

Prova A.S. 2001/02

ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE

Indirizzo: TECNICO INDUSTRIE ELETTRONICHE (TIEN)

Tema di: SISTEMI, AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE

I proprietari di un piccolo albergo di otto stanze situato vicino al mare, aperto tutto l'anno, desiderano rendere più confortevole il soggiorno dei loro clienti con l'installazione all'interno di ciascuna stanza di un sistema di controllo di temperatura e di umidità.

Il sistema deve assicurare un valore di temperatura compreso tra 20°C e 28°C ed una umidità relativa non superiore al 25%. Per la rilevazione della temperatura si utilizzano sensori aventi comportamento lineare da -15°C e 50°C e legge di funzionamento

$$V(t) = V_0 + K \cdot T$$

dove T è la temperatura espressa in °C, $V_0=0,45V$ e $K=15mV/°C$.

Per la rilevazione della umidità si utilizzano sensori capacitivi con legge di funzionamento:

$$C = C_0 + A \cdot U_r$$

dove $C_0=130pF$, $A=0,41pF$ ed U_r è l'umidità relativa.

Il sistema deve acquisire i valori di temperatura e di umidità delle singole stanze ogni 30 minuti, provvedere al loro invio ad una centralina di controllo situata all'interno dell'edificio e, se necessario, attivare un impianto di riscaldamento (o raffreddamento) e/o un impianto deumidificatore per riportare i valori di temperatura e di umidità entro le specifiche.

Il candidato, dopo aver formulato le eventuali ipotesi aggiuntive:

1. disegni e commenti adeguatamente un possibile schema a blocchi dell'intero sistema
2. realizzi e dimensioni un blocco a scelta dello schema proposto
3. illustri un algoritmo di funzionamento del sistema preso in esame
4. realizzi in un linguaggio di programmazione di sua conoscenza uno dei moduli da utilizzare per l'acquisizione o per la trasmissione dei dati.

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito soltanto l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici tascabili non programmabili.

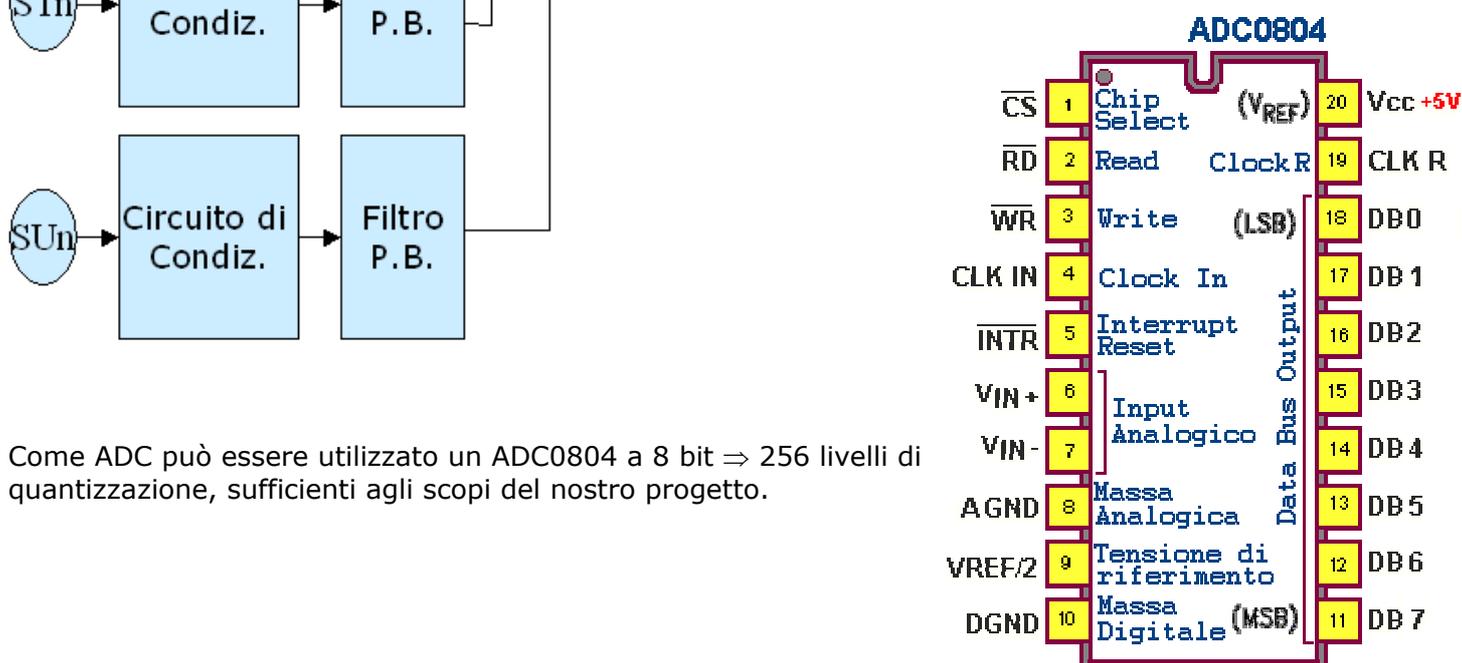
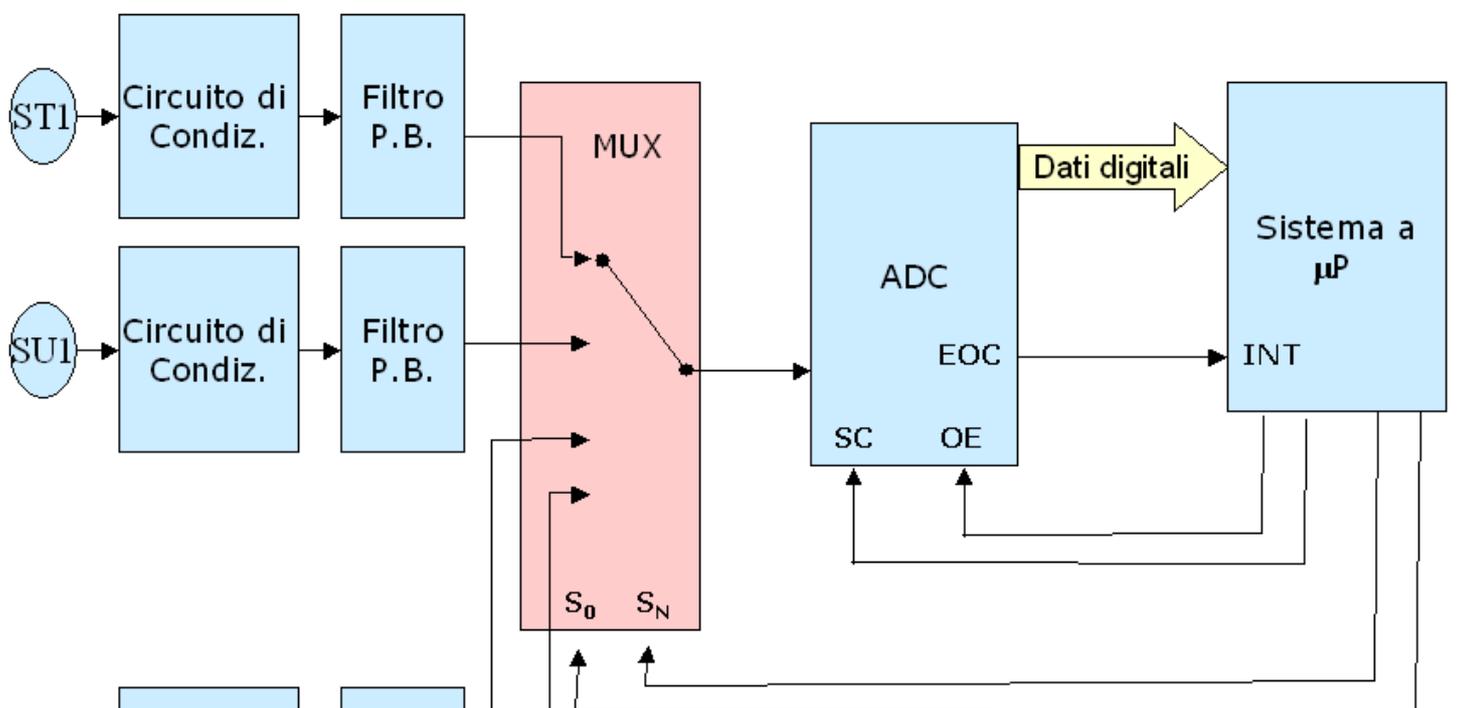
Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

Risoluzione Prova A.S. 2001/02

Si formulano le seguenti ipotesi generali:

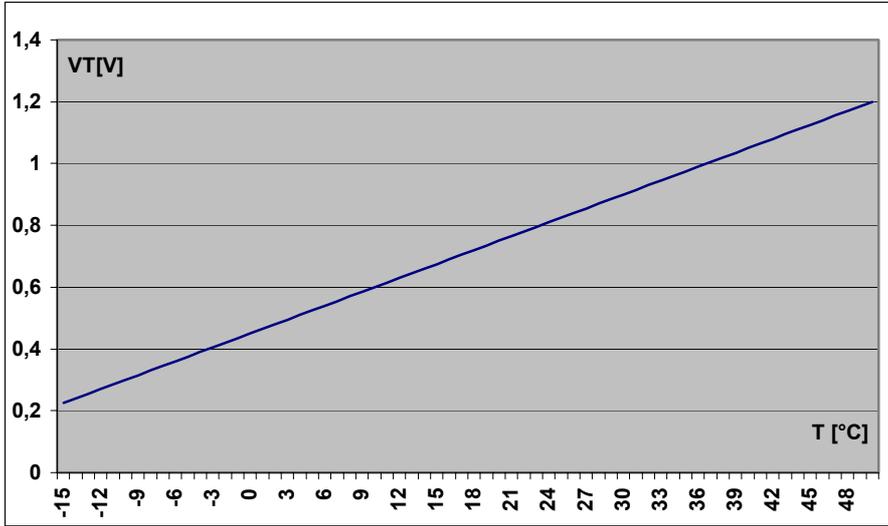
- in ogni stanza sono installati un impianto di riscaldamento, uno di raffreddamento e un deumidificatore dell'ambiente (per esempio a pompa di calore) che funzionino come sistema ON-OFF, per esempio fornendo la tensione di alimentazione eccitando un relè con i contatti normalmente aperti
- in ciascuna delle 8 stanze verranno installati un sensore per rilevare la temperatura ambiente e uno per rilevare l'umidità relativa dell'aria, quindi 16 sensori in totale e il multiplexer necessiterà 4 ingressi indirizzi, S_0, S_1, S_2, S_3 , che permettono di switch-are su $2^4=16$ ingressi
- il sensore di temperatura abbia bassa impedenza d'uscita così da poterlo interfacciare direttamente ad un circuito di controllo
- l'ADC ha un ingresso analogico con range tra 0V e 5V e una risoluzione ad 8 bit (utilizziamo ad esempio AD0804)
- un sample & Hold davanti all'ADC non è necessario perché i segnali sono lentamente variabili e le acquisizioni avvengono ogni 30 minuti

Schema a blocchi del sistema di acquisizione



Come ADC può essere utilizzato un ADC0804 a 8 bit \Rightarrow 256 livelli di quantizzazione, sufficienti agli scopi del nostro progetto.

Circuito di condizionamento del sensore di temperatura



Il sensore di temperatura fornisce un segnale analogico in tensione V_T direttamente proporzionale alla temperatura in $^{\circ}\text{C}$, quindi necessita di un semplice circuito di condizionamento che adatti la sua uscita al range di tensione d'ingresso supportato dall'ADC.

Il sensore fornisce $V_T(-15)=0,225\text{V}$ e $V_T(50)=1,2\text{V}$.

Costruiamo il sistema di condizionamento usando un amplificatore non invertente di guadagno:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

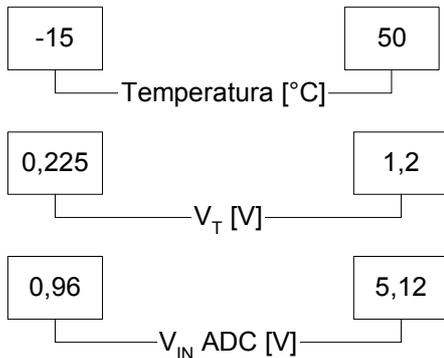
Supponiamo di volere usare l'ADC in un range tra 0V e 5V, si ha

$1\text{LSB} = \frac{5}{256} = 19,5\text{mV}$. Se invece l'ADC0804 è alimentato con una tensione di 5,120V (pin 20) e

$V_{\text{REF}/2} = 2,560\text{V}$ (pin 9), collegando $V_{\text{IN}(-)}$ (pin 7) a massa si ottiene $1\text{LSB} = \frac{5,120}{256} = 20\text{mV}$.

Determiniamo l'amplificazione che deve fornire il circuito di condizionamento:

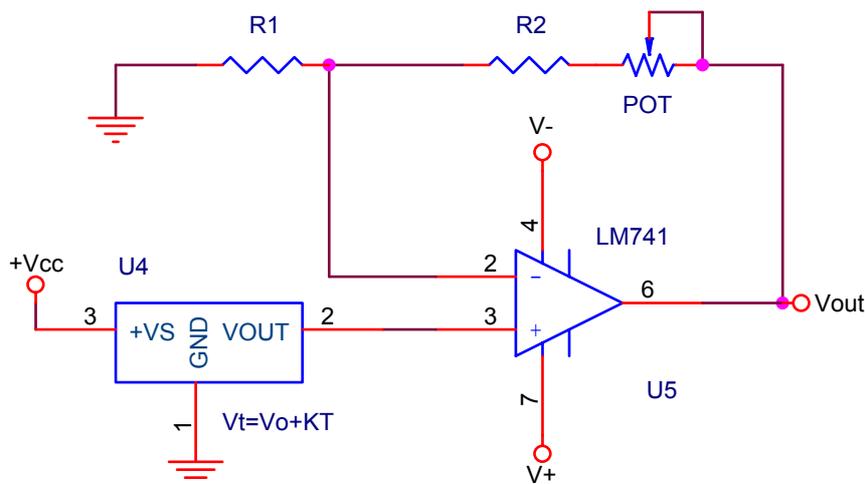
$$A = \frac{5,120\text{V}}{1,2\text{V}} = 4,267$$



Per ottenere un'elevata precisione, sia la tensione di riferimento $V_{\text{REF}/2}$ che $V_{\text{IN}(-)}$ vanno realizzate con integrati monolitici detti riferimenti di tensione; questi generatori della tensione di riferimento sono collegati con la $V_{\text{REF}/2}$ e la $V_{\text{IN}(-)}$ del convertitore per mezzo di amplificatori a guadagno unitario, ottenuti con operazionali, in modo da non caricarli. Dimensioniamo ora le resistenze R_1 e R_2 in modo da avere $A=4,267$:

$4,267 = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow$ posto $R_1 = 10\text{k}\Omega$, avremo $R_2 = 32,67\text{k}\Omega$ (valore commerciale $22\text{k}\Omega + \text{trimmer da } 22\text{k}\Omega$).

Viene richiesto al sistema di assicurare un range di temperatura compreso tra 20°C e 28°C . All'uscita del condizionamento avremo: $T=20^{\circ}\text{C} \Rightarrow V_T=0,75\text{V} \Rightarrow V_{\text{OUT}}=3,20\text{V}$ e $T=28^{\circ}\text{C} \Rightarrow V_T=0,87\text{V} \Rightarrow V_{\text{OUT}}=3,71\text{V}$. La V_{OUT} andrà collegata in ingresso al multiplexer.



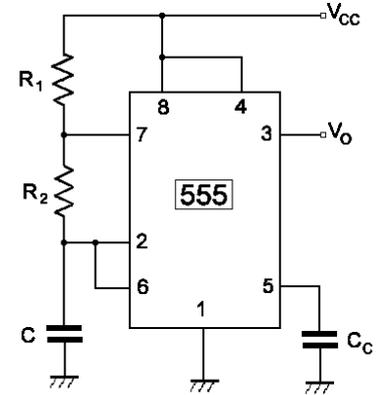
Circuito di condizionamento del sensore di umidità

Umidità relativa [%]	Capacità sensore [pF]	Frequenza oscillazione [kHz]
0	130	5,47
10	134,1	5,30
20	138,2	5,14
25	140,25	5,07
30	142,3	4,99
40	146,4	4,85
50	150,5	4,72
60	154,6	4,60
70	158,7	4,48
80	162,8	4,37
90	166,9	4,26
100	171	4,16

Il sensore d'umidità si comporta come un condensatore la cui capacità è variabile al variare dell'umidità relativa (per comodità viene ricavata una tabella U_r-C). Questo sensore può essere inserito in un circuito multivibratore astabile realizzato ad esempio con un LM555 in modo da ottenere un'onda quadra (duty cycle D=50%) di ampiezza V_O=5V, la cui frequenza è funzione dell'umidità relativa misurata dal sensore stesso. Dimensioniamo i componenti resistivi R₁, R₂ e la capacità C_C secondo le specifiche del timer 555. Vengono riportate alcune indicazioni contenute nel datasheet:

- R₁ > 1kΩ
- se R₁+R₂ < 3,5MΩ ⇒ V_{CC}=5V e V_{OMAX}=5V
- se R₁+R₂ < 10MΩ ⇒ V_{CC}=15V e V_{OMAX}=14V
- per avere un'onda quadra (D=50%), scegliere R₂ ≥ 20·R₁
- C_C=10nF.

Scegliamo R₁=10kΩ. Per avere un'onda quadra (D=50%) viene richiesto R₂ ≥ 20·R₁, ad esempio prendiamo R₂=1MΩ. Dato che R₁+R₂ < 3,5MΩ e presa V_{CC}=5V ⇒ avrò in uscita un'onda di ampiezza V_{OMAX}=5V e di frequenza pari a:



$$f = \frac{1}{T_{CARICA} + T_{SCARICA}} = \frac{1}{0,7 \cdot C \cdot (R_1 + 2R_2)}$$

Quindi, facendo utilizzo della tabella U_r-C ricaviamo la frequenza d'oscillazione:

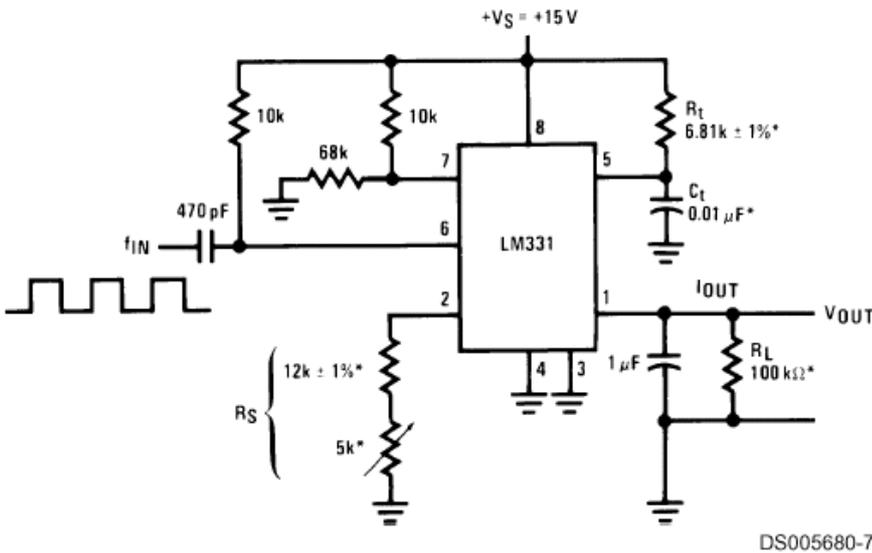
$$f_{(25\%)} \equiv f_{(140,25pF)} = 5,07kHz.$$

Il circuito di condizionamento che segue all'astabile è composto da un convertitore f-V realizzabile con un LM331 che permette la conversione dalla frequenza del segnale prodotto dall'oscillatore in segnale di tensione continua. Se abbiamo a disposizione il datasheet del costruttore otteniamo indicazioni circuitali e di dimensionamento dei componenti per tale circuito. La tensione d'uscita sarà, in breve, una funzione della frequenza V=f(f):

$$V_{OUT} = f \cdot 2,09 \cdot \frac{R_L}{R_S} \cdot R_t \cdot C_t$$

Volendo adattare il segnale d'uscita del convertitore f-V ad un ADC con un range tra 0V e 5V bisogna tarare opportunamente la R_S che sta sul pin del riferimento (pin 2) in modo che la tensione d'uscita V_{OUT} con umidità di 25% sia ben distinguibile.

Ipotizziamo che il sensore rilevi con precisione l'umidità tra il 10% e il 90%.

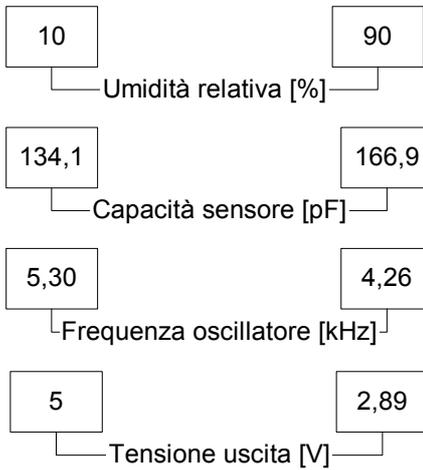


$$V_{OUT} = f_{IN} \times 2.09V \times \frac{R_L}{R_S} \times (R_t C_t)$$

*Use stable components with low temperature coefficients.

FIGURE 6. Simple Frequency-to-Voltage Converter, 10 kHz Full-Scale, ±0.06% Non-Linearity

$$\text{Calcoliamo: } R_S(5V) = \frac{5,30k \cdot 2,09 \cdot 100k \cdot 0,01\mu \cdot 6,81k}{5} = 20,93k\Omega = 10k + 10k \text{ (trimmer)}$$



Valutiamo: $V_{OUT}(4,26kHz) = 4,26k \cdot 2,09 \cdot \frac{6,81k}{20,93k} \cdot 100k \cdot 0,01\mu = 2,89V$

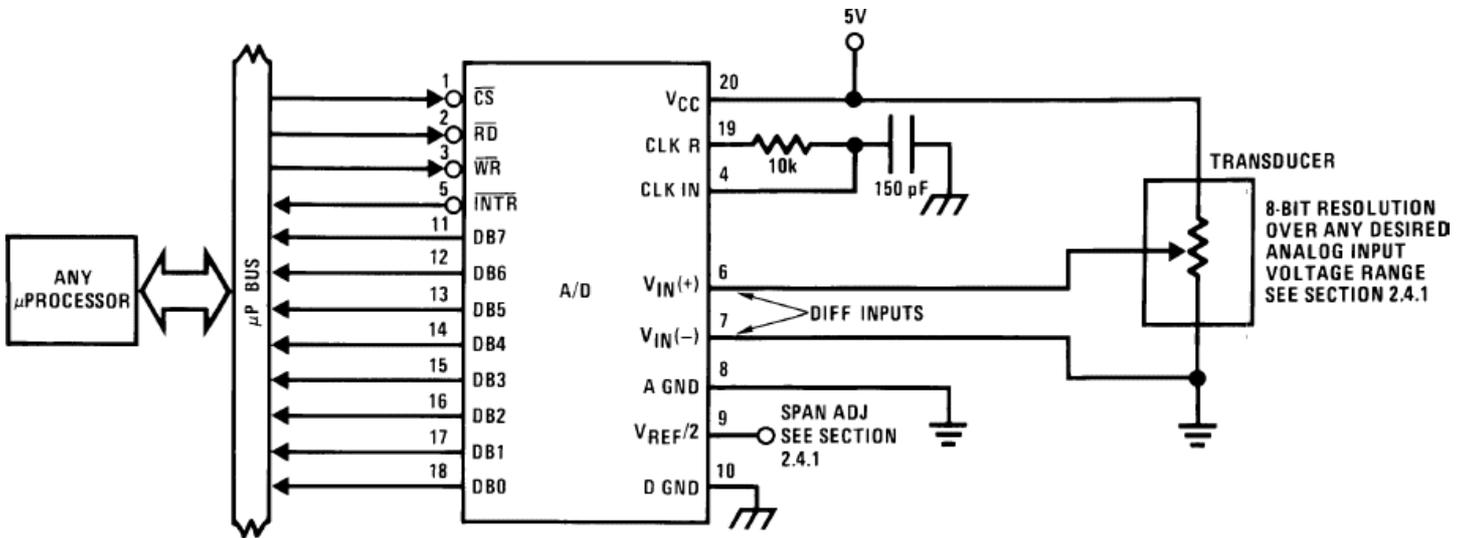
mentre ai fini della nostra discriminazione, quando l'umidità è al 25% avremo:

$V_{OUT}(5,07kHz) = 5,07k \cdot 2,09 \cdot \frac{6,81k}{20,93k} \cdot 100k \cdot 0,01\mu = 3,45V$

A questa tensione dovrà attivarsi l'impianto deumidificatore per riportare i valori di umidità entro le specifiche.

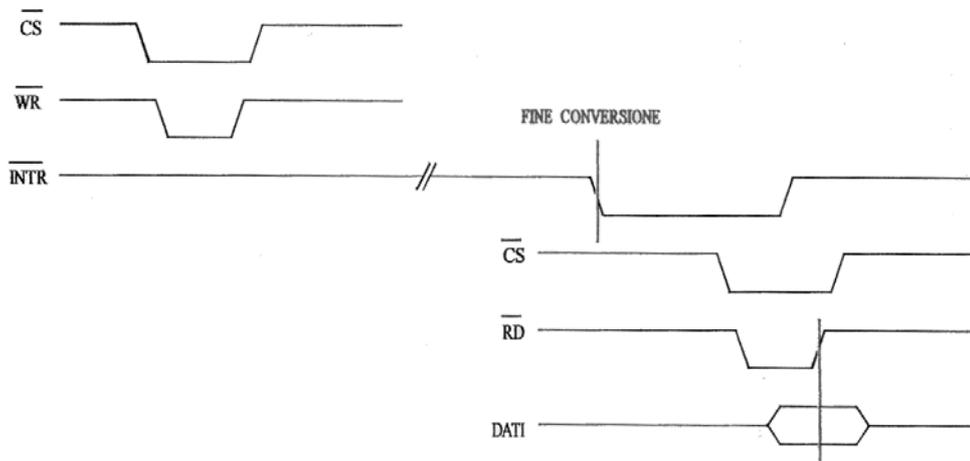
Algoritmo di funzionamento del sistema in esame

Collegiamo l'ADC0804 al microcontrollore o microprocessore scelto (PIC, ST6, Z80, 8086...) come mostrato nella figura seguente. Il procedimento di acquisizione dati va eseguito mettendo il microcontrollore in polling sui sensori, alternando tra rilevazione di temperatura e di umidità per ogni stanza.



DS005671-1

Nella figura seguente vediamo lo schema temporale dell'ADC0804. Il microcontrollore deve quindi eseguire, per ogni acquisizione dati, la seguente procedura:



1. Resettare l'ADC inviando CS=0 (abilitazione), WR=1 e RD=1
2. Avviare la conversione ponendo CS=0 e WR=0 (inizio conversione)
3. WR=1 (termine impulso inizio conversione)
4. Attendere che la linea INTR subisca la transizione H⇒L, che indica la fine della conversione: il dato convertito è stato memorizzato nel latch interno del convertitore

5. Abilitare la lettura del dato in uscita, con RD=0. Nel frattempo la linea INTR subisce la transizione L⇒H
6. Ritornare al punto 1 per una nuova conversione AD.

Di seguito è rappresentato il diagramma di flusso di funzionamento del sistema preso in esame.

