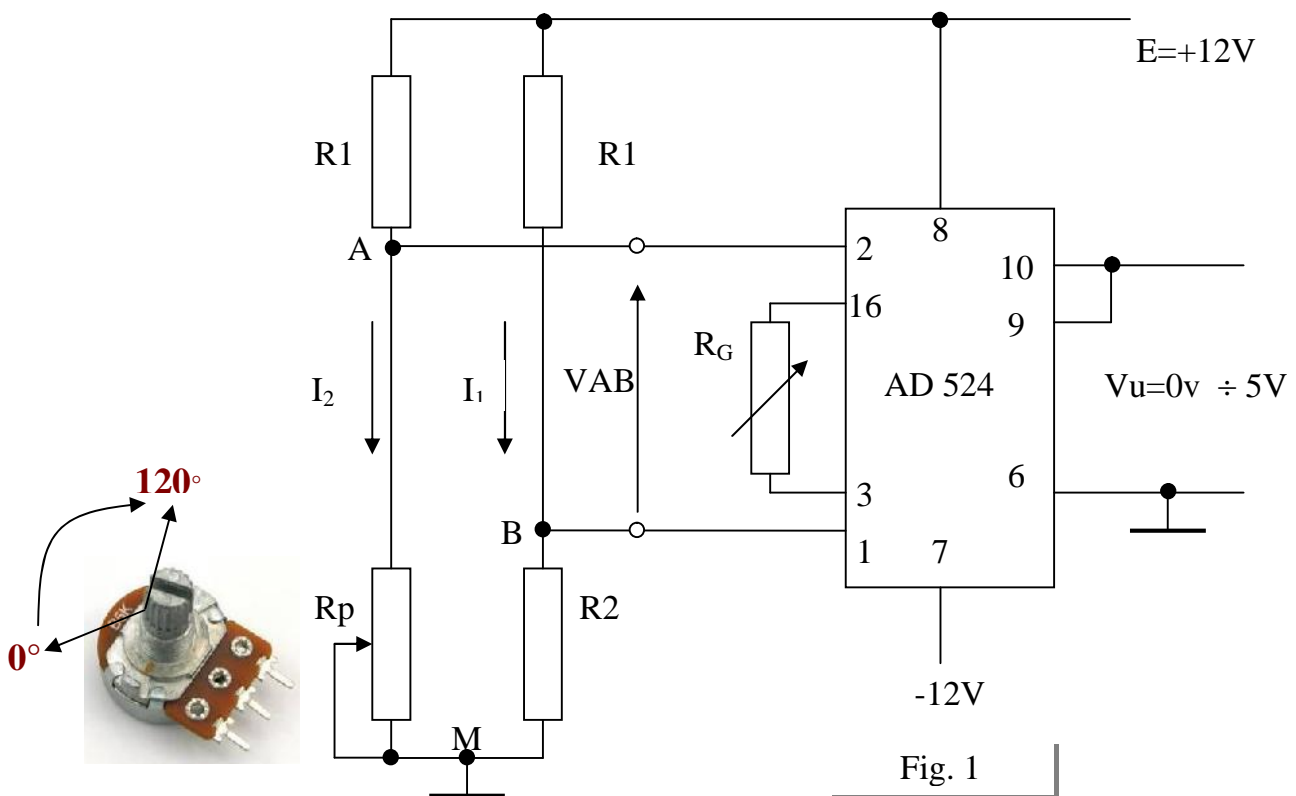
### Domande:

- 1) disegnare il circuito e dimensionare i componenti;
- 2) calcolare la tensione di uscita corrispondente a  $g=40^\circ$ ;
- 3) disegnare il grafico Input/Output  $\rightarrow V_u = f(g)$  (tensione di uscita in funzione dell'angolo misurato dal sensore).

### Soluzione

#### D1) - Progetto del circuito

Tramite un ponte di Wheatstone, si realizza la conversione  $R \Rightarrow V$  e l'offset, mentre per l'amplificazione si utilizza un amplificatore di precisione per strumentazione AD524 della Analog Devices. In Fig. 1 lo schema del progetto.



#### Caratteristiche integrato AD524:

- elevata soppressione di modo comune, elevata linearità, basso rumore, elevatissima impedenza d'ingresso ( $10^9 \Omega$ ), alimentazione duale  $\pm 6V \div \pm 18V$ ;
- guadagni fissi (1, 10, 100, 1000) ottenibili senza componenti esterni;
- guadagni compresi tra 1 e 1000 ottenibili con l'utilizzo di un resistore esterno ( $R_G$ );
- $R_G = \frac{40 \cdot 10^3}{G - 1}$        $G$  = guadagno amplificatore, regolabile tramite  $R_G$ .       $R = 20K$

### ● *Calcolo Range di Rp*

$$g = 0^\circ \quad R_p = R_0 + K \cdot g = 1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 0 = 1K\Omega$$

$$g = 120^\circ \quad R_p = R_0 + K \cdot g = 1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 120 = 1 \cdot 10^3 + 1200 = 2,2K\Omega$$

Per l'equilibrio del ponte ( Offset )  $g=0^\circ \longrightarrow V_{AB} = 0 \text{ V}$  si pone:  $R_2 = R_P ( 0^\circ ) = 1 \text{ K}\Omega$

### ● *Calcolo R1*

Poiché l'amplificatore per strumentazione AD524 non carica il ponte di Wheatstone, il valore della resistenza R1, fissata una intensità di corrente pari a  $I_2 = 1,5 \text{ mA}$  ( per non auto-riscaldare il trasduttore ) si ricava dalla relazione:

$$I_2 = \frac{E}{R_1 + R_P(0^\circ)} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ ( Peggior condizione ) quindi:}$$

$$R_1 = \frac{E}{I_2} - R_P(0^\circ) = \frac{12}{1,5 \cdot 10^{-3}} - 1 \cdot 10^3 = 8 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^3 = 7 \cdot 10^3 = 7K\Omega \text{ (Valore comm. } 8,2 \text{ K )}$$

### ● *Calcolo Range VAB*

La tensione  $V_{AB}$  viene espressa dalla seguente relazione

$$V_{AB} = V_{AM} - V_{BM} = R_p \cdot I_2 - R_1 \cdot I_1 \quad V_{AB} = R_p \frac{E}{R_p + R_1} - R_2 \frac{E}{R_2 + R_1}$$

Dall'analisi dell'espressione si nota che la tensione  $V_{AB}$  non è direttamente proporzionale al valore di  $R_p$ . Il termine  $R_p$  si trova sia al numeratore sia al denominatore, quindi non c'è una proporzionalità diretta. Affinché la  $V_{AB}$  sia funzione lineare di  $R_P$ , si deve verificare  $R_1 \gg R_p$ , quindi è preferibile scegliere  $R_1 \gg$  di  $8,2K\Omega$  (esempio  $R_1 = 220K\Omega$ )

1)  $g=0^\circ$  siccome  $R_2=R_{pmin}=1K\Omega$   $V_{ABmin}=0V$

$$V_{ABmin} = 0 \text{ V}$$

2)  $g=120^\circ$   $R_p=R_{pmax}=2,2 \text{ K}\Omega$ ,  $R_1=220 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2=1 \text{ K}\Omega$ ,  $E=12V$

$$V_{ABmax} = R_p \max \frac{E}{R_p \max + R_1} - R_2 \frac{E}{R_2 + R_1}$$

$$V_{ABmax} = 2,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{2,2 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3} - 1 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{1 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3}$$

$$V_{ABmax} = 0,118812 - 0,054299 = 0,064513V$$

$$V_{ABmax} = 64,513 \text{ mV}$$

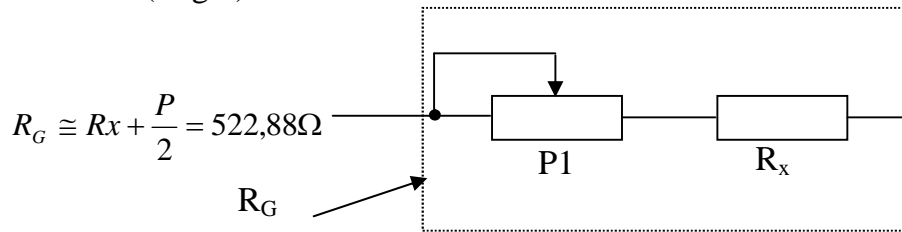
### ● *Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione AD524*

$$G = \frac{V_{uMAX}}{V_{ABMAX}} = \frac{5}{64,513 \cdot 10^{-3}} = 77,50$$

### ● *Calcolo RG*

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3}{77,50 - 1} = \frac{40 \cdot 10^3}{29,13 - 1} = 522,88\Omega$$

La resistenza  $R_G$  viene realizzata con una resistenza fissa da 270  $\Omega$  con in serie un trimmer da 560  $\Omega$  ( Fig.2)



$$R_x = 680$$

$$P1 = 560 \text{ (TRIMMER)}$$

Fig.2

### D2) - Calcolo tensione di uscita corrispondente a $g=40^\circ$

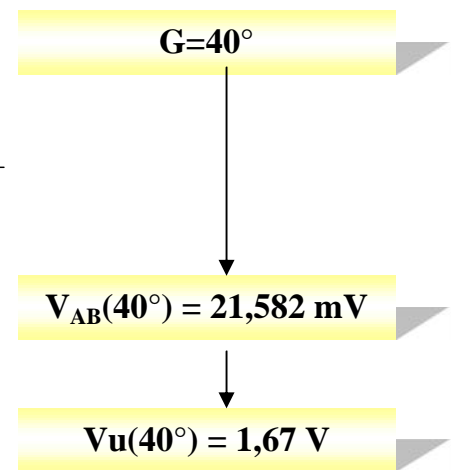
$$g = 40^\circ \quad R_p = R_0 + K \cdot g = 1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 40 = 1 \cdot 10^3 + 400 = 1,4 K\Omega$$

$$V_{AB}(40^\circ) = R_p(40^\circ) \frac{E}{R_p(40^\circ) + R_1} - R_2 \frac{E}{R_2 + R_1}$$

$$V_{AB}(40^\circ) = 1,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{1,4 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3} - 1 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{1 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3}$$

$$V_{AB}(40^\circ) = 0,075881 - 0,054299 = 0,021582V$$

$$V_u(40^\circ) = G \cdot V_{AB}(40^\circ) = 77,50 \cdot 21,582 \cdot 10^{-3} = 1,67V$$



### D3) - Grafico Input/Output $\rightarrow V_u=f(g)$

In fig. 3 il grafico  $V_u=f(g)$

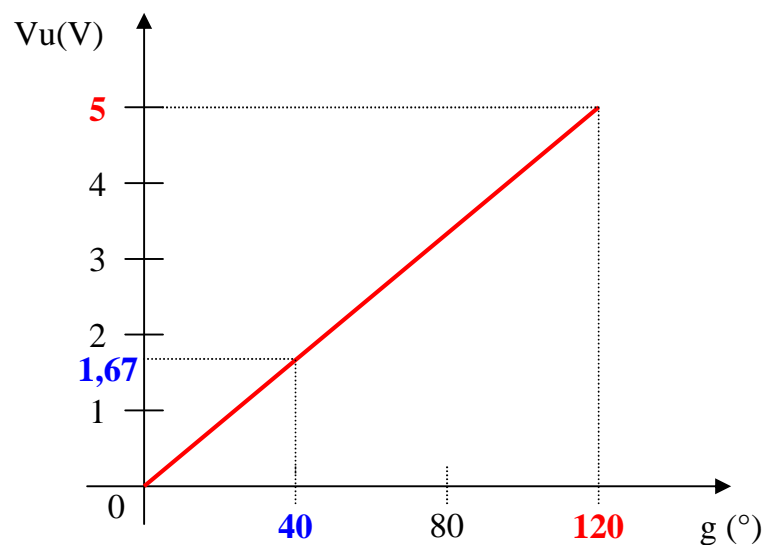


Fig.3

## Esercizio 7 - Condizionamento trasduttore fotoelettrico NORP-12

Si progetti un circuito di condizionamento per il fotoresistore NORP-12, in modo da avere una tensione d'uscita variabile linearmente da -5V a +5V quanto l'illuminazione varia tra 10LUX ÷ 1000LUX. In tabella 1 e fig. 1 sono riportati i dati del trasduttore.

Caratteristiche elettriche	Valori	Unità misura
Resistenza di oscurità (min.)	1	M
Resistenza di cella a 10 lux	9	K
Resistenza di cella a 1000 lux	400	
Tensione max di picco (ACe DC)	320	V
Corrente max	75	mA
Potenza max (a 25°C)	250	mW
Range di temperatura	-60÷75	°C
Capacità di oscurità (tipica)	3,6	pF
Reazione spettrale di picco	0,53	µm

Tabella 1

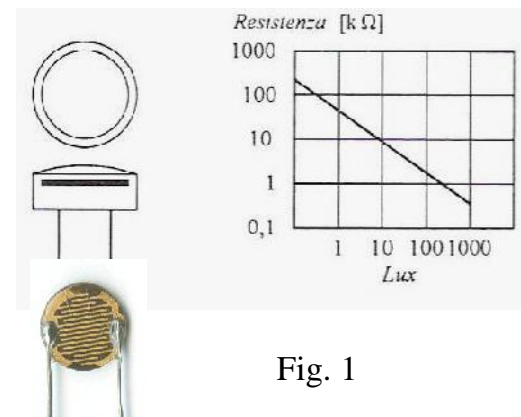


Fig. 1

## Soluzione

Dalla tabella 1 e figura 1 si ricava la tabella 2.

LUX(LX)	10	100	1000	Tabella 2
R( )	9000	3000	400	

### Il fotoresistore NORP-12

#### Struttura e caratteristiche

I fotoresistori sono costituiti da materiali semiconduttori leggermente drogati (solfuro di cadmio, solfuro di piombo, ecc..). Quando la superficie sensibile del fotoresistore viene esposta alla luce, l'energia raggiante assorbita provoca la rottura dei legami covalenti generando cariche libere (coppie lacune-elettroni) con l'aumento della conducibilità e una conseguente diminuzione della resistenza del semiconduttore. La variazione della resistenza R in funzione dell'illuminamento E è data dalla seguente legge:

$$R = A \cdot E^{-r}$$

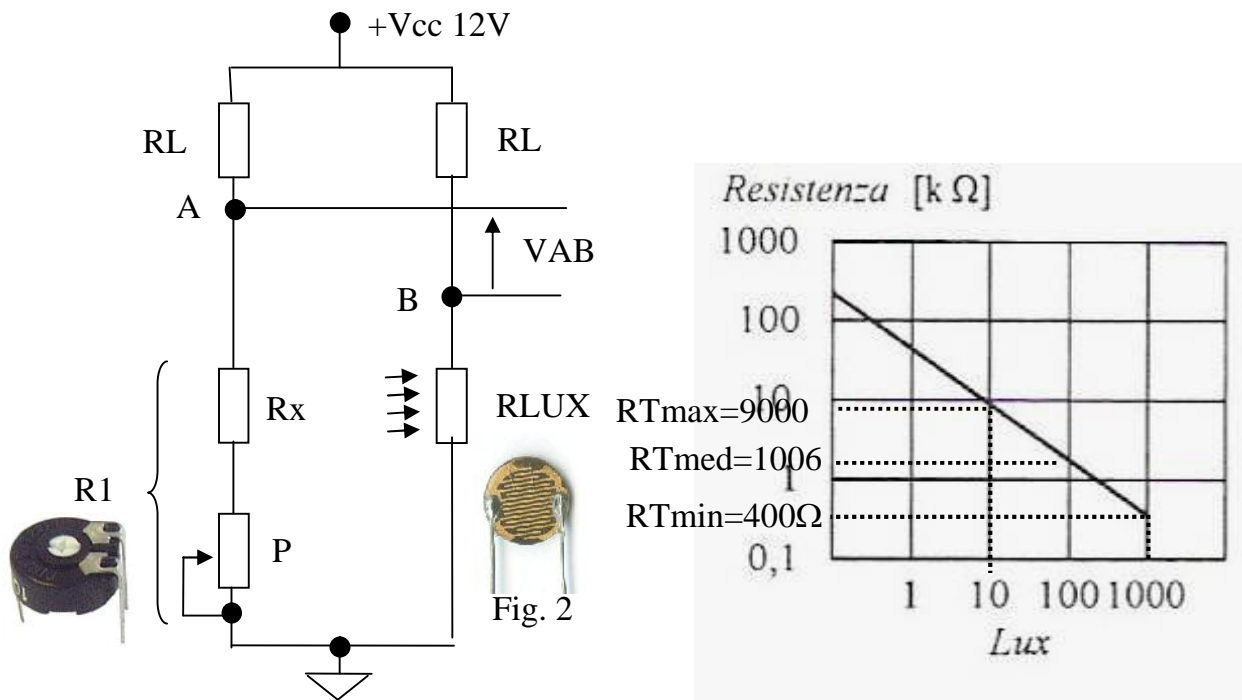
Dove:

- A è una costante dimensionale che dipende dalla forma geometrica della superficie esposta alla luce
- E è l'illuminamento(flusso luminoso incidente per una superficie unitaria);
- r è una costante dimensionale minore di 1 che dipende dalle tecnologie utilizzate per la costruzione del dispositivo.

La caratteristica resistenza/illuminamento del trasduttore presenta un'accentuata non linearità ed una pendenza negativa (fig.1).

**Dimensionamento ponte per la conversione R/V**

In figura 2 è riportato lo schema elettrico della struttura a ponte per la conversione Resistenza/Tensione



La resistenza di linearizzazione RL viene calcolata tramite una seguente formula:

$$RL = \frac{RT_{med} \cdot (RT_{min} + RT_{max}) - 2RT_{min} \cdot RT_{max}}{RT_{min} + RT_{max} - 2RT_{med}} \quad RL=305 \quad \text{-valore commerciale}=330$$

Oppure si sceglie per RL la resistenza minima, la resistenza corrispondente a 1000LUX quindi dalla tabella 2 RL=400

Nel dimensionare i componenti si suppone che nella condizione di funzionamento più gravosa, corrispondente ad un illuminamento di 1000LUX (RLUX=400), il fotoresistore sia attraversato da un'intensità di corrente minore di 75mA (tabella 1). Con i componenti scelti (RL=330) ed una tensione di alimentazione VCC=12V, si ha un'intensità di corrente I determinata dalla seguente espressione:

$$I = \frac{V_{cc}}{RL + R_{lux}(100)} = \frac{12}{330 + 400} = 16,04mA$$

Quindi la corrente è minore della corrente massima stabilita dal costruttore  $I < 75mA$

La resistenza di bilanciamento di R1 è dimensionata per l'illuminamento di 10 Lux quindi R1=9K.

In questo modo si ottiene VAB=0 in corrispondenza di un illuminamento di 10 Lux. per la taratura del ponte la resistenza R1 viene realizzata da una resistenza fissa collegata in serie al trimmer (Fig.2)

$$RX + \frac{P}{2} = 9K\Omega \quad R_x = 4,7 K\Omega \quad P = 10K\Omega$$

**Calcolo range di VAB**

a)  $LUX=10Lx$       $RLUX=9000\Omega$       $VAB=0V$

b)  $LUX=1000Lx$       $RLUX=400\Omega$

$$VAB = \frac{Vcc \cdot R1}{RL + R1} - \frac{Vcc \cdot RLUX (Lx = 1000)}{RL + RLUX (Lx = 1000)}$$

; sostituendo i valori si ottiene  $VAB=5,0V$

**$VAB=0V \div 5V$**

**Blocco di condizionamento**

Per riportare la tensione **VAB (0V ÷ 5V)** nel range **-5V +5V** si utilizzano 2 blocchi con 2 amplificatori per strumentazione.

Il primo blocco viene configurato in modo tale che l'uscita sia uguale a 10V (pari all'intervallo richiesto). Il secondo blocco riporta nell'intervallo **-5V ÷ +5V**.

In figura 3 lo schema elettrico

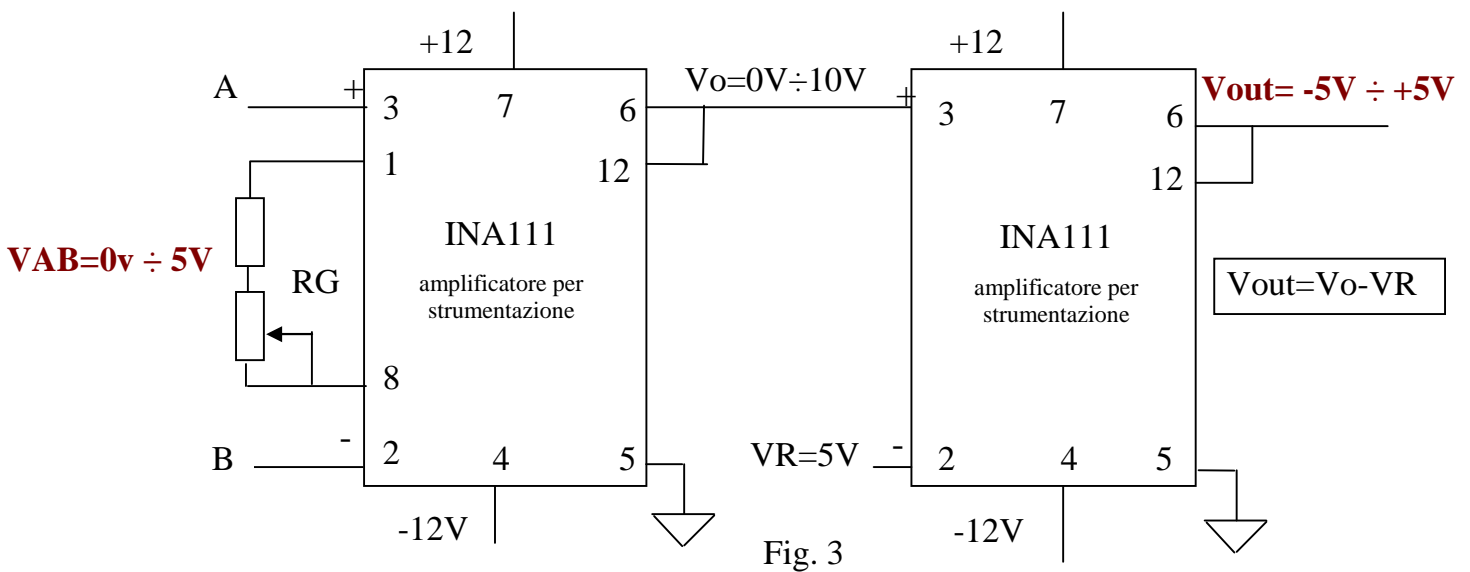


Fig. 3

In figura 4 è riportato lo schema interno e la top view dell'amplificatore per strumentazione INA111

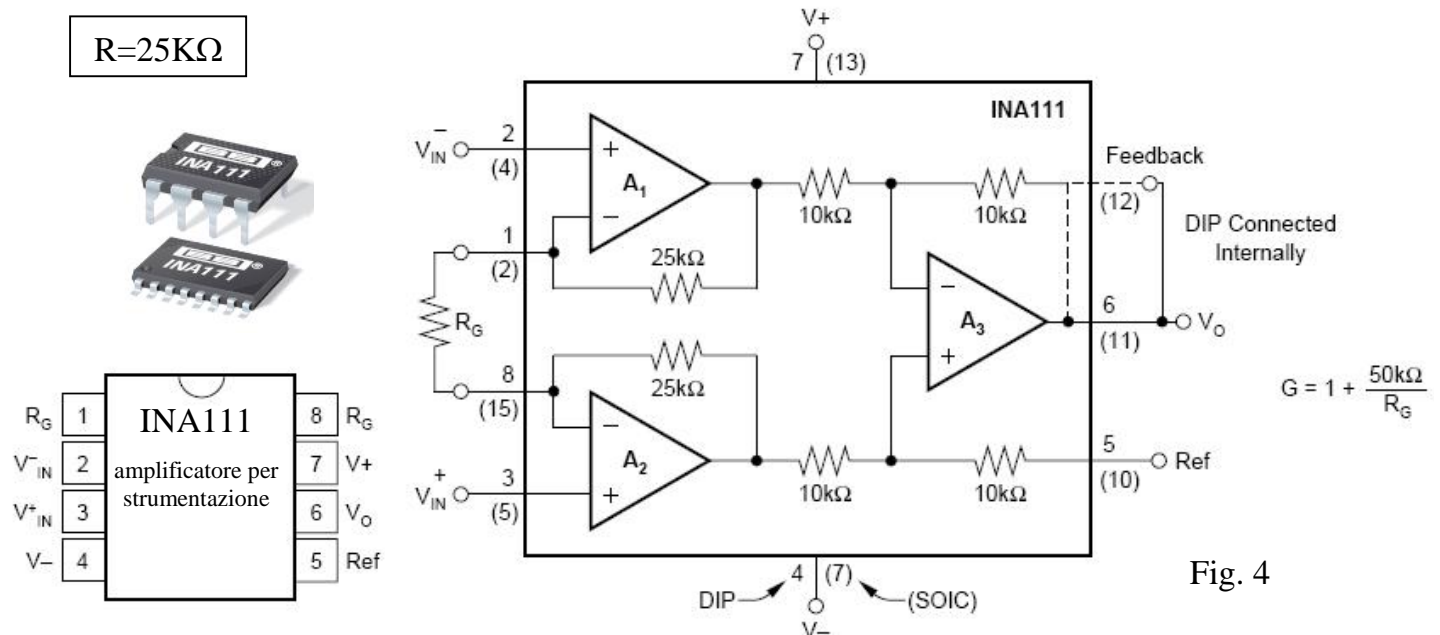


Fig. 4



**Calcolo del guadagno  $G$  (primo blocco)**

$$G = \frac{V_o}{V_{AB}} = \frac{10}{5} = 2$$

**Dimensionamento di  $R_G$** 

$$R_G = \frac{2R}{G-1} = \frac{50.000}{2-1} = 50K\Omega$$

La resistenza  $R_G$  viene realizzata con una resistenza fissa e con in serie un trimmer (fig.5)

$$R_G = 50k$$

$$R_X = 27k$$

$$P = 47k \text{ - Trimmer}$$



Trimmer

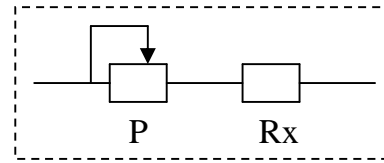


Fig.5

Per il secondo Blocco  $G=1$ , quindi  $V_{out} = V_o - V_R$

$V_R = 5V$	$V_o = 0$	$V_{out} = 0 - 5$	$V_{out} = -5V$
	$V_o = 10V$	$V_{out} = 10 - 5$	$V_{out} = 5V$

**Dimensionamento generatore tensione di riferimento.**

La tensione di riferimento  $V_R$  ( $V_R = 5V$ ) viene realizzata con il circuito di figura 6 (altro metodo, sempre basato sull'integrato LM336 2,5v).

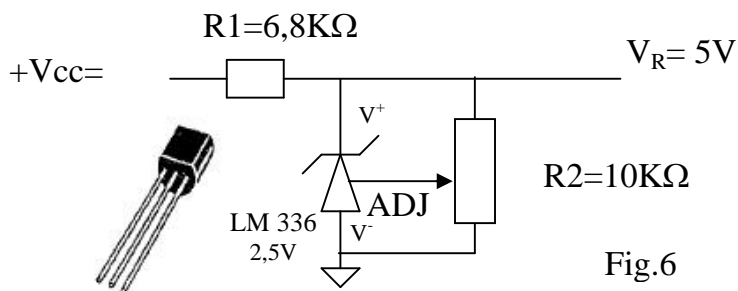
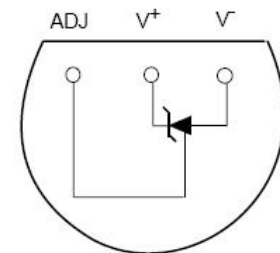


Fig.6

LM 336  
2,5V

**Esercizio 8 – Condizionamento trasduttore di posizione**

Un trasduttore di posizione ad ultrasuoni è impiegato per rilevare la posizione di un recipiente in cui deve essere versata una quantità prefissata di materiale.

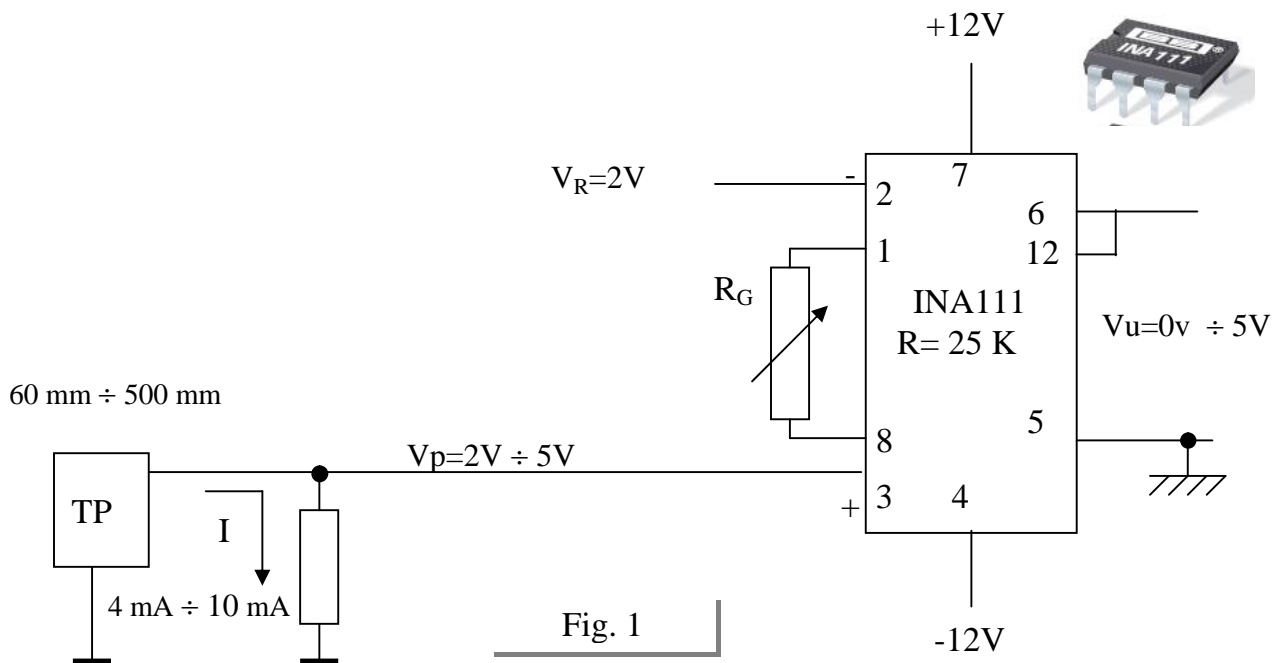
Il trasduttore ha un'uscita in corrente 4 mA ÷ 10 mA:

- alla distanza minima di 60 mm eroga 4 mA
- alla distanza massima 500 mm eroga 10 mA

Progettare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra 0V e +5V quando la posizione varia tra 60 mm e 500 mm.

**Soluzione**

Nella Fig. 1 si propone uno schema di condizionamento con amplificatore per strumentazione. La conversione corrente-tensione è realizzata con la resistenza R1.



● **Conversione Corrente – Tensione (Si pone  $R_1=500\Omega$ )**

$$P=60 \text{ mm} \quad \rightarrow I=4 \text{ mA} \quad \rightarrow V_p=R_1 \cdot I= 500 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 2 \text{ V}$$

$$P=500 \text{ mm} \quad \rightarrow I=10 \text{ mA} \quad \rightarrow V_p=R_1 \cdot I=500 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ V}$$

● **Calcolo  $V_R$  (Offset)**

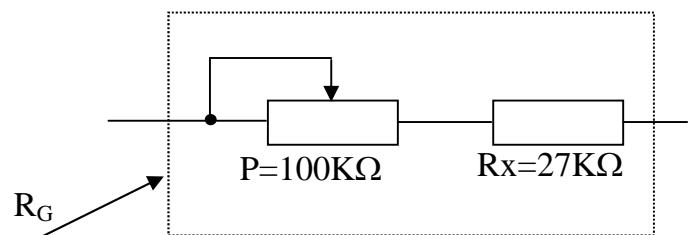
Per realizzare l'offset ( $V_0=0V$  per  $P=60 \text{ mm}$ ) si pone  $V_R=V_p(60 \text{ mm})=2V$

● **Calcolo guadagno  $G$  dell'amplificatore per strumentazione INA111**

$$G = \frac{V_{u_{MAX}}}{V_{p_{max}} - V_R} = \frac{5}{5 - 2} = \frac{5}{3}$$

● **Calcolo  $R_G$**

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{\frac{5}{3} - 1} = 75 K\Omega$$



## **Esercizio 9 –Condizionamento trasduttore di forza**

Il trasduttore di forza di tipo a ponte resistivo e possiede un'uscita di tipo differenziale.

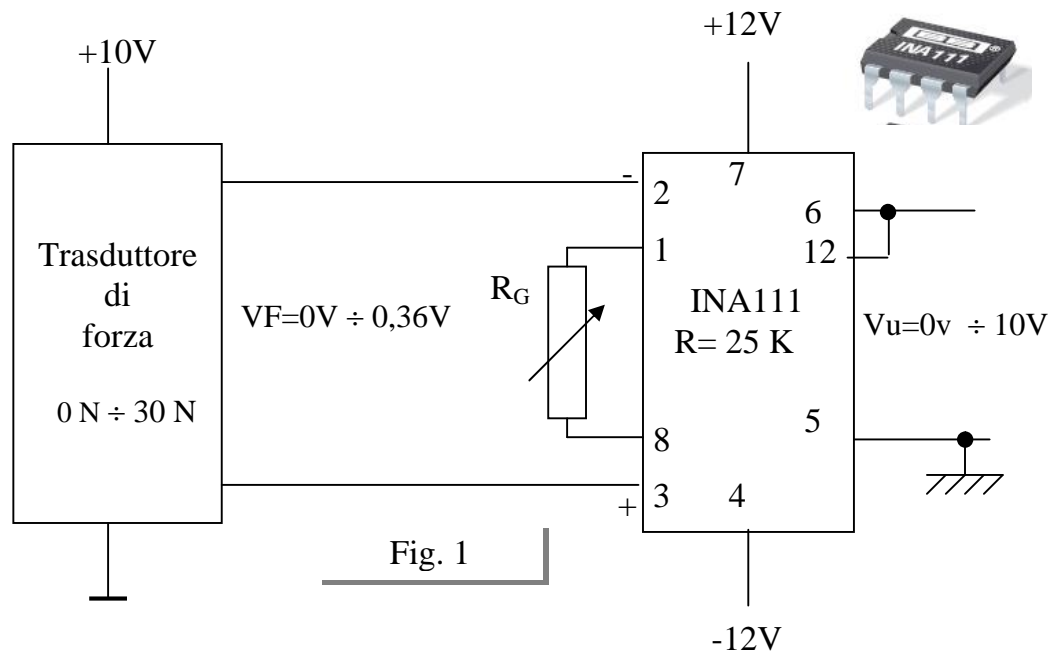
Alimentando il ponte con una tensione di 10 V e applicando la forza massima pari a 30 N si ottiene una tensione differenziale di 0,36 V.

Progettare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra 0V e +10V quando la forza varia tra 0N e 30N.

### Soluzione

Nella Fig. 1 si propone uno schema di condizionamento con amplificatore per strumentazione.

In questa configurazione non occorre inserire l'inseguitore/separatore tra il trasduttore e l'amplificatore per strumentazione.

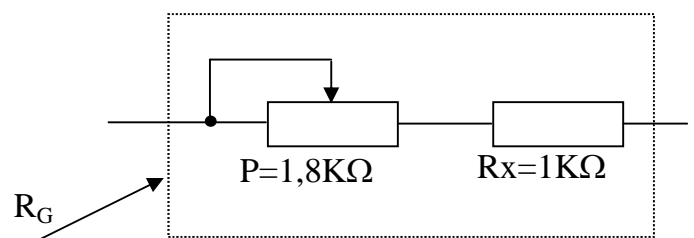


#### ● Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione INA111

$$G = \frac{V_{u_{MAX}}}{VF_{max}} = \frac{10}{0,36} = 27,78$$

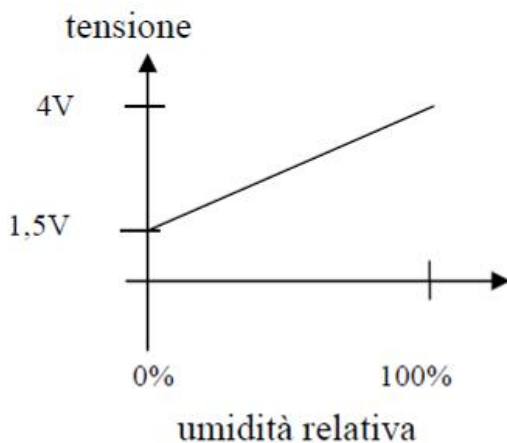
#### ● Calcolo $R_G$

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{27,78 - 1} = 1,87 K\Omega$$



## Esercizio 10 – Condizionamento trasduttore di umidità

Un trasduttore di umidità presenta le seguente caratteristica di trasferimento:



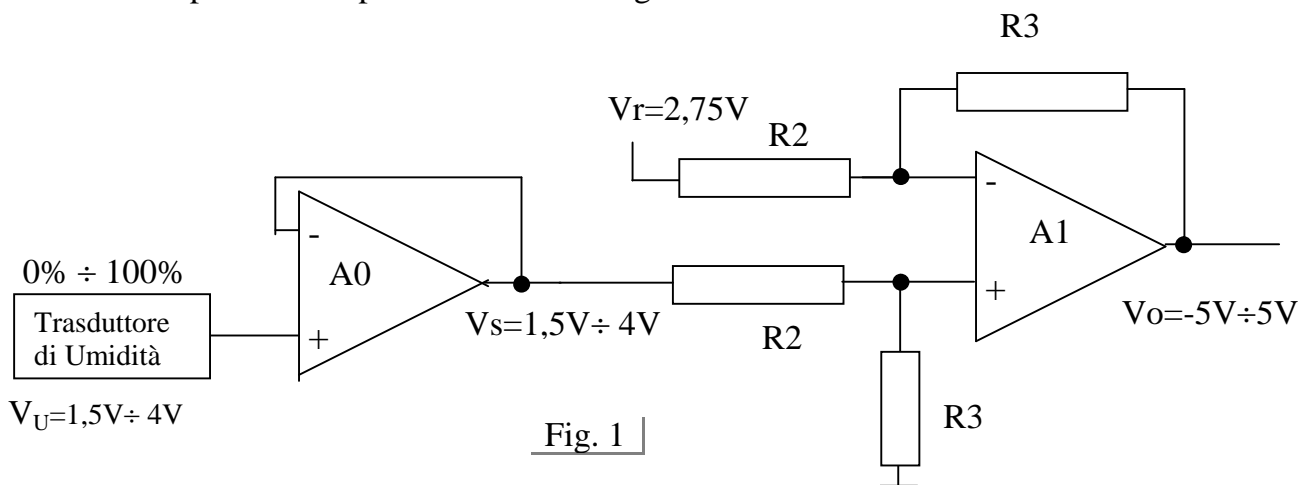
Progettare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra -5V e +5V per una variazione di umidità 0% ÷ 100%.

### Soluzione

#### Soluzione con l'amplificatore differenziale

Nella Fig. 1 si propone uno schema di condizionamento con offset di tensione che utilizza un amplificatore operazionale in configurazione differenziale.

L'amplificatore operazionale A0, configurato come inseguitore, effettua la separazione tra il trasduttore e amplificatore operazionale in configurazione differenziale.



#### Dimensionamento $V_r$ , $R_3$ , $R_2$

$$V_o = \frac{R_3}{R_2} \cdot (V_s - V_r)$$

$$\text{a) } U=0\% \quad \rightarrow \quad V_s=1,5\text{V} \quad \rightarrow \quad V_o=-5\text{V} \quad \rightarrow \quad -5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot (1,5 - V_r)$$

$$\text{b) } U=100\% \quad \rightarrow \quad V_s=4\text{V} \quad \rightarrow \quad V_o=5\text{V} \quad \rightarrow \quad +5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot (4 - V_r)$$

Si scrive il sistema con l'espressioni trovate e si ricavano le incognite  $V_r$ ,  $R_3$ ,  $R_2$

$$\begin{cases} -5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot (1,5 - V_r) \\ +5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot (4 - V_r) \end{cases}$$

Risoluzione del sistema

Si moltiplica il primo membro ed il secondo membro della prima espressione per -1

$$\begin{cases} +5 = -\frac{R_3}{R_2} \cdot (1,5 - V_r) \\ +5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot (4 - V_r) \end{cases} \rightarrow -\frac{R_3}{R_2} \cdot (1,5 - V_r) = \frac{R_3}{R_2} \cdot (4 - V_r)$$

$$-1,5 + V_r = 4 - V_r$$

$$-1,5 - 4 = -2 \cdot V_r$$

$$V_r = 2,75V$$

### ● Calcolo $R_3$ , $R_2$

Si sostituisce il valore  $V_r$  nella seconda espressione

$$+5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot (4 - 2,75)$$

$$\frac{5}{4 - 2,75} = \frac{R_3}{R_2}$$

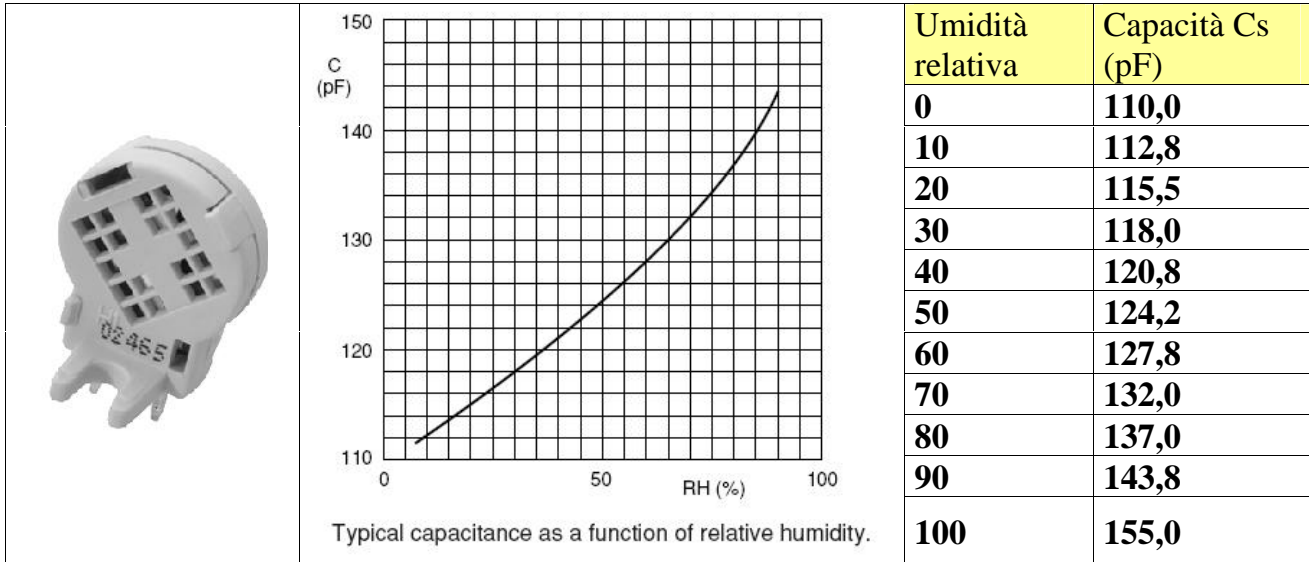
$$R_3 = 50 \text{ Kh}$$

$$R_2 = 12,5 \text{ Kh}$$

## Esercizio 11 Condizionamento sensore capacitivo di umidità

Si realizzi un circuito di condizionamento per il rilievo dell'umidità relativa nel range 10%÷90%. La tensione di uscita  $V_o$  sia 0V per  $U\%=10\%$  e 5V per  $U\%=90\%$ .

In tabella è riportata la caratteristica di trasferimento del sensore 2322 691 900001 Philips Elcoma.



### Soluzione

In figura 1 è riportato lo schema a blocchi del sistema da progettare.

$$C_s = 112,8\text{pF} \div 143,8\text{pF}$$

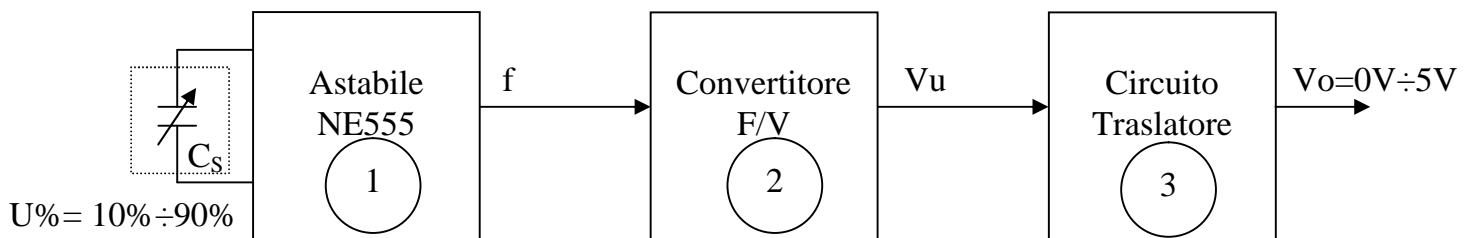


Fig.1

### 1) Dimensionamento blocco 1 (Astabile con NE555).

In figura 2 è riportato lo schema elettrico del circuito multivibratore con NE555.

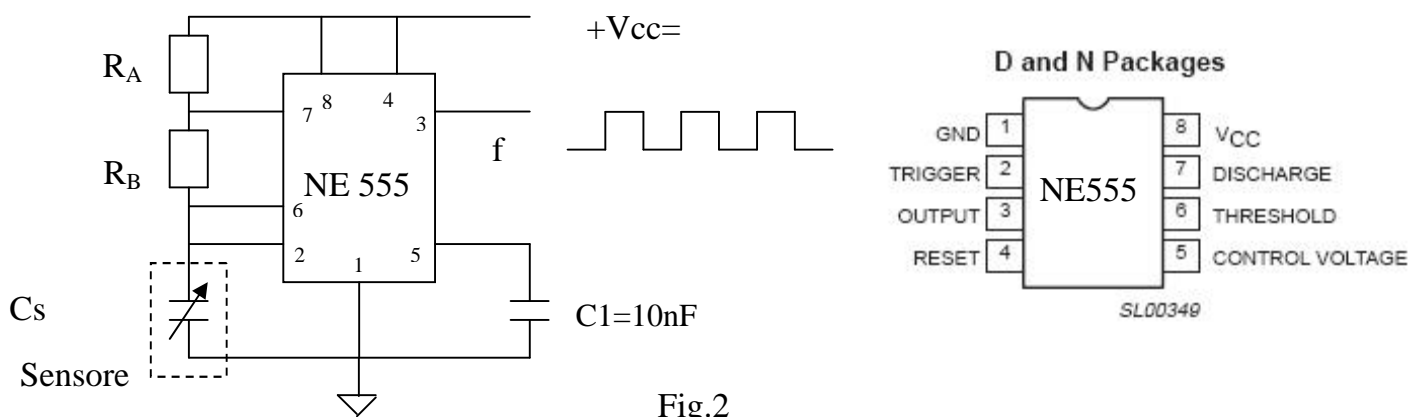


Fig.2

Per il calcolo della frequenza  $f$  si utilizza la seguente formula:

$$f = \frac{1}{0,7 \cdot (R_A + 2R_B) \cdot C_S}$$

Si pone  $R_A = 10K\Omega$ ;  $R_B = 1,2M\Omega$ , in modo da avere un duty cycle  $DC\% = 50\%$ .  
Dalla precedente formula si ricavano i valori della frequenza  $f_{\max}$  e  $f_{\min}$ :

$$f_{\max} \rightarrow U\% = 10\% \rightarrow C_S = 112,8 pF$$

$$f_{\max} = \frac{1}{0,7 \cdot (R_A + 2R_B) \cdot C_S} = \frac{1}{0,7 \cdot [10 \cdot 10^3 + 2 \cdot (1,2 \cdot 10^6)] \cdot 112,8 \cdot 10^{-12}} = 5,26 KHz$$

$$f_{\min} \rightarrow U\% = 90\% \rightarrow C_S = 143,8 pF$$

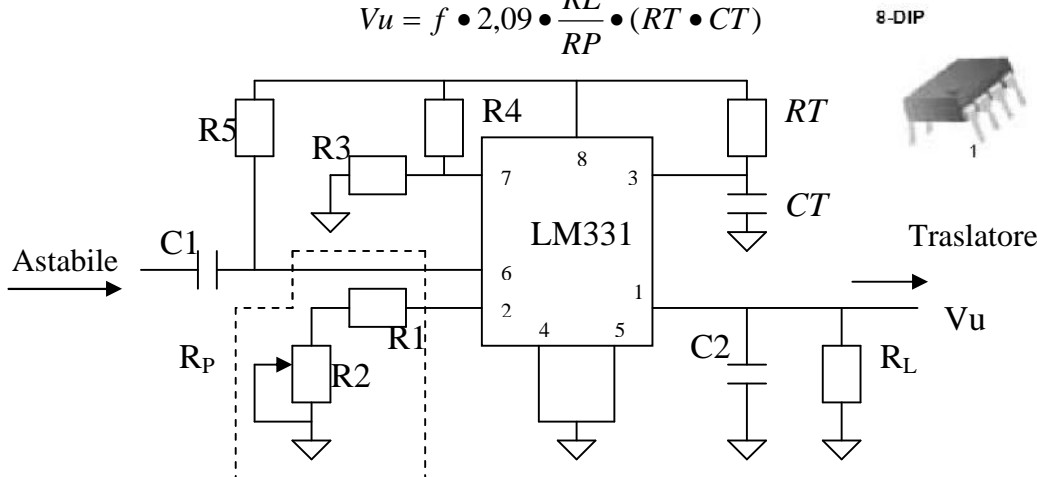
$$f_{\min} = \frac{1}{0,7 \cdot (R_A + 2R_B) \cdot C_S} = \frac{1}{0,7 \cdot [10 \cdot 10^3 + 2 \cdot (1,2 \cdot 10^6)] \cdot 143,8 \cdot 10^{-12}} = 4,11 KHz$$

## 2) Dimensionamento blocco 2 (Convertitore Frequenza/Tensione).

In figura 3 è riportato lo schema elettrico del circuito convertitore frequenza/tensione basata sull'integrato LM331. Il multivibratore astabile di figura 2 genera un segnale ad onda quadra con frequenza  $f$  variabile dipendente dall'umidità relativa.

Il circuito di figura 3 opera la conversione  $f/V$  secondo la seguente relazione:

$$V_u = f \cdot 2,09 \cdot \frac{R_L}{R_P} \cdot (R_T \cdot C_T)$$



Elenco componenti	
R1	12K
R2	4,7K
R3	68K
R4	10K
R5	10K
Rt	6,8K
RL	100K
Ct	0,01 $\mu$ F
C1	470pF
C2	1 $\mu$ F

Fig.3

Tarando opportunamente la resistenza  $R_2$ , la tensione di uscita  $V_o$  aumenta di 1V per ogni KHz della frequenza  $f$  generata dall'astabile.

Con il cursore di  $R_2$  circa a metà tutto il termine  $2,09 \cdot \frac{R_L}{R_P} \cdot (R_T \cdot C_T) \cong 1$ ;

quindi  $V_u = Kf$ . con  $K = 1 \text{ mV/Khz}$

Riassumendo:

$$U\% = 10\% \rightarrow f = 5,26 KHz \rightarrow V_u = 5,26V$$

$$U\% = 90\% \rightarrow f = 4,11 KHz \rightarrow V_u = 4,11V$$

**3) Dimensionamento blocco 3 (Circuito traslatore).**

In figura 4 è riportato lo schema elettrico del circuito traslatore.

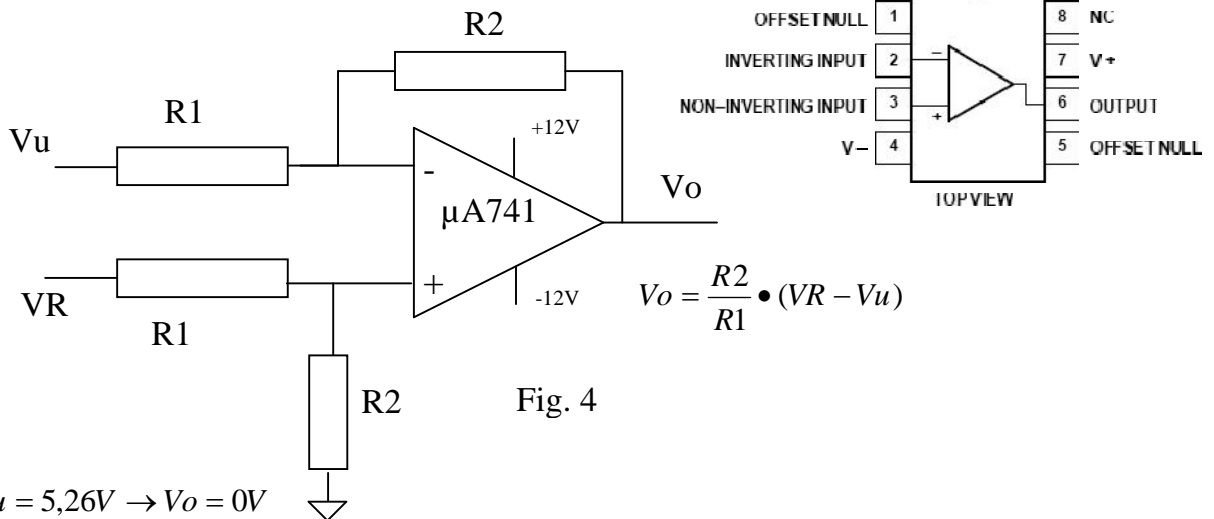


Fig. 4

- 1)  $V_u = 5,26V \rightarrow V_o = 0V$   
 $0 = \frac{R_2}{R_1}(V_R - 5,26) \rightarrow V_R = 5,26V$
- 2)  $V_u = 4,11V \rightarrow V_o = 5V$   
 $5 = \frac{R_2}{R_1}(5,26 - 4,11) \rightarrow \begin{cases} R_2 = 5K \\ R_1 = 1,15K \end{cases}$

**4) Dimensionamento generatore tensione di riferimento.**

La tensione di riferimento  $V_R$  ( $V_R=5,26V$ ) per il circuito traslatore viene realizzata con il circuito di figura 5.

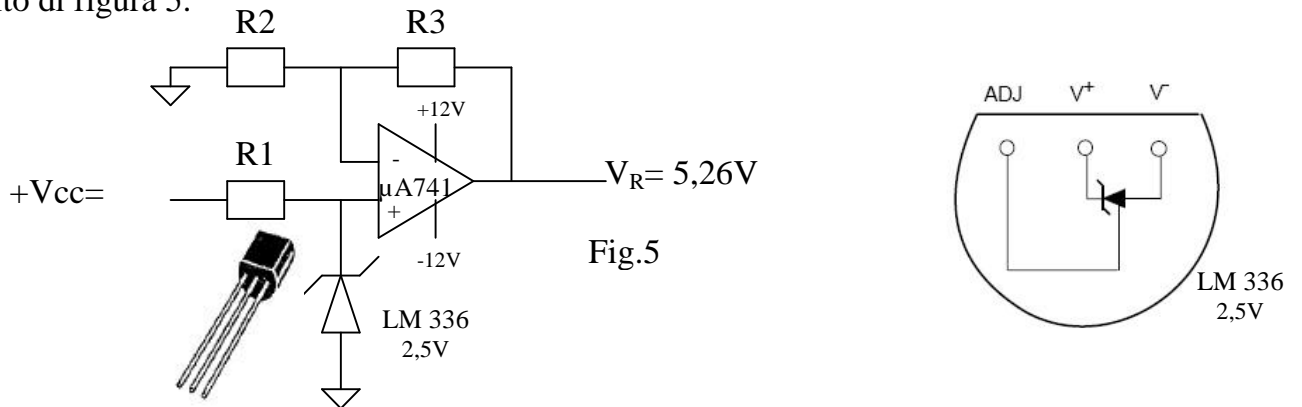


Fig.5

Dimensionamento R3, R2.

$$V_R = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot V_z \rightarrow \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) = \frac{V_R}{V_z} \rightarrow \frac{R_3}{R_2} = \frac{V_R}{V_z} - 1 \rightarrow \frac{5,26}{2,5} - 1 = 1,104 \rightarrow \begin{cases} R_3 = 1,1K\Omega \\ R_2 = 1K\Omega \end{cases}$$

Nel circuito di figura 5 deve essere previsto un sistema di regolazione per la taratura di  $V_R$ . La resistenza R3 viene realizzata con una resistenza fissa collegata in serie con un trimmer come indicato in figura 6.

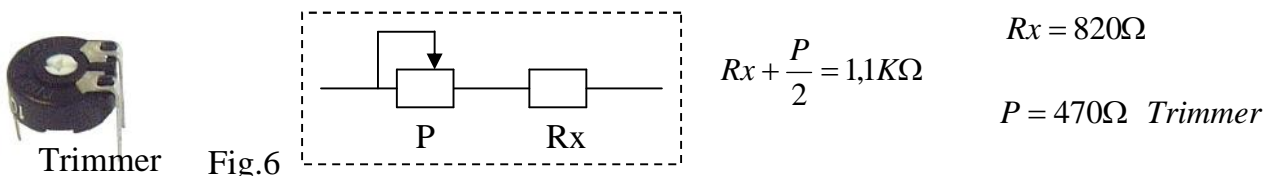


Fig.6