

**SIMULAZIONE 2° PROVA D'ESAME : TEMA DI ELETTRONICA**

Un'azienda vuole monitorare vari parametri ambientali (Temperatura dell'aria, Pressione atmosferica, Velocità del vento) e la Potenza elettrica continua generata da un pannello fotovoltaico.

- Per la Temperatura si utilizza il sensore **AD590**, avente una sensibilità **S=1 [  $\mu\text{A} / \text{K}$  ]**, con uscita **nulla per  $T = 0$  [K]**. Si assuma un funzionamento lineare su un Range di Temperatura di **- 10 ÷ + 40 [ ° C ]**
- Il sensore di Pressione Atmosferica, risponde con un' uscita di **4 ÷ 20 [mA]**, lineare su un Range di Pressione di **800 ÷ 1100 [mBar]**
- Il sensore di Velocità del vento (Anemometro), già condizionato, genera in uscita una tensione sinusoidale con ampiezza variabile tra **0 ÷ 5 [V]** e frequenza variabile tra **0 ÷ 600 [Hz]**, con funzionamento lineare su un Range di Velocità di **0 ÷ 150 [Km/h]**
- Il pannello fotovoltaico può produrre una corrente massima di **3 [A]** e una tensione massima di **18 [V]**  
Questi valori massimi si riducono notevolmente a seconda della quantità di luce solare che raggiunge gli elementi.  
Per monitorare, nelle ore diurne, la potenza elettrica prodotta nelle varie condizioni climatiche, si misurano la tensione e la corrente fornite dal pannello.  
Per misurare la corrente si utilizza un sensore ad effetto Hall che ha un'uscita lineare in corrente, secondo la seguente proporzione :

- Se la corrente misurata è **0 [A]**, in uscita la corrente vale **0 [mA]**
- Se la corrente misurata è **15 [A]**, in uscita la corrente vale **15 [mA]**

Le due grandezze (tensione e corrente) da misurare devono essere convertite in due tensioni comprese tra **0 e 5 [V]** per essere adattate all'ingresso del convertitore analogico-digitale impiegato, che deve garantire un **Rapporto Segnale / Rumore** di almeno **72 [dB]**  
Tutti questi dati devono essere rilevati ogni **3** minuti, conservati in una memoria di tipo flash e una volta al giorno devono essere inviati ad un personal computer per produrre una statistica.

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ritenute opportune :

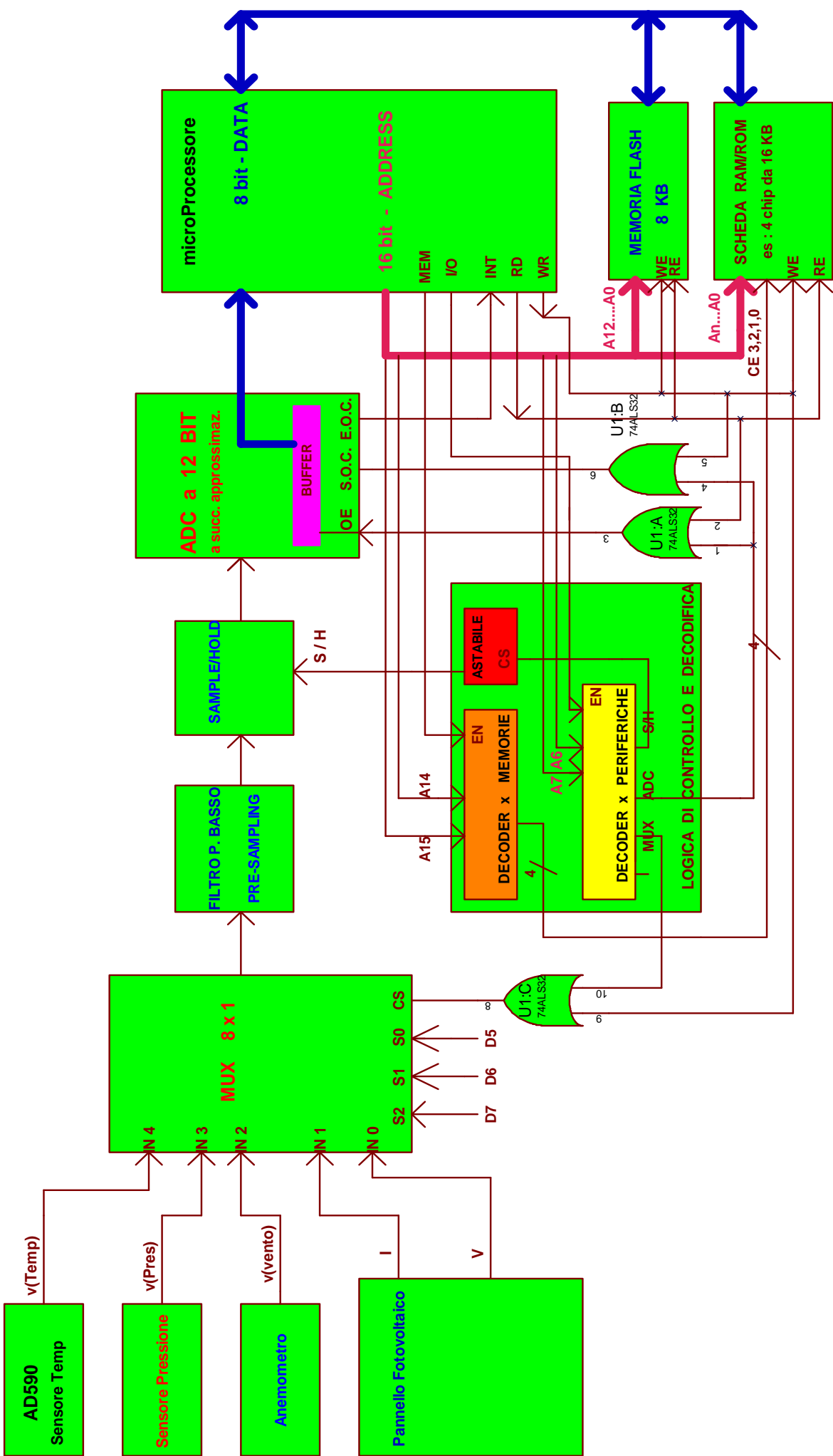
1. Determini e descriva lo schema a blocchi del sistema d'acquisizione dati per le grandezze elencate, utilizzando un microcontrollore o un microprocessore conosciuto, proponendo eventuali soluzioni alternative.
2. Progetti il condizionamento dei segnali in uscita dai vari sensori.
3. Descriva il tipo di convertitore analogico-digitale idoneo per questo impiego, determinando l' eventuale necessità di Sample/Hold e Filtri di pre-Sampling.
4. Determini la capacità minima della memoria flash (per 1 giorno di acquisizione dati).
5. Descriva l' interfacciamento tra i segnali di controllo del  $\mu\text{P} / \mu\text{C}$  e i vari blocchi del sistema.
6. Individui i moduli principali del software di controllo e ne progetti uno, a scelta in pseudocodice o in un linguaggio di sua conoscenza.

**(consegnare domande 1-5-6 su fogli diversi dalle 2-3-4)**

**PUNTO 1.** *Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ritenute opportune, determini e descriva lo schema a blocchi del sistema d'acquisizione dati per le grandezze elencate, utilizzando un microcontrollore o un microprocessore conosciuto, proponendo eventuali soluzioni alternative.*

La catena di acquisizione dei segnali dei 5 trasduttori può essere costituita da :

- 4 circuiti di condizionamento, con uscita analogica in tensione con Range  $0 \div 5$  [V] :
  - 1. Convertitore I/V con recupero offset (a 1 solo stadio), per il sensore di Temperatura ambientale AD590  
*1bis. Convertitore I/V invertente + Sommatore invertente con recupero offset*
  - 2. Convertitore I/V invertente + Sommatore invertente con recupero offset e attenuazione, per il sensore di Pressione ambientale  
*2bis. Convertitore I/V non invertente + Differenziale con recupero offset e attenuazione*
  - 3. Convertitore I/V non invertente, per il sensore di corrente del Pannello Fotovoltaico  
*3bis. Convertitore I/V invertente + Sommatore invertente con  $G = -1$*
  - 4. Partitore resistivo bufferizzato, per il sensore di tensione del Pannello Fotovoltaico  
*4bis. Attenuatore invertente con A.O. + Amplificatore invertente con  $G = -1$*   
( L'anemometro non richiede condizionamento, ma filtraggio e campionamento/mantenimento)
- 
- Un Multiplexer analogico
  - Un filtro attivo Passa-Basso del 3° ordine con  $G=1$
  - Un circuito Sample/Hold
  - Un ADC a successive approssimazioni con numero di bit adeguato a garantire un Rapporto S/N di 72[dB] e tempo di conversione di qualche decina di [ $\mu$ s]
  - Una Flash Memory di sufficiente capacità per conservare i dati acquisiti in una giornata
  - Una logica di controllo / decodifica per comandare il MUX, il S/H, l' ADC , la memoria flash
  - Un microprocessore per gestire l'intero sistema



**SCHEMA A BLOCCHI**

## PUNTO 2. Progetti il condizionamento dei segnali in uscita dai vari sensori.

### 2.1. SENSORE DI TEMPERATURA AD590 [ <http://moodle.w3.calvino.ge.it/moodle/mod/resource/view.php?id=2911> ]

Essendo la Temperatura ambiente compresa tra  $-10$  e  $+40$  [°C], cioè  $+263$  e  $+313$  [K], la corrente variabile  $i(T)$  fornita dal sensore sarà compresa tra **-263 e -313 [uA]** (si ottiene il verso uscente dal nodo A ed entrante nel trasduttore alimentandolo con tensione negativa, es :  $-15$  [V] ).

Il circuito ( Convertitore invertente I/V ) opera un recupero offset in corrente, sommando algebricamente a  $i(T)$  una corrente continua  $I_{off}$  di valore opposto al massimo relativo, cioè  $I_{off} = +263$  [uA].

Otteniamo tale valore collegando a  $V_{cc} = +15$  [V] un resistore R2 pari a  $I_{off} = V_{cc} / R2$ , cioè  $R2 = 15 / 0,263 = 57,034$  [ KΩ ]

Per ottenere la migliore approssimazione useremo una R = 56 K della serie E48 con in serie un Trimmer da 5 K.

La corrente  $if = i(T) - I_{off}$  sarà perciò compresa tra **0 e 50 [uA]**. Come si vede in Fig1, la  $v_{out}$  sarà compresa tra **0 e 5 [V]** se  $Rf = 100$  K

[ Per semplicità nella simulazione con ISIS-PROTEUS si è usato, come trasduttore, un generatore di corrente sinusoidale ]

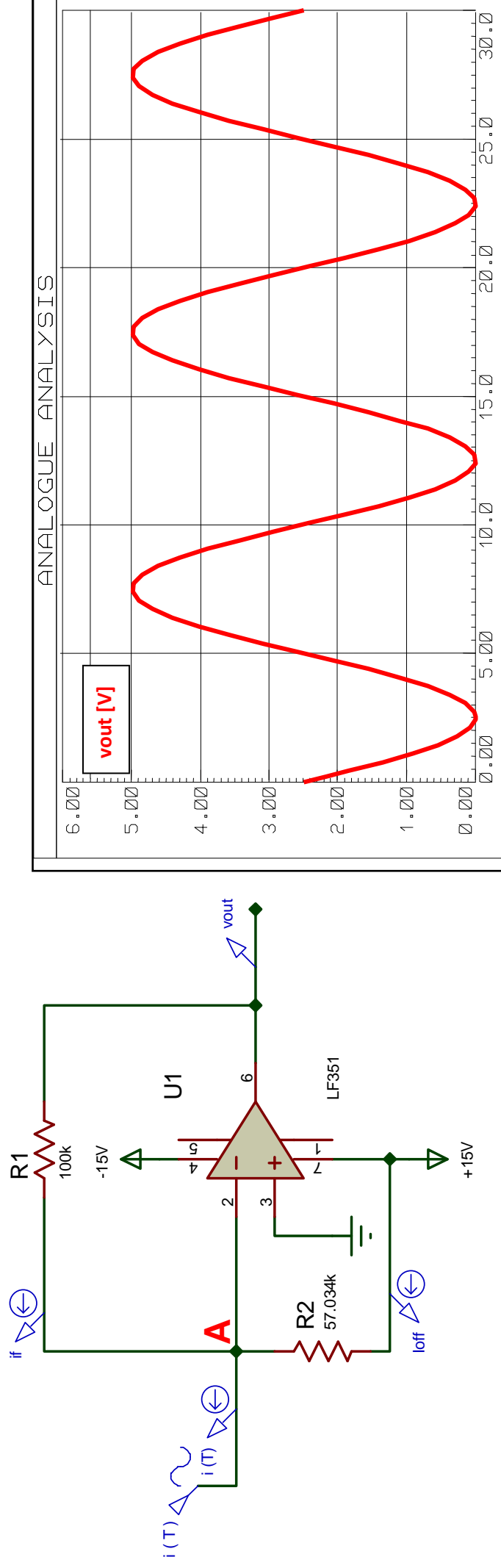
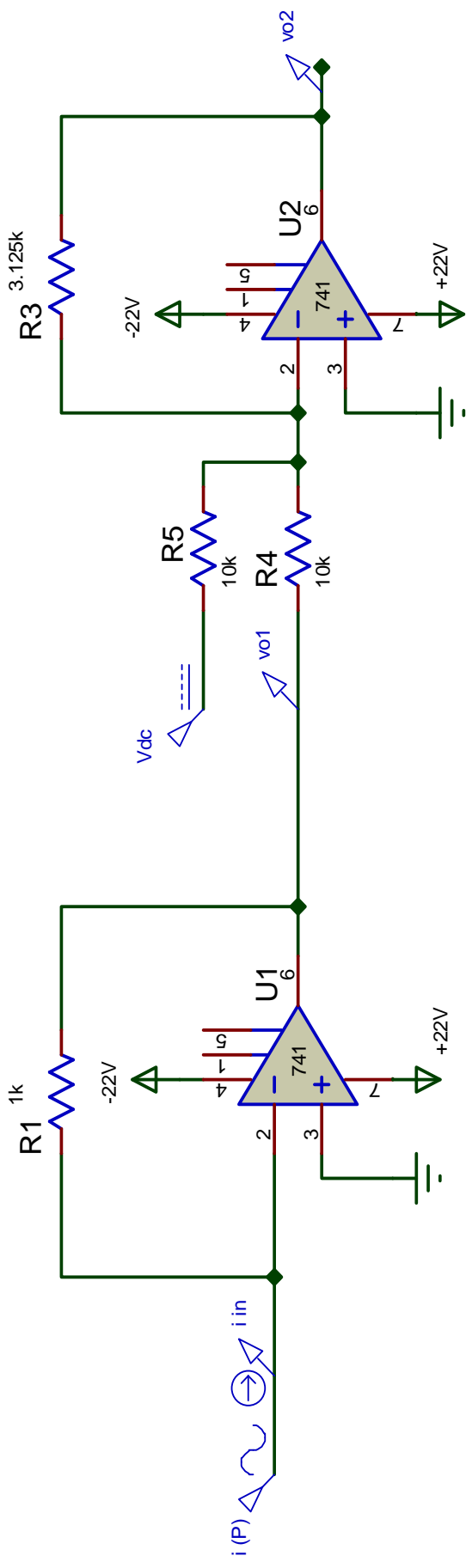


Fig 1

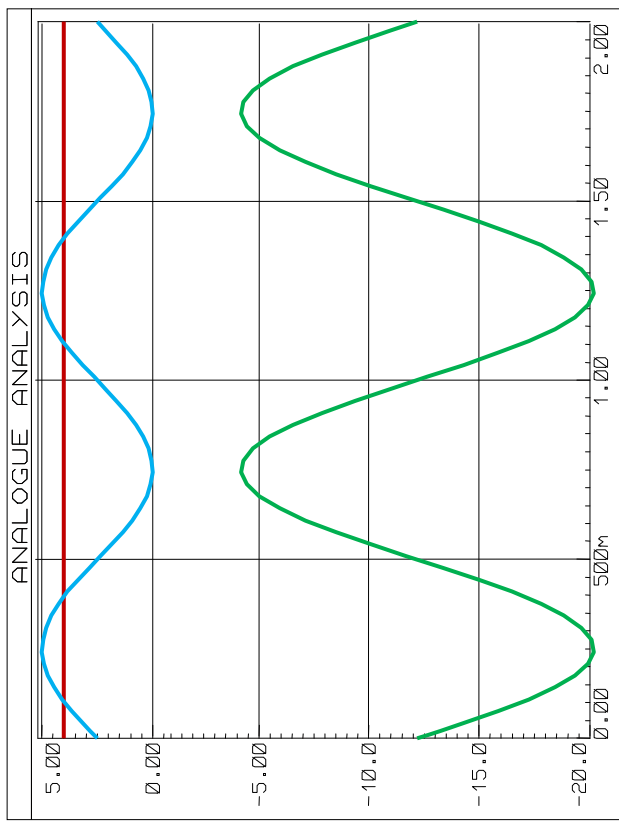
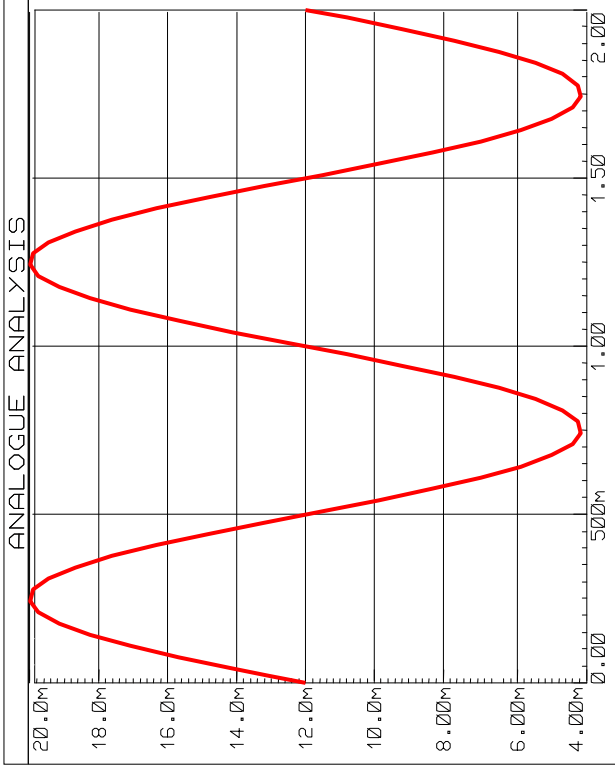
## 2.2. SENSORE DI PRESSIONE ATMOSFERICA

Fig 2



I° STADIO : CONVERT I / V INVERT

II° STADIO : SOMMATORE INVERTENTE con  $G2 = 3,125/10 = 0,3125$



Scelto un A.O. con dinamica di alimentazione sufficiente, es **uA741** / **uA741M**, [<http://moodle.w3.calvino.ge.it/moodle/mod/resource/view.php?id=2909>]  
 si implementa un circuito a 2 stadi invertenti, con recupero dell' offset nel 2°.  
 Il 1° stadio realizza un **convertitore I/V invertente** e trasforma la  $i(p)$  in una tensione :  $i(p) = 4 \div 20$  [mA] >>>>  $v_{o1} = -R1 * i(p) = -4 \div -20$  [V]  
 Il 2° stadio realizza un **sommatore invertente** : essendo  $V_{dc} = +4$  [V] >>>>  $(v_{o1} + V_{dc}) = 0 \div -16$  [V]  
 Fissando il Guadagno  $G2 = -R3/R4 = -5/16 = -0,3125$  >>>>  $v_{o2} = 0 \div 5$  [V]

### 2.3. ANEMOMETRO

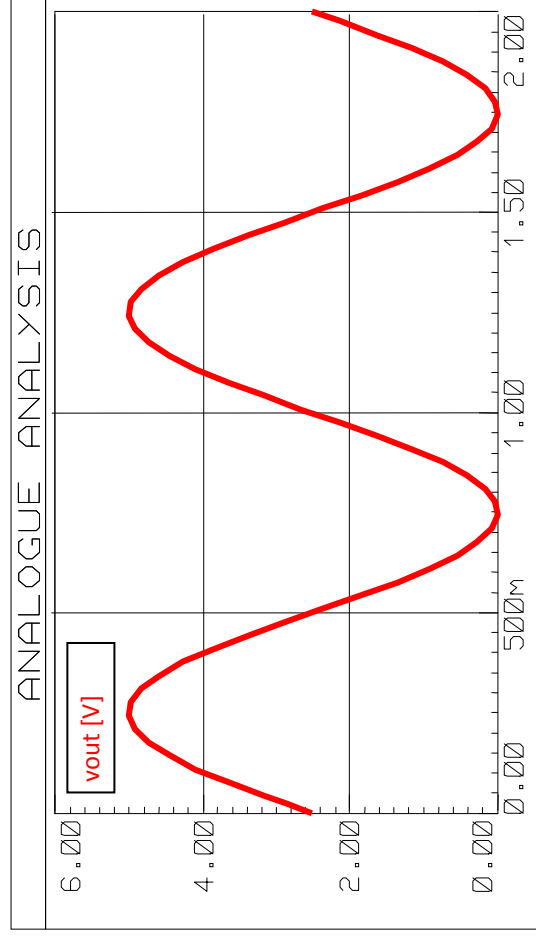
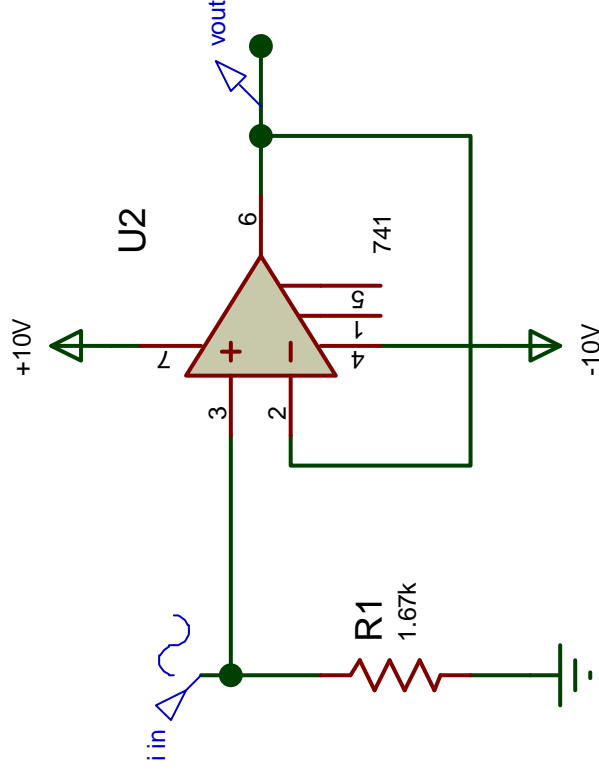
Il sensore fornisce un' uscita già condizionata e pronta per l' ADC, sarà però indispensabile usare un filtro di Pre-sampling e un Sample/Hold (vedi pt.3)

### 2.4. PANNELLO FOTOVOLTAICO – SENSORE AD EFFETTO HALL

La sensibilità del sensore è **1 [mA] / [A]**, per cui la max corrente in uscita sarà di **3 [mA]** e il Range di uscita sarà **0 ÷ 3 [mA]**

Il pannello fornisce la Potenza max  $P_{max} = 3 * 18 = 54$  [W] su un carico pari a  $R_L = 18/3 = 6$  [ $\Omega$ ]

Nell' ipotesi che la resistenza equivalente interna del sensore (circuito equivalente di Norton) sia abbastanza elevata, possiamo utilizzare un convertitore I/V non invertente, con resistenza di ingresso  $R1$  pari a  $5/3 = 1,67$  [k $\Omega$ ], in modo che **vout = 0 ÷ 5 [V]**



## 2.5. PANNELLO FOTOVOLTAICO – condizionamento segnale di tensione, dal Range 0 ÷ 18 a 0 ÷ 5 [V]

Il pannello fornisce una tensione continua compresa tra 0 e 18[V], che dev'essere ridotta al Range 0 ÷ 5 [V].

A tale scopo si usa un partitore resistivo bufferizzato, per poterlo disaccoppiare elettricamente dal resto del circuito a valle.

Potrebbe essere opportuno disaccoppiare il partitore, con un altro buffer analogico, anche verso monte, per non caricare il Pannello Fotovoltaico, ma un semplice calcolo dimostra come ciò non sia necessario : infatti la max corrente assorbita dal partitore è

$$I_{\text{partmax}} = V_{\text{max}} / (R1+R2) = 18 / 138,5 = 0,13 \text{ [mA]}, \text{ pari a } 0,13/3000*100 = \mathbf{0,0043 \%} * I_{\text{max}}(\text{pannello}), \text{ evidentemente trascurabile.}$$

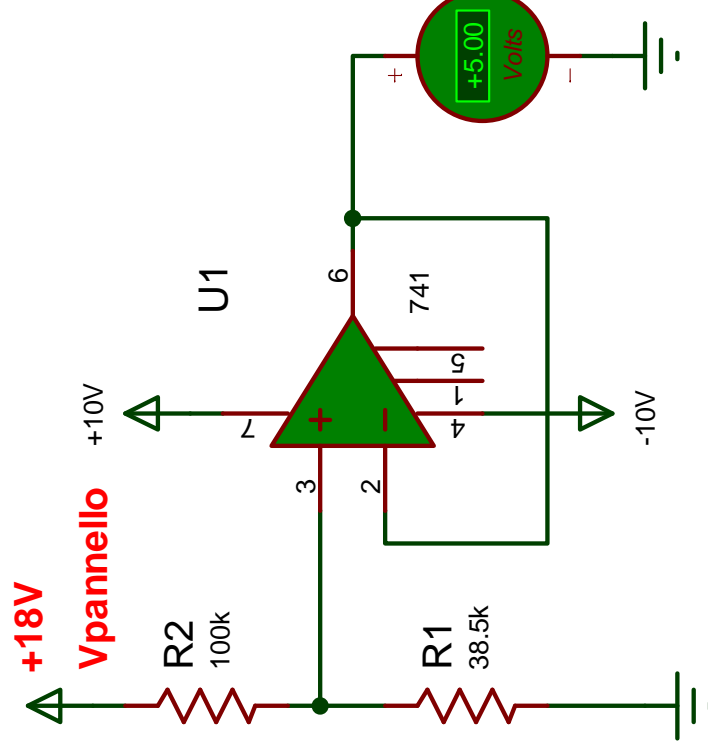
Fissato il valore di **R2 = 100 [KΩ]**, si determina il valore di **R1** :

$$5 = 18 * R1 / (R1 + R2)$$

$$5R1 + 500 = 18 R1$$

$$13R1 = 500$$

$$\mathbf{R1 = 500/13 \approx 38,5 [K\Omega]}$$



### PUNTO 3. Descriva il tipo di convertitore analogico-digitale idoneo per questo impiego, determinando l'eventuale necessità di Sample/Hold e Filtri di pre-Sampling

Determino il numero di bit dell' ADC dal Rapporto S/N = 72 [dB] >>>>  $S/N = 10^{72/20} = 3981$  >>>>  $N \equiv q/2 =$  errore di quantizzazione =  $5 / 3981 = 1,26$  [mV]  $2^{n+1} > 3981$  >>>>  $n+1 = 12$  >>>>  $n = 11$  Scelgo **n=12**, non essendoci ADC in commercio a 11 bit

Con 12 bit, l' errore di quantizzazione è pari a  $5/2^{13} = 0,61$  [mV]

Il testo non fornisce specifiche circa la velocità di conversione, date le caratteristiche dei segnali e la precisione richiesta si sceglie un ADC a successive approssimazioni, con Tempo di conversione di qualche decina di microsecondi.

L' unico segnale che varia velocemente è quello dell' anemometro, che può raggiungere un'ampiezza di **5 [V]** e una frequenza di **600 [Hz]**

Calcoliamo in quanto tempo un segnale sinusoidale con tali valori di ampiezza e frequenza varia di 0,61 [mV] :

$$v(t) = 5 \sin(2\pi 600t) \gggg \frac{dv(t)}{dt} = 5 \cos(2\pi 600t) * 2\pi 600$$

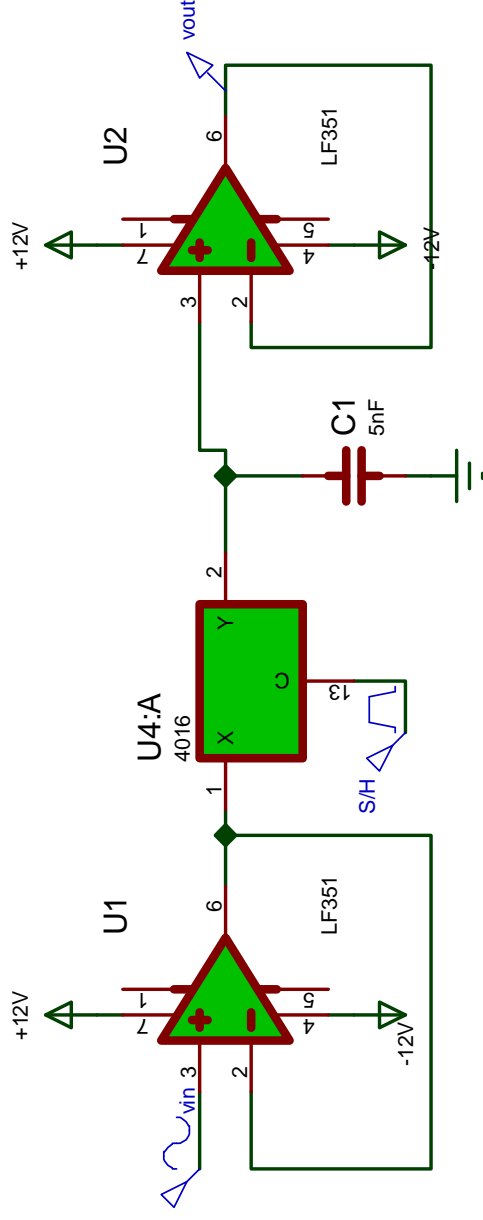
nel punto di max pendenza (origine) la derivata (coeff. Angolare **m** della retta tangente alla curva) vale  $5 * 2\pi 600 =$  **18850 [V/s]**

la retta tangente nell' origine ha equazione  $y = mt$  >>>> uso questa equazione per calcolare in quanto tempo la variazione  $y$  è pari a  $q/2$  :  $0,00061 = 18850 * t$  >>>>  $t = 0,00061/18850 = 0,00000325$  [s] = 325 [ns]

Dato che in soli 325 [ns] il segnale subisce una variazione pari a  $q/2$ , ed essendo  $T_{conv}$  molto superiore, è **necessario** usare un Sample / Hold e un filtro di pre-sampling .

Essendo la  $f_{max}$  del segnale **600 [Hz]**, si sceglie come freq di campionamento del S/H un valore superiore al doppio, **fc=1500 [Hz]** e una freq di taglio del filtro  $f_t =$  **700 [Hz]**, per salvaguardare il più possibile la parte alta della banda del segnale.

**SAMPLE / HOLD :**

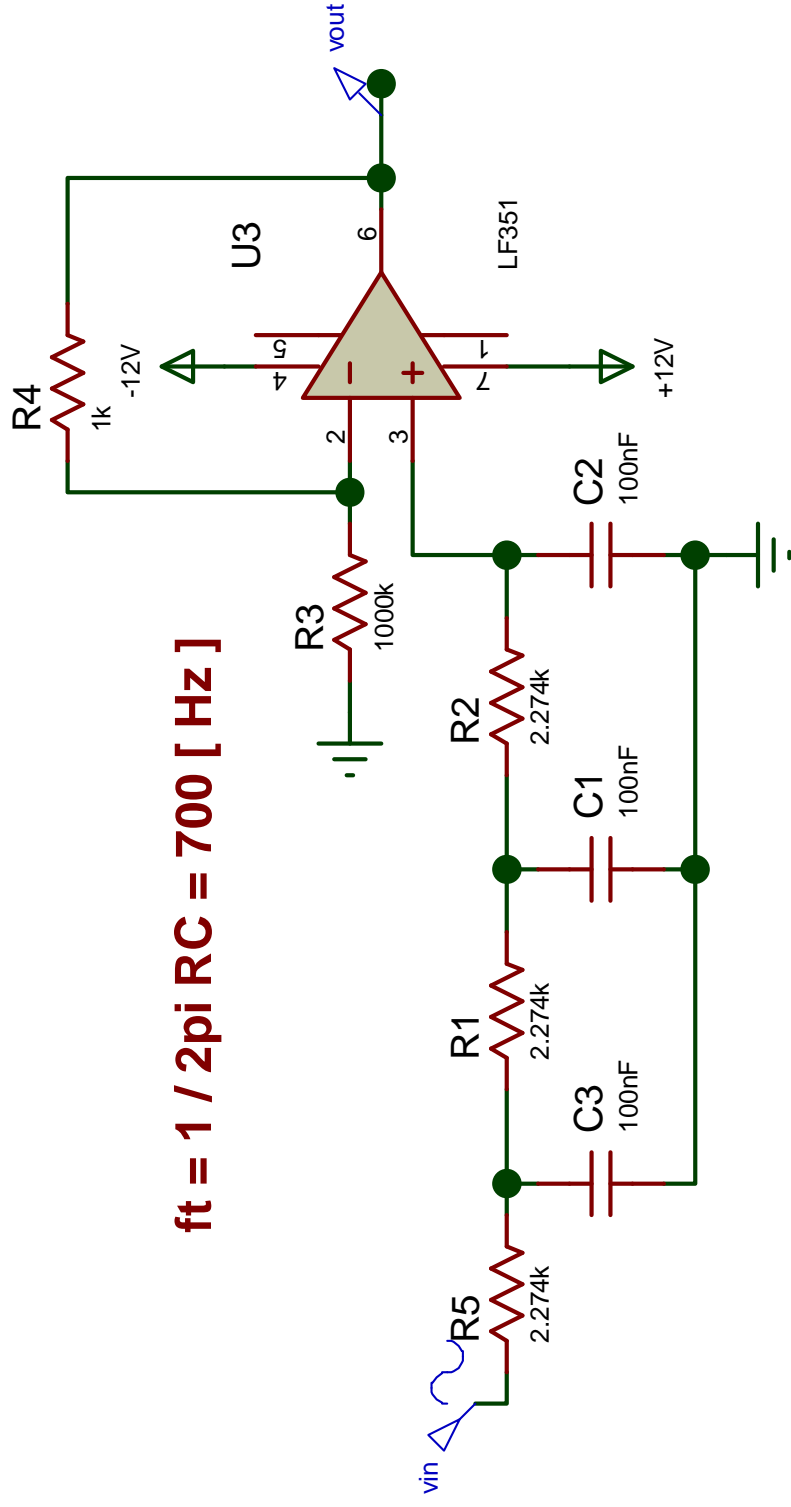




FILTRO DI PRE-SAMPLING : filtro attivo Passa – Basso del 3° ordine, non invertente, con  $G \approx 1$

$$F_t = 1 / 2\pi * RC = 700 \text{ [Hz]}$$

pongo  $C = 100 \text{ [nF]}$  >>>>  $R = 2,274 \text{ [K}\Omega\text{]}$  ( TRIMMER da 5K )



$$f_t = 1 / 2\pi RC = 700 \text{ [ Hz ]}$$

**PUNTO 4. Determini la capacità minima della memoria flash (per 1 giorno di acquisizione dati).**

I segnali dei 3 sensori dei parametri ambientali vanno acquisiti ogni 3 minuti, per 24 h, per cui il numero totale di rilevazioni è :  $3 \cdot 24 \cdot 60 / 3 = 1440$

I 2 segnali del pannello fotovoltaico, invece, vanno acquisiti ogni 3 min ma solo nelle **ore diurne**.

Essendo ovviamente la durata del giorno variabile a seconda della stagione e della Latitudine, considerando una posizione geografica a 45° di Latitudine Nord e mettendosi nel caso "peggiore", cioè al Solstizio di giugno, si ipotizza una durata del giorno di circa 16 ore, da cui :  $2 \cdot 16 \cdot 60 / 3 = 640$  rilevazioni.

Perciò il numero totale di rilevazioni sarà, al max, **2080**, per un N° totale di bit pari a  $2080 \cdot 12 = 24960$  bit

Dato che ogni stringa da 12 bit richiede comunque 2 locazioni di Memoria da 1 Byte, la capacità minima della Memoria flash dev'essere di  $2080 \cdot 2 = 4160$  Byte

**In pratica , almeno di 8 KB.**