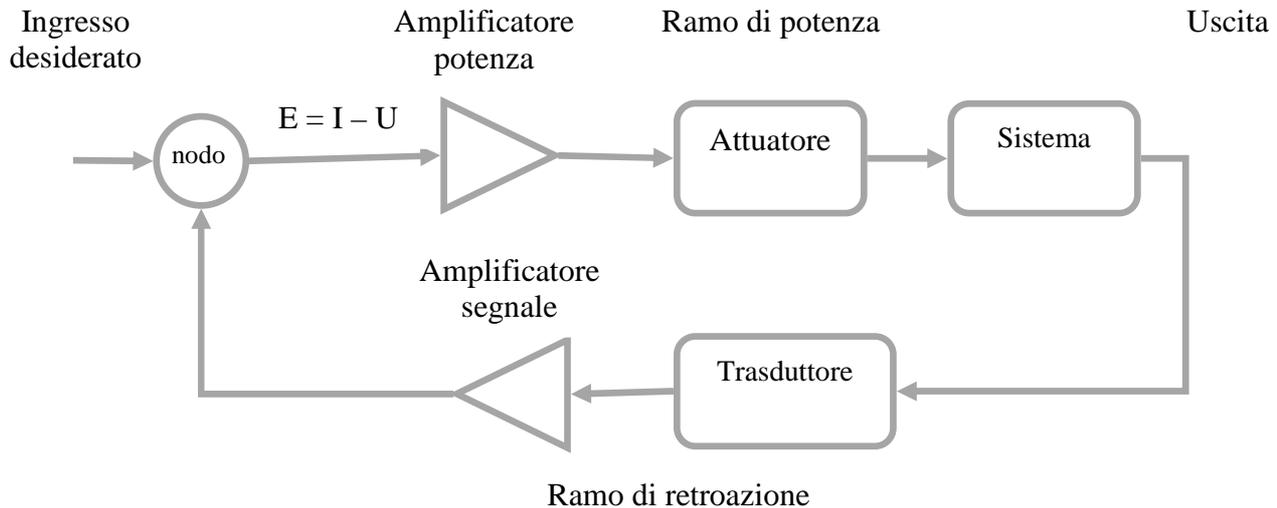


## Sistema retroazionato



In un **controllo automatico** di un qualunque sistema si deve poter impostare un valore desiderato (di solito con una grandezza elettrica) e quindi attivare qualcosa che confronti il valore dell'uscita con il valore impostato.

Il **ramo di retroazione** ha il compito di trasformare il valore dell'uscita in un segnale elettrico da confrontare con il valore desiderato. Il **trasduttore** trasforma il valore di una grandezza fisica in un segnale elettrico (di solito dell'ordine dei mV o mA) che deve poi essere opportunamente amplificato dall'**amplificatore di segnale**. Il parametro più importante nella progettazione del ramo di retroazione è la **precisione**. Esempi di trasduttori sono i microfoni, i fototransistor, le termoresistenze, gli interruttori, ecc.

Il **nodo** confronta il valore dell'uscita con quello dell'ingresso desiderato. Se si fa una differenza siamo in presenza di un sistema con **retroazione negativa**. L'errore (E) può avere tre valori:

1. Se l'errore è **nullo** l'uscita ha il valore desiderato. Il ramo di potenza in questo caso deve restare inattivo in quanto l'uscita ha il valore desiderato.
2. Se l'errore è **positivo** l'uscita ha un valore inferiore a quello desiderato. Il ramo di potenza in questo caso deve intervenire per fare aumentare il valore dell'uscita.
3. Se l'errore è **negativo** l'uscita ha un valore superiore a quello desiderato. Il ramo di potenza in questo caso deve intervenire per fare diminuire il valore dell'uscita.

Nel **ramo di potenza** il segnale di errore è opportunamente amplificato dall'**amplificatore di potenza** in modo che l'**attuatore** possa trasformare l'energia elettrica nella grandezza fisica utile a modificare il valore dell'uscita. Esempi di attuatori sono: lampade, led, motori elettrici, altoparlanti, resistenze, pompe di calore, ecc.

Nel ramo di potenza il parametro più importante è il **rendimento**

$$\eta = P_U / P_T$$

rappresentato dalla lettera dell'alfabeto greco eta e definito come il rapporto fra la potenza utilizzata e quella totale fornita. Tutta la potenza non utilizzata viene trasformata in calore con i seguenti inconvenienti:

1. **Spreco energetico** con un consumo di energia comunque pagata ma non utilizzata,
2. **Diminuzione dell'affidabilità** del sistema. Il calore generato dall'energia non utilizzata provoca un inutile aumento di temperatura che può comportare guasti nei componenti a semiconduttore. Infatti l'aumento di temperatura può rimettere in movimento gli atomi droganti all'interno del silicio modificando le caratteristiche elettriche dei dispositivi.

La precisione in questo caso non è fondamentale in quanto le differenze nel valore dell'uscita possono essere rilevate tramite la retroazione e compensate.

## Logica cablata e programmata

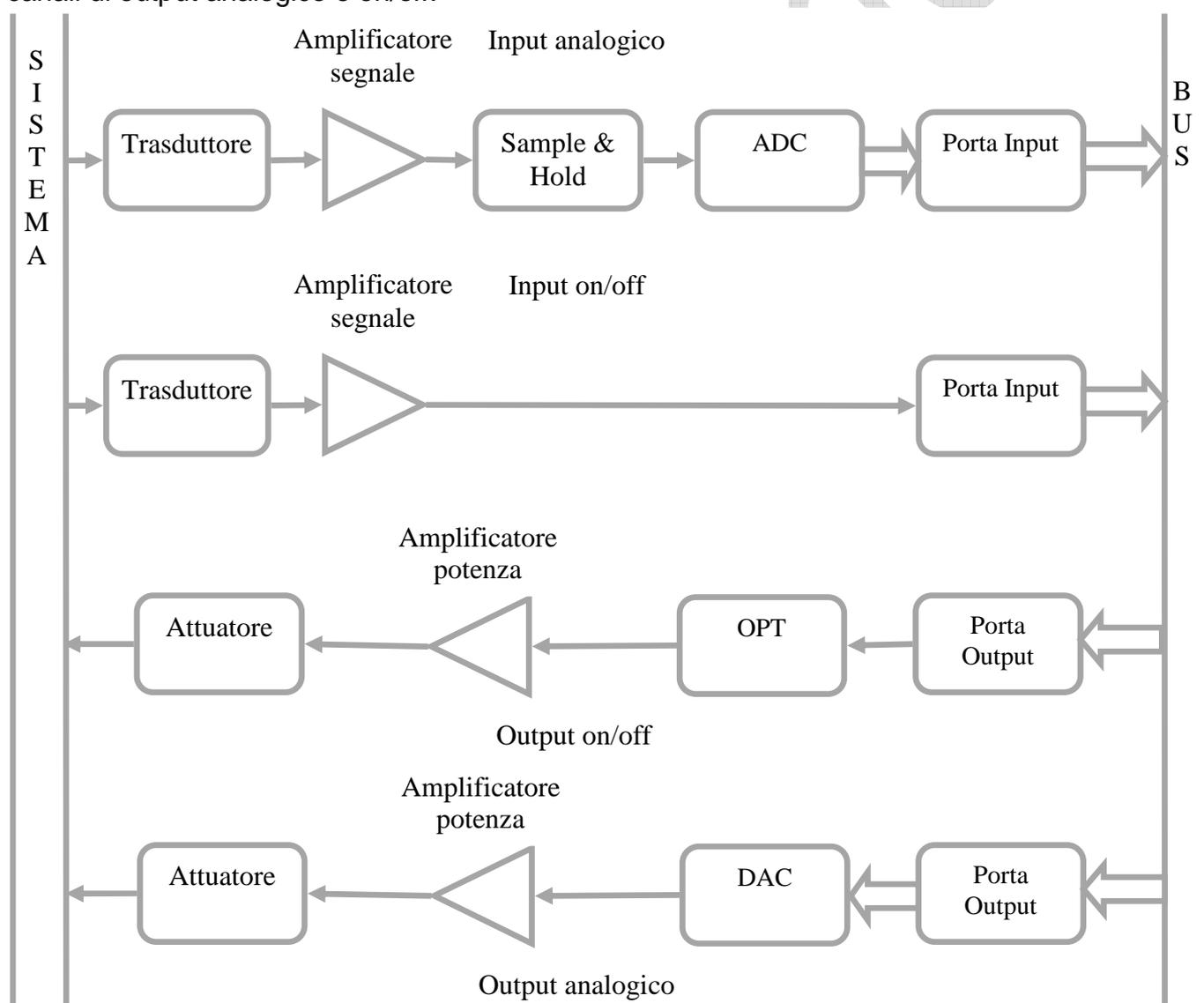
In un sistema **cablato** tutte le funzioni sono realizzate con circuiti elettronici appositamente realizzati. Si tratta di sistemi molto veloci, poco flessibili (ogni variazione richiede modifiche circuitali), con pochi componenti e adatti per grandi numeri.

In un sistema **programmato** la logica è gestita con un programma che gira in un computer opportunamente interfacciato con il sistema. Questi sistemi sono meno veloci dei precedenti, molto flessibili (spesso le variazioni si riducono a modifiche del programma), con molti componenti e adatti a sistemi anche molto complessi e/o a livello di prototipo. In questi sistemi il computer va a sostituire il nodo.

## Interfacciamento

Per poter controllare un sistema con un computer si dovranno realizzare le interfacce per leggere i valori del sistema tramite opportuni trasduttori (analogici e on/off) e fornire i segnali di comando agli attuatori presenti (analogici e on/off).

Il ramo di retenzione è rappresentato dai canali di input analogico e on/off, il ramo di potenza dai canali di output analogico e on/off.



## Input analogico

- Il trasduttore trasforma la grandezza fisica in un segnale elettrico di alcuni mV non adatto ad una conversione accurata

- il segnale proveniente dal trasduttore è amplificato dall'amplificatore di segnale ad un valore di alcuni Volt per ottenere una conversione accurata
- il Sample & Hold ha la funzione di mantenere costante il segnale per la durata della conversione
- l'ADC (Analog to Digital Converter) converte il segnale in un numero binario che attraverso la porta di input sarà poi memorizzato nel PC.

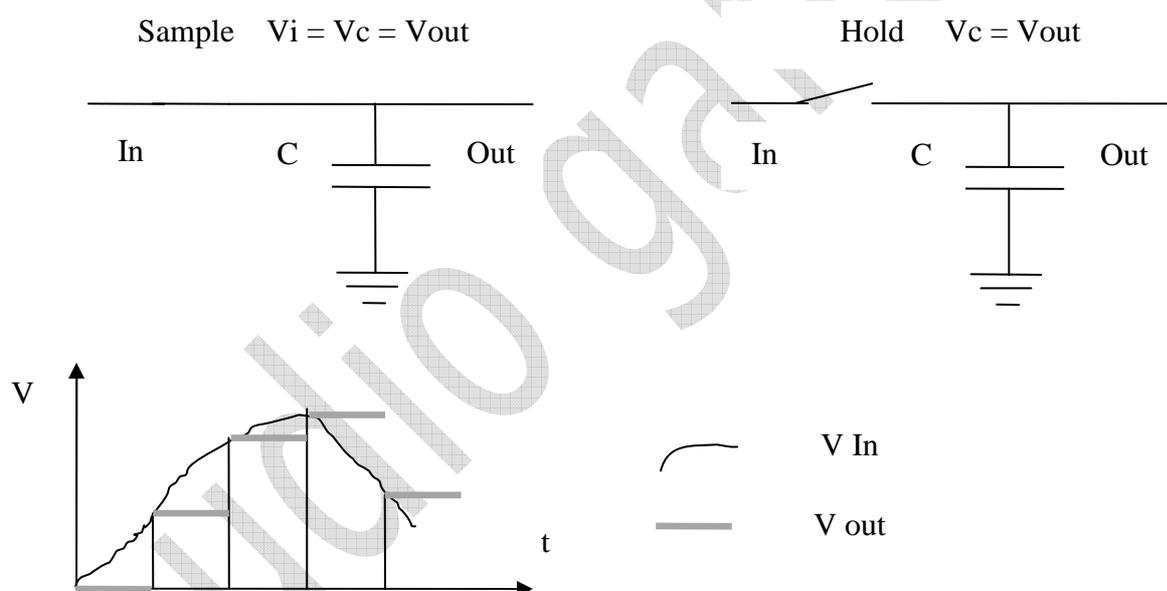
L'operazione può essere ripetuta migliaia di volte al secondo su tutti i canali da controllare.

### Amplificatore di segnale

Il segnale che proviene da un trasduttore è di pochi mV e non è possibile trasformarlo direttamente in valori binari. L'amplificatore di segnale ha il compito di portare il segnale ad un valore di 1-10 volt per ottenere una conversione più accurata.

### Sample & Hold

Il segnale analogico è rappresentato da un grafico con tempo sull'asse delle ascisse (X) e il valore della tensione sulle ordinate (Y). Ogni valore (misura) si chiama **campione** e l'intervallo di tempo necessario per ottenerlo tempo di conversione. Se in questo intervallo di tempo il segnale cambia non si è più in grado di sapere a quale istante di tempo il valore ottenuto si riferisce. Il S&H risolve questo problema mantenendo costante il valore del segnale per tutto il tempo di conversione.



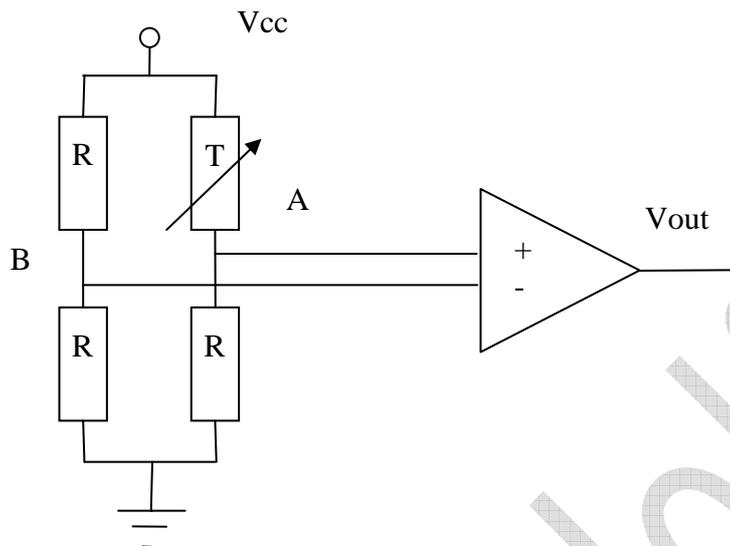
### ADC (Analog to Digital Converter)

L'ADC ha in ingresso un segnale analogico e in uscita il corrispondente valore binario. Va scelto in base alla velocità di conversione e alla precisione.

Per il teorema del campionamento la frequenza deve essere maggiore del doppio di quella del segnale. Il **tempo di conversione** deve essere inferiore all'inverso della frequenza di campionamento.  $T_c = 1 / f_c$

La precisione aumenta con il numero di bit in uscita, 8 sono sufficienti per la voce, 16 sono usati nei CD stereo. In generale il numero di combinazioni disponibili è  $2^N$  e se vogliamo che l'errore sul fondo scala sia compatibile con la precisione richiesta il quanto dell'ADC ( $1/2^N$ ) dovrà essere inferiore all'errore quindi  $2^N > 1 / \text{Errore}$ .

Il seguente circuito può essere utilizzato per interfacciare termoresistenze (resistenze che cambiano valore con la temperatura) o fotoresistenze (resistenze che cambiano valore se illuminate).

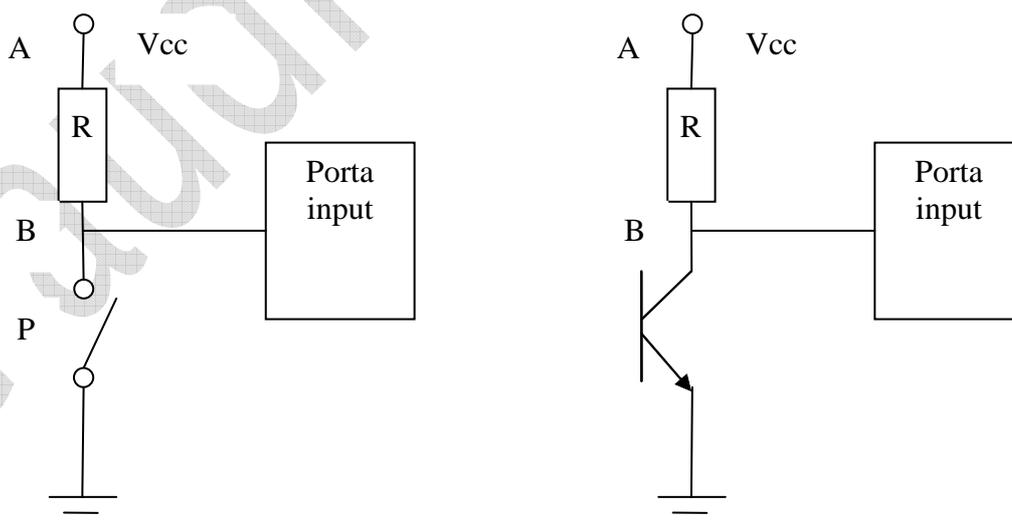


Ad una temperatura di riferimento le tensioni al centro dei partitori nei punti  $A$  e  $B$  sono uguali e all'uscita dell'amplificatore differenziale la tensione è nulla. Al variare della temperatura cambia il valore della termoresistenza  $T$  e quindi il potenziale nel punto  $A$ , in questo caso  $V_{out}$  sarà proporzionale alla variazione di temperatura. L'amplificatore differenziale è schematicizzato in forma semplificata.

### Input on/off

- Il trasduttore trasforma la grandezza fisica in un segnale
- il segnale proveniente dal trasduttore, già di tipo on/off, è amplificato dall'amplificatore di segnale ad un valore compatibile con la tensione di ingresso della porta

Il circuito è più semplice in quanto non è necessaria la conversione da analogico a binario. E' il circuito usato per gli interruttori.



In questo esempio all'ingresso della porta abbiamo uno con l'interruttore aperto e zero con l'interruttore chiuso. Premessa:

- in un interruttore aperto conosciamo la corrente, zero
- in un interruttore chiuso conosciamo la tensione zero
- se due elementi sono in serie sono attraversati dalla stessa corrente

Con l'interruttore aperto:

1. Se trascuriamo la corrente sulla porta (pochi microampere) l'interruttore e la resistenza sono in serie
2.  $I_P = I_R = 0$
3. Per la legge di Ohm  $V_R = I_R R = 0$
4. Per definizione  $V_R = V_A - V_B = V_{CC} - V_B = 0$
5.  $V_B = V_{CC}$

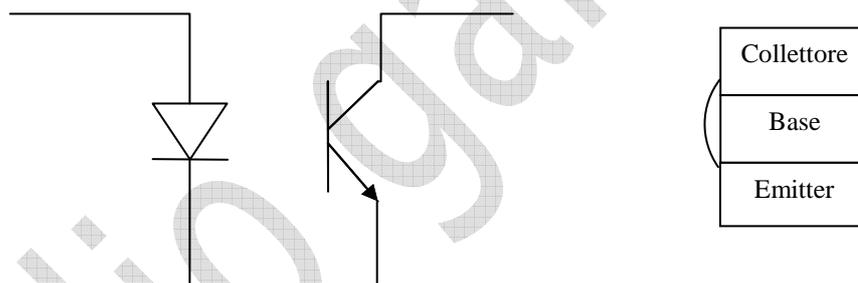
Con l'interruttore chiuso il punto B è cortocircuitato a massa  $V_B = 0$

La stessa circuitazione può essere utilizzata per interfacciare un fototransistor. Se illuminato equivale a un circuito chiuso (0 in ingresso), se al buio equivale a un circuito aperto (1 in ingresso).

### Output on/off

- Il bit in uscita dalla porta attiva il led dell'accoppiatore optoelettronico
- Il fototransistor si attiva e pilota l'amplificatore di potenza
- L'attuatore trasforma l'energia elettrica in una grandezza fisica

Spesso si ha la necessità di controllare attuatori che lavorano con tensioni elevate che comportano rischi di folgorazione. Per mantenere separato il circuito del computer dal circuito ad alta tensione si usa un **accoppiatore optoelettronico**. Il segnale elettrico proveniente dalla porta attiva un led che illumina la base di un fototransistor che attiva l'amplificatore di potenza.



La luce emessa dal led crea delle cariche libere nella base del fototransistor permettendo la conduzione. Al buio non sono presenti cariche libere e il transistor è in interdizione. Nei normali transistor a tre pin le cariche libere sono generate dalla corrente di base.

### Output analogico

- Dalla porta di output il numero arriva al DAC (Digital to Analog Converter) che lo trasforma in un segnale analogico.
- Il segnale è amplificato tramite un amplificatore di potenza.
- Un attuatore trasforma il segnale elettrico in grandezza fisica

L'output analogica è normalmente usato con basse tensioni per cui non è necessario ricorrere a dispositivi per l'isolamento.

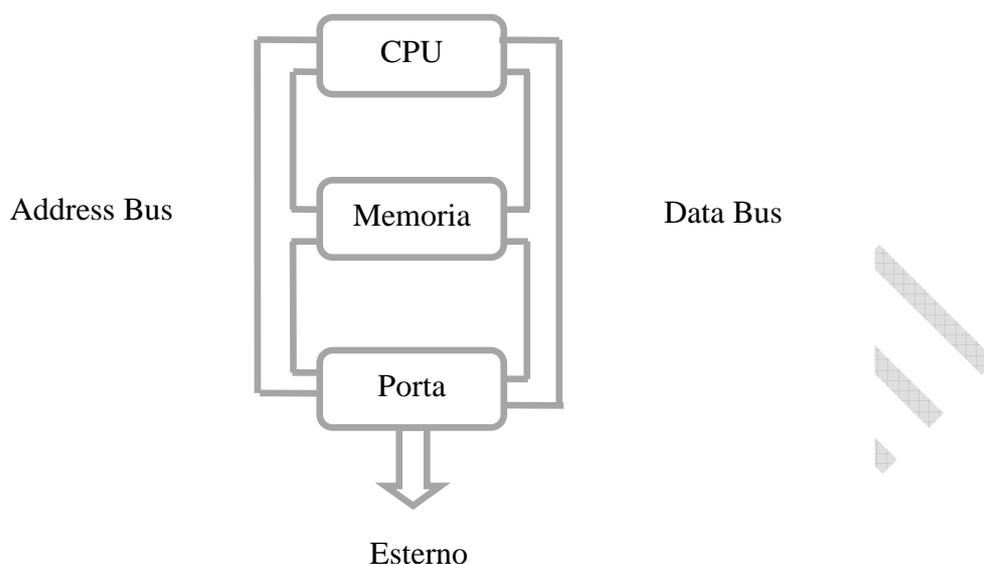
### DAC (Digital to Analog Converter)

Il DAC fa l'operazione contraria dell'ADC. In ingresso riceve i valori binari, il segnale analogico in uscita assume il valore corrispondente.

### Amplificatore di potenza

Il segnale in uscita dal DAC ha una potenza ridotta per pilotare una cassa acustica quindi l'amplificatore di potenza fornisce questa potenza supplementare.

## Struttura del software di controllo



In un sistema programmabile le comunicazioni con l'esterno avvengono tramite le porte di input/output mentre la ram è usata per le elaborazioni.

Tutti i software di controllo sono dei cicli infiniti che sono attivati all'accensione del sistema e continuano fino al suo spegnimento.

Effettuata l'inizializzazione all'interno del ciclo distinguiamo tre routine: lettura, elaborazione e scrittura

Riassumendo:

### Inizializzazione

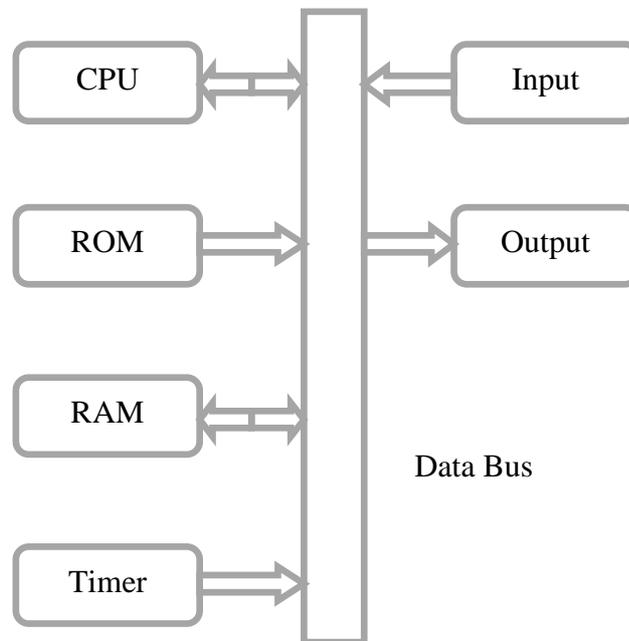
#### Loop

**Lettura** (i valori delle porte sono trasferiti in RAM)  
**Elaborazione** (si esegue l'elaborazione in RAM in base ai valori letti)  
**Scrittura** (i valori ricalcolati sono scritti sulle porte leggendoli in RAM)

**End**

## Scheda di controllo

Per molte applicazioni non sono necessari tutti i componenti presenti in un normale PC. Pensate a una calcolatrice o a un termometro digitale. Nella scheda di controllo sono presenti i componenti indispensabili per realizzare un sistema programmabile.



In alcuni casi tutti i componenti sono integrati in un unico chip (**single chip**).

La **CPU** è necessaria, senza non avrebbe senso parlare di sistema programmabile.

Nella **ROM** è memorizzato il programma che deve essere disponibile all'accensione del sistema.

La **RAM** è utilizzata per memorizzare le variabili temporanee.

Il **Timer** serve per temporizzare le applicazioni.

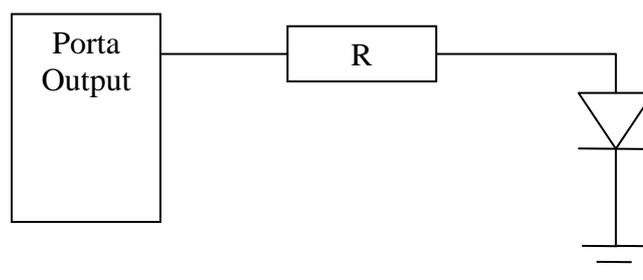
Le **Porte di input output** servono per interfacciarsi con l'esterno.

### **Sistema di sviluppo**

Una scheda di controllo non permette la scrittura di un programma (mancano anche tastiera e monitor), per fare questo si usano i sistemi di sviluppo. Sono costituiti da:

1. Un PC completo che mette a disposizione l'interfaccia per la scrittura e i supporti per la memorizzazione.
2. Il Cross-Assembler che ha in input il file sorgente e in output il codice macchina per la CPU della scheda di controllo.
3. Un Emulatore che contiene il debug e il simulatore del sistema da controllare per verificare la correttezza del programma.
4. Un Eprom Programmer per trasferire il programma in una ROM da inserire nella scheda di controllo.

## Controllo di un led.



All'uscita della porta si ha un segnale TTL (0-5 volt). Supponiamo che il led funzioni con una corrente di 1 mA e una tensione di 1,5 V.

Il valore per la resistenza si calcola come segue:

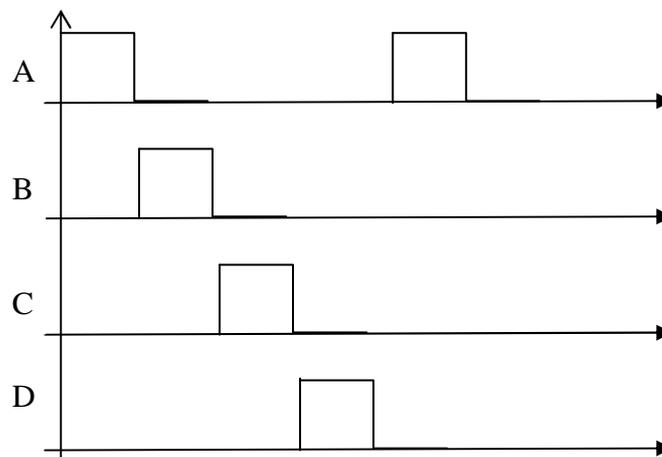
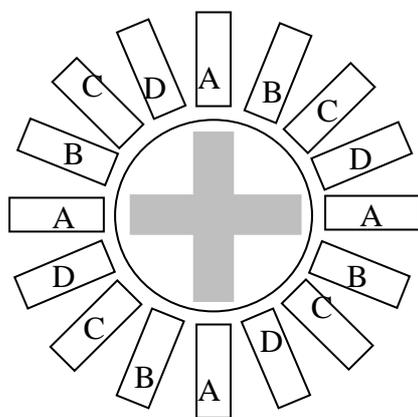
$$R = V_R / I = (5 - 1,5) / 10^{-3} = 3,5 \text{ K}\Omega$$

## Step motor

Lo step motor è adatto per applicazioni in cui è richiesta una bassa potenza con un'elevata precisione come per la testina della stampante.

Un elettromagnete è una bobina che percorsa da corrente genera un campo magnetico ed è in grado di attirare oggetti ferromagnetici.

Nello step motor un rotore di materiale ferromagnetico è circondato da una serie di bobine che attivate in successione lo fanno ruotare con estrema precisione.

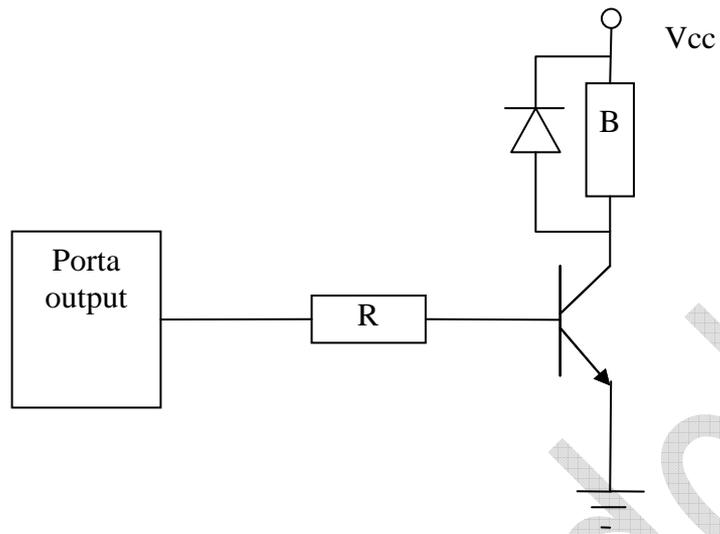


In figura è schematizzato un motore con quattro poli (A,B,C,D), ne esistono anche a tre e a due. Quando sono attivate le bobine della serie A il rotore si allinea alle bobine A. Successivamente si disattiva A e si attiva B e il rotore fa una rotazione che gli consente di allinearsi a B. Poi si disattiva B e si attiva C. Poi si disattiva C e si attiva D, infine si riprende da A.

La rotazione può avvenire in senso inverso invertendo l'ordine di attivazione delle serie di bobine (A,D,C,B,A).

Le bobine dello step motor assorbono decine o centinaia di mA e quindi non si possono collegare direttamente alle porte del PC. Per ognuno dei quattro bit necessari va utilizzato un circuito amplificatore come il seguente.

La corrente di collettore è circa 100 volte maggiore di quella di base ( $I_C = \beta I_B$ ). I pochi mA della porta di output sono sufficienti ad attivare la bobina dello step motor con un centinaio di mA. Il diodo di ricircolo è necessario per evitare che nel passaggio in interdizione del transistor si creino delle sovratensioni sul collettore che potrebbero danneggiare il transistor stesso.



Claudio Gandolfi