



I.T.I. "Modesto PANETTI" – B A R I

Via Re David, 186 - 70125 ☎ 080-542.54.12 - Fax 080-542.64.32

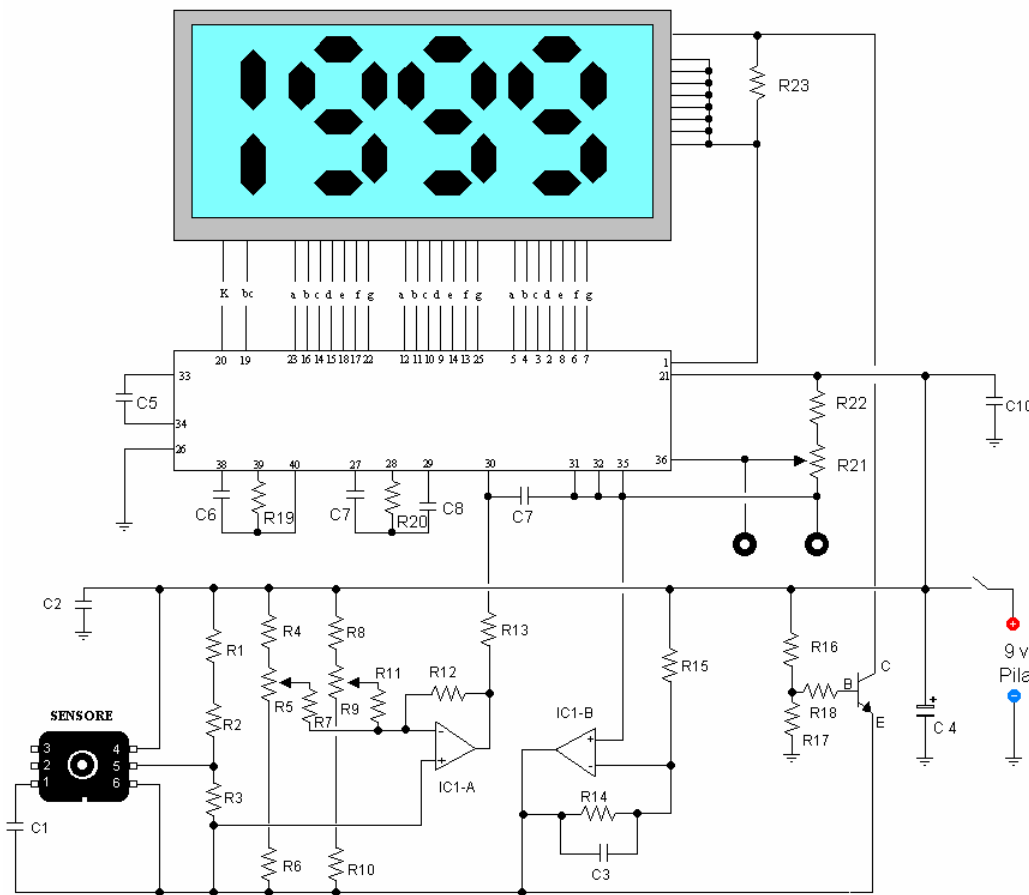
Internet <http://www.itispanetti.it> – email : [BATF05000C@istruzione.it](mailto:BATF05000C@istruzione.it)

**Classe 5 ETB a.s. 2002 - 2003**  
**Esercitazione di Laboratorio**  
**Prof. Ettore Panella**

**ALTIMETRO DA 0 A 1.999 METRI**  
**Soluzioni Hardware e Software in Visual Basic e con scheda audio PC**

Utilizzando dei moderni sensori di pressione è possibile realizzare degli strumenti in grado di misurare l'altezza di palazzi, colline o montagne fino ad un massimo di 1.999 metri. Il dispositivo realizzato è un semplice ed utile altimetro.

**SCHEMA ELETTRICO :**



## ELENCO COMPONENTI:

<b>R1 = 3900 Ω</b>	<b>R20 = 470 kΩ</b>
<b>R2 = 200000 Ω 1%</b>	<b>R21 = 100 kΩ trimmer 10 giri</b>
<b>R3 = 200000 Ω 1%</b>	<b>R22 = 200 kΩ 1 %</b>
<b>R4 = 499000 Ω 1%</b>	<b>R23 = 100 kΩ</b>
<b>R5 = 100000 Ω potenziometro Cermet</b>	<b>C1 = 680 pF ceramico</b>
<b>R6 = 499000 Ω 1%</b>	<b>C3 = 1000 pF poliestere</b>
<b>R7 = 1 MΩ 1%</b>	<b>C4 = 22 μF elettrolitico</b>
<b>R8 = 15 kΩ 1%</b>	<b>C5 = 100000 pF poliestere</b>
<b>R9 = 10 kΩ trimmer 10 giri</b>	<b>C6 = 100 pF ceramico</b>
<b>R10 = 6810 Ω 1%</b>	<b>C7 = 220000 pF poliestere</b>
<b>R11 = 200000 Ω 1%</b>	<b>C8 = 47000 pF poliestere</b>
<b>R12 = 200000 Ω 1%</b>	<b>C9 = 1000 pF poliestere</b>
<b>R13 = 1 MΩ 1%</b>	<b>C10 = 100000 pF poliestere</b>
<b>R14 = 22 kΩ 1%</b>	<b>TR1 = NPN tipo BC.547</b>
<b>R15 = 30100 Ω</b>	<b>IC1 = integrato tipo LM358</b>
<b>R16 = 47 kΩ</b>	<b>IC2 = integrato tipo ICL 7106</b>
<b>R17 = 27 kΩ</b>	<b>LCD = display LCD tipo S5018/P</b>
<b>R18 = 47 kΩ</b>	<b>SENSORE = rivelatore di pressione tipo</b>
<b>R19 = 100 kΩ</b>	<b>XFPM- 115KP</b>
	<b>S1 = interruttore</b>

## GENERALITA':

Per realizzare dei semplici altimetri o barometri, è necessario l'impiego di **trasduttori di pressione** che sono dispositivi in grado di fornire un segnale elettrico proporzionale alla pressione esercitata su una opportuna zona. Si ricordi che la pressione  $P$  è definita come il rapporto tra la forza  $F$  esercitata su una **superficie  $S$** :

$$P = \frac{F}{S}$$

L'unità di misura della pressione atmosferica è il Pascal :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nw/m}^2$$

Si esprime la forza in Newton e la superficie in  $\text{m}^2$ . In pratica, però si utilizzano altre unità di misura come:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Bar} &= 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ Atm} &= 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ psi} &= 6895 \text{ Pa} \text{ (psi = pound square inch)} \end{aligned}$$

Il valore numerico della pressione si può esprimere in  $\text{Kg/cm}^2$ , in millimetri di mercurio, come sopra descritto, ed in millibar. La relazione fra le diverse unità di misura è la seguente:

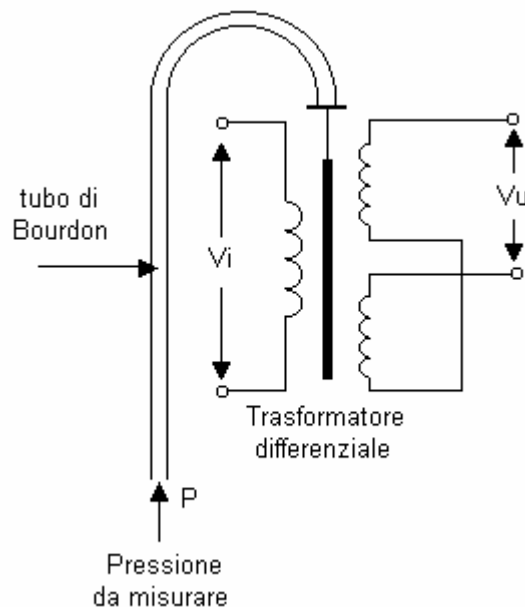
$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 1 \text{ Atm} = 760 \text{ mm Hg} = 1,013 \text{ bar}$$

I trasduttori di pressione sono sostanzialmente costituiti da due parti:

- 1) **Sensore primario:** è realizzato con molle, diaframmi, membrane, sostanze semiconduttore, ecc.. che sotto l'azione della pressione da misurare subisce una deformazione;
- 2) **Trasduttore secondario:** è costituito da un trasduttore di posizione, come un estensimetro o un trasformatore differenziale, che ha il compito di trasformare lo spostamento del sensore primario in segnale elettrico.

In figura 1 si mostra lo schema di principio di un trasduttore di pressione a tubo di Bourbon.

Esso è costituito da un tubo a forma di C chiuso ad una estremità e solidale con il nucleo di un trasformatore differenziale. La pressione  $P$  da misurare applicata all'altra estremità del tubo di Bourdon provoca una deformazione e quindi un movimento del nucleo del trasformatore differenziale la cui tensione d'uscita  $V_u$  risulta proporzionale alla pressione  $P$ . I trasduttori di pressione di tipo meccanico, come quello a tipo di Bourdon, sono utilizzati nel campo della regolazione pneumatica per valori compresi tra 0.1 e 50 Atm.

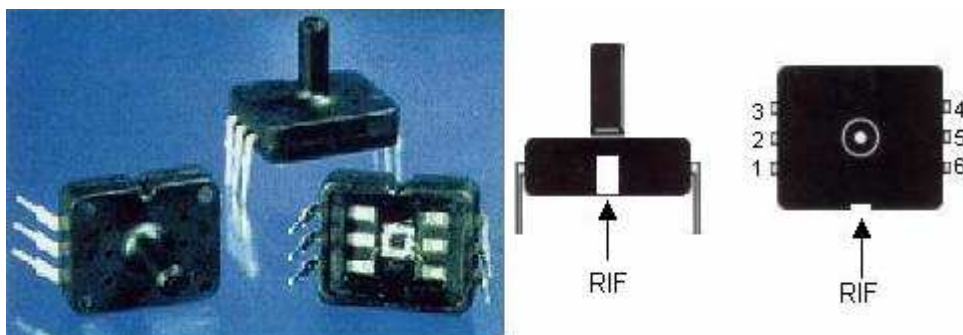


**Figura 1-Trasduttore tubo di Bourdon**

Per pressioni di valore più basso sono impiegati trasduttori di pressione realizzati con la tecnica dei circuiti integrati. In pratica, sul chip del circuito integrato viene formato un diaframma al silicio sul quale si realizzano 4 resistenze collegate a ponte. La pressione esercitata dall'esterno sul diaframma provoca una variazione del valore resistivo del ponte che viene rilevato tramite la misura della tensione di squilibrio proporzionale alla pressione da misurare.

#### **DESCRIZIONE DEL PROGETTO:**

Per realizzare l'altimetro si è utilizzato il trasduttore della **Fujkura** siglato **XFPM.115KP** che contiene al suo interno un sensore costituito da un ponte piezoelettrico che al variare della pressione modifica la propria tensione di uscita.



**Figura 2-Trasduttore di pressione XFPM.115KP**

Guardando la tacca di riferimento, riportata sul suo corpo, sulla sinistra sono presenti i piedini 1-2-3 e sulla destra i piedini 4-5-6.

I dati tecnici del sensore forniti dal costruttore sono:

<b>Tensione di alimentazione:</b>	<b>5 volt stabilizzata</b>
<b>Assorbimento:</b>	<b>10mA max</b>
<b>Impedenza d'uscita:</b>	<b>10 ohm</b>
<b>Precisione:</b>	<b>±2.5%</b>
<b>Massima tensione uscita:</b>	<b>4.7 volt</b>
<b>Massima pressione:</b>	<b>863mm/H</b>
<b>Minima pressione:</b>	<b>112 mm/H</b>

Sapendo che mm/H significa millimetri di mercurio e che, sul livello del mare, una colonna di mercurio si posiziona su 760 mm e che a 2000 metri si posiziona sui 607 mm, si sono determinate le tensioni di uscita dal trasduttore alle diverse altezze:

<b>0</b>	<b>metri</b>	<b>4.0830 volt</b>	<b>1000</b>	<b>metri</b>	<b>3.6240 volt</b>
<b>50</b>	<b>metri</b>	<b>4.0600 volt</b>	<b>1500</b>	<b>metri</b>	<b>3.3945 volt</b>
<b>70</b>	<b>metri</b>	<b>4.0509 volt</b>	<b>1999</b>	<b>metri</b>	<b>3.1654 volt</b>
<b>150</b>	<b>metri</b>	<b>4.1415 volt</b>			
<b>200</b>	<b>metri</b>	<b>3.9912 volt</b>			
<b>500</b>	<b>metri</b>	<b>3.8535 volt</b>			

Si osservi che da 0 metri a 1999 metri si ha una variazione di tensione di soli:

$$4.0830 - 3.1654 = 0.9176 \text{ volt}$$

In pratica per ogni metro di incremento in altezza si ha una variazione di tensione di soli:

$$0.9176 / 1999 = 0.459 \text{ mV}$$

Per misurare queste irrisorie tensioni è sufficiente un preciso **millivoltmetro** di tipo invertente, nel quale il numero che appare sul display aumenta in modo proporzionale alla tensione decrescente che giunge al suo ingresso.

Inoltre, si deve tener conto che la pressione atmosferica varia in base alle condizioni meteorologiche, quindi se sul livello del mare, in presenza di media pressione, la colonna di mercurio si ferma sui **760 mm/H**, in presenza di alta pressione la colonna di mercurio può salire sui **770 mm/H** e in presenza di bassa pressione può scendere sui **750 mm/H**.

Pertanto, queste variazioni possono modificare di diversi millivolt la tensione d'uscita. Poiché queste variazioni non sono mai repentine, è possibile tarare il potenziometro di azzeramento in modo da leggere sul millivoltmetro **000** a livello del mare;tenendo presente che, al variare della pressione atmosferica, è possibile rilevare un differenza di qualche metro. Se trovandoci al piano terra di un palazzo azzeriamo lo strumento, potremo conoscere di quanti metri ci alziamo salendo le scale. Chi ha un **deltaplano** potrà leggere a quale altezza rispetto al suolo sta volteggiando. Gli speleologi potranno verificare a quale profondità sono scesi sotto terra, perché sul display vedranno apparire prima del numero il segno meno. Affinché il trasduttore funzioni correttamente è necessario applicare tra i piedini **4 e 1, 6 una differenza di potenziale di 5V**, in tal caso il piedino 5 dell'operazionale fornisce una tensione inversamente proporzionale all'altezza dal suolo. Tale tensione è applicata sull'ingresso non invertente del primo operazionale montato in configurazione differenziale. Il segnale di uscita giunge al piedino 30 dell'ICL 7106; per azzerare l'altimetro è necessario ruotare il potenziometro R9 in modo che la tensione di uscita dell'amplificatore differenziale si porti allo stesso valore della tensione presente al piedino 32. Il piedino 30 dell'ICL 7106 è invertente pertanto, quando la tensione sul sensore diminuisce all'aumentare dell'altezza, il numero che appare sul display aumenta. Il trimmer multigiri R9 consente di eseguire un azzeramento sull'altitudine della località in cui ci si trova, mentre il potenziometro R5 permette di modificare i valori della pressione atmosferica che possono variare da un giorno all'altro da 750 mm/H fino a 770 mm/H.

Il transistor TR1 presente nel circuito svolge una sola funzione, cioè quella di far apparire sul display la scritta **LO-BATT** quando la pila da 9 V deve essere sostituita perché scarica.

### REALIZZAZIONE PRATICA:

Nella realizzazione pratica si utilizza un master a doppia faccia. Le figure seguenti riportano le varie fasi di montaggio del dispositivo.

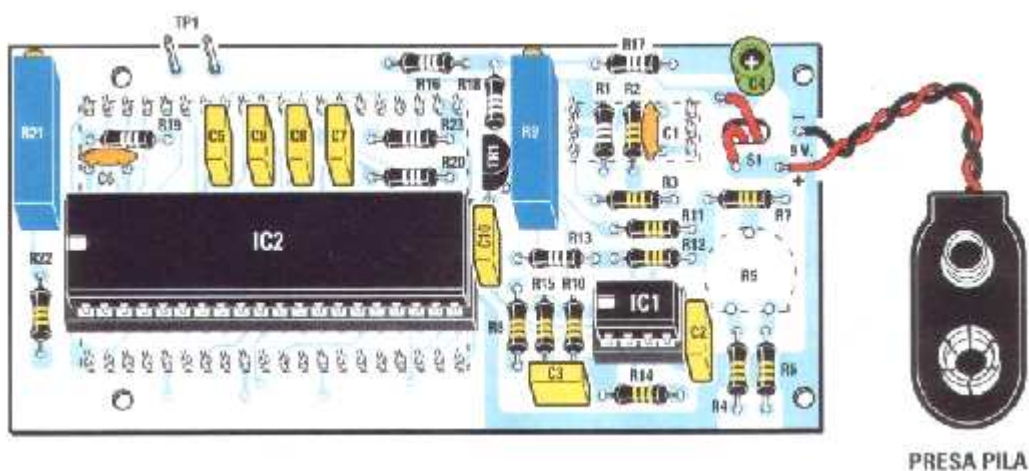
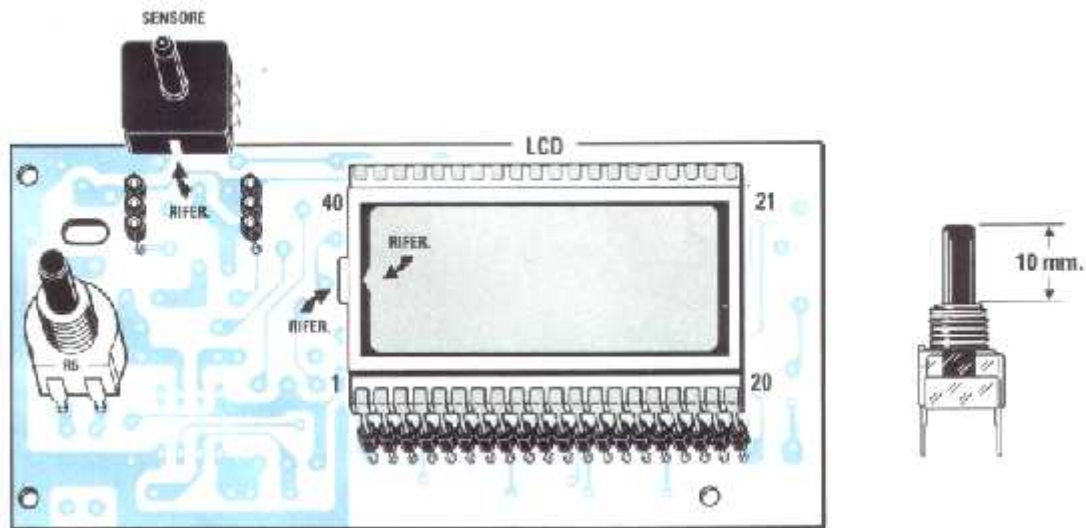


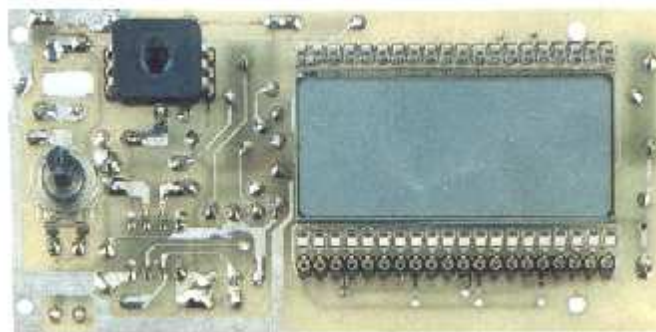
Fig. 3

La figura 3 mostra lo schema pratico di montaggio dell'altimetro visto dal lato dei componenti. I due terminali TP1, presenti sul lato superiore del circuito stampato, servono per tarare l'altimetro con l'aiuto del tester.



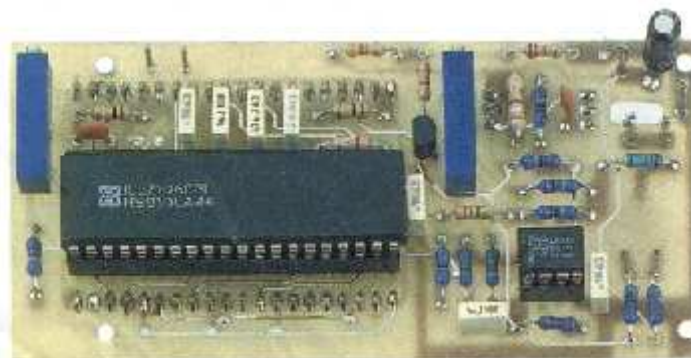
**Fig. 4**

Nel lato opposto del circuito stampato vanno inseriti i connettori femmina per il sensore e per il display LCD (si noti la tacca di riferimento) ed anche il potenziometro di taratura dello zero R5; prima di inserire il potenziometro è necessario accorciarne il perno.



**Fig. 5**

La figura 5 mostra la foto del circuito visto dal lato del display LCD. Si noti in alto a sinistra il sensore già inserito entro i 2 connettori femmina a 3 poli.



**Fig. 6**

I 2 potenziometri per la taratura si trovano ai lati di dell'integrato 7106 come mostrato in figura 6.

## TARATURA DELL'ALTIMETRO:

E' possibile tarare l'altimetro sia con tester sia senza tester. È importante però tener conto che la taratura va effettuata a pochi centimetri di altezza dal suolo.

Se non si desidera utilizzare il tester si deve ruotare il perno del potenziometro R5 a metà corsa, poi il trimmer multigiri R9 da 10 kΩ fino a far apparire sul display 000, se ci si trova a piano terra.

Per tarare il trimmer multigiri R21 da 100 kΩ è necessario portarsi ad un'altezza di almeno 30-40 metri. Supponendo di essersi posizionati su un palazzo alto 32 metri, bisogna ruotare il trimmer fino a far apparire il numero 32.

Realizzando la taratura con tester si devono collegare i puntali del tester ai terminali TP1 posti sul circuito stampato, in seguito si deve ruotare il cursore del trimmer R21 fino a leggere una tensione di 0.46V. Ottenuto tale valore di tensione si deve ruotare il trimmer R5 a metà corsa, poi il cursore R9 fino a leggere 000 (se ci si trova a piano terra). Una volta tarato l'altimetro, se accendendolo il giorno dopo, si ottiene un'altitudine differente significa che è cambiata la pressione atmosferica, pertanto è necessario ruotare solo il perno R5 di azzeramento.

## ALTRE APPLICAZIONI:

Si riportano altre utili applicazioni del trasduttore di pressione aggiuntive a quella del circuito realizzato:

### ➤ Acquisizione tramite ADC0804

L'integrato 7106 presenta una circuiteria molto complessa. Esso contiene al suo interno un convertitore analogico digitale realizzato con una logica ad approssimazioni successive e un decoder che consente il pilotaggio del display LCD. Se non si dispone di tale integrato è ugualmente possibile utilizzare il noto convertitore **ADC0804**.

In tal caso è necessario realizzare il circuito di condizionamento che rende il segnale d'uscita compreso tra 0 e 5V direttamente proporzionale all'altitudine, come mostrato in figura 7.

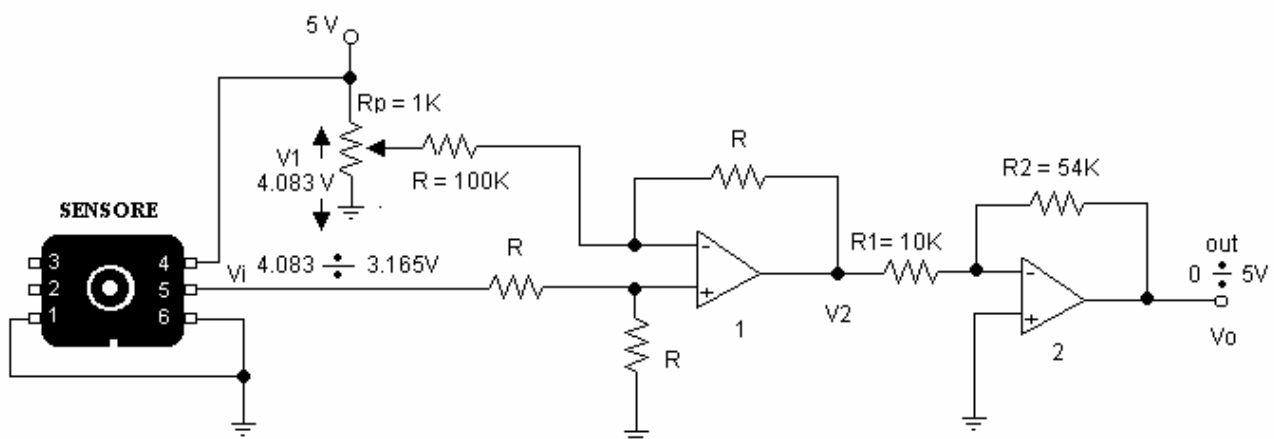


Fig. 6 – Circuito di condizionamento per acquisizione con ADC0804.

Il primo operazionale è montato in configurazione differenziale a guadagno unitario. L'uscita  $V_2$  risulta pertanto essere uguale alla differenza dei segnali  $V_i$  e  $V_1$ :

$$V_2 = (V_i - V_1)$$

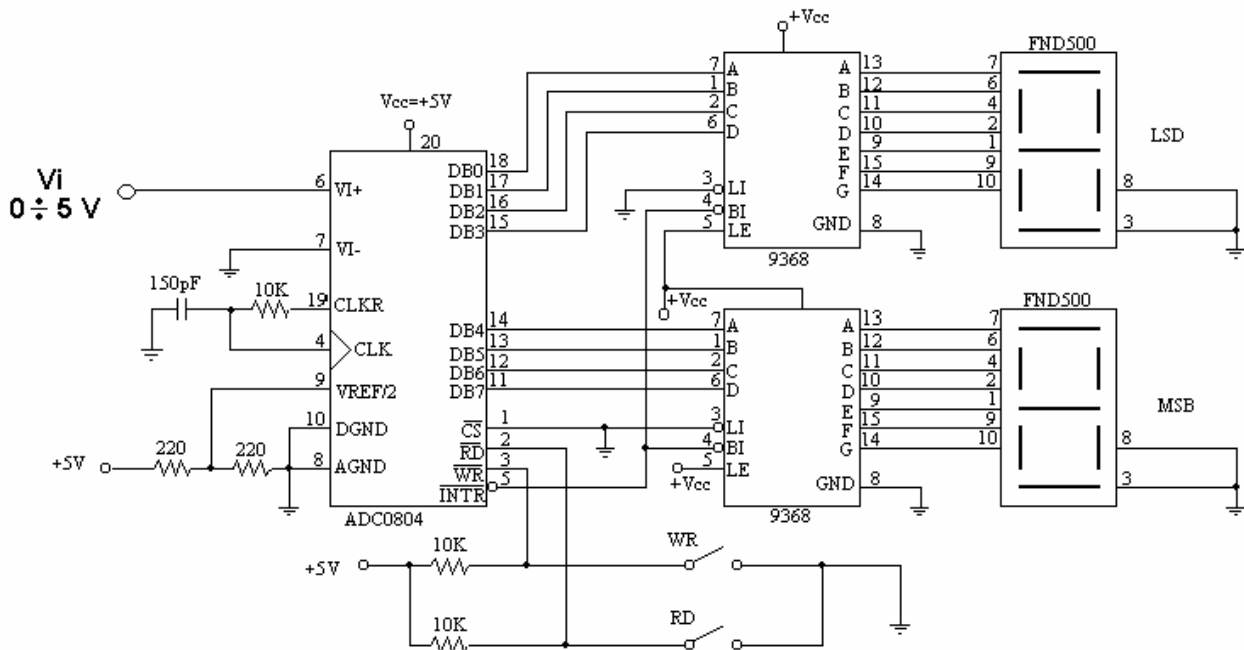
Il trasduttore fornisce un segnale compreso tra 4.083 e 3.165 V; ruotando il potenziometro Rp in modo da misurare tra il centrale e massa una tensione di 4.083V (tensione presente

a 0 metri) si ottiene una tensione  $V_2 = 0$  quando ci si trova al livello del suolo, e una tensione  $V_2 = -0.918$  V ad un'altezza di 1999 metri. Per fare in modo che  $V_o$  raggiunga il massimo valore (5 V) ad un'altezza di 1999 metri è sufficiente utilizzare un amplificatore invertente con guadagno pari a 5.4.

$$V_o = -V_2 \cdot \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_{o\max} = -0.918 \cdot 5.4 = 5V$$

Poiché il segnale è compreso tra 0 e 5V si deve applicare al pin  $V_{REF}/2$  dell'ADC0804 un potenziale pari a 2.5V. In fig. 8 si mostra lo schema elettrico complessivo.

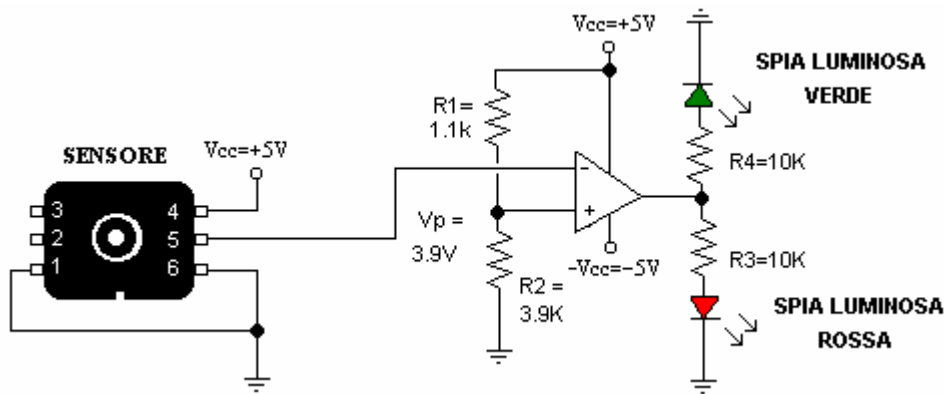


**Fig. 8-Circuito di acquisizione e visualizzazione.**

Come si evince dalla fig. 8 le uscite dell'ADC sono state collegate ai 2 decoder 9368 che pilotano i 2 display a sette segmenti siglati FND500; tali display forniscono in codice esadecimale il numero binario generato dall'ADC, compreso tra 0 e 255.

➤ **Controllo livello d'altitudine:**

Supponiamo di essere in elicottero e di voler visualizzare tramite 2 spie luminose, inserite opportunamente nella cabina di controllo, se stiamo volando al di sopra o al di sotto di 200 metri dal suolo. In fig. 9 si riporta la soluzione circuitale.



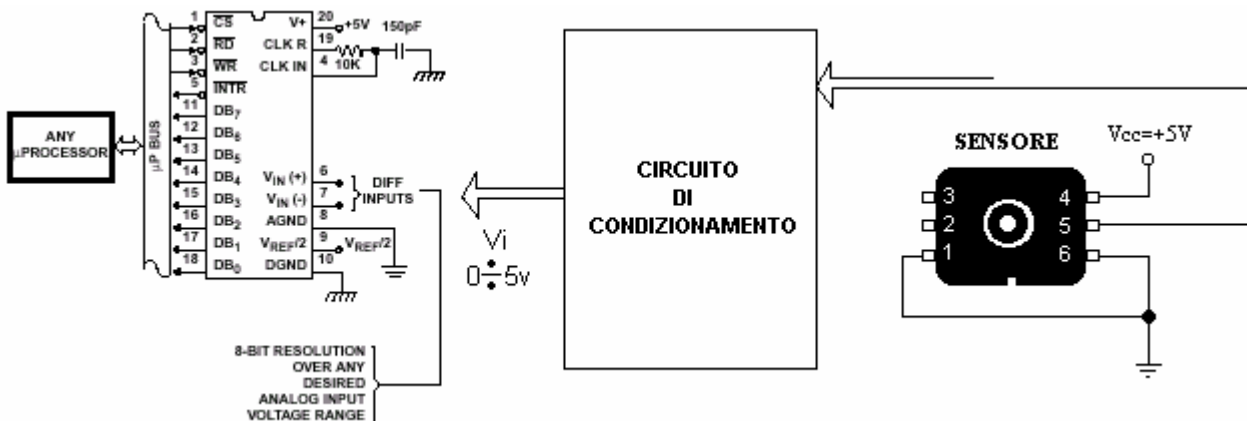
**Fig. 7-Indicatore di livello.**

Ricordiamo che la tensione fornita dal trasduttore diminuisce all'aumentare dell'altezza, e che a 200 metri si ottiene un tensione di circa 3.9V.

L'operazionale in figura funziona da comparatore di tensione invertente, quando ci troviamo ad un'altezza inferiore ai 200 metri la tensione di uscita del trasduttore risulta essere superiore a 3.9V. In tale situazione il potenziale all'ingresso invertente risulta essere maggiore rispetto a quello dell'ingresso non invertente quindi  $V_o = -5V$ , la spia luminosa verde è accesa indicandoci che possiamo aumentare di quota; se si superano i 200 metri d'altezza  $V_o = +5V$  in quanto la tensione di uscita del trasduttore risulta essere inferiore ai 3.9 V di riferimento applicati all'ingresso non invertente; in tale situazione la spia luminosa rossa risulta essere accesa indicandoci di scendere di quota.

➤ **Acquisizione tramite interfaccia Centronics con software Visual Basic**

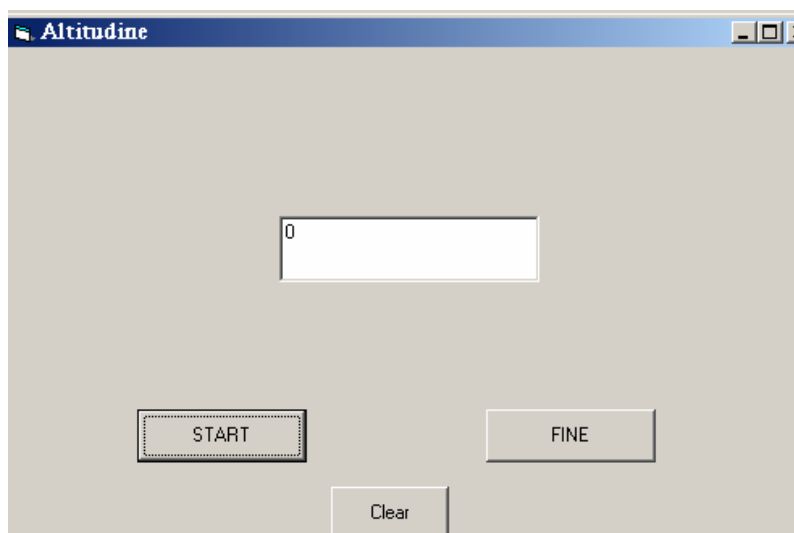
Se si dispone di un PC portatile o supponendo di voler visualizzare l'altitudine utilizzando un computer di bordo di un aeroplano, è sufficiente collegare gli otto bit di uscita dell'ADC 0804 al bus di un PC attraverso un cavo Centronics, come mostrato nello schema a blocchi di fig. 9:



**Fig. 8**

Utilizzando Visual Basic come software di acquisizione è opportuno ricordare che l'indirizzo di ingresso è l'888 mentre quello di uscita è l'890, ponendo il bit D = 1 dell'indirizzo 890 si abilita la porta in input, mentre se D = 0 la porta è impostata in output.

Si riporta il form e il programma in Visual Basic che consente l'acquisizione:



**Fig. 10**

<pre>Private Sub Clear_Click() Text1.Text = "" End Sub ----- Private Sub Fine_Click() Timer1.Enabled = False End Sub ----- Private Sub Form_Load() Timer1.Enabled = False Text1.Text = 0 End Sub</pre>	<pre>Private Sub Start_Click() Timer1.Enabled = True Timer1.Interval = 1000 End Sub ----- Private Sub Timer1_Timer() Out 890, 32 I=i+1 Temp(i) = inp(888) Text1.Text = Temp(i) End Sub</pre>
--	--

Per il funzionamento del programma è necessario caricare nella cartella C:\Windows\System il file **inpout32.dll** (Scaricabile gratuitamente dal sito: **www.logix4u.net**) e inserire nel progetto Visual Basic il modulo **Inpout.bas** di seguito riportato:

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

Per costruire il modulo è sufficiente scrivere il precedente codice con un editor di testi, come il Blocco Note di Windows, e salvare il file con il nome Inpout.bas  
Per questo particolare progetto il programma in VB è costituito da un solo *form* per cui non è indispensabile generare il modulo Inpout.bas ma è sufficiente inserire nelle dichiarazioni generali del *form* il precedente codice con l'accortezza di dichiarare le funzioni private.

Alternativamente si possono utilizzare degli opportuni componenti, disponibili gratuitamente sul sito Internet **www.driverlinx.com**. Attivando il download si può scaricare il file *Windows 95NT PortI/O driver* che consente di caricare il file *port95nt.exe* che installa automaticamente diversi file tra cui:

**DLPortIO.DLL -- Win32 DLL hardware I/O functions**  
**DLPortIO.BAS -- Visual Basic interface to DLPortIO.DLL**  
**DLPortIO.SYS -- Kernel mode driver for WinNT**  
**(non necessario per Win95)**

In questo caso nel progetto VB si deve inserire il modulo *DLPortIO.BAS* e le istruzioni di Input e Output devono avere il seguente formato:

- Value = DIPortReadPortUchar(Addr)
- DIPortWritePortUchar (Addr), Value

Dove *Addr* è l'indirizzo della porta, ad esempio 888, e *Value* è il valore in decimale in lettura o in scrittura.

### ➤ **ACQUISIZIONE TRAMITE SCHEDA AUDIO**

Oltre che con il software Visual Basic l'acquisizione può essere effettuata utilizzando la scheda audio di dotazione del nostro PC. Il circuito di condizionamento riportato in fig.11, ad esempio, fa sì che a 0 metri dal suolo corrisponda una tensione d'uscita pari a 0V e a 200 metri d'altezza una tensione di 2V. E' opportuno precisare che la scheda audio non lascia passare la componente continua del segnale, pertanto tra il segnale di uscita e la scheda si è collegato l'integrato LF13201 funzionante da semplice interruttore elettronico. Tale integrato lascia passare il segnale che giunge al suo ingresso (interruttore chiuso) in corrispondenza del livello alto del segnale a onda quadra applicato alla linea di controllo "E". Quindi se giunge una tensione di 1V pilotata da un segnale a onda quadra avente frequenza 1KHz si ottiene in uscita un segnale a onda quadra di ampiezza massima 1V e frequenza 1KHz. La scheda audio provvede a campionare tale segnale e a traslarlo nel campo -1V e +1V. Quindi un segnale compreso tra 0 e 1 V diventa un segnale di 1 V picco picco con valore massimo pari a 0.5V e valor minimo pari a -0.5 V.

L'integrato LF13201 si comporta da **campionatore**, La frequenza del segnale di abilitazione deve essere compatibile con la variazione di tensione che si vuole campionare Tale frequenza non deve superare i 48KHz, in quanto la massima frequenza di campionamento della scheda audio è di 96KHz. Se la frequenza della linea E dovesse superare i 48 KHz non sarebbe possibile rispettare il limite imposto dal teorema Shannon :

$$f_c = 2f_{\max}$$

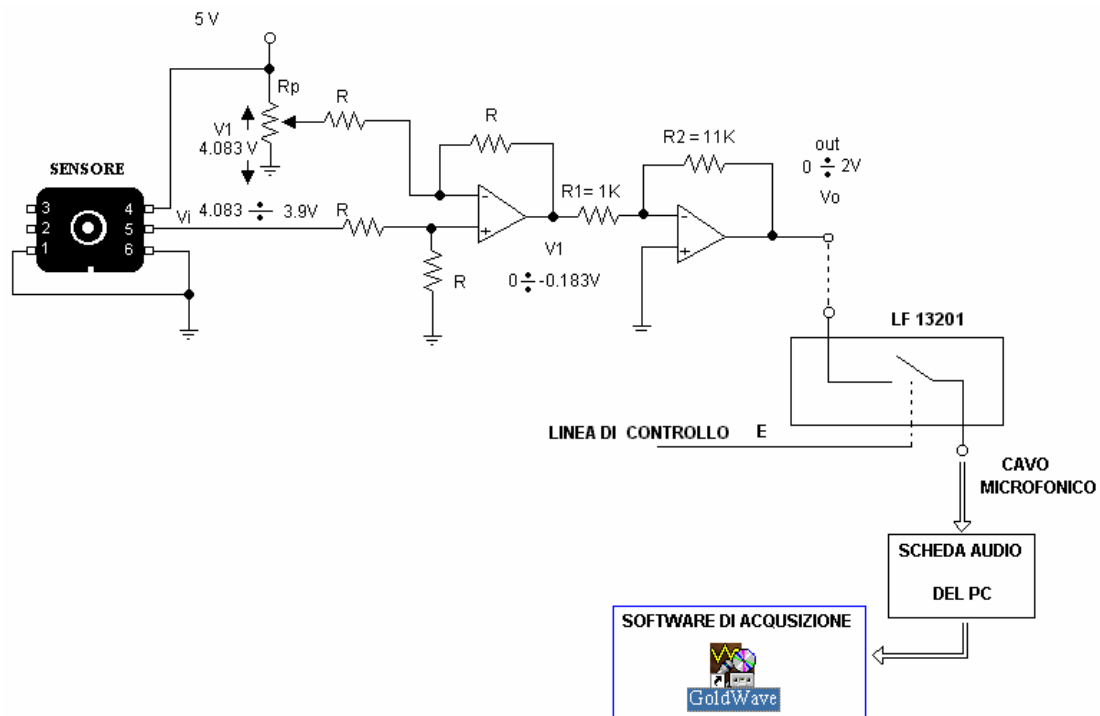
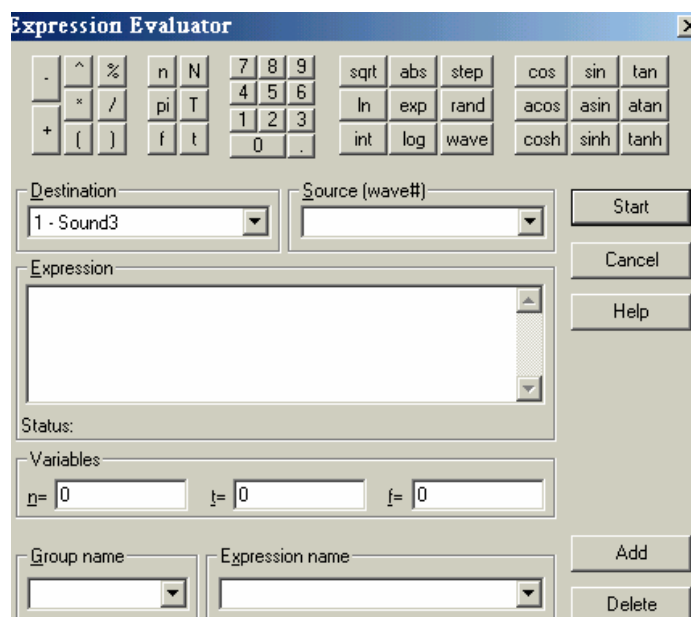


Fig. 11

Tra vari editor si è deciso di utilizzare **GoldWave**.  
Tale software contiene un interessante componente.

### EXPRESSION EVALUATOR:

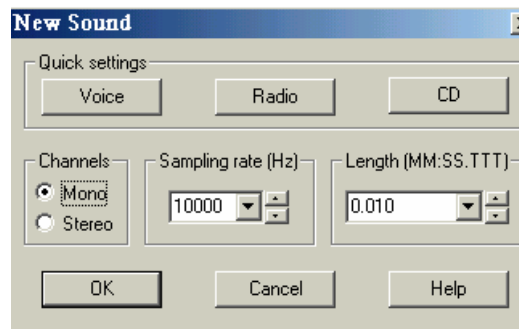
Il generatore di espressioni è uno strumento versatile per la generazione e manipolazione di dati audio. Per selezionare il generatore di espressioni selezionare dal menù Tools la voce "expression evaluator", apparirà quindi la schermata sotto riportata :



Con questo componente è possibile generare e mandare in esecuzione audio qualsiasi tipo di funzione matematica, opportunamente campionata, in rispetto del teorema di Shannon. Le forme d'onda generabili possono essere trigonometriche, esponenziali, logaritmiche, quadre e impulsive; dopo aver digitato l'espressione premere start per visualizzarne il relativo grafico.

✓ **Approfondimento:**

Supponiamo di voler generare un segnale sinusoidale di frequenza pari a 1KHz; il periodo di tale segnale vale 1ms, e in un intervallo di 10ms verranno visualizzate 10 sinusoidi. Lanciato il GoldWave selezionare dal menù file la voce New Sound e settare la schermata nel seguente modo:

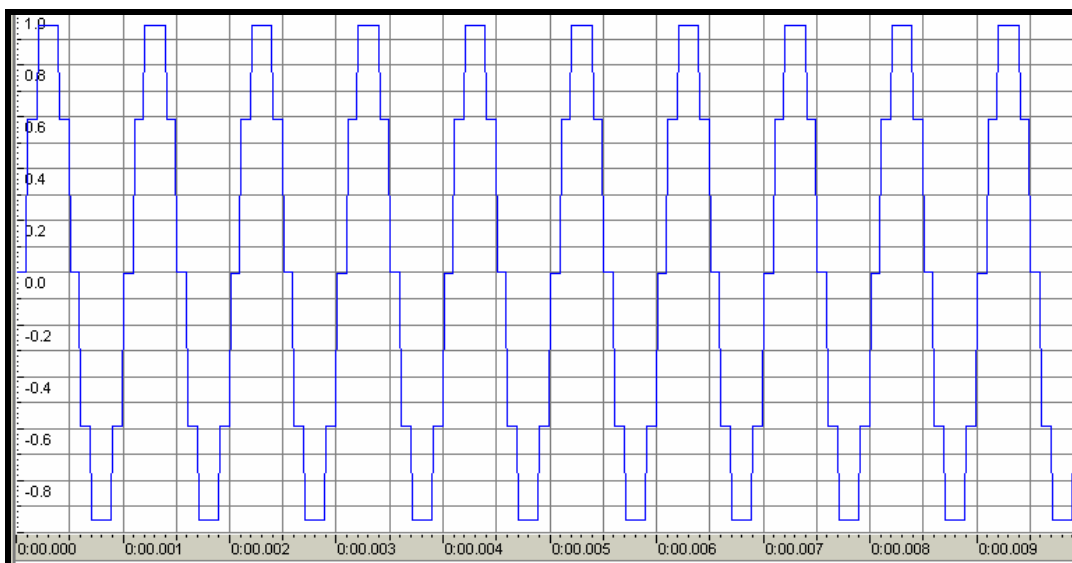


Come si evince dalla figura è possibile impostare l'esecuzione di un suono in tre modalità standard "Voice", "Radio" e "CD". Se tali impostazioni non si adattano al suono che si vuole generare si può impostare la schermata a proprio piacimento. Ad esempio, si seleziona un solo canale "Mono", con frequenza di campionamento di 10KHz e una lunghezza di registrazione di 10ms.

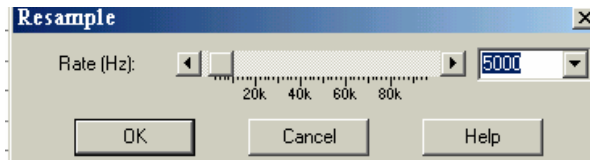
Per generare il segnale digitare nell'espression evaluator la seguente formula:

$$\sin(2*\pi*f*t)$$

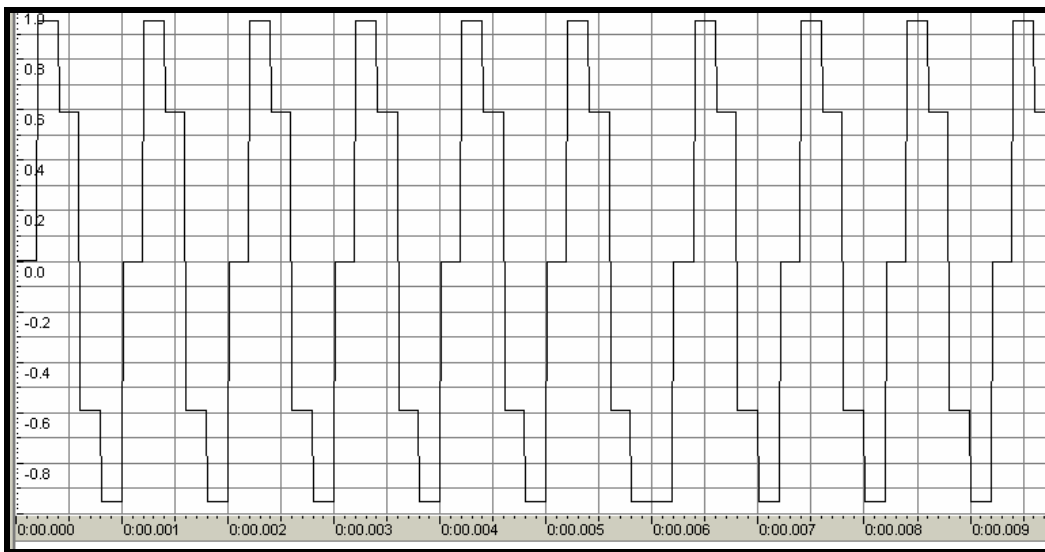
Si ricordi che l'espressione di un segnale sinusoidale risulta essere  $f(t) = \sin(\omega*t)$  con  $\omega = 2\pi*f$ ; si è posto inoltre  $n = 0$   $t = 0$  e  $f = 1000$  ottenendo il seguente risultato:



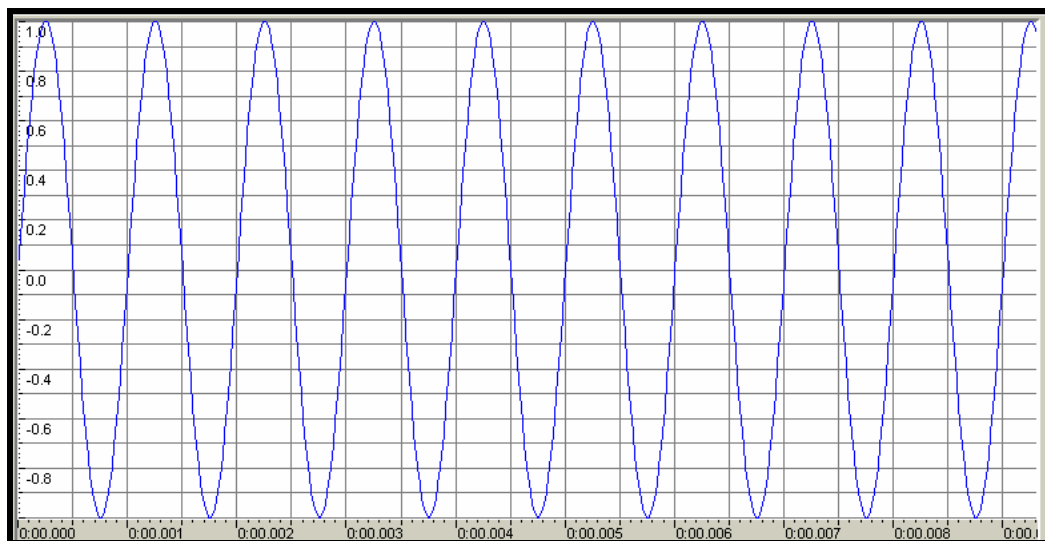
Utilizzando una frequenza di campionamento di 10KHz si è ottenuta una ricostruzione piuttosto fedele del segnale in quanto in un periodo di 1ms si è campionato ogni 0.1ms, ottenendo 10 campioni per periodo. E' possibile inoltre ricampionare questo segnale selezionando dal menù Effects la voce resample:



Campionando con una frequenza di 5 KHz si ottiene una ricostruzione decisamente meno fedele:



La massima frequenza di campionamento è di 96KHz; in tal caso si acquisisce un valore ogni 10.4µs, pertanto la sinusoide è ricostruita in un periodo di 1ms con 96 campioni, in 10ms si acquisiscono 960 campioni! e la ricostruzione del segnale è praticamente perfetta:



### ✓ **Somma di segnali**

E' possibile generare la somma di più segnali con frequenza diversa; in tal caso l'espressione matematica da generare sarà costituita da una funzione complessa.

Si supponga di voler generare la seguente funzione:

$$f(t) = \cos(2\pi f_1 * t) + \cos(2\pi f_2 * t) + \sin(2\pi f_3 * t) + \sin(2\pi f_4 * t)$$

con:

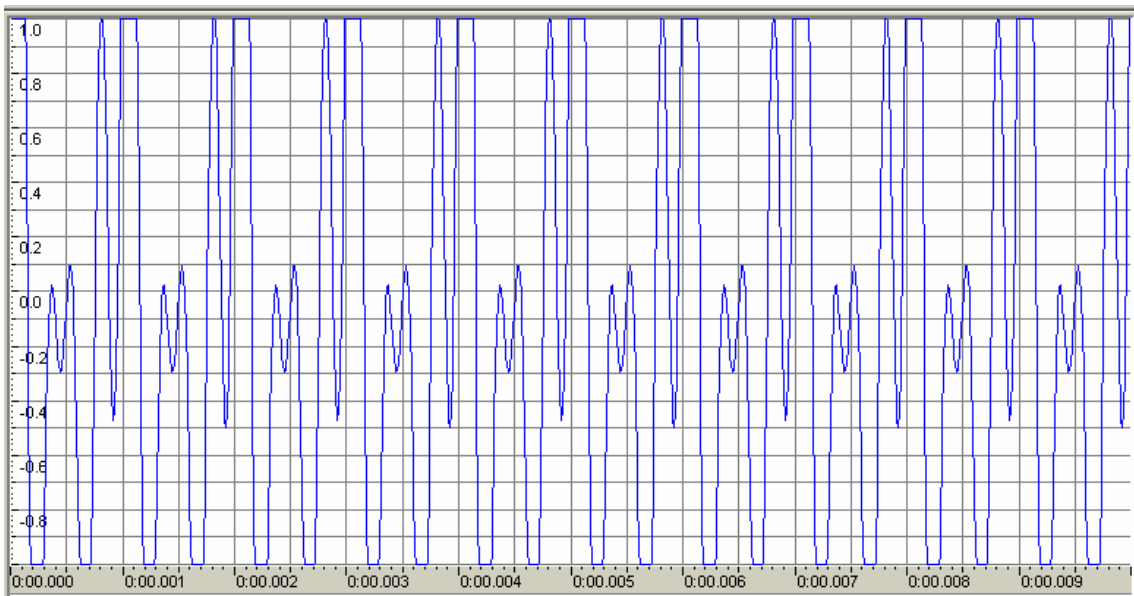
$$f_1 = 1\text{KHz}$$

$$f_2 = 2\text{KHz}$$

$$f_3 = 3\text{KHz}$$

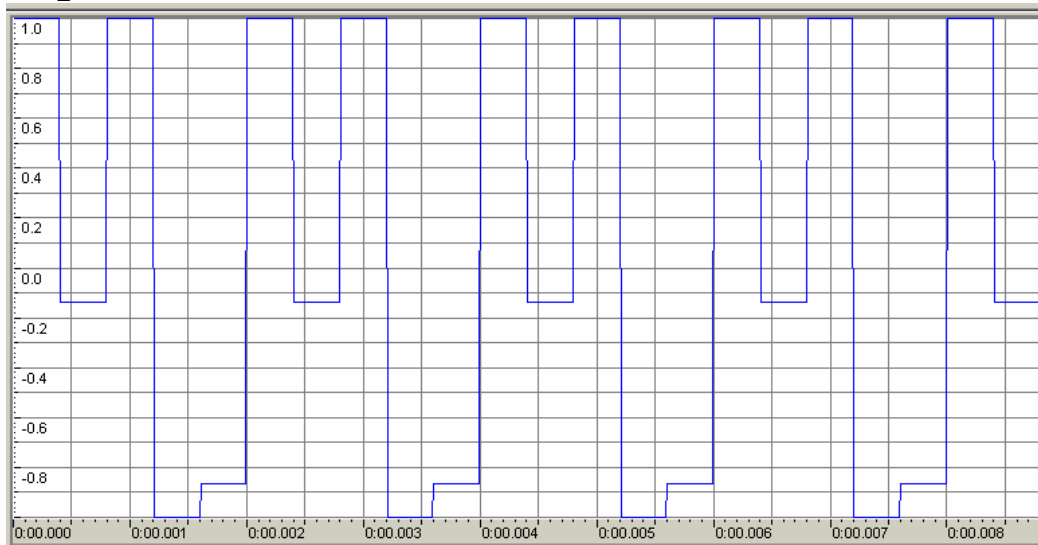
$$f_4 = 4\text{KHz}$$

La frequenza massima del segnale è di 4 KHz. Campionando 96KHz si ottiene il seguente risultato:

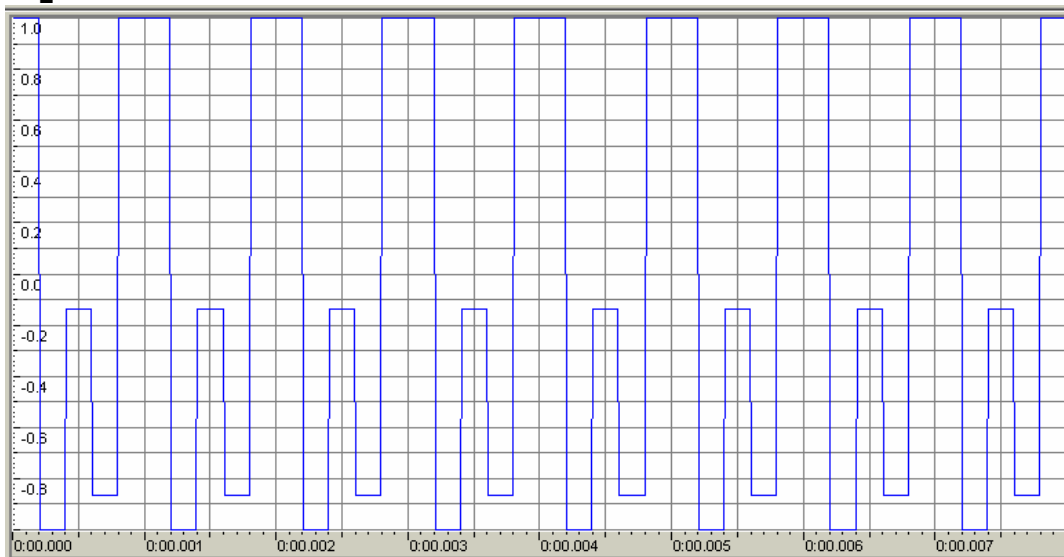


Se si campiona ad frequenze inferiori a  $2f_{\max}$  (nel nostro caso inferiori a 8KHz) il segnale è ricostruito in maniera decisamente errata. Si riportano alcune simulazioni.

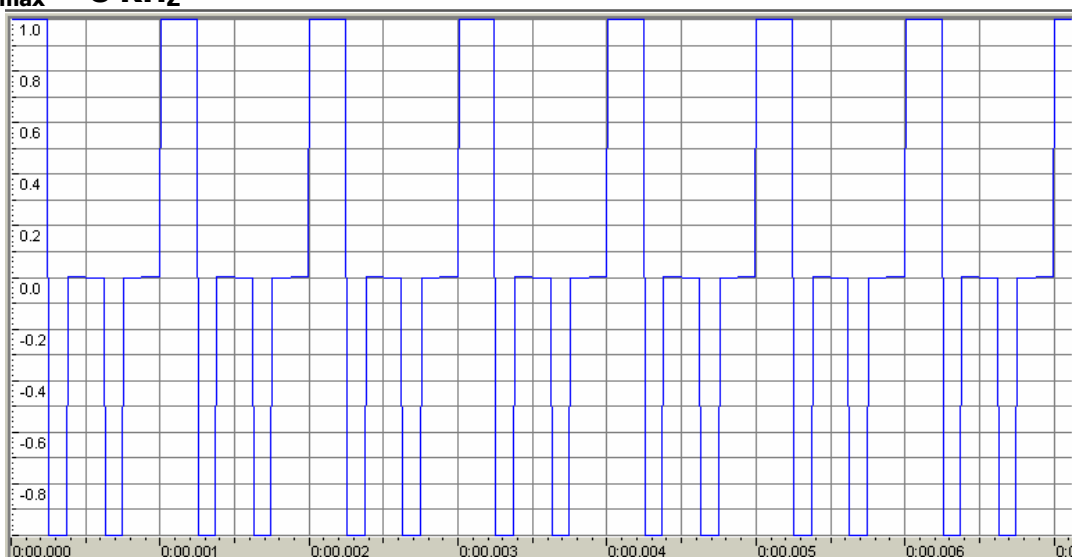
$f_c = 2.5 \text{ KHz}$



$f_c = 5 \text{ KHz}$



$f_c = 2f_{max} = 8 \text{ KHz}$

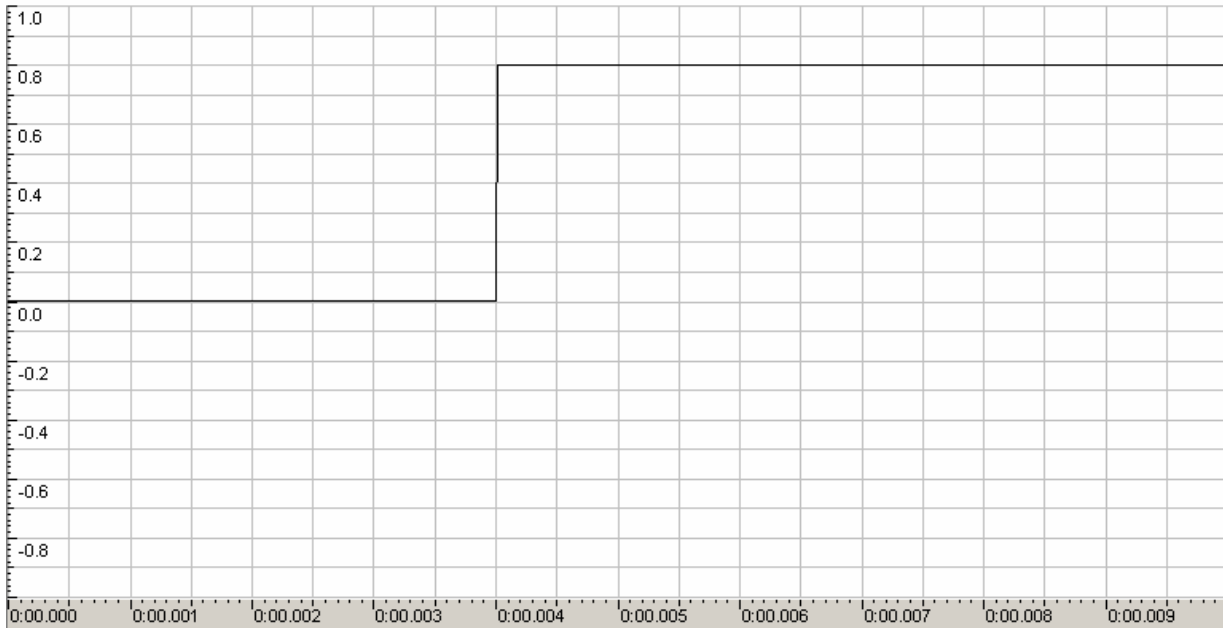


### ✓ FUNZIONE GRADINO

Per generare la funzione "gradino unitario" è sufficiente indicare nella formula l'ampiezza del gradino e il tempo di ritardo. Ad esempio, per generare un gradino di ampiezza 0.8 che "parte" dopo 4 millisecondi, si deve digitare la seguente espressione:

$$0.8*\text{step}(t-0.004)$$

Si ha:



### ✓ Modulazione AM

Tra le funzioni complesse generabili si descrive quella concernente la generazione di un segnale modulato in AM.

Ricordiamo che modulare in ampiezza un segnale, **portante** significa farne variare l'ampiezza in funzione del valore istantaneo del segnale **modulante**.

Si definisce profondità di modulazione il rapporto  $\frac{V_m}{V_p}$  che deve sempre essere minore di

1:

Supponiamo di voler modulare il segnale portante:  $P(t) = V_p \cos(\omega_p * t)$

con un segnale modulante:  $M(t) = V_m \cos(\omega_m * t)$

e che :

$$V_p = 0.8 ; V_m = 0.1$$

$$f_p = 5\text{KHz}; f_m = 1\text{KHz}$$

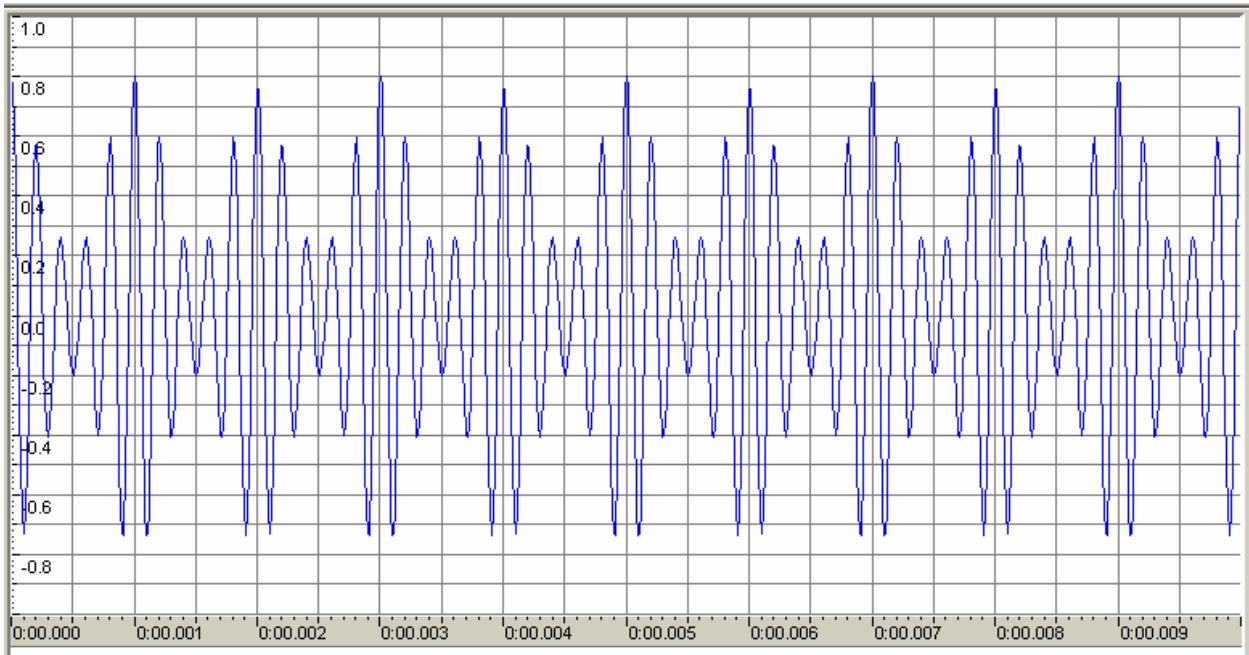
Il segnale modulato vale:

$$V(t) = (V_p + V_m \cos(\omega_m * t)) \cos(\omega_p * t)$$

Si deve digitare nell'espression evaluator la seguente formula:

$$(0.8 + 0.1 * \cos(2 * \pi * 1000 * t)) * \cos(2 * \pi * 5000 * t)$$

Campionando alla massima frequenza disponibile si ottiene il seguente grafico.



### Salvataggio file “.txt” :

**GoldWave** consente di salvare le proprie applicazioni anche in formato testo. In tal caso si possono utilizzare i software “Microsoft Word” e “Microsoft Excel” per visualizzare il file di testo ottenendo l’intera serie dei dati campionati.

Se si utilizza Excel è necessario completare l’ “**Autocomposizione importa testo**”, e scegliere il punto come delimitatore.

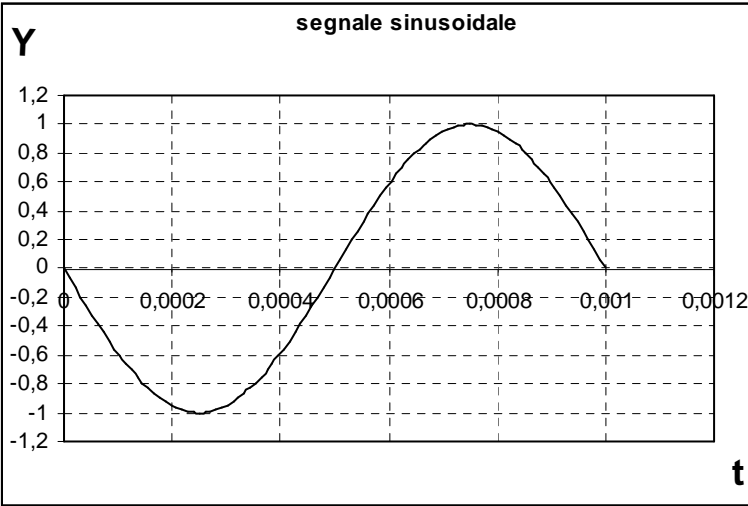
Ad esempio, se si è salvato in formato testo il segnale sinusoidale di frequenza 1KHz, selezionando opportunamente 96 dei 960 campioni acquisiti è possibile ricostruire perfettamente 1 periodo della sinusoide; e attraverso le funzioni di Excel si può, ad esempio, calcolare il valor medi, la standard deviation, ecc.

Importando il segnale in formato testo si ottengono i valori assunti dal segnale privi però di riferimento temporale, è necessario pertanto creare in Excel l’incremento temporale che coincide ovviamente con il periodo di campionamento.

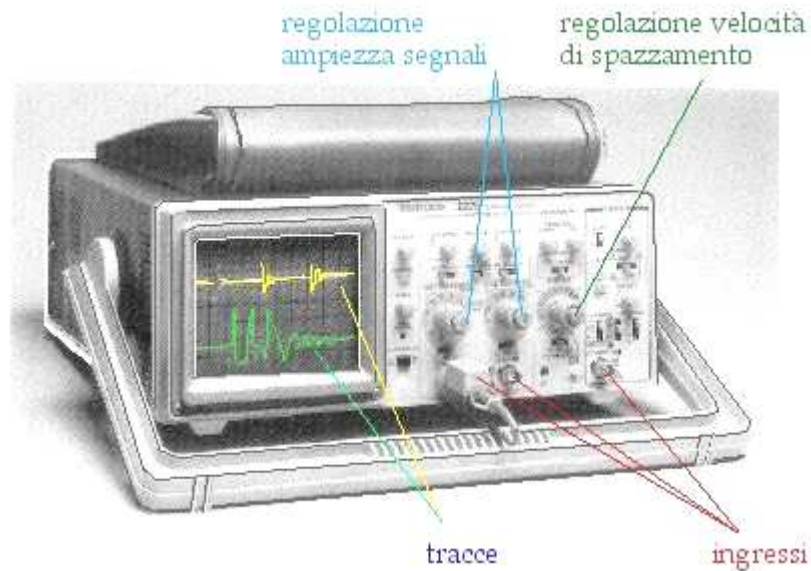
Si ottiene:

[ASCII 96000Hz, Channels: 1, Samples: 1024, Flags: 0]

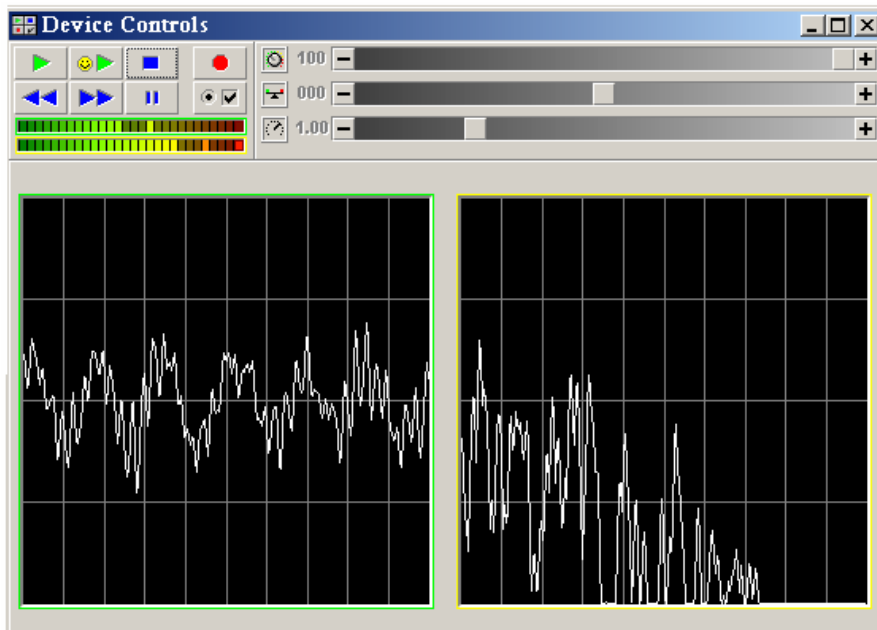
t	y		
0	0		
1,04167E-05	-0,06543		
2,08334E-05	-0,13055		
3,12501E-05	-0,1951		
4,16668E-05	-0,25882	fc=	96000 Hz
5,20835E-05	-0,32144	Tc=	1,04167E-05s
6,25002E-05	-0,38269		
7,29169E-05	-0,44229	DEV.ST=	0,707096
8,33336E-05	-0,5	MEDIA.VALORI=	-1,53E-05
9,37503E-05	-0,55557		
0,000104167	-0,60876		
0,000114584	-0,65936		
0,000125	-0,70712		
0,000135417	-0,75183		
0,000145834	-0,79337		
0,000156251	-0,83148		
0,000166667	-0,86603		
0,000177084	-0,89688		
0,000187501	-0,92389		
0,000197917	-0,94693		
0,000208334	-0,96591		
0,000218751	-0,98077		
0,000229167	-0,99146		
0,000239584	-0,99786		
0,000250001	-1		
0,000260418	-0,99786		
0,000270834	-0,99146		
0,000281251	-0,98077		
0,000291668	-0,96591		
0,000302084	-0,94693		
0,000312501	-0,92389		
0,000322918	-0,89688		
0,000333334	-0,86603		
0,000343751	-0,83148		



✓ **ESERCITAZIONI CON L'OSCILLOSCOPIO :**



Dopo aver generato una forma d'onda attraverso l'expression evaluator, è possibile visualizzarla con l'oscilloscopio per verificarne ampiezza e frequenza. Il segnale avrà sicuramente un'ampiezza compresa tra  $-1V$  e  $+1V$  mentre la frequenza dipenderà dal valore impostato nell'expression evaluator. Collegare, con semplice cavo microfonico l'uscita audio all'oscilloscopio e cliccare sul tasto play del **Device Controls**.



Se si vuole acquisire un segnale, ad esempio una delle forme d'onda canoniche (triangolare, sinusoidale, quadra, dente di sega, ecc.), si deve collegare l'ingresso microfono della scheda audio con un generatore di forme d'onda; facendo però attenzione all'ampiezza di tale segnale che potrà essere visualizzato con un'ampiezza massima di 1V.



In tal caso si deve impostare la schermata delle proprietà di registrazione della scheda, selezionando il "volume microfono", come riportato nella seguente figura. Per iniziare la registrazione basta cliccare sul tasto Record tenendo contemporaneamente premuto il tasto "Ctrl" della tastiera.

