

AUTOMA A STATI FINITI

1. GENERALITA'

L'automa a stati finiti è un sistema digitale, con un numero finito di ingressi ed uscite digitali e con un numero finito di stati che, essendo numerabili, possono essere rappresentati con una variabile ancora digitale.

Ricordiamo che:

- a) L'informazione associata ad una grandezza elettrica digitale non è legata al valore della tensione ma a codici numerici binari costruiti con segnali elettrici del tipo ON/OFF
- b) L'ingresso costituisce una sollecitazione che il sistema subisce dall'ambiente esterno
- c) L'uscita costituisce la risposta che il sistema dà all'ambiente esterno quando è stato sollecitato da uno o più ingressi
- d) Lo stato è la condizione in cui si trova il sistema in un determinato istante e alla quale è pervenuto in seguito alla sequenza di sollecitazioni subite negli istanti precedenti: questo implica un effetto "memoria" dal quale non si può prescindere. Per un sistema, essere in uno stato piuttosto che in un altro vuol dire dare risposte diverse per lo stesso ingresso.

2. ESEMPI:

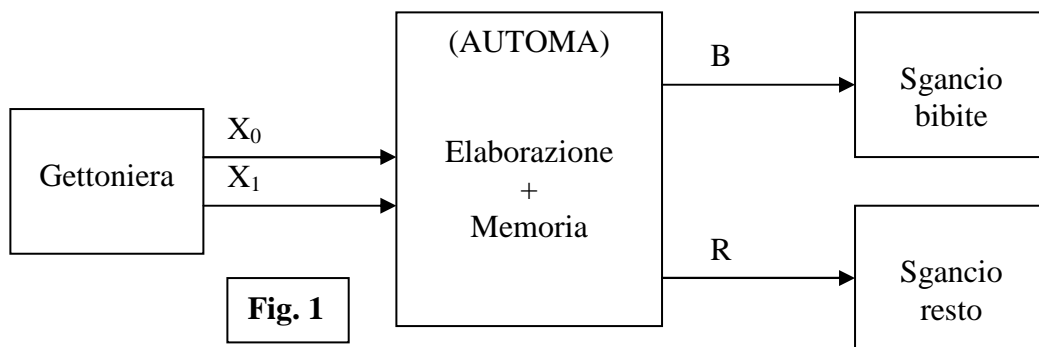
2a. Distributore di bibite

Costo della bibita: 40 €cent

Monete utilizzabili: 10 €cent , 20 €cent

Il sistema, oltre alla parte che gestisce l'automa, prevede:

- a) una gettoniera che generi un codice numerico binario per ognuna delle due monete e per la condizione di riposo (nessuna moneta)
- b) un dispositivo che, su comando dell'automa, sganci la bibita
- c) un dispositivo che, su comando dell'automa, sganci il resto



INGRESSI		
Monete	X ₁	X ₀
0 €cent	0	0
10 €cent	0	1
20 €cent	1	0

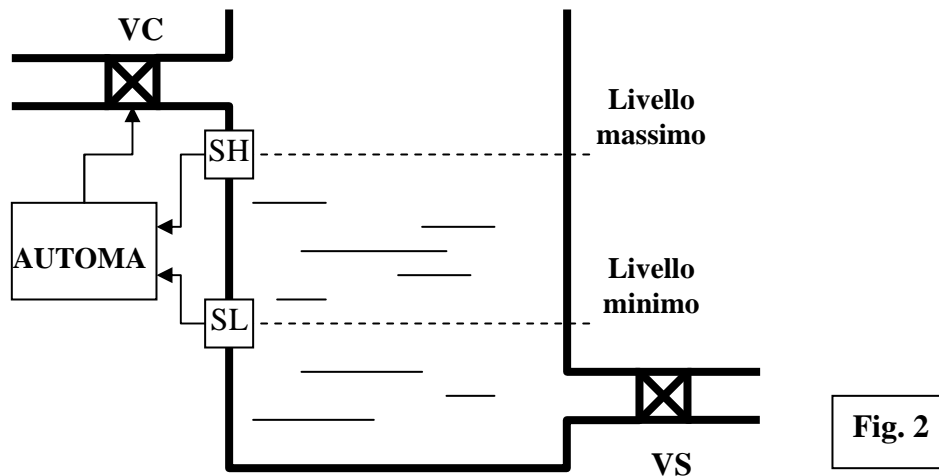
Si noti che per l'ingresso occorrono due bit, perché sono da codificare 3 condizioni diverse, e quindi due linee (X₁ e X₀). I comandi per lo sgancio, invece, richiedono un bit ciascuno perché ognuno di loro prevede solo due condizioni (sganciare o non sganciare): necessita quindi una sola linea per ogni comando (B e R).

USCITA BIBITA	
Condizione	B
no	0
sì	1

USCITA RESTO	
Condizione	R
0	0
10 €cent	1

In situazioni diverse, dove ci siano più tipi di monete oppure più tipi di bibite oppure più possibilità di resto, cresce il numero di condizioni da considerare e quindi cresce anche il numero di bit e con esso il numero di linee.

2b. Serbatoio



Il sistema è costituito da:

- un serbatoio d'acqua
- un sensore SH per segnalare il raggiungimento del livello massimo
- un sensore SL per segnalare il raggiungimento del livello minimo
- una elettrovalvola di carico VC
- una valvola di scarico VS
- un automa per la gestione delle operazioni secondo le modalità di seguito indicate

Funzionamento:

Fase di scarico: partendo dalla condizione di serbatoio pieno, la valvola di carico VC è chiusa, bloccando l'afflusso di acqua nel serbatoio, fino a quando il livello non scende al di sotto del valore minimo per effetto del deflusso ottenuto manovrando la valvola di scarico VS.

Fase di carico: quando il livello minimo è stato raggiunto, la valvola VC viene aperta e resta aperta fino a quando il serbatoio non si riempie raggiungendo il livello massimo, dopodiché si riparte con la fase di scarico.

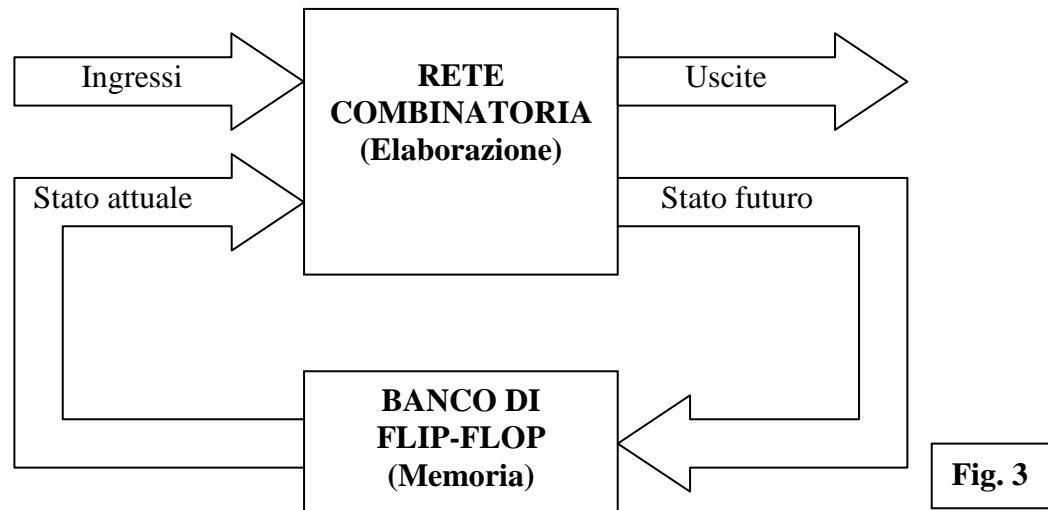
Nota: è abbastanza intuitivo che, per un buon funzionamento, la portata associata alla valvola di carico VC sia maggiore di quella associata alla valvola di scarico VS.

Osservazione

Quando il livello dell'acqua è compreso tra quello massimo e quello minimo, i sensori generano per l'automa lo stesso ingresso, sia durante la fase di carico che durante quella di scarico. E' importante quindi che il sistema di controllo (automa) abbia una memoria che gli ricordi in quale fase si trova, consentendogli di reagire con la giusta uscita (apertura o chiusura della valvola VC).

3. EVOLUZIONE NEL TEMPO DELLO STUDIO SUGLI AUTOMI

L'automata a stati finiti nasce in logica cablata con una soluzione rappresentata nella Fig. 3.



Con questa configurazione si riesce ad ottenere che l'uscita dipenda non solo dall'ingresso, ma anche dalla storia precedente memorizzata nei Flip-Flop. Infatti la rete combinatoria elabora, accanto agli ingressi veri e propri, i segnali provenienti dai Flip-Flop che introducono l'effetto memoria, per cui le uscite dell'automata restano condizionate anche dalle vicissitudini cui è stato soggetto il sistema. Si notino, accanto alle uscite vere e proprie, le uscite che provvedono ad aggiornare lo stato ad ogni evoluzione. Il tutto deve essere sincronizzato da un clock di sistema. Uno schema del genere richiede un iter progettuale alquanto complesso, rappresentato nella Fig. 4. Oltre alla complessità della procedura, c'è da considerare il fatto che l'uso delle mappe di Karnaugh limita il numero massimo di variabili utilizzabili per gli stati e gli ingressi. Inoltre il progetto, legato strettamente ad elementi circuitali, manca completamente di flessibilità. L'avvento dei microprocessori prima, dei microcontrollori poi, ha definitivamente mandato in pensione questo tipo di progetto, favorendo il passaggio alla logica programmata. La Fig. 5 illustra la trasformazione avutasi nell'iter progettuale, mostrando tre soluzioni diverse, alternative tra loro, che portano alla definizione del software. L'hardware è assolutamente standard, per cui si trova facilmente in commercio. Per completare il progetto occorre solo la scheda che dà potenza ai segnali di uscita e condiziona quelli di ingresso; ma tale scheda era necessaria anche nella logica cablata.

PROGETTO IN LOGICA CABLATA

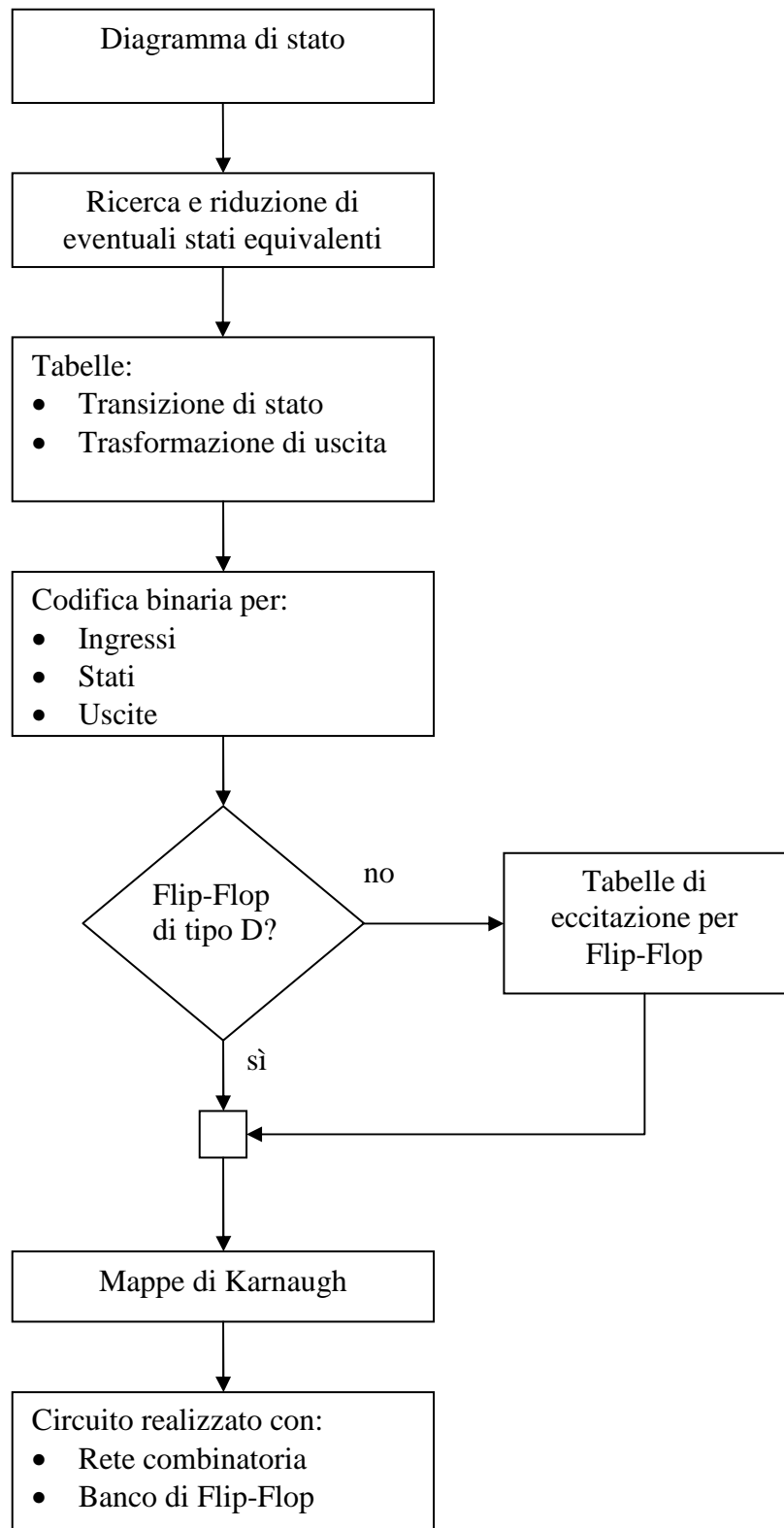


Fig. 4

PROGETTO IN LOGICA PROGRAMMATA

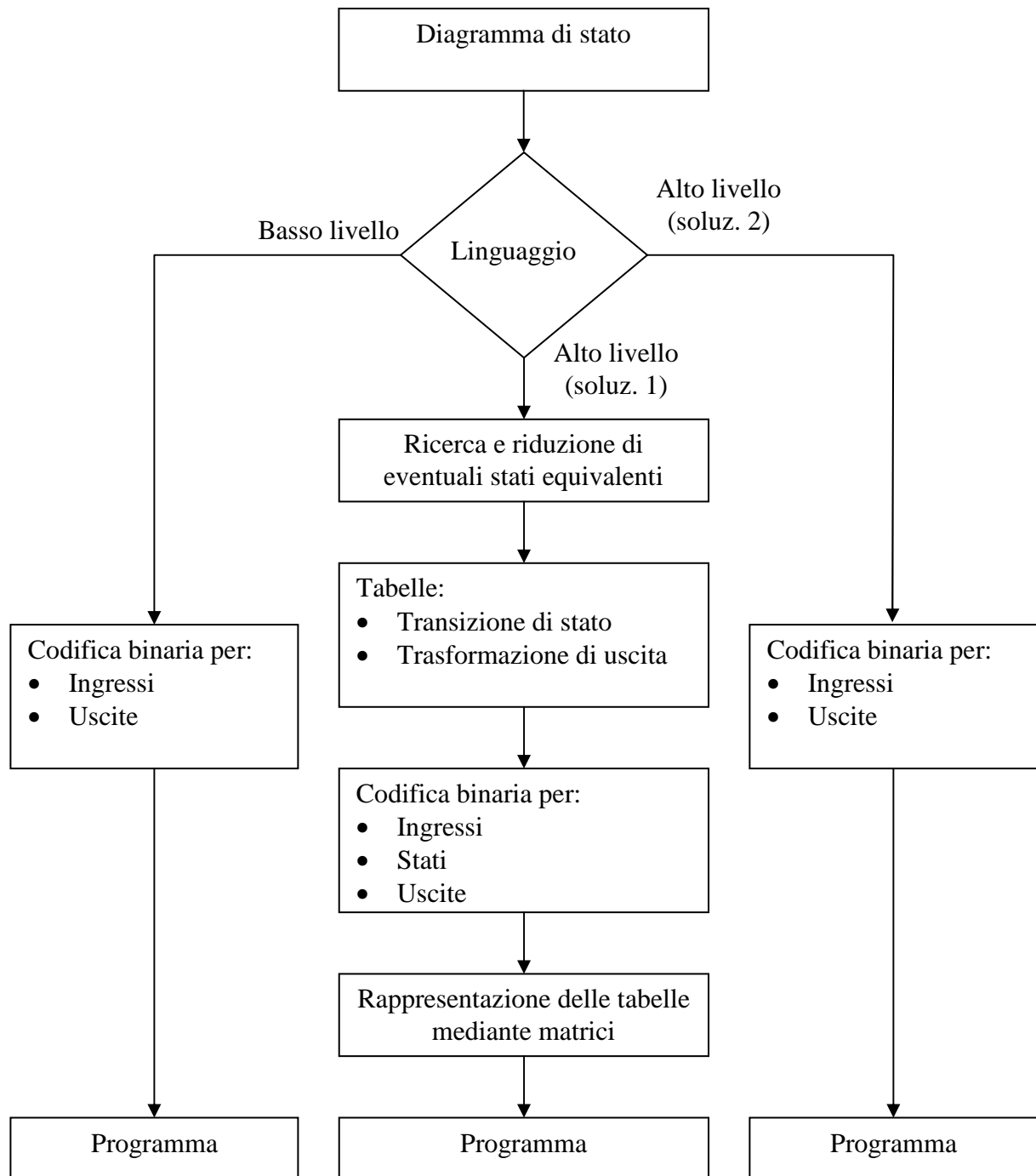


Fig. 5

La soluzione 2 per linguaggi di alto livello e quella per linguaggi di basso livello sono molto simili tra loro, a patto che si rinunci alla programmazione strutturata.

4. APPROFONDIMENTI

DISTRIBUTORE DI BIBITE

Riferiamoci al distributore menzionato nel paragrafo 2 e formalizziamo le variabili utilizzate.

Ingressi X_1 X_0 (binari): Nessuna moneta (00); Moneta da 10 €cent (01); Moneta da 20 €cent (10).

Totale: 2 linee di ingresso (2 bit).

Uscite (binarie): Comando per lo sgancio della bibita **B** (0/1); Comando per lo sgancio del resto **R** (0/1).

Totale: 2 linee di uscita (2 bit), una per il sottosistema di sgancio della bibita ed una per il sottosistema di sgancio del resto. Come per gli ingressi, è possibile fondere insieme le due uscite utilizzando una sola variabile a 2 bit. (Es.: **BR** = 00 né bibita né resto; 01 non ammesso; 10 solo bibita, 11 bibita + resto).

Stati: Gli stati corrispondono alla somma di volta in volta accumulata con l'introduzione delle monete. Risultano 5 stati: 0 €cent, 10 €cent, 20 €cent, 30 €cent. In questo caso non servono variabili ma una locazione di memoria

Diagramma degli stati

Per descrivere le evoluzioni nel tempo del sistema, ovvero come esso passi da uno stato all'altro quando viene sottoposto alle sollecitazioni degli ingressi esterni, vengono utilizzati i diagrammi di stato. La rappresentazione viene fatta utilizzando per ogni stato un cerchio (nodo) che porta indicato al proprio interno il nome dello stato (S_0, S_1, \dots oppure A, B, \dots), e collegando i vari nodi con degli archi orientati che indicano l'evoluzione da uno stato all'altro. Per completare i diagrammi, vengono aggiunte le indicazioni sugli ingressi che generano l'evoluzione da uno stato all'altro e sulle uscite corrispondenti a tale evoluzione.

Modello di Mealy:

in tale modello, nello stato terminale di una evoluzione non è possibile conoscere l'uscita se non si conosce contemporaneamente anche l'ingresso che ha portato l'automa in quello stato (*uno stesso stato* \rightarrow *possibilità di più uscite*). Per tale motivo, accanto agli archi orientati corrispondenti alle evoluzioni generate dagli ingressi, vengono indicati sia gli ingressi stessi che le uscite (separati da una barra).

Modello di Moore:

in tale modello, noto lo stato raggiunto, è nota l'uscita corrispondente (*uno stato* \rightarrow *una uscita*). Per tale motivo gli ingressi vengono indicati accanto agli archi orientati corrispondenti alle evoluzioni che essi generano, mentre l'uscita viene indicata accanto al nome dello stato, all'interno del cerchio rappresentativo dello stato stesso.

Per meglio comprendere la differenza tra modello di Mealy e modello di Moore, scegliamo di utilizzare inizialmente il primo tipo; successivamente, con qualche piccola modifica al diagramma ottenuto, passeremo all'altro tipo. Scopriremo che il modello di Moore, pur avendo di norma più stati, consente una semplificazione del software.

La Fig. 6 illustra una prima stesura del diagramma di stato (automa di Mealy); una seconda stesura si otterrà per passare al modello di Moore (Fig. 7); una terza ed ultima stesura (Fig. 8) si renderà necessaria per risolvere alcuni problemi legati all'implementazione fisica dell'automa.

Automa di Mealy

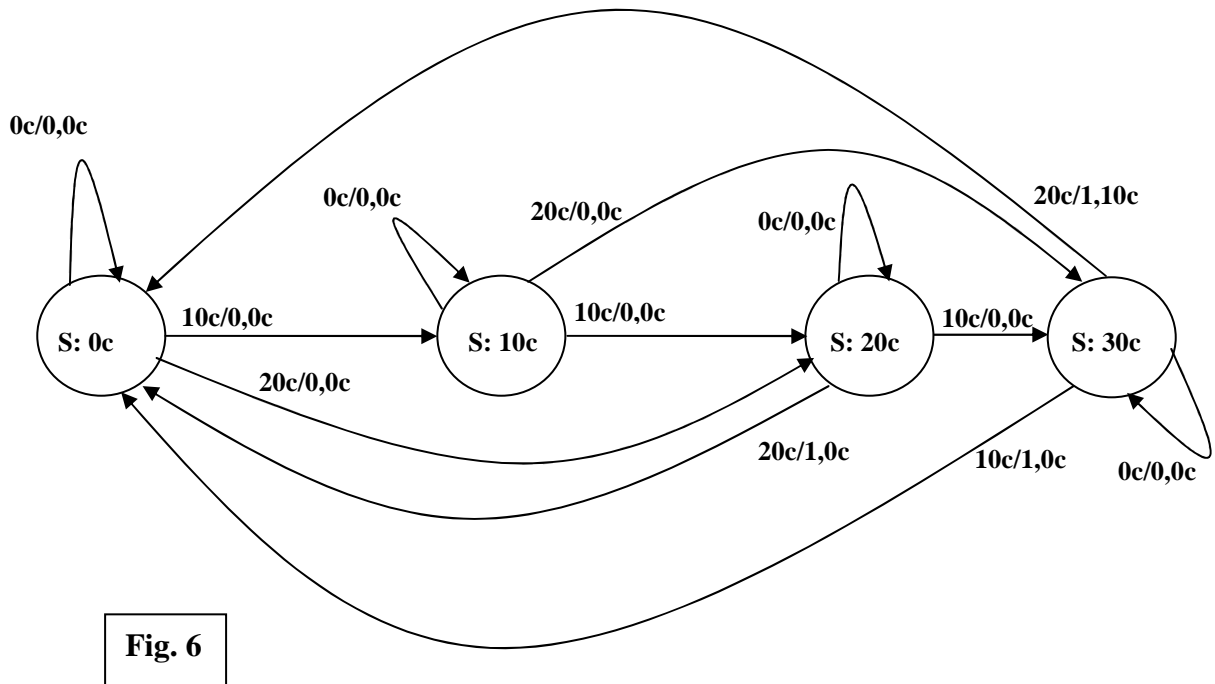


Fig. 6

Prima di procedere con la descrizione del diagramma di figura, occorre chiarire che lo schema rappresentato indica tutte le possibili situazioni che possono presentarsi nella realtà. Ad esempio, con una sequenza costituita da una moneta da 20c seguita da un'altra moneta da 20c, la macchina, partendo dallo stato di riposo "0c" passa prima allo stato "20c" e poi da questo salta allo stato di riposo "0c", dopo aver dato la bibita senza resto (Uscita "1/0c"). Ancora, con una sequenza costituita da una moneta da 20c seguita da un'altra da 10c e ancora da un'altra da 20c la macchina, partendo dallo stato di riposo "0c" passa prima allo stato "20c", poi allo stato "30c" e infine allo stato di riposo "0c", dando la bibita con un resto di 10c (Uscita "1/10c"). E così via. Ovviamente, se non viene raggiunto o superato il valore della bibita, l'automa resta in uno stato intermedio con le uscite bloccate a "0/0c".

- a) Lo stato "0c" è lo stato di riposo; quello cioè in cui si trova la macchina quando è in attesa di un nuovo ciclo per l'acquisto della bibita. L'uscita è "0/0c" perché non devono essere dati né la bibita né il resto. Con 10c si passa allo stato "10c", mentre se la moneta introdotta è da 20c si passa allo stato "20c". Quando l'ingresso è "0c" (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato. Da notare che i nomi degli stati rappresentano anche l'ammontare di moneta introdotta. Per tutti gli ingressi fin qui citati non devono essere dati né la bibita né il resto, non avendo raggiunto una somma pari al valore della bibita (Uscita 0/0c).
- b) Quando la macchina è nello stato "10c" l'introduzione di una moneta da 10c la porta nello stato "20c", già visto; se la moneta, invece, è da 20c la macchina va nello stato "30c". Ancora una volta, non essendo stato raggiunto il valore della bibita, la macchina non deve dare niente in uscita (Uscita 0/0). Quando l'ingresso è "0c" (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato.
- c) Nello stato "20c" l'introduzione di una moneta da 10c fa passare la macchina nello stato "30c", senza alcuna conseguenza sull'uscita, mentre l'introduzione di una moneta da 20c la fa tornare nello stato "0c". In quest'ultimo caso, avendo raggiunto il valore della bibita, la

stessa viene sganciata senza alcun resto (Uscita “1/0c”). Quando l’ingresso è “0c” (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato.

d) Nello stato “30c” l’introduzione di una moneta o da 10c o da 20c fa tornare la macchina nello stato di riposo “0c”: nel primo caso viene raggiunto esattamente il valore della bibita, per cui viene sganciata la stessa senza resto (Uscita 1/0c); nel secondo caso, invece, viene superato il valore della bibita, per cui vengono sganciati bibita e resto da 10c (Uscita 1/10c). Quando l’ingresso è “0c” (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato.

Tabelle di transizione di stato e di trasformazione di uscita

Tali tabelle hanno entrambe come indicatori di riga lo stato attuale e come indicatore di colonna l’ingresso. Al loro interno riportano, rispettivamente, lo stato futuro e l’uscita.

		INGRESSO		
		0c	10c	20c
STATO ATTUALE	0c	0c	10c	20c
	10c	10c	20c	30c
	20c	20c	30c	0c
	30c	30c	0c	0c

		INGRESSO		
		0c	10c	20c
STATO ATTUALE	0c	0,0c	0,0c	0,0c
	10c	0,0c	0,0c	0,0c
	20c	0,0c	0,0c	1,0c
	30c	0,0c	1,0c	1,10c

Tab. a) - Transizione di stato

Tab. b) - Trasformazione di uscita

Nella Tab. a) è possibile conoscere lo stato futuro incrociando stato attuale ed ingresso. Analoga cosa vale per la Tab. b), con riferimento all’uscita.

Come si può controllare anche dal diagramma degli stati, quando, ad esempio, se lo stato attuale è “30c” e viene introdotta una moneta da 10c, la macchina si porta nello stato di riposo “0c” (stato futuro) e dà come uscita “1/0c” (bibita senza resto).

Queste tabelle sono fondamentali per il progetto dell’automa in logica cablata, mentre in logica programmata possono essere utilizzate o meno, a seconda della soluzione scelta.

Automa di Moore

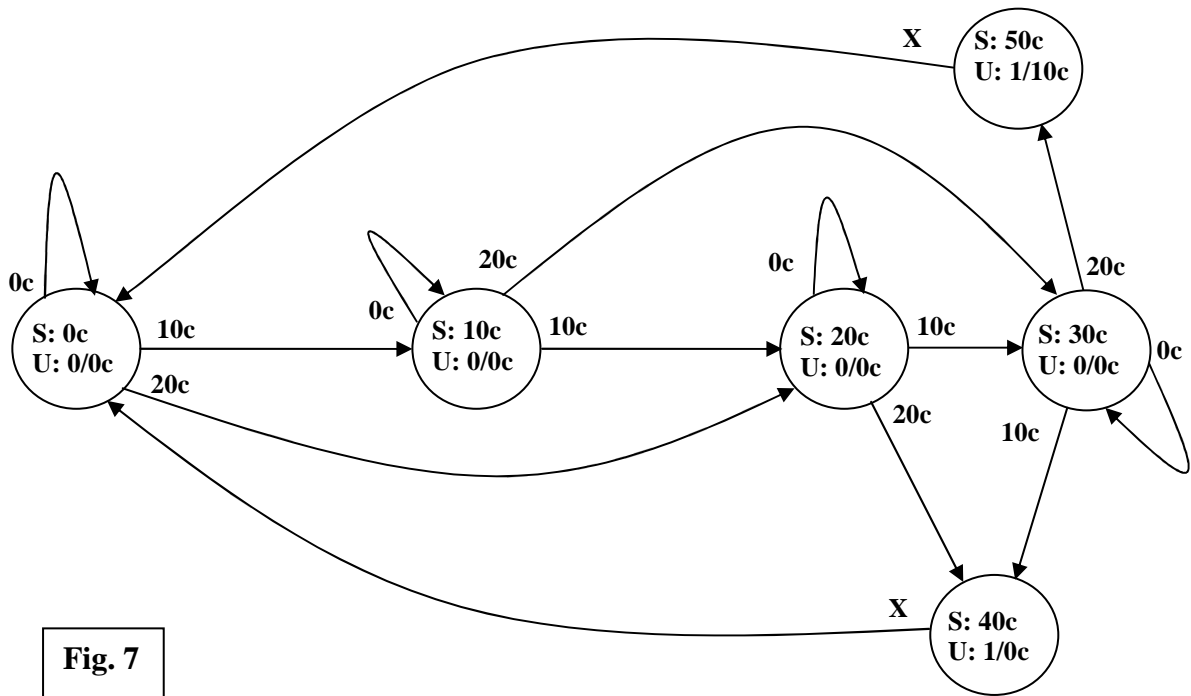


Fig. 7

Rispetto all'automa di Mealy, l'uscita è legata solo allo stato cui fa riferimento, per cui essa viene direttamente indicata nel cerchietto rappresentativo dello stato stesso. Per garantire questa condizione per tutti gli stati, è stato necessario aggiungere qualche stato in più. La situazione cambia nel modo seguente:

- Lo stato "0c" è lo stato di riposo; quello cioè in cui si trova la macchina quando è in attesa di un nuovo ciclo per l'acquisto della bibita. L'uscita è "0/0c" perché non devono essere dati né la bibita né il resto. Con 10c si passa allo stato "10c", mentre se la moneta introdotta è da 20c si passa allo stato "20c". Quando l'ingresso è "0c" (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato. Per tutti gli stati fin qui citati non devono essere dati né la bibita né il resto, non avendo raggiunto una somma pari al valore della bibita (Uscita 0/0c).
- Quando la macchina è nello stato "10c" l'introduzione di una moneta da 10c la porta nello stato "20c", già visto; se la moneta, invece, è da 20c la macchina va nello stato "30c". Ancora una volta, non essendo stato raggiunto il valore della bibita, la macchina non deve dare niente in uscita (Uscita 0/0c). Quando l'ingresso è "0c" (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato.
- Nello stato "20c" l'introduzione di una moneta da 10c fa passare la macchina nello stato "30c", mentre l'introduzione di una moneta da 20c la fa passare nello stato "40c". In quest'ultimo caso, avendo raggiunto il valore della bibita, la stessa viene sganciata senza alcun resto (Uscita "1/0c"). Quando l'ingresso è "0c" (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato.
- Nello stato "30c" l'introduzione di una moneta da 10c fa passare la macchina nello stato "40c", mentre l'introduzione di una moneta da 20c la fa passare nello stato "50c". In entrambi i casi viene quindi raggiunto o superato il valore della bibita: nel primo caso viene sganciata la sola bibita (Uscita 1/0c); nel secondo vengono sganciati bibita e resto da 10c (Uscita 1/10c). Quando l'ingresso è "0c" (nessuna moneta introdotta), la macchina rimane sullo stesso stato.

- e) Gli stati “40c” e “50c” sono di chiusura per il ciclo di acquisizione della bibita. Nel primo viene rilasciata solo la bibita, nel secondo la bibita e il resto di 10c. In entrambi i casi, essendosi chiuso il ciclo per l’acquisizione del prodotto, il sistema si riporta nello stato di riposo. Si noti che gli ingressi 10c e 20c non avranno mai la possibilità di presentarsi in questi due stati finali, perché il ritorno a zero dei segnali provenienti dalla gettoniera, dopo il passaggio dell’ultima moneta (Ingresso “0c”), avrà già resettato la macchina portandola nello Stato “0c”. In ultima analisi, nei due stati finali, gli ingressi 10c e 20c rappresentano condizioni di indifferenza (don’t care) e questo giustifica la X sulle evoluzioni finali che portano allo stato di riposo.

Tabelle di transizione di stato e di trasformazione di uscita

In questo caso, trattandosi di un automa di Moore per il quale l’uscita è legata solo allo stato, la tabella di trasformazione di uscita non ha l’ingresso come indicatore di colonna (tabella ad una sola dimensione).

		INGRESSO		
		0c	10c	20c
STATO ATTUALE	0c	0c	10c	20c
	10c	10c	20c	30c
	20c	20c	30c	40c
	30c	30c	40c	50c
	40c	0c	0c	0c
	50c	0c	0c	0c

Tab. c) Transizione di stato

STATO FUTURO	USCITA
0c	0/0c
10c	0/0c
20c	0/0c
30c	0/0c
40c	1/0c
50c	1/10c

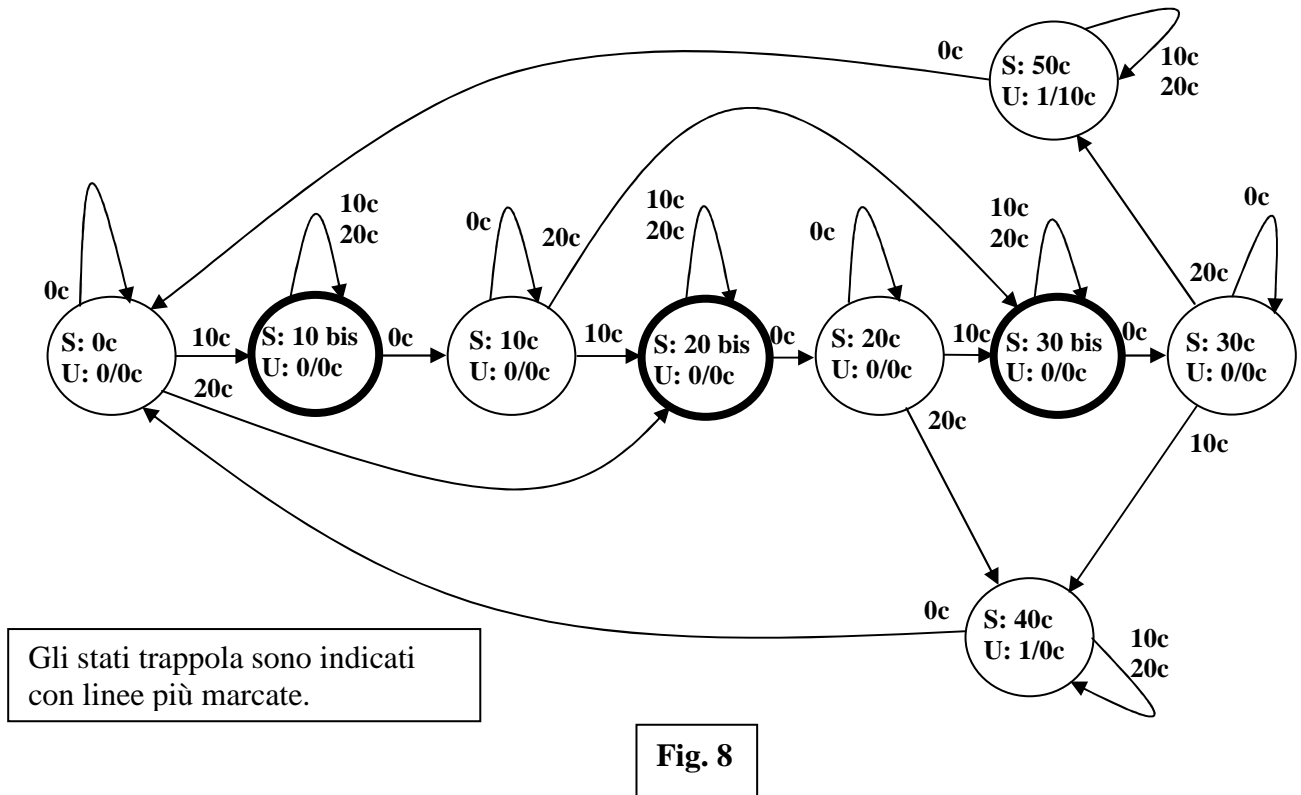
Tab. d) Trasformazione di uscita

Come si può controllare anche dal diagramma degli stati, quando, ad esempio, lo stato attuale è “30c” e viene introdotta una moneta da 10c, la macchina si porta nello stato “40c” (stato futuro) e dà come uscita “1/0c” (bibita senza resto).



Per concludere, occorre ribadire che se si vuole rendere esecutivo il progetto bisogna curare attentamente l’interfaccia con l’hardware, per cui può essere necessario in certi casi apportare qualche correttivo al diagramma degli stati, che non ne cambia la struttura logica ma semplicemente corregge certe situazioni prodotte dalla suddetta necessità di interfacciare l’hardware.

E’ questo il caso degli “*Stati trappola*”. L’aggiunta di questi stati al diagramma si rende necessaria quando accade che un ingresso che porta in uno stato fa anche uscire da quello stato. Il più delle volte succede che il ciclo di acquisizione del microprocessore legga l’ingresso migliaia di volte per lo stesso stato, innescando una deriva che porta il sistema ad evolvere velocemente da uno stato all’altro, come impazzito. Il problema si risolve inserendo tra due stati un terzo stato che blocchi l’evoluzione tra i primi due finché l’ingresso non si è di nuovo azzerato: questo è il motivo per cui tale stato aggiunto è stato qui definito “trappola”. La Fig. 8 riporta il diagramma di stato del distributore di bibite modificato a questo scopo.



Con riferimento alla Fig. 8, si veda ad esempio quello che succede nello stato “20c” con un ingresso 10c: il sistema si porta nello stato “30 bis” e lì rimane bloccato finché l’ingresso non si azzerà; azzeratosi l’ingresso, l’automa evolve verso lo stato “30c”. Si noti che i due stati di chiusura “40c” e “50c” non sono preceduti da stati trappola perché essi stessi fungono da trappola; bisogna solo stare attenti a sganciare bibita e/o resto una sola volta.

Le nuove tabelle di transizione di stato e di trasformazione di uscita diventano:

		INGRESSO		
		0c	10c	20c
STATO ATTUALE	0	0	10b	20b
	10b	10	10b	10b
	10	10	20b	30b
	20b	20	20b	20b
	20	20	30b	40
	30b	30	30b	30b
	30	30	40	50
	40	0	40	40
	50	0	50	50

STATO FUTURO	USCITA
0	0/0c
10b	0/0c
10	0/0c
20b	0/0c
20	0/0c
30b	0/0c
30	0/0c
40	1/0c
50	1/10c

SERBATOIO

Un modo semplice per illustrare il comportamento del sistema di controllo è quello di utilizzare un diagramma di stato come quello rappresentato nella Fig. 9.

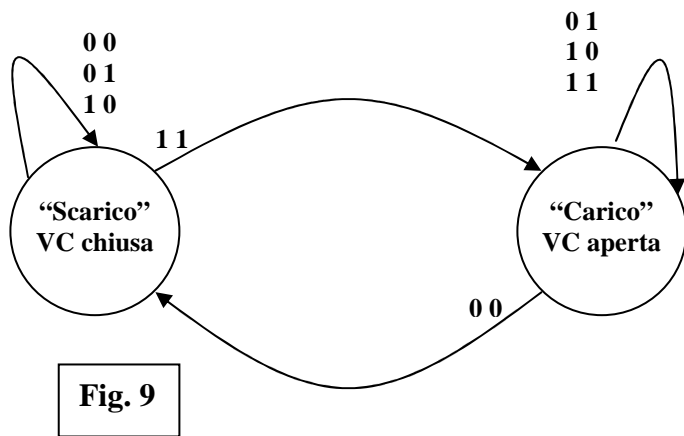


Fig. 9

INGRESSI		
SH	SL	
0	0	Livello massimo
0	1	Impossibile
1	0	Livello intermedio
1	1	Livello minimo

Note:
 I due sensori danno un segnale logico alto quando sono all'asciutto.
 In questo caso non occorrono "stati trappola", perché per uscire da ogni stato l'ingresso deve necessariamente cambiare.

Tabelle di transizione di stato e di trasformazione di uscita

		INGRESSO			
		00	01	10	11
Stato attuale	Scarico	Scarico	Scarico	Scarico	Carico
	Carico	Scarico	Carico	Carico	Carico