

Relazione progetto SIS

Bottacini Luca

Lecini Rustem

Roin Giovanni

5/02/2022

Indice

| | |
|---------------------------------------------|----------|
| Circuito FSM + D | 3 |
| Traccia | 3 |
| Interfaccia del circuito | 3 |
| Architettura generale | 4 |
| Segnali interni | 5 |
| Macchina a stati finiti (FSM) | 5 |
| Transizioni | 5 |
| Grafo delle transizioni (STG) | 6 |
| Unità di elaborazione (Data path) | 7 |
| Conteggio dei cicli | 7 |
| Modifica del pH | 8 |
| Verifica della neutralità | 8 |
| Verifica degli errori | 9 |
| Unità completa | 9 |

Circuito FSM + D

Abbiamo sviluppato un circuito che controlla un meccanismo chimico, il cui scopo è portare una soluzione con un pH iniziale noto ad un valore di neutralità.

Traccia

Il valore del pH viene espresso in valori compresi tra 0,00 e 14,0: nell'intervallo $[0,00, 7,00)$ si trovano i valori acidi, mentre in quello $(8,00, 14,0]$ si trovano i valori basici, infine i valori inclusi in $[7,00, 8,00]$ sono considerati neutrali. Tutti gli altri valori non sono accettabili e comportano un errore.

Il sistema è quindi dotato di due valvole: la prima può *decrementare* il valore del pH di 0.25 in un singolo ciclo di clock, mentre la seconda lo può *incrementare* di 0.50 nello stesso periodo di tempo.

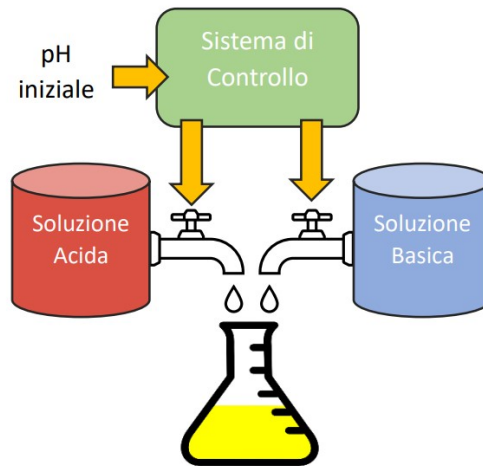


Figura 1: Illustrazione del circuito

Interfaccia del circuito

Il circuito accetta i seguenti segnali di ingresso:

| Ingresso | Descrizione |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| RST | Ordina al circuito di tornare allo stato iniziale. Prevale su qualsiasi altro ingresso. |
| START | Ordina al circuito di leggere il valore presente nell'ingresso PH[8]. |
| PH_INIZIALE[8] | Rappresentazione del valore iniziale assunto dal pH della soluzione. |

L'ingresso PH_INIZIALE[8] è un byte codificato in **virgola fissa** con 4 bit dedicati alla

parte intera.

Il circuito produce i seguenti segnali di uscita:

| Uscita | Descrizione |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| FINE_OPER. | Indica che il sistema ha completato le operazioni. Ovvero il pH è neutro. |
| ERRORE_SENSORE | Indica che il sistema ha ricevuto in ingresso un valore di pH non accettabile. |
| VALVOLA_ACIDO | Richiede l'apertura della valvola che decrementa il valore del pH. |
| VALVOLA_BASIC0 | Richiede l'apertura della valvola che incrementa il valore del pH. |
| PH_FINALE[8] | Rappresentazione del valore finale assunto dal pH della soluzione. |
| NCLK[8] | Rappresentazione del numero di cicli utilizzati per completare le operazioni. |

L'uscita PH_FINALE[8] è un byte codificato esattamente come l'ingresso PH_INIZIALE[8], mentre il byte NCLK[8] viene codificato in **modulo**.

Architettura generale

Il sistema implementa il modello **FSMD**, cioè collega una *macchina a stati finiti* (detta FSM) con un'*unità di elaborazione* (chiamata **Data path**).

Il compito della macchina a stati è quello di contestualizzare i calcoli eseguiti dall'unità di elaborazione, viceversa quest'ultima ha il ruolo di aiutare la macchina a determinare in che stato transitare.

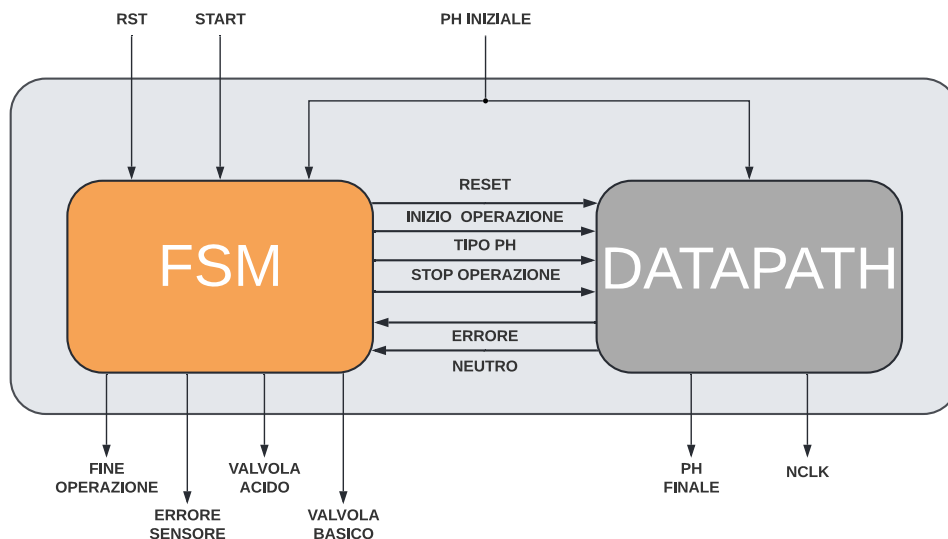


Figura 2: Diagramma del circuito

Segnali interni

Il collegamento tra i due sottosistemi avviene grazie allo scambio di segnali di stato e controllo; i primi vengono emessi dalla macchina a stati verso l'elaboratore, i secondi seguono il percorso inverso.

I segnali di stato utilizzati sono i seguenti:

| Segnale | Descrizione |
|--------------|------------------------------------------------------------------|
| RESET | Ordina all'elaboratore di reinizializzare i valori. |
| INIZIO_OPER. | Comunica all'elaboratore che è appena stato inserito un pH. |
| TIPO_PH | Permette all'elaboratore di determinare come modificare il pH. |
| STOP_OPER. | Comunica all'elaboratore di non modificare i valori memorizzati. |

I segnali di controllo utilizzati sono i seguenti:

| Segnale | Descrizione |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| ERRORE | Comunica alla macchina che il valore del pH non è accettabile. |
| NEUTRO | Comunica alla macchina che il valore del pH ha raggiunto la neutralità. |

Macchina a stati finiti (FSM)

Abbiamo individuato cinque stati per questa macchina, cioè:

1. **Reset**: stato iniziale nel quale il circuito attende il pH in ingresso;
2. **Errore**: il valore del pH appena inserito non è valido;
3. **Acido**: il valore del pH attuale è inferiore a 7,00;
4. **Basico**: il valore del pH attuale è superiore a 8,00;
5. **Neutro**: il valore del pH ha raggiunto un valore incluso in [7,00, 8,00].

Transizioni

Lo stato iniziale della macchina è quello di *Reset*, da questo può spostarsi solamente quando riceve il segnale **START** = 1, in quel caso:

- Quando il segnale di controllo **ERRORE** vale 1 transita nello stato di *Errore*;
- Quando il bit più significativo del segnale PH[8] vale 0 e non sono presenti errori, transita nello stato *Acido*;
- Quando il bit più significativo del segnale PH[8] vale 1 e non sono presenti errori, transita nello stato *Basico*.

La macchina si sposta nello stato *Neutro* quando il segnale di controllo **NEUTRO** vale 1, infine, da ognuno degli stati può tornare a quello iniziale quando riceve il segnale **RST** = 1.

Segnali della macchina I segnali utilizzati dalla macchina a stati sono i seguenti in ordine di presentazione:

| Segnali | D'ingresso | D'uscita |
|---------|----------------|-------------------|
| Esterni | RST | FINE_OPERAZIONE |
| | START | ERRORE_SENSORE |
| | PH_INIZIALE[8] | VALVOLA_ACIDO |
| | | VALVOLA_BASICIO |
| Interni | ERRORE | RESET |
| | NEUTRO | INIZIO_OPERAZIONE |
| | | TIPO_PH |
| | | STOP_OPERAZIONE |

Grafo delle transizioni (STG)

Replicando il comportamento sopra descritto, abbiamo quindi costruito il seguente grafo delle transizioni:

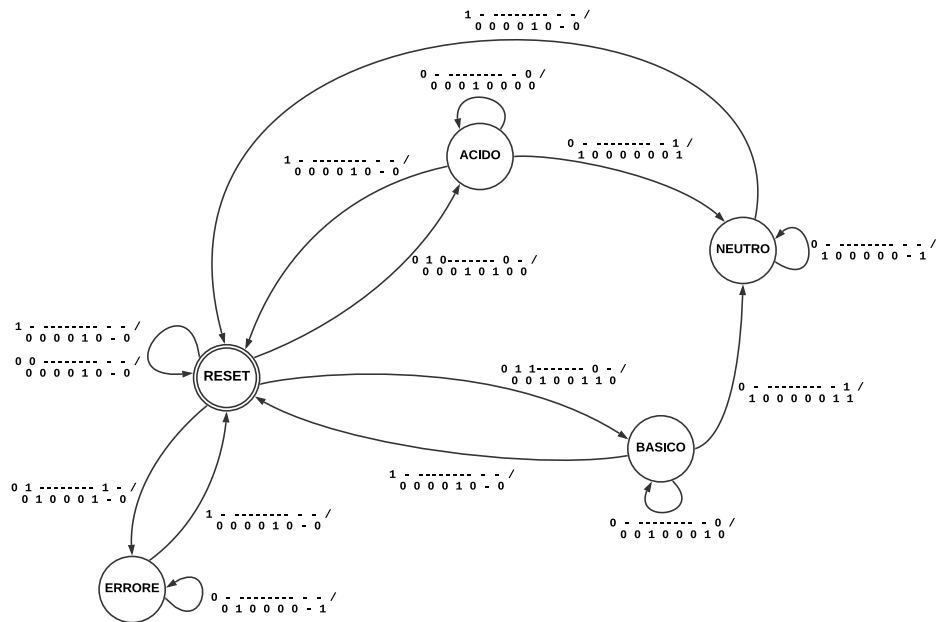


Figura 3: Macchina a stati

Transizione di esempio La transizione dallo stato *Reset* verso *Basico* avviene quando:

- il segnale RST equivale a 0;
- il segnale START equivale ad 1;
- il bit più significativo di PH_INIZIALE[8] vale 1;
- il segnale ERRORE equivale a 0.

Viene ignorato il segnale **NEUTRO** perché il circuito deve prima memorizzare il valore e solo in un ciclo successivo è in grado di rilevare la sua eventuale neutralità; infatti la macchina a stati non è in grado di raggiungere lo stato *Neutro* senza prima transitare per *Acido* o *Basico*.

Nel codice sorgente tale transizione viene descritta come:

```
011-----0- Reset Basico 00100110
```

Unità di elaborazione (Data path)

Abbiamo suddiviso l'unità di elaborazione in più sottoproblemi risolti da delle componenti specifiche:

1. *Contatore dei cicli*: memorizza ed incrementa il numero di cicli impiegati;
2. *Modificatore del pH*: aggiorna il valore del pH;
3. *Verificatore di neutralità*: determina se il valore del pH è interno a [7,00, 8,00];
4. *Verificatore di errore*: determina se il valore del pH è superiore a 14,0.

Conteggio dei cicli

Il contatore è composto da: un registro, tre multiplexer ed un sommatore ad 8 bit.

È un componente dedicato esclusivamente al calcolo dell'uscita **NCLK[8]**, mentre gli altri collaborano tra loro sia per determinare i segnali di controllo, che soprattutto per calcolare l'uscita **PH_FINALE[8]**.

Incrementa di 1 il valore memorizzato nel registro ad ogni ciclo ad eccezione dei casi in cui riceve il segnale **STOP = 1**. Invece, quando l'ingresso **RESET** equivale ad 1, indipendentemente dal valore dell'altro, azzerà il valore memorizzato nel registro.

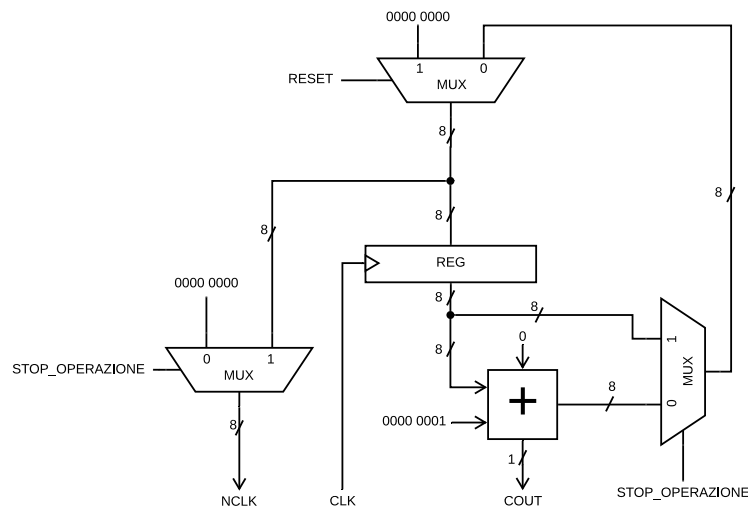


Figura 4: Contatore dei cicli

Modifica del pH

Il modificatore è composto da: un sommatore, un sottrattore ed un multiplexer ad 8 bit.

Modifica il valore dell'ingresso PH[8] in funzione del segnale TIPO_PH, cioè:

- nel caso in cui TIPO_PH equivale a 0 incrementa il pH di 0,50;
- nel caso in cui TIPO_PH equivale ad 1 decrementa il pH di 0,25.

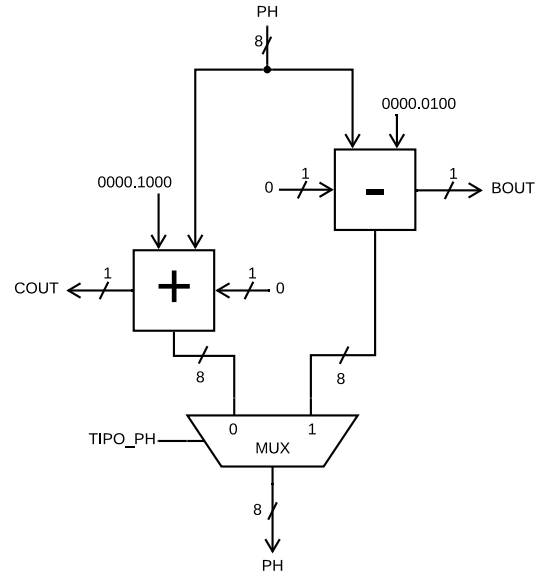


Figura 5: Modificatore del pH

Verifica della neutralità

Il componente è composto da: un maggiore ed un minore ad 8 bit ed una porta NOR.

Verifica il valore dell'ingresso PH_INIZIALE[8], cioè:

- se questo è incluso in [7,00, 8,00] allora restituisce 1, cioè *vero*;
- altrimenti restituisce 0 cioè *falso*.

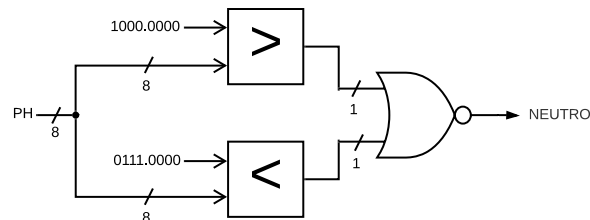


Figura 6: Verificatore di neutralità

Verifica degli errori

Il componente è composto da un maggiore ad 8 bit.

Verifica il valore dell'ingresso PH_INIZIALE[8], cioè:

- se questo è superiore a 14,0, allora restituisce 1, cioè *vero*;
- altrimenti restituisce 0 cioè *falso*.

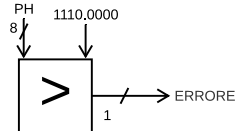


Figura 7: Verificatore di errore

Unità completa

È composta da: due registri, quattro multiplexer ad 8 bit, un modificatore, un verificatore di errore ed uno di neutralità.

Coordina gli altri componenti tramite registri e multiplexer aggiuntivi.

Corpo principale Quando sia il segnale INIZIO_OPERAZIONE che RESET valgono 0 il circuito continua ad elaborare il valore inserito precedentemente, al contrario:

- se RESET equivale ad 1, indipendentemente dagli altri ingressi, il circuito restituisce un byte azzerato;
- oppure, se INIZIO_OPERAZIONE vale 1 restituisce il segnale PH_INIZIALE[8];

Questo valore viene quindi analizzato tramite il *Verificatore di errore* per determinare se la codifica è accettabile, viene restituito se il segnale STOP_OPERAZIONE equivale ad 1 e viene finalmente memorizzato nel registro. Nel ciclo di clock successivo il circuito utilizza il *Modificatore del pH* per aggiornare il valore, e ancora:

- quando il valore del segnale di stato STOP_OPERAZIONE equivale a 0 restituisce il valore modificato;
- altrimenti se equivale ad 1 restituisce il valore memorizzato.

Infine usufruisce del *Verificatore di neutralità* per determinare se il valore è neutro ed indirizza il nuovo risultato all'interno dei multiplexer iniziali.

Il segnale di uscita PH_FINALE[8] non viene restituito finché il segnale STOP_OPERAZIONE non equivale ad 1: a quel punto il risultato diviene il valore restituito dai multiplexer iniziali.

Contatore Il circuito utilizza il *Contatore dei cicli* per riuscire a determinare quante operazioni ha impiegato per raggiungere il risultato. Il segnale di uscita NCLK[8] non viene restituito finché il segnale STOP_OPERAZIONE non diviene uguale ad 1.

Segnali dell'unità I segnali utilizzati dall'unità a stati sono i seguenti in ordine di presentazione:

| Segnali | D'ingresso | D'uscita |
|----------------|----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Esterni | PH_INIZIALE[8] | PH_FINALE[8] NCLK[8] |
| Interni | RESET INIZIO_OPERAZIONE TIPO_PH STOP_OPERAZIONE | ERRORE NEUTRO |

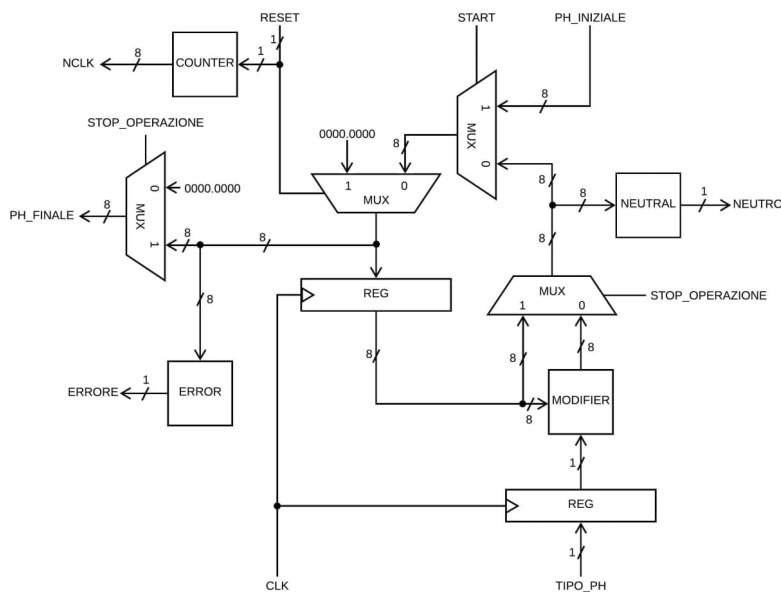


Figura 8: Unità di elaborazione

Sostituendo il contenuto dei componenti all'interno del corpo principale otteniamo il seguente circuito:

```
// Inserire data-path completo.
```