

SISTEMI

Definizione di sistema

Un sistema è un insieme di parti, anche di natura diversa, che interagiscono tra di loro in modo tale da costituire una nuova entità, e concorrono al raggiungimento di uno scopo.

La definizione è sicuramente generale, ma non per questo generica: **Un sistema è un insieme di parti...** queste parole hanno un preciso significato operativo, infatti dicono che, nello studio di un sistema, è possibile e conveniente scomporre lo stesso in una serie di sottoinsiemi, che risulteranno sicuramente più semplici; ... **che interagiscono tra di loro, in modo tale da costituire una nuova entità** si sottolinea il fatto che le singole parti non vivono separatamente all'interno del sistema, bensì sono fortemente correlate le une con le altre; ... **e concorrono al raggiungimento di uno scopo** e queste parti, cooperando tra loro, sono in grado di svolgere delle azioni finalizzate al raggiungimento di un obiettivo.

Rappresentazione di un sistema

Per riuscire a rappresentare non soltanto un unico sistema, ma un'intera categoria di sistemi risulta essenziale quindi considerare i seguenti aspetti:

- funzione svolta dal sistema, scopo funzionale;
- insieme degli elementi che costituiscono il sistema;
- interazioni che il sistema ha con il mondo esterno;
- relazioni esistenti tra i vari elementi costitutivi del sistema (citati precedentemente).

Notizie storiche

Nella storia, il concetto di sistema è stato utilizzato in vari modi, questo per il fatto che quando veniva analizzata una situazione reale per una determinata disciplina, ci si limitava soltanto a porre l'attenzione sugli aspetti del fenomeno su cui ci interessava indagare, lasciandone quindi inosservati certi altri. In questo modo sono sorte teorie specifiche come quelle del sistema nervoso, dei sistemi meccanici, dei sistemi economici e molti altri. Negli ultimi tempi, si è cercato di evitare tutto ciò, cercando di dare una coordinazione a tutte le teorie utilizzate, in modo tale da studiare le situazioni reali nelle varie discipline ed evidenziando i rapporti presenti tra i fattori coinvolti e come essi si trasformano, ponendo maggiore attenzione all'organizzazione ed al funzionamento piuttosto che alla natura del meccanismo da analizzare. Ciò è stato realizzato per mezzo della **teoria dei sistemi**.

Esempi

Un esempio di sistema è l'automobile che può essere considerata tale, in quanto aggregato di entità fisiche, quali componenti meccanici ed elettrici, in relazione tra loro, che cooperano per il raggiungimento di uno scopo funzionale.

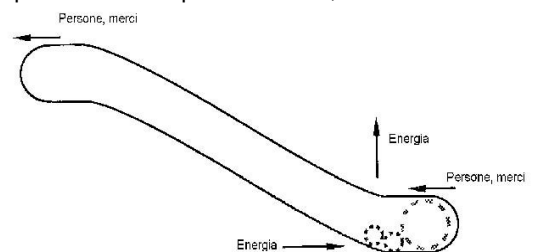
Viene considerata come altro esempio di sistema l'algebra dei polinomi, anch'essa insieme di entità concettuali correlate tra loro da insiemi di regole.

Un terzo esempio di sistema è il corpo umano, costituito da una serie di componenti, (in questo caso organi), anch'essi in relazione tra loro per arrivare ad uno stesso scopo funzionale.

Applicazioni

Un'applicazione di sistema è la scala mobile in cui:

- la funzione svolta dal sistema è quella di trasportare oggetti e persone da un piano all'altro;
- è composto da motore, dispositivi di trasmissione di moto e dal nastro costituito dagli scalini;
- riceve in ingresso l'energia elettrica e le persone che salgono sugli scalini; in uscita cede energia e persone trasportate;
- gli organi che la compongono sono connessi tra loro in modo da garantire la corretta trasmissione del moto.



Proprietà di un sistema

Ogni sistema è caratterizzato da **proprietà** che possono essere:

- **permanenti**: quando rappresentano proprietà intrinseche del sistema e di solito immutabili nel tempo. La grandezza che le descrive è detta **parametro** (proprietà statica). Esempi di parametri possono essere: le dimensioni di un ascensore, la sua portata massima, il numero di piani serviti.
- **condizionate**: quando cambiano nel tempo in relazione alle azioni scambiate con gli altri elementi del sistema o con il mondo esterno. La grandezza che le descrive è detta **variabile** (proprietà dinamica). Esempi di variabili possono essere: il numero del piano chiesto salendo in ascensore, il valore della moneta inserita in un distributore di bevande, la durata di un segnale inviato ad un dispositivo.

Le variabili si distinguono in **variabili indipendenti** e **dipendenti**.

Le **relazioni** poi legano tra loro parametri e variabili.

In un sistema composto da una barra metallica alla quale viene fornito calore, il valore assunto dalla variabile "lunghezza" dipende dal parametro "coefficiente di dilatazione lineare" e dalla variabile "temperatura" che a sua volta dipende dalla "quantità di calore fornita".

Le relazioni non sempre sono immediatamente individuabili ed esprimibili mediante funzioni matematiche.

Per esempio, se analizziamo il sistema libro di testo, può sfuggire il fatto che l'indice rappresenta una relazione esistente tra l'insieme degli argomenti e l'insieme dei numeri di pagina. In questa relazione la variabile indipendente è un argomento e quella dipendente il numero di pagina ad esso associato: poiché più argomenti possono trovarsi sulla stessa pagina, la relazione risulta di tipo n a 1 .

Se esaminiamo invece l'indice analitico, ci accorgiamo che esso rappresenta una relazione di tipo m a n , poiché ad un singolo argomento possono essere associate più pagine del libro.

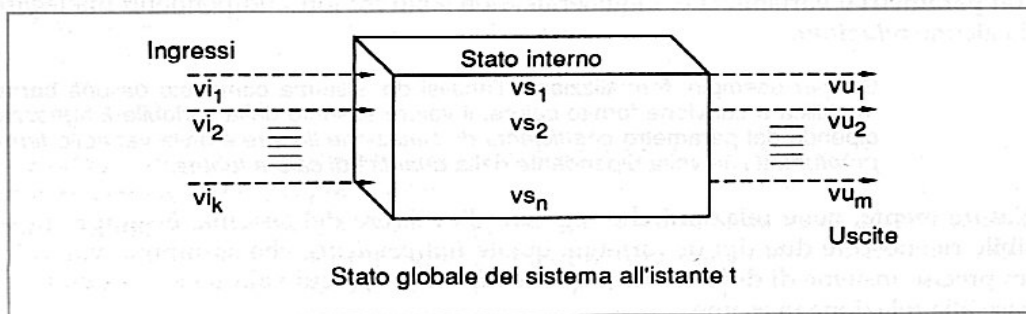
Infine, se consideriamo solo i titoli di capitolo, la relazione diviene 1 a 1 , poiché ad ogni capitolo corrisponde una e una sola pagina iniziale, e viceversa.

Lo stato di un sistema

Lo **stato globale di un sistema** viene definito come l'insieme dei valori, in un istante, di tutte quelle quantità (parametri e variabili) che caratterizzano gli elementi importanti del sistema stesso e le interrelazioni di quest'ultimo con l'ambiente esterno.

Le variabili di stato, si dividono in:

- ⇒ **S** : *variabili di stato interno* (vs_1, vs_2, \dots, vs_n);
- ⇒ **I** : *variabili di ingresso* (vi_1, vi_2, \dots, vi_k);
- ⇒ **U** : *variabili di uscita* (vu_1, vu_2, \dots, vu_m).



Classificazione dei sistemi

Si usa classificare i sistemi in base a natura e comportamento.

Rispetto alla **natura** possiamo distinguere:

- **sistemi naturali:** sono quelli che esistono in natura. Per esempio il sistema solare, un albero ecc.
- **sistemi artificiali:** sono creati dall'uomo per soddisfare certe sue esigenze, oppure sono il frutto di collegamenti logici stabiliti dall'uomo tra fenomeni che apparentemente hanno una loro evoluzione autonoma al fine di interpretare situazioni più complesse; al primo tipo appartengono tutti gli oggetti, apparecchiature, macchine; insomma ciò che viene prodotto dall'uomo per soddisfare esigenze particolari; al secondo invece appartengono intuizioni del tipo sistema economico, ecosistema, ecc.
- **sistemi misti:** sono ottenuti combinando cose che già esistono in natura con altre organizzate ad hoc. Ad esempio, la serra in cui ci sono le piante che già esistono in natura e i capannoni costruiti dall'uomo per creare particolari condizioni ambientali.

- **sistemi concreti:** sono quelli che hanno caratteristiche del mondo reale, che hanno grandezze misurabili. Per esempio il sistema solare, un'automobile ecc.
- **sistemi astratti:** sono quelli che sono descritti attraverso variabili astratte governate da leggi matematiche. Ad esempio un sistema di equazioni.

Rispetto al **comportamento** si possono distinguere:

- **sistemi aperti:** sono quei sistemi che scambiano qualcosa con l'ambiente, dove con ambiente si intende tutto ciò che non fa parte del sistema; ad esempio un qualunque elettrodomestico che ha bisogno dell'energia elettrica per funzionare oppure un distributore di merendine che ricevono in ingresso le monete ed erogano la merendina richiesta.
- **sistema chiuso:** non scambia niente con l'ambiente. A una prima analisi potremmo definire un sistema chiuso un'autovettura, oppure una radiolina a batterie. In realtà la radiolina diffonde suono e l'automobile disperde gas di scarico; questo fa capire che di fatto non esistono sistemi assolutamente chiusi. Anche qui però, per illustrare meglio il concetto di soggettività delle scelte, notiamo che se l'interesse dello studio di una radiolina portatile è rivolto al problema dell'alimentazione, è lecito considerare la radiolina come sistema chiuso. In ogni caso si può affermare che in un sistema chiuso l'intervento dell'ambiente esterno è secondario rispetto allo scopo per cui si studia il sistema.

- **sistema deterministico:** è quel sistema il cui comportamento è inequivocabilmente noto, una volta definita la sollecitazione alla quale lo si sottopone. Per esempio, con riferimento al caso della lampada, sappiamo tutti che posizionando l'interruttore su "on" si accende la lampadina. Quindi un sistema è deterministico se è possibile determinare esattamente la sequenza delle uscite, conoscendo la sequenza degli ingressi e lo stato di partenza del sistema stesso.
- **sistema stocastico o casuale:** è quel sistema per il quale non è individuabile una corrispondenza univoca tra sollecitazione e comportamento. Questo accade in genere o per la presenza di disturbi o per l'eccessiva complessità del sistema. Basti pensare alle previsioni meteorologiche, alla roulette o al lancio di un dado. Spesso si desidera che il sistema sia il più possibile aleatorio (ad esempio le estrazioni di una lotteria).

- **sistema continuo:** è un sistema la cui condizione in un certo istante di tempo è comunque diversa da quella nell'istante precedente, per quanto piccolo possa essere l'intervallo che separa questi due istanti. Nei sistemi continui le grandezze variano con continuità, non ci sono salti tra due valori. Un esempio di sistema continuo può essere un'autovettura che viaggia su una strada; se la condizione di questa macchina è definita dallo spazio percorso fino ad un certo istante di tempo, possiamo dire che esso varia con continuità. La temperatura di un locale riscaldato aumenterà o diminuirà con cambiamenti graduali e continui.
Si può anche dire che un sistema è continuo se gli insiemi di definizione delle sue variabili, cioè i valori che esse assumono, possono essere messi in corrispondenza biunivoca con l'insieme dei numeri reali.
- **sistema discreto:** è quello che può trovarsi solo in un numero finito di condizioni, ben diverse l'una dall'altra, che rimangono stabili per un certo intervallo di tempo, fintantoché non arriva un'altra sollecitazione. Un esempio di sistema discreto è la lampada la quale può trovarsi in una e solo una delle due condizioni consentite: accesa o spenta. Il sistema costituito da una stanza nella quale entrano ed escono persone è discreto in quanto il numero di persone diminuisce o aumenta di una unità alla volta.
Si può anche dire che un sistema è discreto se l'insieme di definizione di almeno una delle sue variabili, cioè i valori che essa assume, può essere messo in corrispondenza biunivoca con l'insieme dei numeri interi.

- **sistemi statici:** sono quelli la cui condizione rimane almeno apparentemente invariata nel tempo. Ad esempio, rispetto a eventuali spostamenti, i continenti costituiscono un sistema statico, su intervalli di tempo dell'ordine di grandezza della durata di una vita umana.
Tutte le variabili si mantengono costanti nel tempo.
- **sistemi dinamici:** sono quelli la cui condizione varia percettibilmente nel tempo. Tenuto conto che esiste la deriva dei continenti dobbiamo riconoscere che probabilmente non esistono sistemi statici. In questo caso la soggettività della scelta di considerare i continenti statici o dinamici dipende dalla scala dei tempi adottata nel nostro studio.
Almeno una delle sue variabili assume valori diversi nel tempo.

- **sistemi stazionari o invariati nel tempo:** sono quei sistemi in cui la risposta alle diverse sollecitazioni non varia nel tempo, nel senso che ad una certa sollecitazione il sistema risponde sempre nello stesso modo, a prescindere dall'istante di tempo in cui tale sollecitazione è applicata. Nei sistemi invariati i parametri sono effettivamente costanti o si possono assumere costanti, in questo caso mantiene invariante anche il proprio comportamento. Come esempio ripensiamo ancora al sistema lampada. I sistemi invariati non deteriorano le proprie prestazioni col passare del tempo.
- **sistemi varianti nel tempo:** sono quei sistemi in cui la risposta alle diverse sollecitazioni varia nel tempo, nel senso che ad una certa sollecitazione il sistema risponde in modo diverso a seconda dell'istante di tempo in cui tale sollecitazione è applicata. In questi sistemi i parametri, che rappresentano le proprietà intrinseche del sistema cambiano nel tempo anziché rimanere costanti, per questo varia anche il comportamento del sistema. Come esempio pensiamo ad esempio ad un pistone che si muove in un cilindro pieno d'olio; esso può essere visto come variante nel tempo, in quanto la perdita di fluidità dell'olio e l'usura del pistone stesso ne modificano il comportamento. I sistemi varianti quindi sono quelli che deteriorano le proprie prestazioni col passare del tempo.

- **sistema combinatorio o senza memoria:** è un sistema il cui comportamento in risposta ad una certa sollecitazione non dipende dalla condizione del sistema stesso al momento della sollecitazione, ma solo dall'ultimo ingresso fornitogli. Ad esempio la serratura di una cassaforte si apre o non si apre solo in funzione della combinazione data e non in base a quante volte si è già aperta.
- **sistema sequenziale o con memoria:** è un sistema il cui comportamento in risposta ad una particolare sollecitazione è determinato dalla condizione (stato interno) in cui si trova al momento stesso della sollecitazione. In questo caso la risposta del sistema dipende sia dall'ultimo ingresso fornitogli che dallo stato interno del sistema e quindi dalla storia di tutti gli ingressi forniti fino a quel momento. Un distributore di bibite rilascerà la lattina a seconda della somma inserita fino a quel momento.

Sistemi dinamici

A questa categoria può essere ricondotto l'esame di un numero molto elevato di sistemi reali.

Definizione (basata sul concetto di stato)

Chiamiamo **sistema dinamico deterministico** un ente individuato da:

- Un insieme ordinato **T** di tempi.
- Un insieme **I** di tutte le variabili d'ingressi.
- Un insieme **VI** di tutte le possibili k-uple ordinate degli ingressi (combinazione dei possibili valori attribuiti a ciascuna variabile d'ingresso).
- Un insieme **U** di tutte le variabili d'uscita.
- Un insieme **VU** di tutte le possibili m-uple ordinate delle uscite (combinazioni dei possibili valori attribuiti a ciascuna variabile d'uscita).
- Un insieme **S** di tutti i valori degli stati.
- Una funzione **f** di **transizione** che consente di determinare il valore dello **stato successivo** in funzione dello stato attuale e degli ingressi. La funzione di transizione **f** rappresenta in qualche modo la velocità con cui il sistema evolve da uno stato a quello successivo ed è un indice della dinamicità del sistema.
- Una funzione **g** di **trasformazione** che consente di determinare il valore delle **uscite** in funzione dello stato attuale e degli ingressi.

L'unità di tempo deve essere calibrata tenendo conto del problema in esame.

Comportamento di un sistema dinamico

L'evoluzione nel tempo di un sistema reale avviene attraverso scambi di energia, sia con il mondo esterno, sia tra gli elementi che lo compongono.

- *Le variabili di ingresso* rappresentano la capacità del sistema di acquisire energia dall'esterno.
- *Le variabile di stato* rappresentano la capacità del sistema di accumulare energia al suo interno.
- *Le variabile di uscita* rappresentano la capacità del sistema di cedere energia all'esterno.

Sistemi dinamici deterministici discreti

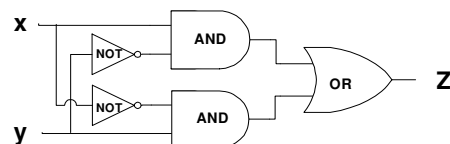
Sono descritti da **variabili discrete**, cioè che possono assumere solo alcuni valori in un intervallo. Di particolare importanza nell'elettronica sono i **sistemi discreti digitali**, cioè i sistemi in cui le variabili possono assumere solo due valori (0 e 1 oppure tensione 0 e 14 volt).

Possono essere di due tipi secondo la classificazione precedentemente esposta:

combinatori (o senza memoria): un sistema combinatorio può essere rappresentato da una **tabella** in cui vengono rappresentate le possibili configurazioni degli ingressi e in corrispondenza le configurazioni delle uscite. Un esempio di sistema combinatorio è la ALU (Unità Aritmetico Logica) che si trova nella CPU.

x	y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabella



circuito logico

sequenziali (o con memoria): questi sistemi sono detti **automi** se l'insieme degli ingressi e delle uscite sono finiti. Se anche l'insieme degli stati è finito si dicono **automi a stati finiti**.

Automati

La teoria degli automi (o *teoria degli automi finiti* o *teoria delle macchine a stati finiti* o *teoria delle macchine sequenziali*), è uno dei più importanti settori della *teoria generale dei sistemi*. Sorta verso il 1950 essa ebbe subito un grande sviluppo.

Normalmente il termine automa è associato all'altro ancor più generale di macchina e sta ad indicare un congegno che «imita i movimenti e le funzioni di un corpo animato». In sostanza il concetto di automa è quello di *una macchina capace di svolgere in maniera automatica, una volta sollecitata in modo opportuno, delle operazioni particolari più o meno complesse che portano a un preciso risultato*.

Come si vede l'automa non è altro che un particolare sistema e per esso possono essere usate tutte le rappresentazioni simboliche e formali definite per un generico sistema.

In particolare un **automa a stati finiti** è un sistema dinamico, deterministico, discreto e invariante in cui gli insiemi degli ingressi, delle uscite e degli stati sono finiti. Viene individuato da:

- Un insieme **I** di tutte le variabili d'ingresso.
- Un insieme **VI** di tutte le possibili k-uple ordinate degli ingressi (combinazione dei possibili valori attribuiti a ciascuna variabile d'ingresso).
- Un insieme **U** di tutte le variabili d'uscita.
- Un insieme **VU** di tutte le possibili m-uple ordinate delle uscite (combinazioni dei possibili valori attribuiti a ciascuna variabile d'uscita).
- Un insieme **S** di tutti i valori degli stati.
- Una funzione **f** di **transizione** che consente di determinare il valore dello **stato successivo** in funzione dello stato attuale e degli ingressi. La funzione di transizione **f** rappresenta in qualche modo la velocità con cui il sistema evolve da uno stato a quello successivo ed è un indice della dinamicità del sistema.

$$s_{t+1} = f(s_t, i_t)$$

- Una funzione **g** di **trasformazione** che consente di determinare il valore delle **uscite** in funzione dello stato attuale e degli ingressi o solo dello stato attuale.

$$u_t = g(s_t, i_t) \quad (\text{automa di Mealy}) \quad \text{oppure} \quad u_t = g(s_t) \quad (\text{automa di Moore})$$

dove u_t , s_t e i_t sono rispettivamente l'uscita, lo stato e l'ingresso nell'istante t .

Esistono due modi per rappresentare le funzioni **f** (funzione di transizione) e **g** (funzione di trasformazione):

- **Tabelle di transizione**
- **Grafi (o diagrammi) di transizione**

Le tabelle di transizione descrivono in forma tabellare la funzione di transizione (**tabella degli stati**) e la funzione di trasformazione (**tabella delle uscite**).

La tabella degli stati è costituita da tante righe quanti sono gli stati e da tante colonne quanti sono gli ingressi; in *ogni casella* viene definito lo **stato successivo** in cui si troverà il sistema partendo dallo stato e dall'ingresso che individuano la casella stessa.

La tabella delle uscite è costruita allo stesso modo e *ogni casella* contiene il valore dell'**uscita** corrispondente allo stato e all'ingresso che individuano la casella. Nel caso degli automi propri la tabella ha un'unica colonna e riporta per ogni stato l'uscita corrispondente.

Il grafo di transizione o **diagramma degli stati** è un grafo in cui ogni *nodo* rappresenta uno **stato** del sistema; ad ogni *arco* (orientato) tra due nodi è associato l'**ingresso** che fa passare da uno stato all'altro e l'**uscita** corrispondente. Negli automi di Moore, in cui l'uscita dipende solo dallo stato, le uscite possono essere rappresentate, invece che sugli archi, all'interno dei nodi, in corrispondenza degli stati che le determinano.

Esempi di automa

Un ascensore serve una casa a due piani accettando la richiesta del piano dove si vuole andare (Terra, 1, 2) e dando in uscita lo spostamento dell'ascensore (Su, Giù, Fermo).



Descrizione:

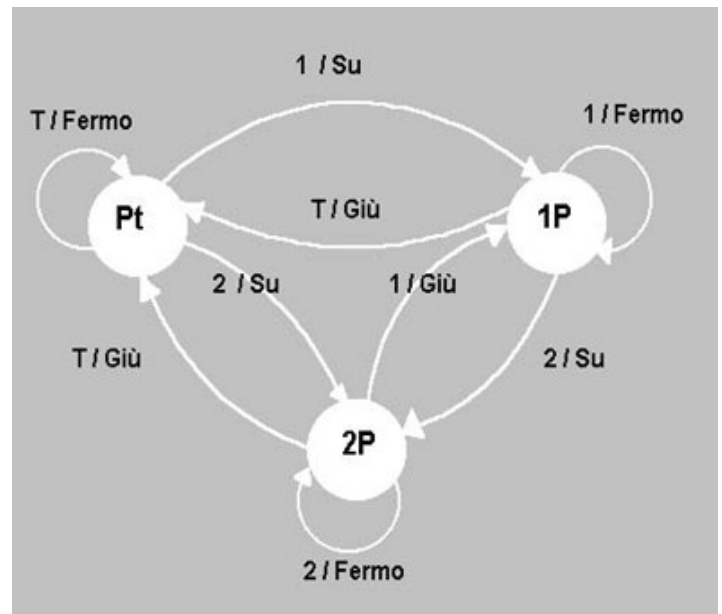
- L'automata è dinamico, discreto, invariante (con l'insieme degli ingressi, delle uscite e degli stati finiti).
- Insieme degli ingressi $I = \{ \text{Pulsantiera} \}$ $VI = \{ T, 1, 2 \}$ T=terra, 1 =p.terra, 2 =p.secondo
- Insieme delle uscite $U = \{ \text{Movimento} \}$ $VU = \{ \text{Su, Giù, Fermo} \}$ Spostamenti dell'ascensore.
- Insieme degli stati $S = \{ Pt, 1P, 2P \}$ Pt = p. terra, 1P = p. primo, 2P = p. secondo

Tabella degli stati

ingressi stati \	T	1	2
Pt	Pt	1P	2P
1P	Pt	1P	2P
2P	Pt	1P	2P

Tabella delle uscite

ingressi stati \	T	1	2
Pt	fermo	Su	Su
1P	Giù	fermo	Su
2P	Giù	Giù	fermo



Grafo di transizione

AUTOMA SOMMATORE DI CIFRE BINARIE

Si vuole realizzare un automa capace di effettuare l'addizione tra due cifre binarie, considerando anche l'eventuale riporto.

L'ingresso è dato in ogni istante dalle due cifre binarie da sommare.

Lo stato indica se c'è riporto (1) o no (0).

L'uscita indica il risultato della somma (0 o 1).

Tabella degli stati

Ingressi	00	01	10	11
Stati				
0	0	0	0	1
1	0	1	1	1

Tabella delle uscite

Ingressi	00	01	10	11
Stati				
0	0	1	1	0
1	1	0	0	1

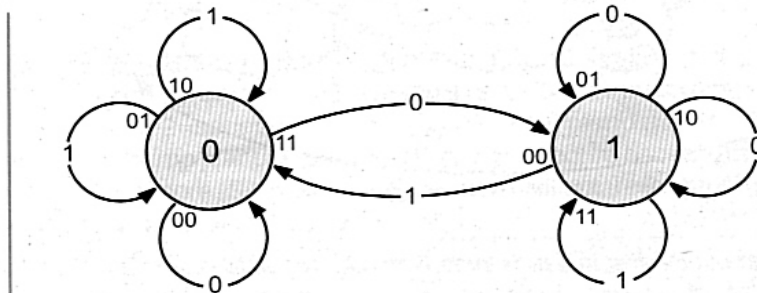


Figura 24.1 Diagramma degli stati dell'automata sommatore di cifre binarie