

1. TEORIA DEI SISTEMI

La **teoria generale dei sistemi** è una disciplina che si occupa di fornire un **metodo rigoroso** di analisi e di sintesi di **una situazione reale** attraverso lo studio del **comportamento dei diversi fenomeni** che si verificano in tale situazione.

1° DEFINIZIONE DI “SISTEMA”: si definisce **sistema** un insieme più o meno complesso di componenti che interagiscono tra loro per raggiungere un determinato obiettivo.

Spesso quando osserviamo dei fenomeni reali molto complessi utilizziamo il concetto di sistema per evidenziare che il comportamento di un fenomeno può essere spiegato solo osservando quello delle varie parti che lo compongono e delle correlazioni tra di essi.

A) Secondo la teoria generale dei sistemi, un **sistema** può essere definito tale quando conosciamo:

1. gli **obiettivi** da raggiungere;
2. le **parti** che lo compongono;
3. le **interazioni** con il mondo esterno;
4. le **relazioni** che descrivono i rapporti che esistono tra i vari componenti.

Esempio: se consideriamo il corpo umano come sistema abbiamo tutti gli elementi sopracitati presenti:

- l'**obiettivo** è la *sopravvivenza* dell'uomo;
- le **parti** sono i vari *apparati* (circolatorio, respiratorio, etc.);
- le **interazioni** con il mondo esterno sono ad esempio *la respirazione* e *la sudorazione*;
- le **relazioni** consistono nella *sincronizzazione* delle attività dei vari apparati che permettono di raggiungere l'obiettivo.

In un sistema molto complesso è possibile individuare altri sistemi che fanno parte di quello più complesso: **i sottosistemi**.

Ogni **sottosistema** considerato singolarmente è **a sua volta un sistema** nel senso che è contraddistinto dalle caratteristiche fin qui mostrate, anche se ovviamente il suo ruolo fondamentale è quello di concorrere al raggiungimento dell'obiettivo del sistema complesso del quale fa parte.

Esempio: sempre per il sistema corpo umano come sottosistema possiamo considerare *l'apparato cardio-circolatorio* per il quale è possibile individuare tutti gli elementi caratterizzanti un sistema, ma che fondamentalmente concorre alla sopravvivenza umana ossia al raggiungimento dell'obiettivo del sistema complessivo.

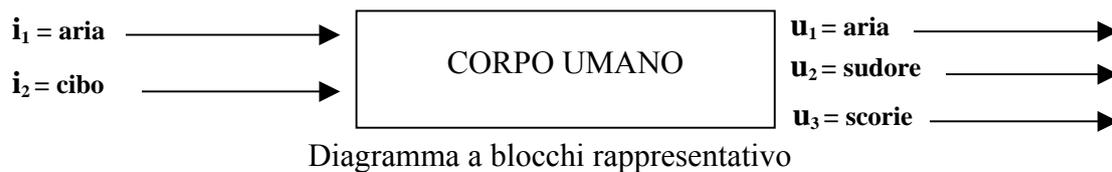
B) Secondo la teoria generale dei sistemi, un **sistema** è caratterizzato dalle seguenti **grandezze**:

- le **n variabili di ingresso I** (che definiscono gli input provenienti dall'esterno dal sistema);
- le **m variabili di uscita U** (che definiscono gli output forniti all'esterno dal sistema);
- le **k variabili di stato S** (che definiscono la configurazione interna del sistema)



Diagramma a blocchi rappresentativo

Esempio: Rappresentiamo il diagramma a blocchi del sistema *corpo umano*



C) Secondo la teoria generale dei sistemi, ogni **sistema** è caratterizzato da **proprietà intrinseche o caratteristiche** che permettono di valutarne il comportamento.

Una **caratteristica** si dice **permanente** e viene descritta da una grandezza detta **parametro o costante** e rappresenta una proprietà intrinseca del sistema immutabile nel tempo rispetto alle interazioni con l'esterno o con altri elementi del sistema.

Una **caratteristica** si dice **condizionata** e viene descritta da una grandezza detta **variabile** e rappresenta una proprietà intrinseca del sistema che cambia nel tempo rispetto alle interazioni con l'esterno o con altri elementi del sistema.

Esempio: Sempre nel sistema *corpo umano* il *peso* o la *pressione sanguigna* o la *temperatura corporea* sono caratteristiche condizionate perché variano nel tempo, mentre il *gruppo sanguigno* è una caratteristica permanente per ch  resta immutabile nel tempo.

D) Secondo la teoria generale dei sistemi

- per **stato globale di un sistema** si intende l'insieme dei valori in un determinato istante di tutte le quantità (parametri e variabili) che caratterizzano un sistema **compresi gli ingressi e le uscite** (quindi considerando le interazioni con l'esterno);
- per **stato interno di un sistema** si intende lo stato globale del sistema **escludendo gli ingressi e le uscite** (quindi senza considerare le interazioni con l'esterno). Esso è rappresentato attraverso **le variabili di stato S** che possono essere numerose ed esprimibili con s_1, s_2, \dots, s_k . (lo stato interno è paragonabile alla **memoria** del sistema).



Esempio: Sempre nel sistema *corpo umano* lo stato interno può essere composto dalle sue caratteristiche fisiche come il volume o la pressione sanguigna

E) Secondo la teoria generale dei sistemi l'insieme dei tempi

$$\mathbf{T} = \{t_0, t_1, t_2, t_3, \dots\}$$

composto da determinati istanti in cui si valuta un sistema e le sue interazioni con il mondo esterno prende il nome di **insieme ordinato dei tempi**.

Esso risulta **ordinato in senso crescente** perché presi due elementi qualsiasi di questo insieme potremo sempre dire quale viene prima e quale viene dopo in senso temporale e potremo sempre stabilire un istante iniziale (indicato con t_0) ossia il momento in cui si inizia ad osservare un sistema ed un istante generico di osservazione (indicato con t_k)

F) **Evoluzione dello stato interno**: le variabili dello stato interno evolvono nel tempo.

Indicheremo tale caratteristica usando la notazione

$$s(t_i)$$

per indicare lo stato interno all'istante generico t_i ed

$$s(t_0)$$

per indicare lo stato interno all'istante iniziale t_0 (**stato iniziale**)

La relazione o legge o funzione $f(\)$ che ci consente di calcolare quale valore assumerà lo stato interno al generico istante t_i in funzione dello stato iniziale prende il nome di **funzione di transizione dello stato** e si indica con

$$s(t_i) = f(s(t_0), \mathbf{i}_n(t)_{[t_0, t_i]})$$

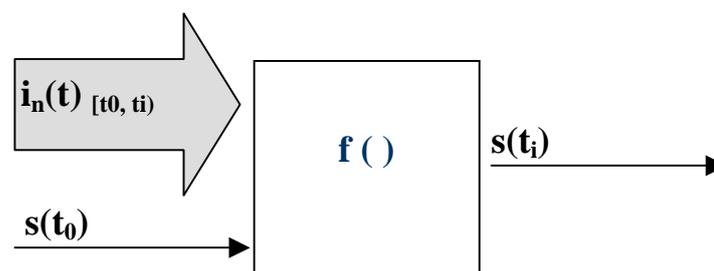
dove:

$s(t_i)$ rappresenta il valore dello stato interno all'istante generico t_i

$s(t_0)$ rappresenta il valore dello stato interno all'istante iniziale t_0

$\mathbf{i}_n(t)_{[t_0, t_i]}$ rappresenta l'insieme dei valori assunti dalle n **variabili in ingresso** o **ingressi** nell'intervallo di tempo $[t_0, t_i]$ (escluso l'istante t_i)

Schematizziamo con un diagramma a blocchi il funzionamento della funzione di transizione avremo:



G) **Evoluzione delle uscite**:

La relazione o legge o funzione $g(\)$ che ci consente di calcolare quale valore assumeranno le m **variabili in uscita** o **uscite** al generico istante t_i conoscendo il valore dello stato e degli ingressi allo stesso istante prende il nome di **funzione di trasformazione delle uscite**

$$\mathbf{u}_m(t_i) = g(s(t_i), \mathbf{i}_n(t_i))$$

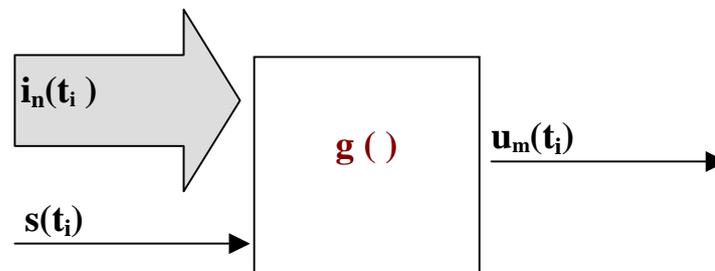
dove:

$s(t_i)$ rappresenta il valore dello stato interno all'istante generico t_i

$u_m(t_i)$ rappresenta il valore delle uscite all'istante generico t_i

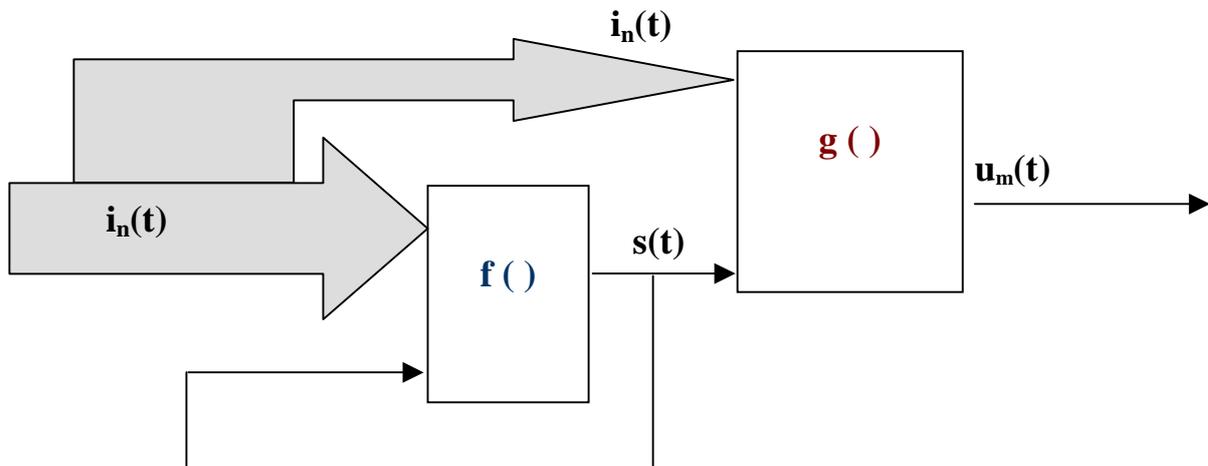
$i_n(t_i)$ rappresenta l'insieme dei valori assunti dalle n **variabili in ingresso** o **ingressi** all'istante t_i

Schematizziamo con un diagramma a blocchi il funzionamento della funzione di trasformazione delle uscite avremo:



N.B. Grazie a quanto definito finora è possibile pensare di scindere l'intero sistema in due parti: nella prima parte la funzione $f()$, in base allo stato iniziale ed agli ingressi, valuta lo stato e nella seconda la funzione $g()$, in base allo stato ed agli ingressi, calcola le uscite.

Per ogni istante generico t accade che



2° DEFINIZIONE DI SISTEMA: Un sistema è una **sestupla**

$$\text{Sistema} = \{T, I, U, S, f(), g()\}$$

dove:

T è l'insieme ordinato dei **tempi**;

I è l'insieme delle n **variabili d'ingresso**;

U è l'insieme delle m **variabili d'uscita**;

S è l'insieme delle k **variabili di stato**;

$f()$ è la **funzione di transizione** dello stato;

$g()$ è la **funzione di trasformazione** delle uscite

H) **Classificazione dei sistemi:** esistono diversi tipi di sistema. Noi ne elenchiamo 4:

- **sistema discreto o continuo:** un sistema si dice discreto o continuo se tutte le variabili che descrivono la sua configurazione (ossia il suo stato), le funzioni di trasformazione e le funzioni di transizione sono di natura *discreta* o *continua*.
(Ricordiamo che una variabile si dice **continua** quando scelti due possibili valori diversi tra loro del suo dominio di esistenza D , la variabile può assumere tutti gli infiniti valori compresi tra questi due estremi. Una variabile si dice **discreta** quando può assumere solo un numero finito di valori)

Esempio: Sempre nel sistema corpo umano la variabile peso è continua. La variabile numero di denti è discreta.

Un **insieme di variabili** è **discreto** quando ogni elemento dell'insieme ossia ciascuna variabile è discreta; è **continuo** quando anche un solo elemento ossia una sola variabile è continua.

Una **funzione** è **discreta** quando il suo **codominio** è un **insieme discreto**; è **continua** quando il suo **codominio** è **continuo**.

Esempio: La funzione $f(x) = 2x$ è continua, mentre la funzione segno(x) che per ogni x è + oppure - è discreta.

- **sistema dinamico o statico:** un sistema si dice **dinamico** quando la sua configurazione (ossia l'insieme delle variabili che descrivono il suo stato) varia nel tempo; è **statico** in caso contrario.
- **sistema deterministico o stocastico:** un sistema si dice **deterministico** quando le funzioni di transizione e di trasformazione permettono la determinazione del valore dello stato e delle uscite in modo *univoco*; è **stocastico** quando almeno una delle due funzioni è regolata da legami di natura probabilistica.

Esempio: la luminosità della stanza (misurata in lumen) alle ore 10 di ogni giorno è un sistema stocastico.

- **sistema combinatorio o sequenziale:** un sistema si dice **combinatorio** quando le uscite in un certo istante dipendono solo dai valori presenti agli ingressi nel medesimo istante; è **sequenziale** quando le uscite dipendono, oltre che dagli ingressi in quell'istante, anche dai valori assunti in precedenza dagli ingressi.

Esempio: E' un sistema combinatorio un dispositivo che esegue le 4 operazioni matematiche. Si digitano i due numeri ed il dispositivo ne calcola somma, differenza, prodotto e quoziente. L'uscita del dispositivo dipende esclusivamente dagli ingressi e dalla funzione scelta.

E' un sistema sequenziale un distributore di bibite dove le uscite a seguito dell'inserimento di una moneta dipendono dalle monete inserite precedentemente.

G) Rappresentazione dei sistemi: i modelli.

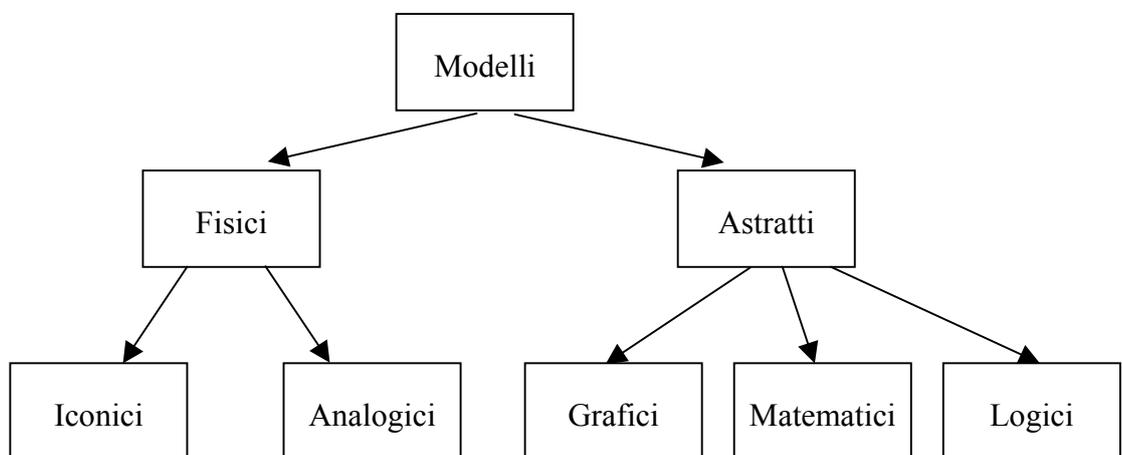
Spesso a causa della complessità del sistema da analizzare, si sostituisce il sistema reale con una sua rappresentazione integrale detta **modello** che mette in evidenza solo gli elementi che si ritengono utili allo scopo dell'analisi.

Quindi dato un sistema reale ed un problema da risolvere su di esso (studiare il sistema per un determinato aspetto) definiamo **modello** (relativo al problema in esame), la rappresentazione semplificata del sistema che evidenzia tutti gli elementi utili alla risoluzione del problema. Essa ci deve permettere di eseguire tutte le prove sul modello senza intervenire fisicamente sul sistema.

I modelli di un sistema si dividono in **fisici** ed **astratti**:

- i modelli **fisici o reali** sono i modelli la cui struttura è costituita da elementi del mondo fisico;

- i modelli **astratti o simbolici** sono i modelli che consentono di rappresentare le caratteristiche della realtà analizzata, servendosi di un linguaggio simbolico (ad esempio il linguaggio matematico, il linguaggio grafico, il linguaggio di programmazione, etc.).



modelli iconici: esempio il plastico di un edificio in scala ridotta o al modellino di un'automobile (sono riproduzioni di sistemi in cui una o più grandezze originali sono state modificate proporzionalmente al fine di semplificarne lo studio).

modelli analogici: sono riproduzioni di sistemi originali in cui vengono mantenute le relazioni tra gli elementi del sistema, ma le grandezze fisiche in gioco vengono sostituite in parte, o totalmente, con altre di comportamento analogo.

(un esempio classico di modello analogico è il barometro a mercurio in cui la grandezza reale pressione atmosferica viene rappresentata dall'altezza raggiunta dalla colonnina di mercurio. Quindi la grandezza *pressione atmosferica* e la grandezza *lunghezza* sono di natura diversa, ma le leggi che le regolano sono analoghe).

modelli grafici: rappresentano su carta, con particolari simbologie, il sistema in oggetto (diagrammi a blocchi ed i grafi di transizione).

modelli matematici: sono quei modelli in cui il sistema viene rappresentato dalle leggi matematiche che lo regolano (**insiemistica**, **algebra** ed **analisi funzionale**).

modelli logici: sono quell'insieme di regole logico-funzionali che, se eseguite, permettono di emulare integralmente il sistema originale (sono anche detti **algoritmici**. In questa classe di sistemi rientrano le simulazioni di sistemi reali tramite linguaggi di programmazione).

GLI AUTOMI

Costituiscono una **sottoclasse** dei sistemi.

Un **automa** è un sistema quindi **Automa** = { **T, I, U, S, f(), g()** } con le seguenti caratteristiche:

- è **dinamico**, cioè evolve nel tempo;
- è **discreto nell'avanzamento e nelle interazioni**, cioè l'insieme T è discreto e le funzioni di trasformazione e di transizione sono discrete.

L'automa funziona accettando simboli in ingresso, emettendo simboli in uscita e producendo un cambiamento di stato.

Se l'insieme dei simboli come dati di ingresso I, l'insieme dei simboli come dati di uscita U e l'insieme degli stati possibili S sono insiemi finiti, l'automa è detto **automa a stati finiti**.

!!! IL COMPUTER E' UN AUTOMA A STATI FINITI infatti: !!!

- è un **sistema** composto da più apparati che interagiscono tra loro per un determinato obiettivo (risolvere un problema all'utente);
- è **dinamico** in quanto è un sistema che evolve nel tempo;
- possiede una memoria interna che rappresenta **lo stato del sistema**;
- all'arrivo di ingressi esterni **transita** da uno stato al successivo;
- il numero di stati è **finito** a causa della limitatezza della memoria interna;
- è **discreto nell'avanzamento e nelle interazioni** essendo il suo funzionamento legato al clock della macchina;
- **l'insieme I ed U** sono necessariamente **finiti** essendo finite le possibili codifiche dai dati in ingresso ed in uscita.

Rappresentazione degli automi a stati finiti

Un automa a stati finiti si può rappresentare utilizzando due modelli (astratti) grafici:

1. le **tabelle** di transizione;
2. i **diagrammi** di transizione.

1) Tabelle di transizione

Se un automa ha **K stati** (s_1, s_2, \dots, s_k) ed **N possibili simboli in ingresso** (x_1, x_2, \dots, x_n), la tabella di transizione è una **matrice** di dimensioni **K x N** in cui ogni riga corrisponde ad uno stato ed ogni colonna ad un simbolo in ingresso.

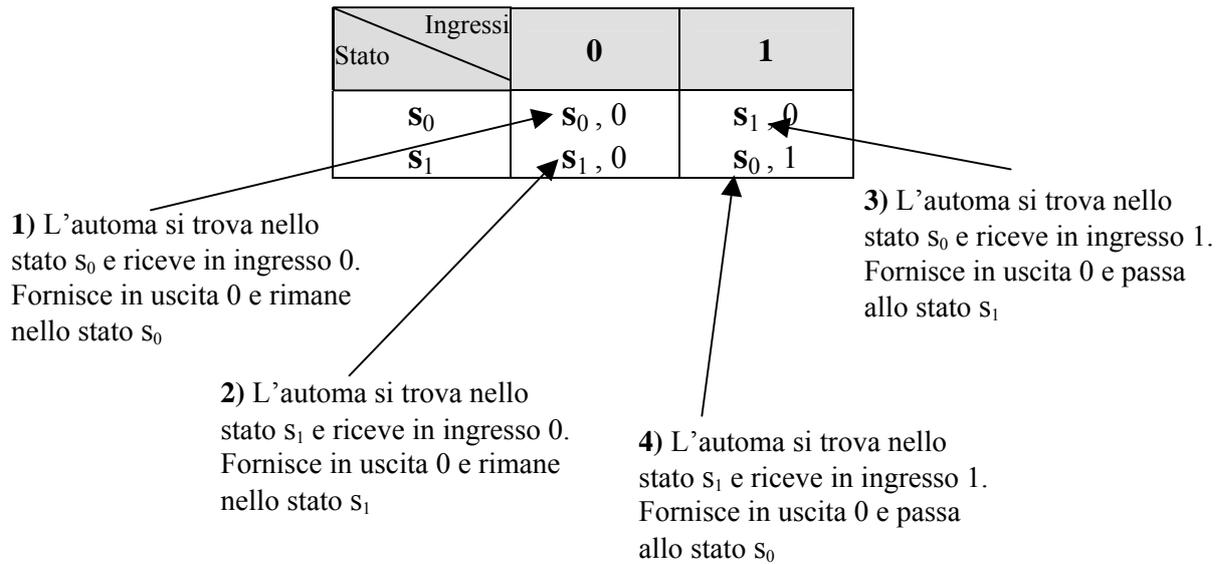
Esempio: Riportiamo la tabella di transizione di un automa con:

- **insieme degli ingressi** **I** = { **0, 1** };
- **insieme delle uscite** **U** = { **0, 1** };
- **insieme degli stati** **S** = { **s₀, s₁** };

che all'istante **t** l'automa cambia stato producendo un uscita uguale ad 1 solo se fino a quell'istante si è verificato un numero pari (ma diverso da zero) di ingressi uguali ad 1, altrimenti si ha 0.

Stato \ Ingressi	0	1
	s ₀	s ₀ , 0
s ₁	s ₁ , 0	s ₀ , 1

Analizzando la tabella di transizione possiamo dire che:

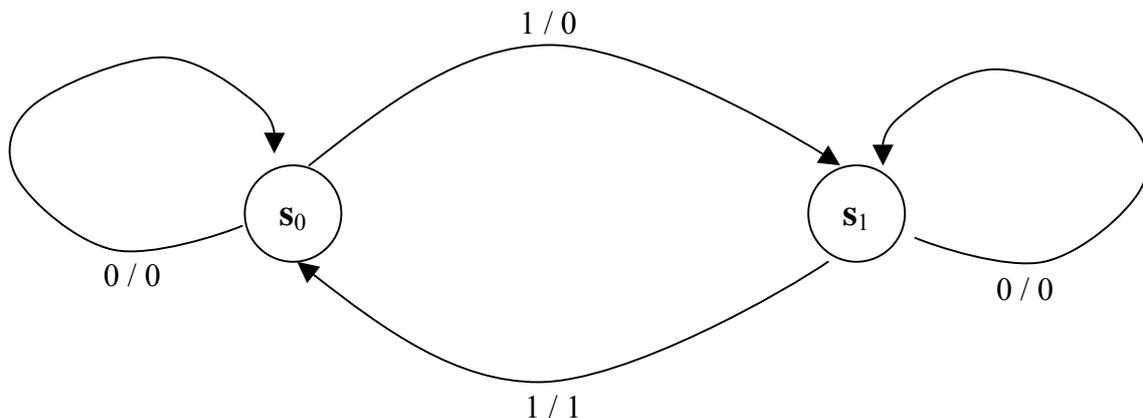


2) Diagrammi di transizione

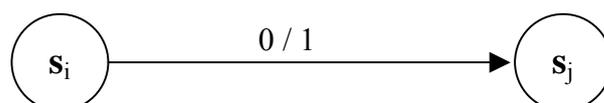
Il diagramma di transizione è un grafo orientato con tanti nodi quanti sono gli elementi di S e dove ciascun nodo è etichettato con un simbolo di stato.

Per ciascuna coppia di stati s_i s_j si ha un ramo dal nodo s_i al nodo s_j etichettato con la coppia x_i / y_j con y_i = g (x_i, s_i) e con s_j = f (x_i, s_i) dove x_i e y_j rappresentano gli ingressi e le uscite e g () ed f () sono rispettivamente le funzioni di trasformazione delle uscite e di transizione di stato.

Esempio: Riportiamo il grafo orientato del sistema proposto precedentemente



Più genericamente il seguente diagramma degli stati:



Si legge come segue: se si è all'istante t nello stato s_i all'istante successivo t + 1 con ingresso I = 0 si passa allo (transita nello) stato s_j con uscita U = 1.

LA MACCHINA DI TURING

Le domande che ora ci porremo ed acui cercheremo di dare risposta sono le seguenti:

- *dato un problema esiste sempre un algoritmo che lo risolve?*
- *quali caratteristiche deve avere l'automa che deve eseguire l'algoritmo?*

Le risposte a tali quesiti ci consentirà di:

- dare una definizione formale di **algoritmo** (alternativa a quella finora data);
- comprendere meglio il concetto di **esecutore automatico**;
- definire un criterio per decidere sulla **risolvibilità** di un problema.

Per provare a rispondere alle due domande precedenti introduciamo il modello proposto nel 1936 dal matematico inglese Alan Turing chiamato **Macchina di Turing o MdT**.

La **MdT** è una **macchina astratta** ovvero un **modello matematico** che rappresenta uno strumento *logico-concettuale* molto potente, ma anche molto semplice e facile da comprendere.

La MdT è costituita da:

- A.** un **nastro**;
- B.** una **testina di lettura / scrittura** (TLS);
- C.** un'**unità di controllo** della testina di lettura / scrittura.

A) Il **nastro** è lo strumento che contiene le informazioni (da elaborare, i risultati intermedi ed i risultati finali)

Questo dispositivo, teoricamente illimitato, è diviso in **celle** ciascuna delle quali può contenere un solo simbolo appartenente ad un certo insieme finito

$$X = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$$

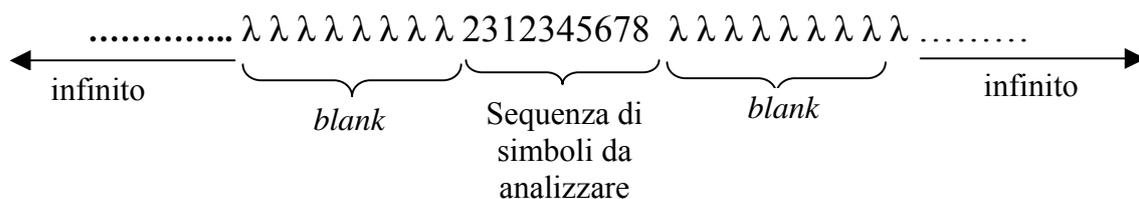
chiamato **alfabeto di lavoro** oppure può essere vuota.

Il nastro si considera "teoricamente illimitato" nel senso non che non termini mai, ma che sia sempre possibile aggiungere simboli dell'alfabeto di lavoro a sinistra o a destra

B) La **testina di lettura /scrittura o TLS** è un meccanismo che opportunamente posizionato su una casella del nastro e governato da una unità di controllo, può

- leggere il simbolo dell'alfabeto di lavoro che vi è contenuto,
- scrivervi un simbolo qualsiasi dell'alfabeto di lavoro (eventualmente sostituendo quello scritto in precedenza);
- spostarsi a sinistra oppure a destra di una cella;
- restare ferma.

La **sequenza di simboli** da esaminare è delimitata a sinistra ed a destra dal carattere speciale blank (spazio vuoto) che indichiamo con λ (lambda). E' possibile pensare dunque una ipotetica sequenza da esaminare così fatta



In ogni istante quindi si suppone che la testina di lettura/scrittura della MdT si trova su di una cella contenente il simbolo a_i (individuando in questo modo una sottosequenza sinistra ed una ottosequenza destra dei caratteri sul nastro) e nella memoria interna è registrato lo stato q_i

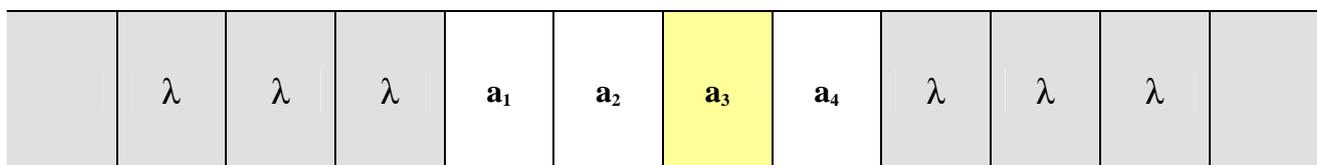
B) L'unità di controllo UC ha accesso al nastro tramite la TLS ed è in grado di dare i seguenti comandi:

- **F**: stai fermo;
- **S**: spostati a sinistra ed analizza la cella;
- **D**: spostati a destra ed analizza la cella.

Questi tre elementi costituiscono l'insieme dei **simboli di movimento**

$$M = \{ F, S, D \}$$

Questo insieme, unito all'insieme Q degli stati della macchina, forma l'**alfabeto interno della MdT**.



Testina di lettura e scrittura

Descrizione del funzionamento di una MdT.

Quando la MdT parte, il nastro è pieno di caratteri λ blank tranne in una parte finita contenente la sequenza di caratteri in ingresso.

La TLS si trova generalmente all'inizio oppure alla fine della sequenza di simboli scritti sul nastro.

La MdT ad istanti discreti di tempo:

- legge il **simbolo a_i** (corrispondente al contenuto della cella dove è posizionata);
- si trova nello **stato q_i**
- in base a quanto letto (**simbolo a_i**) ed allo stato assunto (**stato q_i**) dalla macchina nell'istante considerato, decide il **nuovo simbolo** da scrivere sul nastro, il **nuovo stato** da assumere ed il **tipo di movimento** da far eseguire alla TLS.

Tutto quanto descritto si riassume attraverso un **insieme di quintuple** detto **programma della computazione** di una MdT. Ogni quintupla ha la seguente struttura:

$$(q_i, a_i, a_j, q_j, m_i)$$

in cui:

- **q_i** è lo *stato dell'organo di controllo UC* al tempo t ;
- **a_i** è il *simbolo letto sul nastro (ingresso)* al tempo t ;
- **a_j** è il *simbolo da scrivere sul nastro (uscita)* al tempo t ;
- **q_j** è il *nuovo stato dell'organo di controllo UC* al tempo $t+1$;
- **m_i** è l'*operazione di movimento* effettuata dalla TLS al tempo $t+1$;

L'insieme delle quintuple definisce univocamente (non ci possono mai essere due quintuple diverse che abbiano i primi due valori uguali) **il comportamento della MdT** (*comportamento deterministico della MdT*)

Possiamo anche dire che l'insieme delle quintuple definisce la seguente funzione logica detta **funzione di transizione f** :

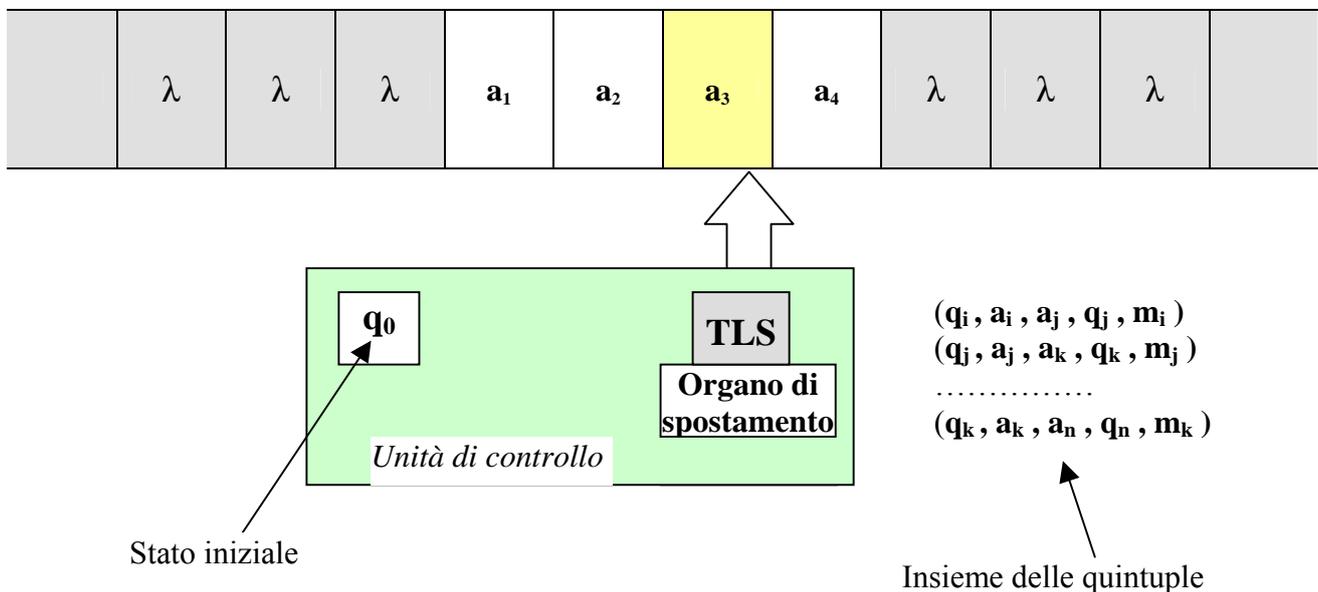
$$q_i, a_i \xrightarrow{f} a_j, q_j, m_i$$

Un modo alternativo di esprimere la funzione di transizione è quello di usare una **matrice funzionale** così costituita:

		ingressi			
		a_0	a_1	a_i	a_m
stati	q_0				
	q_1				
	q_i			↓	
	q_n				

a_j, q_j, m_i

Riepilogando



Riepilogando:

1. In ogni MdT è sempre possibile riconoscere l'**interprete** delle istruzioni da eseguire (*l'esecutore* vero e proprio);
2. In ogni MdT è sempre possibile riconoscere il **programma** da eseguire ossia le quintuple

Da un punto di vista formale la **MdT** è una sestupla:

$$\text{MdT} = (Q, X, Y, f, q_0, \text{SF})$$

dove:

- **Q** è l'insieme finito non vuoto degli **stati** della macchina;
- **X** è l'insieme finito di **simboli** (**alfabeto di lavoro** che comprende il carattere blank ossia λ);
- **Y** (sottoinsieme di X) è l'insieme finito e non vuoto di simboli (**alfabeto di ingresso**);
- **f** è la **funzione di transizione**

$$\begin{array}{ccc} q_i, a_i & \xrightarrow{f} & a_j, q_j, m_i \\ Q * Y & & Q * X * M \text{ con } M = \{ F, S, D \} \end{array}$$

- **q₀** è lo **stato iniziale** della macchina
- **SF** (sottoinsieme di Q) è l'insieme degli **stati finali** della macchina ossia tutti i possibili stati in cui si può trovare la macchina quando termina l'esecuzione delle quintuple.

In conclusione **una MdT è un automa a stati finiti** a cui è stata aggiunta una memoria esterna, **il nastro**, potenzialmente infinito.

EQUIVALENZA TRA LA MACCHINA DI TURING E L'ALGORITMO

Esiste uno stretto legame tra MdT e l'algoritmo.

Essi in realtà sono due modi differenti di rappresentare il processo risolutivo di fronte ad un determinato problema, nel senso che **l'algoritmo è il processo risolutivo risolto dalla MdT.**

MdT	Algoritmo
a) L'insieme delle quintuple è finito	a) L'insieme dei passi di un A. è finito
b) Ogni MdT opera in modo deterministico	b) Ogni A. opera in modo deterministico
c) Le operazioni compiute sono molto semplici	c) I passi di un A. sono elementari
d) Non vi è alcun limite alla lunghezza dei simboli in ingresso/uscita da una computazione	d) Non vi è alcun limite al numero dei dati iniziali o dei risultati finali di un A.
e) Ogni MdT ha a disposizione un supporto di memorizzazione virtualmente illimitato (<i>nastro</i>)	e) Ogni A. deve poter disporre di un supporto di memorizzazione virtualmente illimitato.

COMPUTABILITA' E TESI DI CHURCH

DEFINIZIONE: Ogni problema è **risolubile** o **computabile** o **calcolabile** se, dati in ingresso dei valori, si può determinare una funzione che metta in relazione tali dati con un risultato.

TEST DI CHURCH (è il docente che chiamo Turing all'università di Princeton)

Un qualsiasi problema è **calcolabile** se è **Turing-calcolabile** ossia se esiste una MdT in grado, a partire dai dati iniziali, di trovare i dati finali del problema esaminato.

Conseguenze della Tesi di Church

I problemi **calcolabili** sono quindi quelli **risolvibili per via algoritmica**. Ma non solo esistono i problemi **non calcolabili** ossia **non risolvibili per via algoritmica** ma esistono anche i problemi per i quali è impossibile stabilire se siano calcolabili o meno. Tali problemi sono detti **semidecidibili**.