

Classe	5 ^a Elettronici
Materia	Elettronica
Argomento	Esami di Stato

Esame di Stato

a.s. 2004-2005

Una scuola vuole monitorare la potenza elettrica continua di un pannello fotovoltaico per la generazione d'energia elettrica di cui è dotata.

Il pannello fotovoltaico può produrre una corrente massima di 3,3 Ampere e una tensione massima di 16,5 Volt. Questi valori massimi si riducono notevolmente a seconda della quantità di luce solare che raggiunge gli elementi.

Per monitorare la potenza elettrica prodotta durante la giornata e nelle varie condizioni climatiche, si misurano la tensione prodotta e la corrente prodotta. Questi dati devono essere rilevati ogni 5 minuti e conservati in una memoria di tipo flash. Una volta al giorno devono essere inviati ad un personal computer per produrre una statistica.

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 nulla (0 Ampere), in uscita la corrente vale 0 mA.
- Se la corrente misurata è 15 Ampere, in uscita la corrente è pari a 15 mA.

Le due grandezze da misurare, devono essere convertite in tensioni comprese tra 0 e 2,5 Volt per essere adattate all'ingresso del convertitore analogico-digitale impiegato.

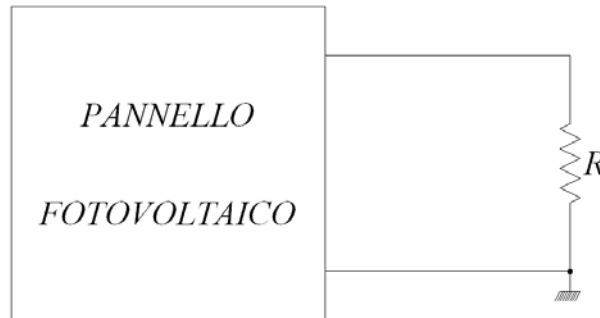
Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ritenute opportune:

1. descriva lo schema a blocchi del sistema d'acquisizione dati per le grandezze elencate;
2. progetti il condizionamento dei segnali in uscita dai sensori;
3. indichi il tipo di convertitore analogico-digitale idoneo per questo impiego;
4. descriva il sistema di memorizzazione dei valori acquisiti;
5. illustri le metodologie di collaudo dei circuiti.



Prima di passare alla soluzione del problema facciamo delle considerazioni sui dati forniti dalla traccia. In pratica abbiamo a che fare con una batteria fotovoltaica che alimenta un certo carico R con potenza continua variabile sia nella tensione che nella

corrente in base all'intensità luminosa dei raggi solari che colpiscono il pannello solare. Possiamo rappresentare il sistema con uno schema del tipo seguente.



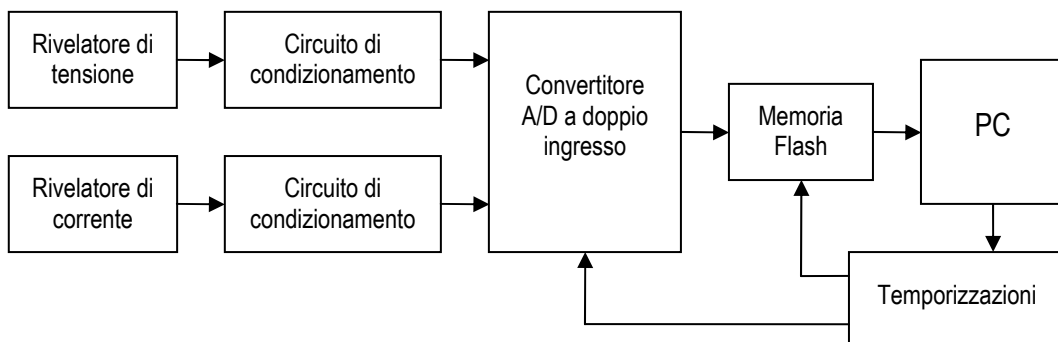
Per poter misurare la potenza fornita dal pannello fornisce in un certo istante, bisogna calcolare la corrente che circola nel carico e la tensione ai suoi capi. Per non falsare i valori è necessario effettuare le misure della corrente e della tensione in modo "trasparente" cioè i trasduttori di misura non devono "caricare" il pannello.

Per quanto riguarda la corrente, il problema stesso ci dice che abbiamo a disposizione un sensore ad "effetto Hall" che fornisce una corrente proporzionale a quella che circola nel circuito (probabilmente misurando l'intensità del campo magnetico generato dal conduttore che dal pannello alimenta il carico). Per la tensione invece dobbiamo provvedere noi a realizzare un circuito che rilevi la grandezza senza però assorbire corrente.

Una volta rilevate, le due grandezze devono essere convertite in tensioni comprese tra un minimo di 0 V e un massimo di 2,5 V tramite opportuni circuiti di condizionamento.

I segnali analogici così condizionati devono esser convertiti in segnali digitali tramite convertitori A/D e grazie ad opportuni dispositivi dapprima memorizzati ed infine inviati ad un centro di elaborazione.

Uno schema a blocchi possibile potrebbe essere il seguente:



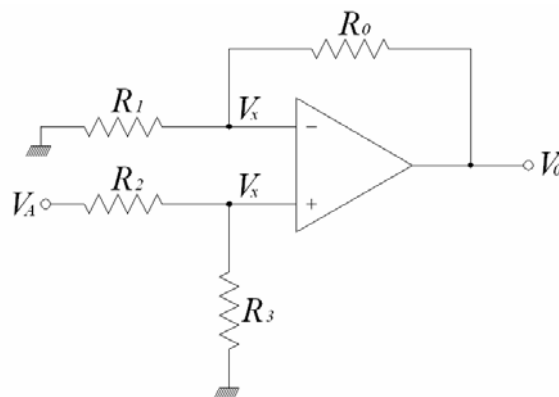
I segnali provenienti dai sensori di tensione e corrente devono essere opportunamente condizionati prima di essere inviati al convertitore A/D per adattarli ai valori di ingresso richiesti dal dispositivo. I segnali convertiti devono essere inviati ad una memoria Flash ogni 5 minuti e una volta al giorno trasmessi ad un elaboratore. Supponendo che sia lo stesso elaboratore a fornire un segnale di sincronismo iniziale, è necessaria una circuiteria che fornisca le giuste temporizzazioni ai circuiti da realizzare.

Cominciamo a progettare il blocco relativo all'acquisizione e al condizionamento della tensione.

Il circuito di condizionamento deve attenuare una tensione compresa tra 0 V e 16.5 V in un range di valori compresi tra 0 V e 2.5 V, cioè bisogna realizzare un circuito che introduca un fattore di attenuazione α pari a:

$$\alpha = \frac{2,5}{16,5} = \frac{5}{33} \cong 0,15 \quad (1)$$

Una soluzione possibile potrebbe essere questa:



Infatti scrivendo le equazioni delle correnti ai nodi invertente e non invertente si ha:

$$\begin{cases} -\frac{V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_0}{R_0} \\ \frac{V_A - V_x}{R_2} = \frac{V_x}{R_3} \end{cases} \quad (2)$$

Portando a secondo membro della (2) tutti i termini contenenti la V_x si ha:

$$\begin{cases} \frac{V_0}{R_0} = V_x \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} \right) \\ \frac{V_A}{R_2} = V_x \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \end{cases} \quad (3)$$

Indicando con

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{P-}} &= \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} \\ \frac{1}{R_{P+}} &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \end{aligned}$$

si ricava

$$\begin{cases} R_{P-} \cdot \frac{V_0}{R_0} = V_x \\ R_{P+} \cdot \frac{V_A}{R_2} = V_x \end{cases} \quad (4)$$

uguagliando i secondi membri della (4) e risolvendo rispetto a V_0 si determina la funzione di trasferimento del circuito:

$$V_0 = \frac{R_{P+}}{R_{P-}} \frac{R_0}{R_2} V_A = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) V_A \quad (5)$$

cioè deve essere:

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) V_A = \frac{5}{33} V_A \quad (6)$$

Affinché la (6) sia verificata, dobbiamo determinare dei valori di resistenza tali che:

$$\frac{1 + \frac{R_0}{R_1}}{1 + \frac{R_2}{R_3}} = \frac{5}{33} \quad (7)$$

Una soluzione possibile è

$$\begin{cases} 1 + \frac{R_0}{R_1} = 5 \\ 1 + \frac{R_2}{R_3} = 33 \end{cases} \quad (8)$$

o meglio

$$\begin{cases} R_0 = 4 \cdot R_1 \\ R_2 = 32 \cdot R_3 \end{cases} \quad (9)$$

Facendo riferimento a valori di resistenza della serie commerciale E12, è possibile utilizzare quattro resistori e un trimmer in serie alla R_0 con questi valori:

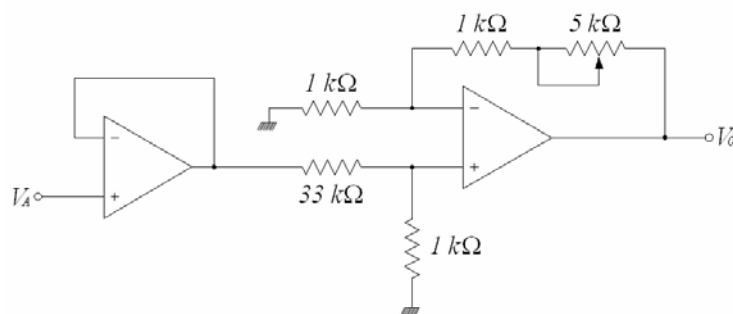
$$\begin{cases} R_0 = 1k\Omega \\ R_1 = 1k\Omega \\ R_2 = 33k\Omega \\ R_3 = 1k\Omega \\ R_v = 0 \div 5k\Omega \end{cases} \quad (10)$$

La (6) diventa allora:

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) V_A = \frac{1}{34} \left(1 + \frac{1 \div 6}{1} \right) V_A = \frac{2 \div 7}{34} V_A = (0,06 \div 0,21) V_A \quad (11)$$

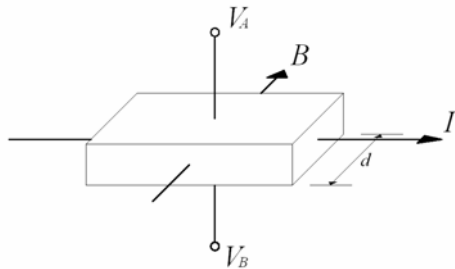
che comprende anche il valore rappresentato nella (1).

Affinché non ci sia assorbimento di corrente dal pannello fotovoltaico, dobbiamo ricordarci di anteporre al circuito di condizionamento un amplificatore operazionale in configurazione buffer. Il circuito definitivo diventa allora:



Passiamo ora a progettare il blocco relativo al condizionamento della corrente proveniente dal sensore ad effetto Hall.

Su questo punto il problema non è molto chiaro: parla infatti di un sensore assimilabile ad un generatore di corrente ideale e non specifica il modo con cui rileva la corrente nel



cavo che va dal pannello fotovoltaico al carico.

Ricordiamo che l'effetto Hall si ha quando un semiconduttore immerso in un campo magnetico B viene attraversato da una corrente elettrica I perpendicolare alla direzione del campo. In queste condizioni sulla superficie trasversale alla

corrente e all'induzione magnetica si può misurare una tensione detta *tensione di Hall* la cui intensità, con riferimento alla figura, è data dalla seguente espressione:

$$V_H = V_A - V_B = \frac{BI}{d\delta} \quad (12)$$

dove δ è la densità di carica elettrica e dipende dal drogaggio del semiconduttore. La polarità della tensione di Hall dipende dal tipo di drogaggio. In particolare se il semiconduttore è di tipo P, cioè i portatori di carica sono lacune, allora $V_H > 0$; il contrario si verifica invece se il semiconduttore è drogato di tipo N.

Nel nostro caso è probabile che il campo magnetico sia quello prodotto dalla corrente nel cavo e che la tensione di Hall venga trasformata in corrente tramite un convertitore tensione-corrente.

Per la soluzione del problema ci rifaremo comunque ai dati da esso forniti e cioè considereremo il sensore di corrente come un generatore ideale di corrente che fornisce in uscita una corrente legata a quella di ingresso secondo l'espressione:

$$I_A = \frac{1}{1000} I_i \quad (13)$$

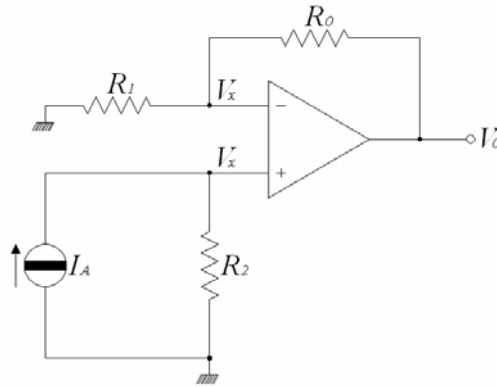
tale relazione di linearità vale in un range di valori compreso tra 0 e 15 A. Poiché la corrente d'ingresso data dal pannello fotovoltaico raggiunge al massimo il valore di 3,3 A, allora la (13) risulta essere valida in tutto il campo di variazione possibile della corrente fornita dalla batteria solare.

Dobbiamo ora progettare un circuito che con una corrente posta all'ingresso variabile tra 0 e 3,3 mA, fornisca in uscita una tensione compresa tra 0 e 2,5 V.

Quindi la relazione tra la corrente di ingresso e la tensione di uscita dovrà essere:

$$V_o = \frac{2.500}{3,3} I_A \quad (14)$$

Una soluzione circuitale possibile è data in figura:



Infatti scrivendo le equazioni delle correnti ai nodi invertente e non invertente si ha:

$$\begin{cases} -\frac{V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R_0} \\ R_2 \cdot I_A = V_x \end{cases} \quad (15)$$

Risolvendo la prima delle (15) rispetto a V_o , si ottiene:

$$\begin{cases} \frac{V_o}{R_0} = V_x \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} \right) \\ R_2 \cdot I_A = V_x \end{cases} \quad (16)$$

e sostituendo V_x nella prima si ha:

$$V_o = R_2 \left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) I_A = \frac{2500}{3,3} I_A \cong 758 \cdot I_A \quad (17)$$

Affinché la (17) sia verificata, dobbiamo determinare dei valori di resistenza tali che:

$$R_2 \left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) = R_2 \left(\frac{R_1 + R_0}{R_1} \right) \cong 758 \quad (18)$$

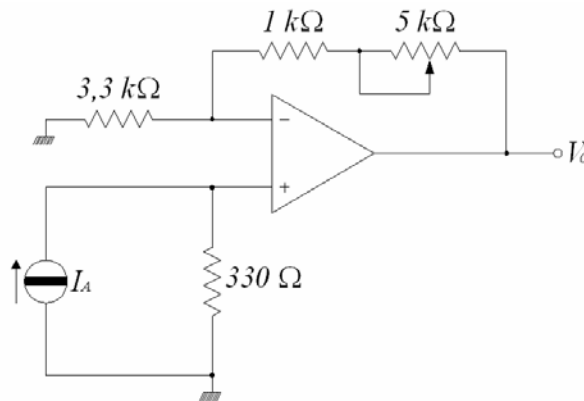
Facendo riferimento a valori di resistenza della serie commerciale E12, è possibile utilizzare tre resistori e un trimmer in serie alla R_0 con questi valori:

$$\begin{cases} R_0 = 1k\Omega \\ R_1 = 3,3k\Omega \\ R_2 = 330\Omega \\ R_v = 0 \div 5k\Omega \end{cases} \quad (19)$$

La (16) diventa allora:

$$V_0 = 330 \cdot \left(1 + \frac{(1 \div 6) \cdot 10^3}{3,3 \cdot 10^3} \right) I_A = 330 \cdot \frac{4,3 \div 9,3}{3,3} I_A = (430 \div 930) I_A \quad (20)$$

che comprende anche il valore rappresentato nella (17). Con i valori così determinati, il circuito che realizza la (20) diventa:



che comprende anche il valore rappresentato nella (1).

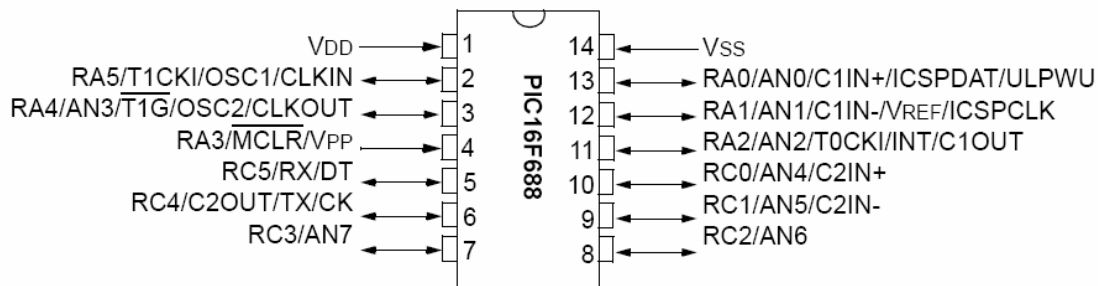
Passiamo ora ad analizzare contemporaneamente il terzo ed il quarto punto proposto dal problema. Dobbiamo utilizzare un convertitore A/D che abbia almeno due ingressi. Poiché i segnali da convertire sono debolmente variabili, non è necessario usare un convertitore veloce, pertanto un dispositivo ad approssimazioni successive è sicuramente adatto al nostro scopo in quanto costituisce un ottimo compromesso tra velocità di conversione e costo.

I segnali che deve acquisire il convertitore sono compresi tra 0 e 2,5V, per ottenere una buona precisione di conversione è necessario che il convertitore abbia almeno una risoluzione di 10 bit in quanto riuscirebbe a discriminare valori pari a

$$R = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2^{10}} = \frac{2,5}{1024} \cong 2,5mV \quad (21)$$

Esistono in commercio diversi convertitori che possono soddisfare alle specifiche imposte dal problema; tuttavia, onde evitare inutili complicazioni circuitali, tutta la gestione della conversione A/D, la memorizzazione dei dati in una memoria flash ed il trasferimento di questi con le dovute temporizzazioni ad un PC, può essere affidata ad un microcontrollore.

Un dispositivo adatto alla risoluzione del problema può essere il PIC 16F688 della Microchip



Il PIC16F688 possiede, fra le altre caratteristiche, un convertitore A/D a 10 bit multiplexato su 8 canali (pin 7÷13), una interfaccia seriale USART compatibile per comunicare con un PC (pin 5 e 6) ed è interfacciabile con memorie flash EEPROM della stessa casa produttrice tramite protocollo I2C.

Questo microcontrollore ha un oscillatore interno che genera una frequenza di clock a 31 kHz o ad 8 MHz senza l'uso di quarzi o reti RC esterne, ha inoltre una memoria di programma di 4096 Bytes, una memoria RAM di 256 Bytes ed una memoria EEPROM di 256 Bytes.

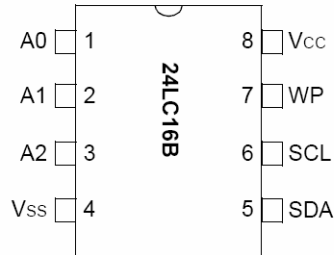
Poiché il dispositivo deve memorizzare i valori di tensione e corrente ogni 5 minuti e dato che il convertitore A/D è a 10 bit, dobbiamo utilizzare per ogni lettura 4 Bytes. Nell'arco delle 24 ore si avranno N letture in totale dove:

$$N = 24 \frac{60}{5} = 24 \cdot 12 = 288 \quad (22)$$

per i quali è necessaria una capacità di memoria pari ad almeno

$$C = 4 \cdot N = 1152 \text{ Bytes} \quad (23)$$

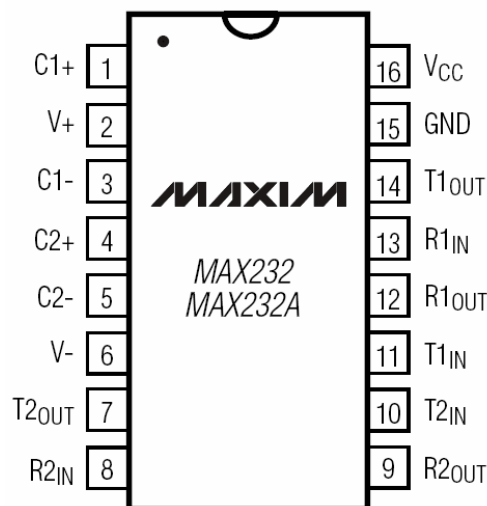
La memoria EEPROM interna del PIC ammonta ad appena 256 Bytes, pertanto risulta insufficiente per i nostri scopi. Si può usare invece una memoria flash 24LC16 che ha una capacità di 16 kB e quindi molto superiore a quella richiesta.



Per interfacciare il PIC16F688 con un PC attraverso l'interfaccia seriale RS232, bisogna utilizzare un dispositivo che permette di adattare segnali TTL o CMOS, con quelli della porta seriale del computer. La tabella sottostante mostra la corrispondenza tra i valori logici di una porta TTL o CMOS ed i valori in tensione dell'interfaccia seriale.

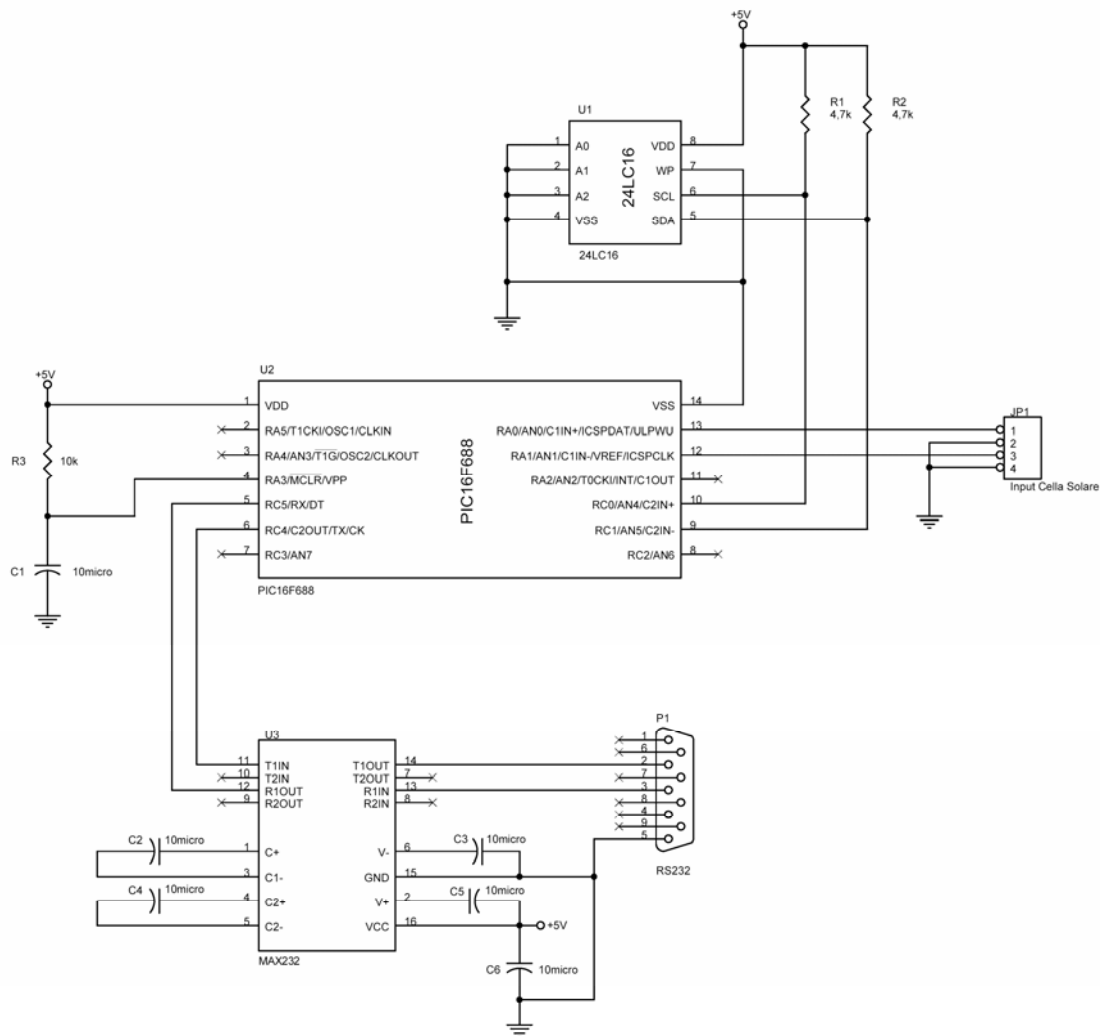
TTL - CMOS	RS-232
livello logico "0"	+12 Volt
livello logico "1"	-12 Volt

In commercio esistono diversi adattatori o convertitori di segnali come ad esempio il MAX232 della Maxim.



Questo dispositivo è dotato di un doppio canale Rx-Tx di interfaccia e permette di traslare i valori di tensione per adattarli al PC e viceversa.

Lo schema seguente mostra finalmente lo schema definitivo del circuito.



La rete RC posta sui pin 1 e 4 del PIC serve a “resettare” il dispositivo in fase di “power up”; i pin 5 e 6 comunicano tramite protocollo USART sull’interfaccia RS232 con il PC su una porta seriale a 9 pin, attraverso l’adattatore MAX232. La memoria EEPROM 24LC16 comunica con il PIC tramite protocollo I2C e le due resistenze da $4,7k\Omega$ fanno da “pull-up” sulle linee a collettore aperto.

Al connettore JP3 vanno collegati infine i due circuiti di condizionamento che forniscono i segnali analogici compresi tra 0 e 2,5 V (in realtà dovrebbero arrivare a 5 V per sfruttare tutti i 10 bit del convertitore A/D integrato nel PIC).

Resta ora da programmare il PIC con un software che dovrà gestire la lettura dei dati e la comunicazione con il PC.

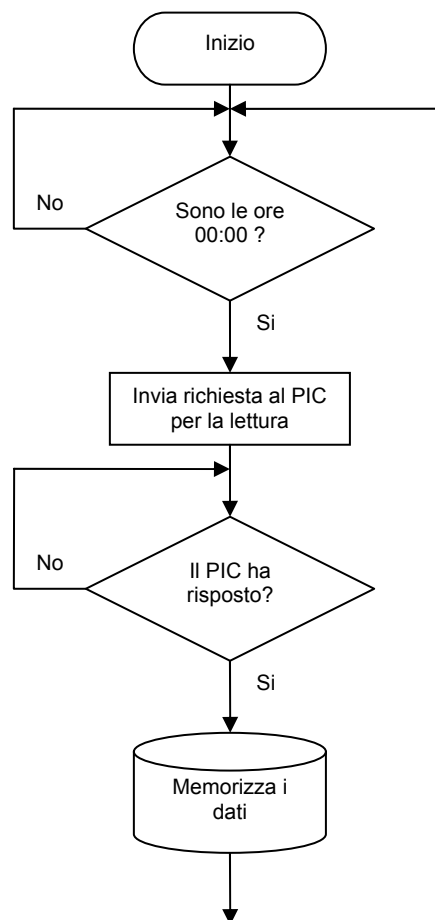
Ad esempio, alle ore 00:00 di ogni giorno il PC interroga il PIC e verifica attraverso un flag che chiameremo DV (Dati Validi) se i dati sono validi o meno (potrebbe trattarsi

della prima accensione o un caso di mancata alimentazione), in caso affermativo i dati contenuti nella EEPROM 24LC16 vengono trasferiti al PC.

Dopo la lettura dei dati il programma dovrà azzerare il flag DV, cancellare la memoria flash e resettare l'orologio interno del PIC che a partire da quel momento dovrà effettuare le letture della tensione e della corrente ogni 5 minuti. Se supponiamo che questa operazione richieda 1 minuto, allora la seconda lettura successiva sarà effettuata alle ore 00:06. Leggendo i dati ogni 5 minuti, alle ore 23:56, il PIC avrà memorizzato nella flash 24LC16, 288 coppie di dati e porrà il flag DV ad "1".

A mezzanotte il PC interrogherà il PIC, leggerà i dati, porrà il flag DV a "0", cancellerà la memoria flash ed il ciclo di lettura si ripeterà allo stesso modo.

Con questo sistema si riesce a sincronizzare ogni 24 ore l'orologio del PC con il timer del PIC. Il diagramma di flusso dell'algoritmo sul PC potrebbe essere rappresentato nel modo seguente:



Mentre quello del PIC potrebbe essere rappresentato in quest'altro modo:

