

ISTITUTO PROFESSIONALE PER L'INDUSTRIA L'ARTIGIANATO

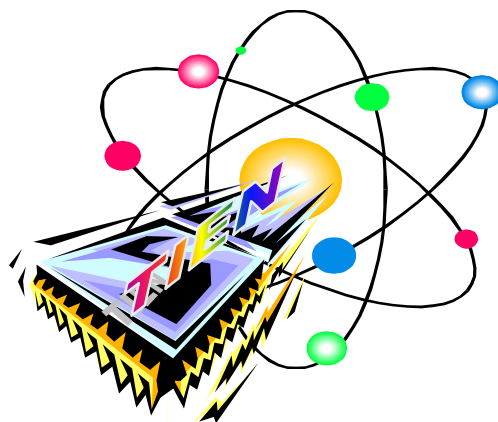
63039 SAN BENEDETTO DEL TRONTO (AP)

Classe 4 A TIEN

A.S. 2011-2012

**Modulo 2**

**SISTEMI e MODELLI**



Sistemi, automazione e organizzazione della produzione

## 1 - INTRODUZIONE

L'*automazione* ha assunto un'importanza e uno sviluppo quasi imprevedibili nei decenni successivi alla seconda guerra mondiale.

Con il termine *automazione* si deve intendere l'insieme di quelle tecniche che affidano alle macchine la produzione e il controllo di essa al fine di ridurre o eliminare l'intervento dell'uomo.

Con il termine *controllo* ci si riferisce a un complesso di operazioni automatizzate che hanno lo scopo di mantenere i valori di una o più grandezze entro i limiti prefissati.

La lavatrice e la lavastoviglie, per esempio, sono macchine utilizzate per eseguire in modo automatico cicli di lavaggio.

In campo industriale l'automazione ha trovato larga applicazione nei processi produttivi delle sostanze nocive, nonché in tutti i cicli di lavorazione, come quello della verniciatura delle automobili, che comportano un rischio per l'integrità fisica dell'uomo. Originariamente l'automazione era basata su una tecnologia di tipo prevalentemente meccanico ed idraulico, solo successivamente fu introdotta quella elettromeccanica.

L'avvento dell'elettronica ha permesso di costruire dispositivi automatici di controllo più sofisticati: l'impianto di riscaldamento centralizzato di un edificio che eroga calore in funzione della temperatura esterna e di quella interna è un altro esempio di sistema con controllo automatico.

L'introduzione dei circuiti integrati e l'evoluzione dei calcolatori elettronici hanno consentito l'utilizzazione di una *automazione intelligente*, nel senso che è possibile adeguare, entro certi limiti, in un impianto industriale a nuove esigenze di produzione apportando modifiche al software che gestisce l'impianto.

L'automazione, con l'evoluzione della tecnologia, ha conquistato nuove e numerose applicazioni: si pensi ai satelliti artificiali teleguidati in grado di trasmettere dati e immagini di pianeti distanti milioni di chilometri dalla terra. L'interesse non solo scientifico, ma anche industriale, derivato dalle possibilità offerte dall'automazione ha portato alla nascita della *scienza dell'automazione e della tecnologia dell'automazione*. Sono state così formulate leggi, indicate metodologie di analisi e di sintesi, definiti i termini che devono essere utilizzati nella trascrizione di atti e nelle pubblicazioni di comunicazioni scientifiche.

Tra i termini maggiormente ricorrenti nell'ambito della scienza dell'automazione, la parola *sistema* merita particolare attenzione per la valenza che essa assume e per i contenuti concettuali che racchiude.

La parola **sistemi** è molto usata nel linguaggio corrente per descrivere un insieme di parti collegate tra di loro in diversi modi per raggiungere uno scopo comune preciso.

Molto ricorrente ad esempio il termine **sistema scuola** con il quale si indica l'insieme delle persone fisiche (personale docente e non, studenti), delle strutture, delle leggi, dei programmi, ecc. che concorrono per ottenere l'educazione - formazione degli alunni.

Altra espressione molto usata è **sistema sanità** con la quale si intende indicare tutte quelle componenti (personale medico o paramedico, ospedali, ricerca, ecc.) che mirano alla salvaguardia e alla cura della salute.

Spesso si parla di **sistema economico** o **sistema azienda** per esprimere concetti molto generali. Ad esempio con il termine sistema azienda si vuole descrivere l'insieme degli elementi necessari per rappresentare l'azienda moderna:

risorse umane, ricerca, tecnologie, marketing ecc. Il termine sistema intende dare un'indicazione di globalità nell'affrontare l'argomento.

Un elaboratore è un sistema elettronico costituito da una scheda madre contenente circuiti integrati ed altri componenti elettronici, da un terminale video, da una tastiera, dai drive per floppy disk, ecc.

Si possono citare numerosi altri esempi che confermano che il concetto di sistema è comunque del tutto generale e dunque applicabile in qualsiasi campo

## 2 - DEFINIZIONE DI SISTEMA

In modo intuitivo si possono dare le seguenti definizioni dedotte dagli esempi dati nel paragrafo precedente.

↳ **Un sistema è un insieme formato da più elementi interagenti tra di loro, connessi in modo da costituire un'unica entità e organizzati al fine di ottenere un obiettivo prefissato**

↳ **Un sistema di controllo è un insieme di più elementi connessi tra loro e interagenti in modo tale da autoregolarsi.**

L'aspetto più significativo della definizione è che gli elementi o le parti che costituiscono il sistema sono interagenti tra loro, nel senso che il comportamento di ogni elemento dipende dalle azioni che gli altri elementi compiono su di esso.

Per studiare il comportamento di un qualsiasi sistema è necessario definire i criteri di analisi e di sintesi che bisogna seguire.

A tal fine possono essere adottate due diverse metodologie:

1. **METODO ANALITICO:** lo studio di un sistema inizia scomponendo il sistema in sottosistemi di minore complessità: i componenti elementari che lo compongono sono isolati dal contesto generale unitamente alle variabili che li caratterizzano e sono studiati singolarmente.
2. **METODO SISTEMISTICO:** affronta lo studio nella sua globalità, considerando i legami esistenti tra le parti e gli elementi di ciascuna di esse

L'approccio di tipo **sistemistico** per la risoluzione dei problemi è oggi molto utilizzato. In pratica si affronta il problema nel modo più generale possibile considerando tutte le componenti che concorrono a formarlo o che ne influenzano il comportamento.

In seguito generalmente si passa alla sua scomposizione in sottoproblemi fino a raggiungere un livello di semplificazione che permette di studiare approfonditamente e più facilmente ognuno di questi tramite il sottosistema che lo rappresenta; infatti la

scomposizione permette di ottenere sottosistemi più elementari e dunque più facilmente studiabili con delle leggi semplici rispetto al sistema iniziale. Questa seconda parte rappresenta un'analisi di tipo classico o **analitico** di ogni sottosistema.

Infatti la parte sistemistica, che affronta lo studio nella sua globalità, spesso ad un certo punto necessita dell'approccio analitico che permette la scomposizione del problema che risulterebbe difficilmente risolvibile nella sua interezza. Il metodo analitico studia ogni singolo sottosistema e le sue interazioni con gli altri determinandone la propria risposta alla sollecitazione. Non sempre comunque è possibile effettuare la scomposizione. Si pensi ad esempio al sistema ecomarino, risulta improponibile pensare di studiare il comportamento di una specie animale o vegetale separandola dal resto dell'ambiente dove è inserita; infatti è necessario studiare il comportamento dell'ambiente marino nel suo complesso. In questo caso l'unico approccio valido è pertanto quello sistemistico.

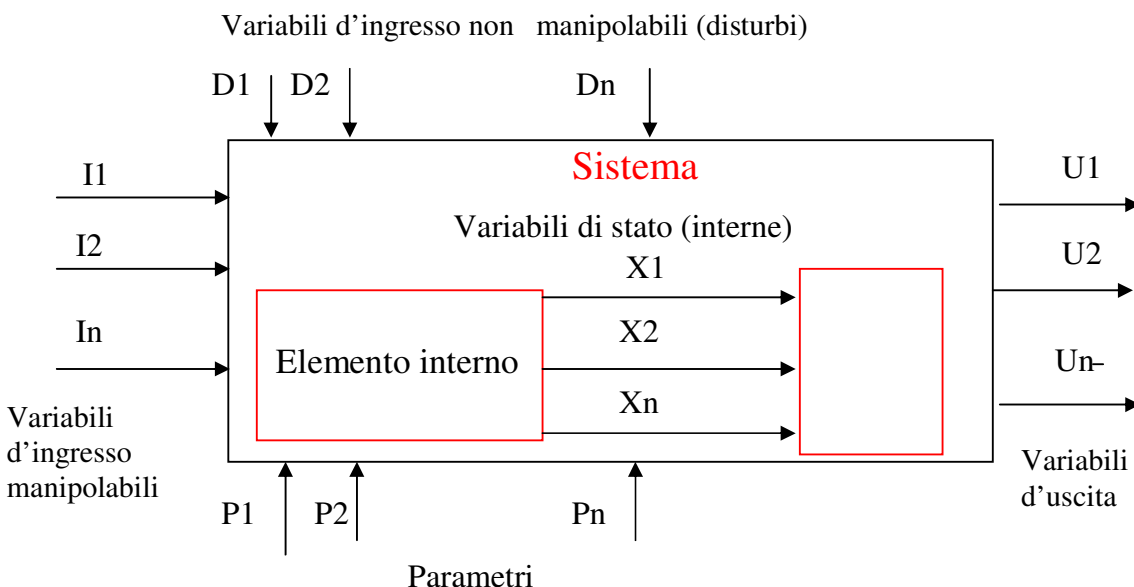
I metodi di risoluzione più convenienti nel campo tecnico, in generale, sono un misto tra quello sistemistico e quello analitico.

A causa delle interazioni tra gli elementi, si intuisce che un sistema non è sempre una semplice somma delle sue parti ma qualcosa di più; in particolare rispetto agli effetti ottenuti.

Per studiare il comportamento di un sistema già esistente o per affrontare i problemi legati alla realizzazione di un nuovo sistema, è necessario delimitarlo, identificare i suoi elementi fondamentali e le interazioni che intercorrono tra essi, individuare le **variabili** che si vogliono analizzare, ossia le grandezze suscettibili di essere modificate direttamente o indirettamente, e come esse possono essere misurate.

In un sistema si definiscono:

- le variabili d'ingresso (I1, I2, I3, .....In)
- le variabili d'uscita (U1, U2, U3, ...Un)
- i parametri (P1, P2, P3, ...Pn)
- le variabili interne o di stato (X1, X2, X3, ...Xn)



**Variabili d'ingresso:** le sollecitazioni che entro certi limiti possono essere variate dall'intervento dell'uomo si chiamano grandezze manipolabili e sono indicate con  $(I_1, I_2, I_3, \dots, I_n)$ , mentre le sollecitazioni che variano indipendentemente da ogni controllo sono le grandezze non manipolabili o disturbi e sono indicate con  $(D_1, D_2, D_3, \dots, D_n)$ .

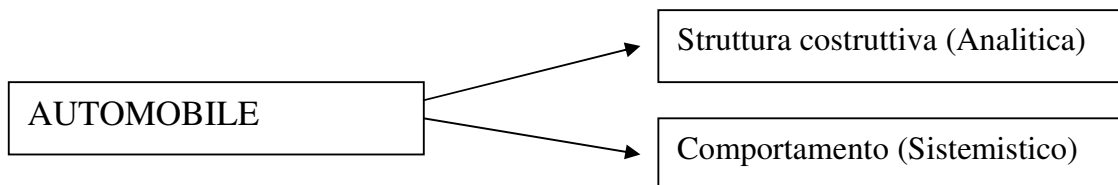
**Variabili d'uscita:** le variabili d'uscita o variabili dipendenti, indicate con  $(U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$  rappresentano le azioni che il sistema esercita sull'ambiente, ossia la risposta del sistema alle sollecitazioni ad esso applicate.

**Parametri:** , indicati con  $(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n)$ , sono grandezze caratteristiche del sistema. Ad esempio in un sistema elettrico composto da induttori, resistori e condensatori, i parametri sono la resistenza, la capacità e l'induttanza espressi rispettivamente in Ohm, Farad e Henry.

**Variabili interne o variabili di stato:** , indicate con  $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ , descrivono l'evoluzione interna del sistema, contengono informazioni sulla sua storia passata e consentono di determinare gli stati futuri quando sono note le condizioni iniziali e le sollecitazioni ad esso applicate.

*Si indicano con il termine variabili quelle grandezze, all'interno dei sistemi, soggette a variazioni nel tempo. Le funzioni che rappresentano l'andamento di queste variabili si dicono segnali.*

Un esempio di sistema è l'automobile. Infatti un'automobile può essere esaminata e studiata come una semplice struttura costruttiva oppure, adottando un'ottica sistemistica, se ne può studiare il comportamento durante il funzionamento.



Ad esempio possiamo studiarne la traiettoria ed il modo con cui quest'ultima può variare agendo sui comandi.

L'automobile vista come un "oggetto astratto", costituisce un sistema e si considerano caratteristiche rilevanti per lo studio che ci siamo proposti:

posizione	velocità	accelerazione	posizione del volante	pressione sul pedale
-----------	----------	---------------	-----------------------	----------------------

Queste grandezze, funzioni del tempo, che collegano l'automobile (il nostro oggetto) con l'ambiente esterno, sono le variabili.

La posizione, la velocità e l'accelerazione dell'automobile sono le grandezze che vogliamo studiare, osservare e pertanto vengono indicate come **variabili di osservazione o di uscita** del sistema.

La posizione del volante e la pressione sul pedale sono invece le grandezze sulle quali possiamo agire e vengono dette **variabili di ingresso**.

Graficamente distinguiamo questi due tipi di variabili rappresentando quelle d'ingresso con delle frecce entranti verso il sistema e quelle di osservazione (uscita) con delle frecce uscenti, come mostra la fig.1.

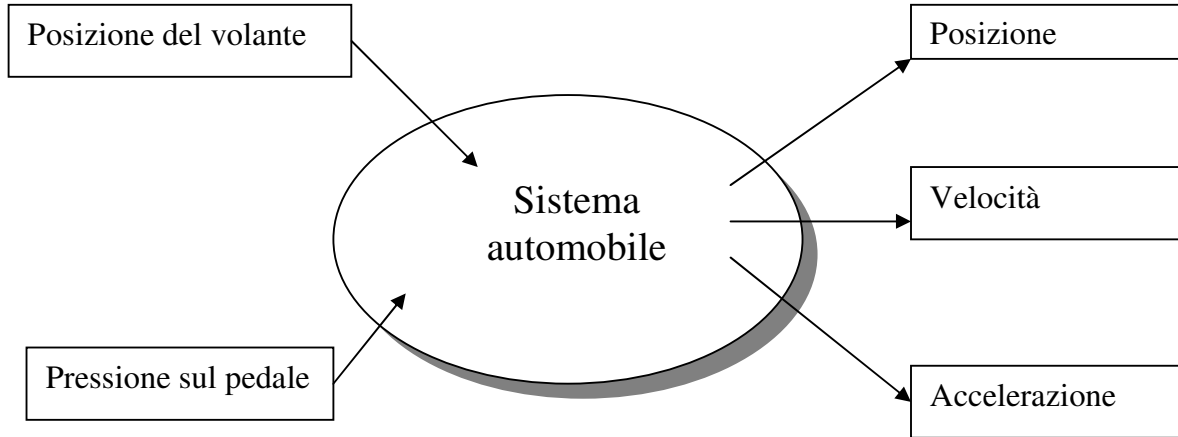


Fig.1

L'evoluzione di alcune variabili è conseguenza di altre. Infatti le variabili d'ingresso sono dette anche indipendenti, o cause, mentre quelle di uscita sono dipendenti, o effetti. Nel nostro esempio modificando la pressione sul pedale dell'acceleratore variano posizione, velocità e accelerazione dell'automobile. Quando si può distinguere tra variabili d'ingresso e d'uscita il sistema si dice orientato.

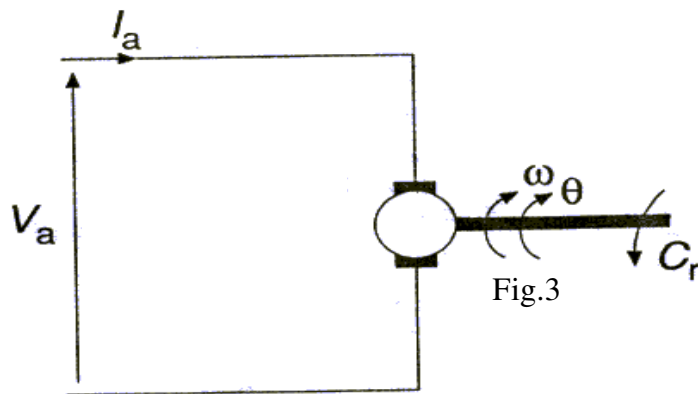
Il modo più comune per rappresentare un sistema è quello di utilizzare un rettangolo (detto anche scatola nera perché non si prende in considerazione la sua struttura interna) con una freccia per ogni variabile sia d'ingresso che d'uscita (fig.2).



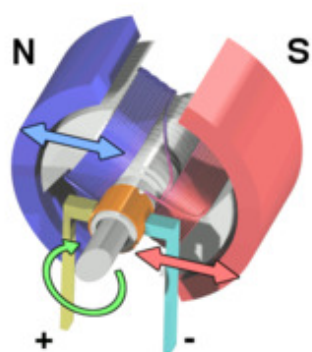
Fig.2

**ESEMPIO -1**

Il motore in corrente continua a magnete permanente schematizzato in fig.3 è un sistema: è un insieme di componenti che interagiscono per fare girare l'asse; in esso si possono individuare diverse variabili:



$V_a$	Tensione di armatura
$I_a$	Corrente di armatura
$C_r$	Coppia resistente
$\omega$	Velocità angolare
$\theta$	Posizione angolare



Analizziamo queste variabili: il circuito di armatura viene alimentato dal generatore di tensione  $V_a$  (variabile d'ingresso). La corrente  $I_a$  è legata alla tensione  $V_a$ , pertanto  $I_a$  è una variabile d'uscita.

La coppia resistente rappresenta il carico che noi applichiamo sull'albero del motore, il suo valore influenza la velocità di rotazione e dunque  $C_r$  è una variabile d'ingresso.

Chiaramente la posizione angolare e la velocità angolare sono effetti dovuti alla rotazione del motore; questa rotazione dipende dalle variabili d'ingresso  $V_a$  e  $C_r$  dunque  $\theta$  e  $\omega$  sono variabili d'uscita. Il sistema motore in corrente continua può dunque essere rappresentato con un blocco con 2 variabili d'ingresso e 3 d'uscita (fig.4)

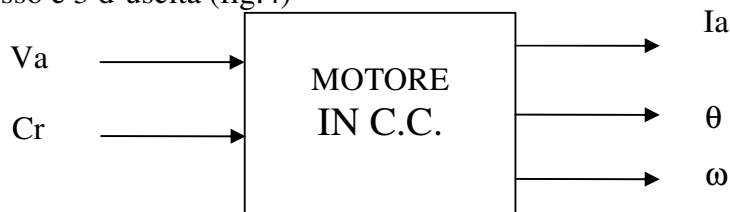


Fig.4

Spesso capita che interessi studiare o osservare solamente alcune delle variabili di uscita. Per il motore in C.C. spesso interessa osservare solamente l'andamento della velocità angolare in funzione della tensione di armatura con ( $C_r$  costante).

Il sistema si rappresenta allora con il blocco di fig.5

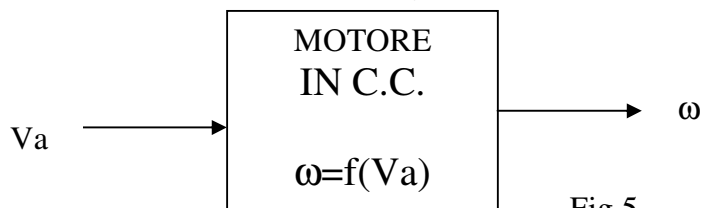


Fig.5

**ESEMPIO - 2**

Il potenziometro: esempio di trasduttore di posizione angolare. (Fig. 6)

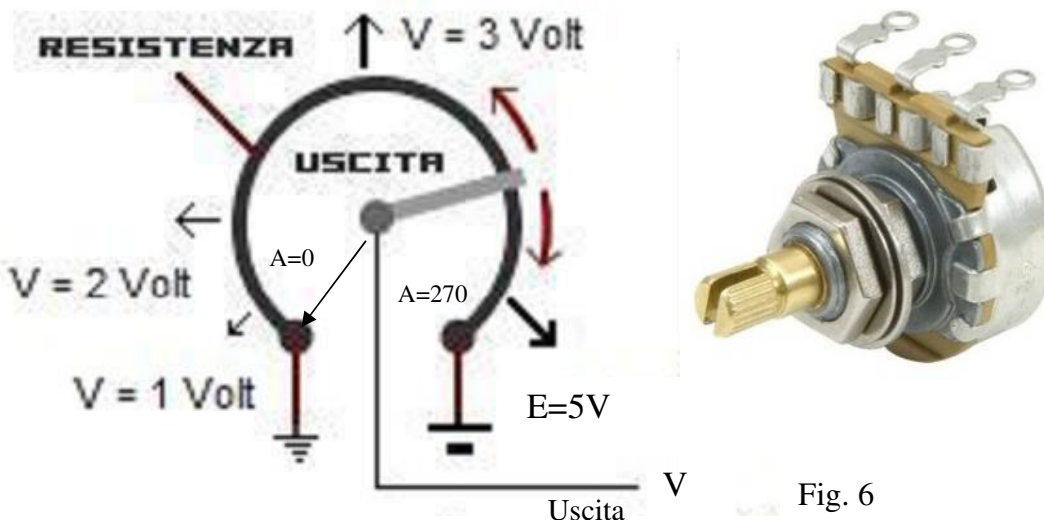


Fig. 6

L'indice del potenziometro, scorrendo lungo la pista ad arco di circonferenza preleva una tensione proporzionale all'angolo di rotazione.

L'angolo di rotazione complessivo è  $= 270^\circ$  ; all'angolo di rotazione  $= 0$  corrisponde la tensione  $= 0$  Volt; all'angolo di rotazione  $= 270^\circ$  corrisponde la tensione  $= 5$  Volt; ad ogni posizione intermedia corrisponderà una tensione intermedia.

Le variabili del sistema sono:

Simbolo	Descrizione	Ingresso/Uscita
A	Angolo di rotazione	Ingresso
E	Tensione d'ingresso costante	Ingresso
R	Resistenza	Uscita
V	Tensione d'uscita	Uscita

Possiamo rappresentare il sistema con due ingressi (A, E) e un'uscita (V) (fig.7)

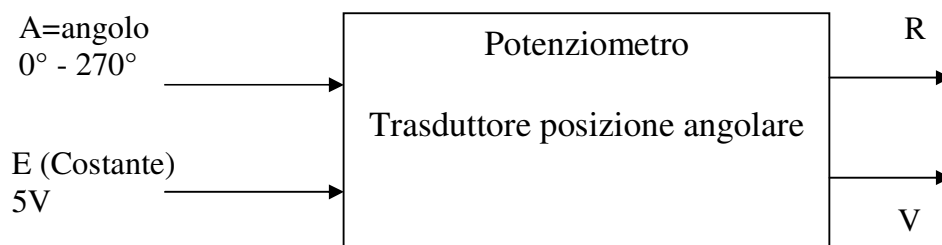
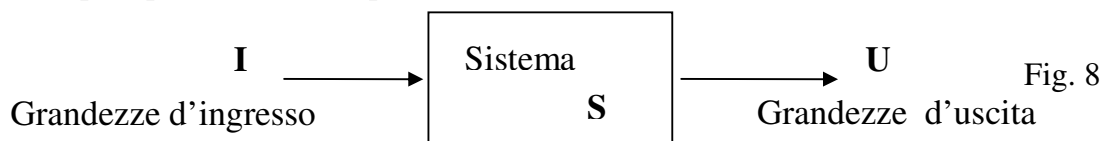


Fig. 7



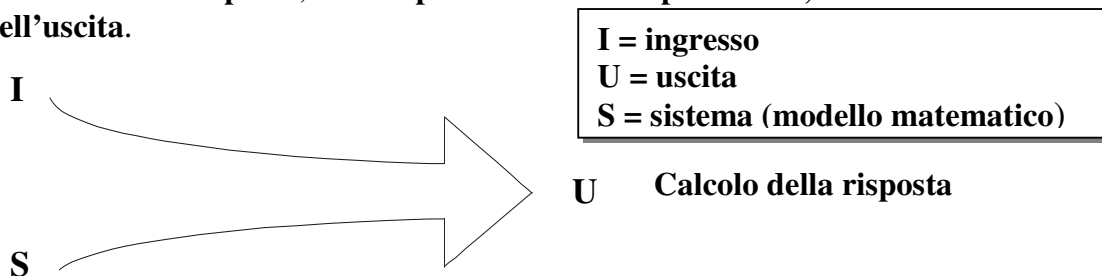
### 3 - CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI.

Nei paragrafi precedenti è stata data una definizione del tutto generale per i sistemi che risulta però poco utile ai fini pratici che ci interessano.

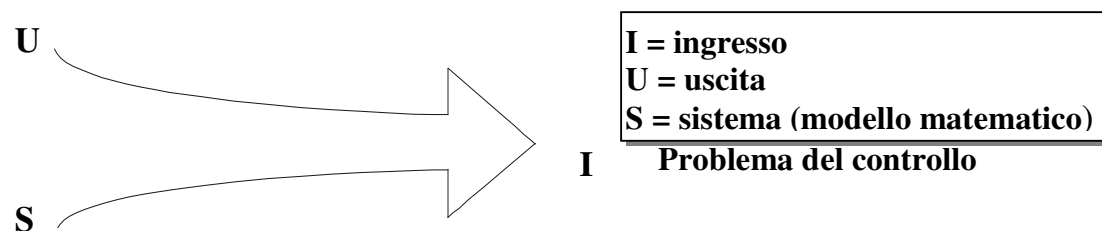


Riferendoci alla fig. 8 i problemi di cui si occupa la teoria dei sistemi sono essenzialmente tre, che si possono riassumere come segue.

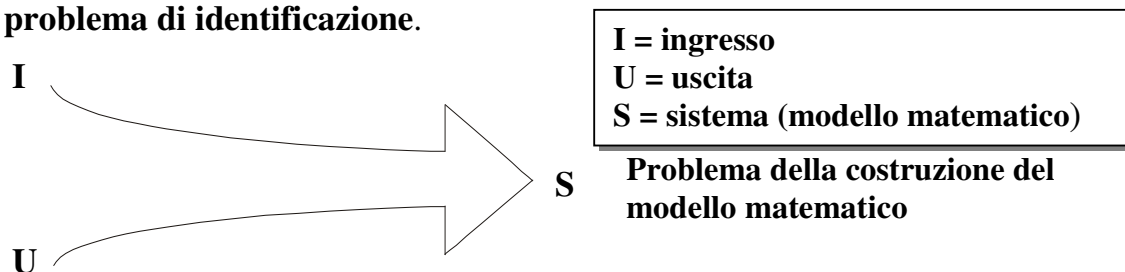
- 1) Sono noti l'ingresso **I** ed il sistema **S** (modello matematico) e si vuole determinare l'uscita **U**, cioè si vuole prevedere come reagirà il sistema **S**. Si parla in questo caso di **calcolo della risposta**, o di **problema della previsione**, o anche di **calcolo dell'uscita**.



- 2) Noti **U** ed **S** vogliamo conoscere l'ingresso **I**. In altre parole, vogliamo sapere quale deve essere l'ingresso da applicare al sistema di cui è noto il modello per ottenere determinate uscite. Un esempio tipico è quello del lancio spaziale: quale deve essere l'ingresso (velocità iniziale e direzione) per lanciare in orbita un satellite? Questo tipo di problema viene detto **problema del controllo**.



- 3) Noti **I** ed **U** vogliamo conoscere il sistema **S**. Si tratta di un problema un pò più complesso. Nei primi due casi infatti essendo noto **S** conosciamo il modello e quindi la corrispondenza tra ingressi e uscite corrispondenti, quindi abbiamo tutte possibili coppie ingresso - uscita. In questo caso invece abbiamo solo alcune coppie ingresso - uscita, magari ottenute per via sperimentale. Dalla loro conoscenza possiamo determinare il loro modello matematico? Questo tipo di problema è detto **problema della costruzione del modello matematico** oppure **problema di identificazione**.



E' importante identificare le caratteristiche e le proprietà più significative dei sistemi al fine di farne una classificazione che ne faciliti lo studio in modo che sistemi appartenenti alla stessa classe possono essere studiati utilizzando le medesime metodologie.

Di seguito viene data una classificazione dei sistemi precisando che uno stesso sistema può, per le sue caratteristiche, appartenere anche a più classi.

**Le principali classi sono:**

1. *sistemi fisici ed astratti;*
2. *sistemi naturali, artificiali e misti;*
3. *sistemi aperti e chiusi;*
4. *sistemi deterministici e probabilistici;*
5. *sistemi continui e discreti;*
6. *sistemi statici e dinamici;*
7. *sistemi invariati e varianti;*
8. *sistemi lineari e non lineari.;*

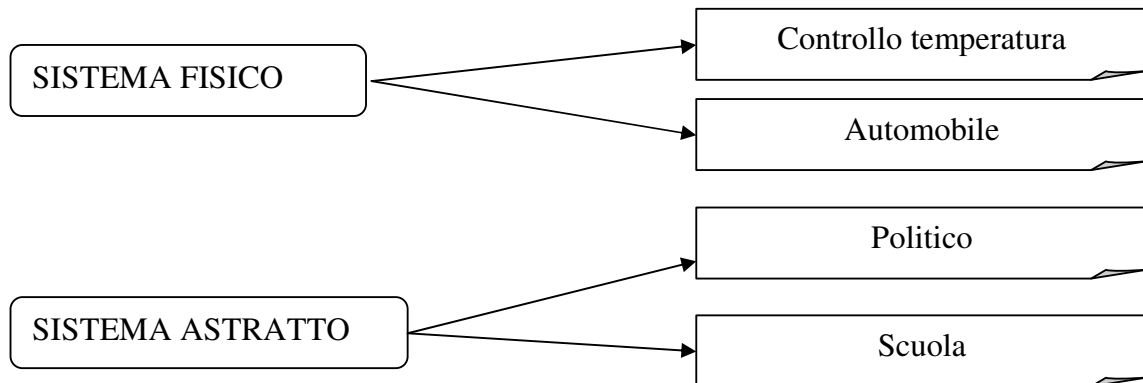
**Le principali classi per lo studio dei sistemi elettrici – elettronici sono:**

- a) *sistemi continui e discreti;*
- b) *sistemi statici e dinamici;*
- c) *sistemi lineari e non lineari.*

### 3.1 - Sistemi fisici ed astratti.

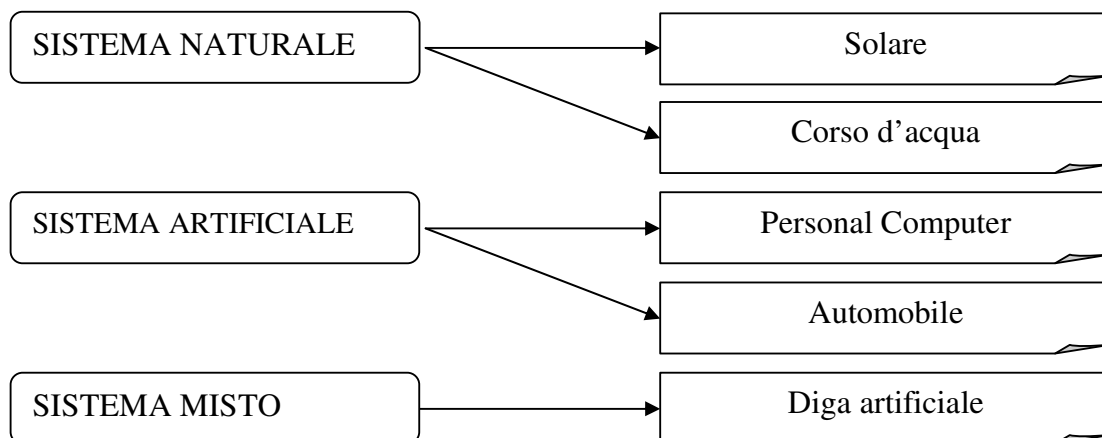
Un sistema si dice **fisico** quando le grandezze che lo caratterizzano sono direttamente misurabili; in caso contrario il sistema si dice **astratto**.

Per determinare il tipo di sistema bisogna dunque determinare le grandezze che lo caratterizzano e verificare se queste sono misurabili. Ad esempio il sistema di controllo della temperatura, umidità e pressione in un ambiente è di tipo fisico perché possiamo misurare queste grandezze nella loro unità (°C, atm, ecc.); il sistema politico invece è astratto: non è possibile tenere sotto controllo, ad esempio, le “correnti di partito” o i nuovi orientamenti politici. Anche il sistema automobile, introdotto in precedenza, è di tipo fisico; infatti se studiamo la sua traiettoria, posizione, velocità e accelerazione sono grandezze misurabili. Contrariamente il sistema scuola risulta astratto perché se consideriamo la qualità dell’insegnamento non è possibile misurarla secondo le classiche unità di misura.



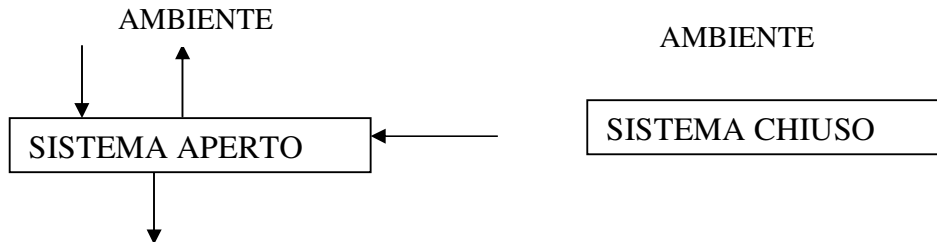
### 3.2 - Sistemi naturali, artificiali e misti.

I sistemi **naturali** sono quelli che già esistono in natura, mentre quelli **artificiali** sono creati dall'uomo. Quando l'intervento dell'uomo agisce su un sistema naturale e ne modifica alcune caratteristiche, allora il sistema si definisce **misto**.



### 3.3 - Sistemi aperti e chiusi.

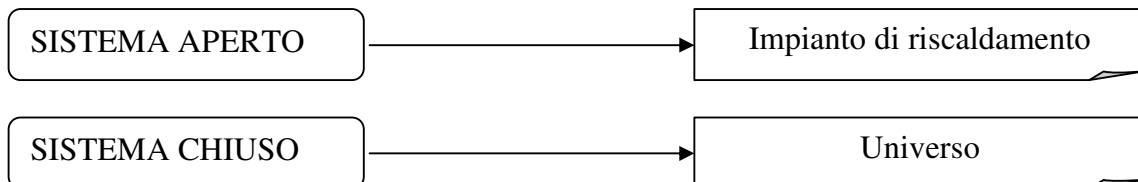
Un sistema si dice **aperto** se è in grado di scambiare energia o informazioni con l'ambiente che lo circonda, mentre si dice **chiuso** se non interagisce con elementi esterni ad esso



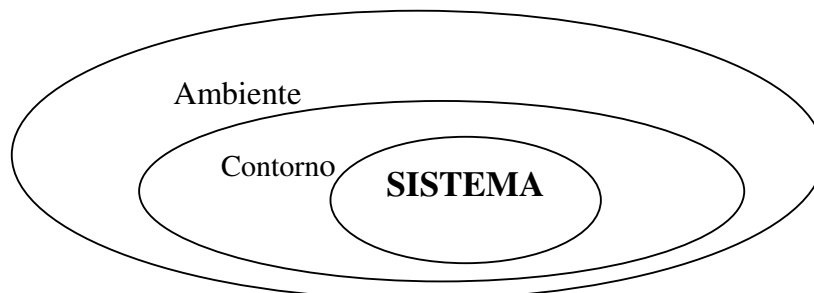
Un impianto di riscaldamento è un sistema aperto perché interagisce con l'ambiente esterno dal quale riceve energia che poi restituisce all'ambiente stesso in tempi più o meno lunghi.

L'universo nella sua totalità è un sistema chiuso e naturalmente, in un sistema di questo tipo, le uniche variabili ammissibili sono quelle interne.

In realtà non esistono sistemi chiusi perché qualsiasi sistema interagisce, anche se in modo non evidente, con l'ambiente che lo circonda. In pratica un sistema aperto può essere considerato chiuso se le sue interazioni con l'ambiente che lo circonda sono così deboli da poter essere trascurate. Ad esempio il sistema solare può essere considerato un sistema chiuso solo se vengono trascurati gli scambi di materia e di energia con la parte restante della galassia alla quale appartiene



È possibile definire il **contorno** di un sistema la zona che permette di determinare quali elementi sono contenuti nel sistema stesso



## Ambiente

Tutti quei sistemi in cui la temperatura ambiente influenza il loro comportamento sono es. di sistemi aperti come nel caso di un sistema di riscaldamento.

Ovviamente le interazioni possono essere di altro tipo:

1. elettromagnetico
2. ambientale
3. sociale

In realtà tutti i sistemi reali sono aperti in quanto ci sono sempre interazione anche minime con l'ambiente.

**Quando questi scambi tra sistema es. ambiente producono effetti trascurabili sul comportamento rispetto a quello dovuti agli elementi interni, il sistema è considerato chiuso.**

Un esempio di sistema chiuso è l'universo.

### 3.4 - Sistemi deterministici e probabilistici.

I sistemi sono classificati in *deterministici* e *probabilistici* in relazione alla risposta che essi forniscono quando sono sottoposti ad una medesima sollecitazione.

I sistemi *deterministici* forniscono sempre la stessa risposta se la medesima sollecitazione, a parità di condizioni iniziali, è applicata al loro ingresso.

Quando si conoscono le condizioni iniziali di un sistema deterministico, le sollecitazioni ad esso applicate e le relazioni matematiche che legano le variabili d'ingresso a quelle d'uscita, è sempre possibile prevedere la sua evoluzione, ossia lo stato nel quale esso verrà a trovarsi dopo un certo intervallo di tempo.

L'impianto di riscaldamento di una stanza è un sistema deterministico perché è possibile determinare quale sarà la temperatura della stanza in ogni istante, note la cubatura della stanza, la sua temperatura iniziale, la quantità di calore fornita dall'impianto, la dispersione di calore attraverso le pareti e alcune ipotesi semplificative.

Un sistema *probabilistico*, a differenza di quello deterministico, presenta nella sua evoluzione fenomeni di casualità perché la grandezza misurata all'uscita del sistema evolve verso stati che non portano alla medesima risposta, anche a parità di condizioni iniziali e delle sollecitazioni ad esso applicate.

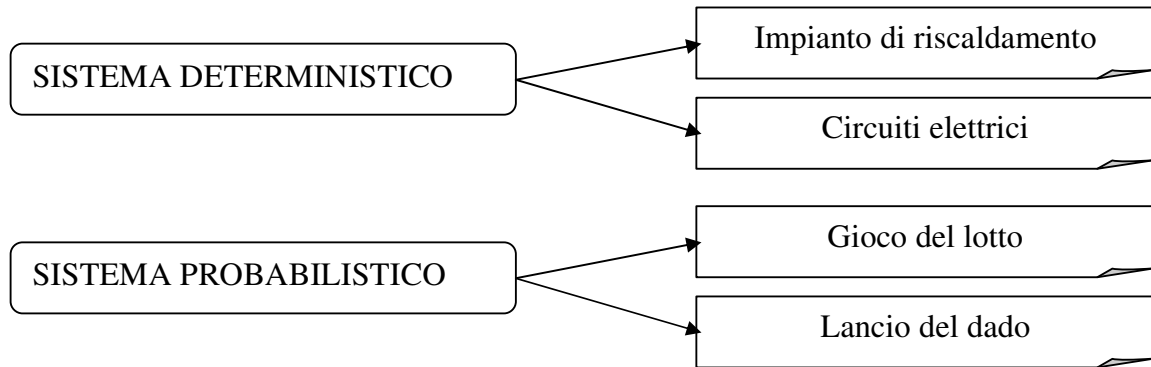
Nei sistemi *probabilistici* si può prevedere solo la *probabilità* che la grandezza d'uscita assuma un determinato valore.

Il gioco del lotto è un sistema probabilistico perché non si può avere la certezza che un determinato numero venga estratto, ma si può calcolare solo la probabilità con la quale accade l'evento.

Nella realtà anche i sistemi deterministici sono probabilistici perché l'ambiente esterno esercita su di essi disturbi casuali.

L'impianto di riscaldamento precedentemente considerato non può essere considerato deterministico perché la sua risposta dipende dalla temperatura esterna la quale, variando in modo non prevedibile, incide in modo casuale sulla dispersione di calore verso l'esterno. Tuttavia, se in un certo intervallo di tempo le variazioni della temperatura

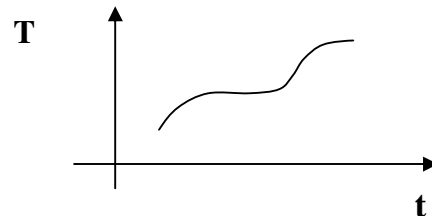
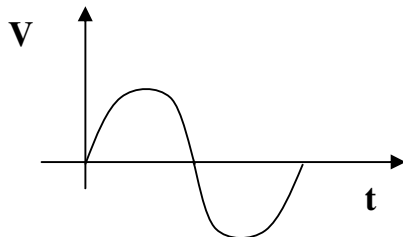
esterna sono di entità tanto modeste da poter essere trascurate, allora il sistema può essere considerato deterministico.



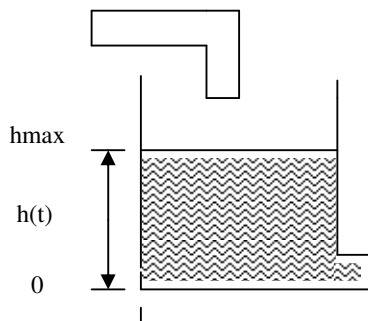
### 3.5 – Sistemi continui e discreti

I sistemi, con riferimento ai valori che possono assumere le variabili d'uscita possono essere classificati in continui e discreti.

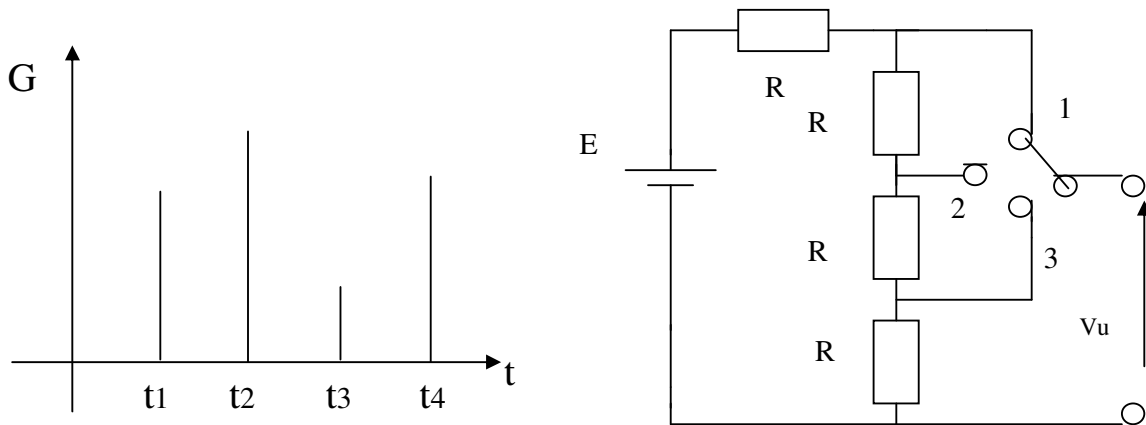
Un sistema si definisce **continuo** quando tutte le variabili che lo caratterizzano sono continue (grandezze analogiche), oppure se i valori significativi delle variabili d'uscita possono essere messi in corrispondenza con quelli appartenenti a un sottoinsieme  $R$  dei numeri reali (Es: tensione sinusoidale, variazione della temperatura)



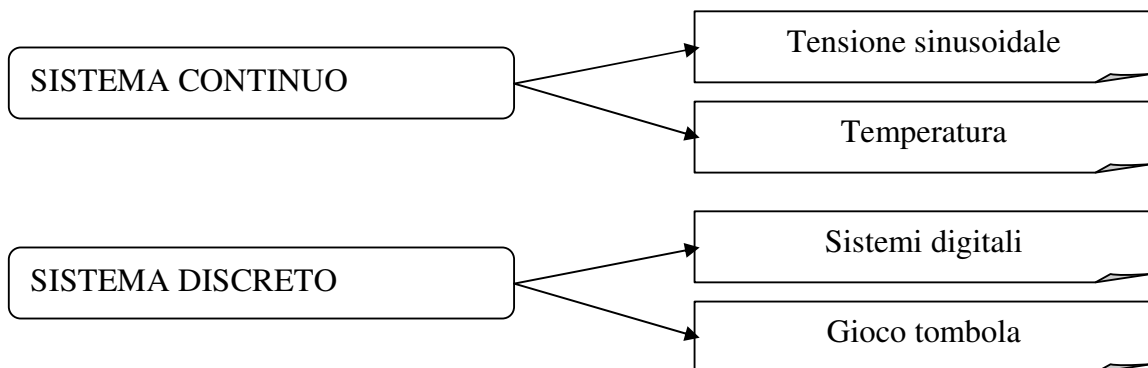
Ad esempio il serbatoio idrico di accumulo rappresentato in figura è un sistema continuo perché il livello  $h$  del liquido nel serbatoio (variabile d'uscita) può assumere tutti i valori compresi tra  $h = 0$  e  $h = h_{max}$  che possono differire l'uno dall'altro anche di un  $\Delta h$  infinitesimo.



Un sistema si definisce **discreto** se almeno una grandezza è discreta, i valori possibili della grandezza appartengono ad un insieme di valori prefissati, oppure se i valori significativi di almeno una delle variabili di uscita possono essere messi in corrispondenza con quelli appartenente a un sottoinsieme  $Z$  dei numeri interi; i valori possibili della grandezza appartengono ad un insieme prefissato di valori (esempio: sistemi digitali 0 a 1; lancio di un dado; gioco della tombola ; ecc....).



Il sistema elettrico rappresentato in figura è un sistema discreto perché la tensione d'uscita  $V_u$  (variabile d'uscita) può assumere, in relazione alla posizione del deviatore, solo tre valori che costituiscono un insieme discreto.



### 3.6 Sistemi statici e dinamici

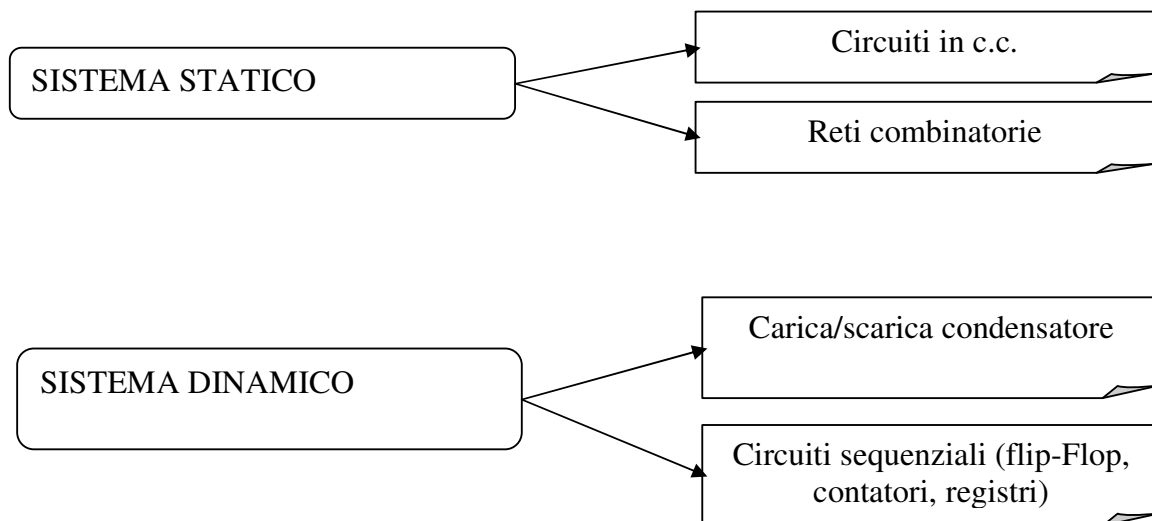
Un sistema si definisce **statico** quando le grandezze che lo caratterizzano non variano nel tempo

Esempio: circuito resistivo in c.c., la corrente  $I$  assume sempre lo stesso valore indipendentemente dal tempo, sono costanti i valori di  $R$  e di  $E$ .

Un sistema si definisce **dinamico** quando le grandezze che lo caratterizzano variano nel tempo.

Esempio: circuito per la carica e scarica del condensatore, la tensione ai capi del condensatore varia nel tempo

In un sistema dinamico è come se fosse presente una memoria: l'uscita è funzione anche dai valori assunti in precedenza (oltre che della sollecitazione applicata). Il valore dell'uscita nell'istante  $t$  dipende anche dal suo andamento negli istanti precedenti; di conseguenza nello studio di un tale sistema è fondamentale la conoscenza delle condizioni iniziali.



Esempio sistemi con memoria, circuiti con induttanza e capacità, sistemi meccanici con molle, circuiti digitali flip-flop: contatori-memorie-registri.

Esempio: una capacità immagazzina energia

$$E = \frac{1}{2}CV^2$$



### 3.7 Sistemi varianti e invariati

Un sistema si dice **variante o non stazionario** quando le caratteristiche non sono costanti nel tempo.

Un sistema si dice **invariante o stazionario** se i parametri che lo caratterizzano rimangono costanti nel tempo e di conseguenza anche le leggi che legano le sollecitazioni alle risposte rimangono invariate nel tempo.

Un sistema nel quale il legame tra le variabili d'uscita **Y** e quelle d'ingresso **I** sia espresso da una relazione del tipo:

$$Y=K.I$$

è invariante nel tempo perché il parametro **K**, e di conseguenza anche la legge che lega la sollecitazione alla risposta, non varia nel tempo.

Un sistema descritto dalla relazione

$$Y=K(t).I$$

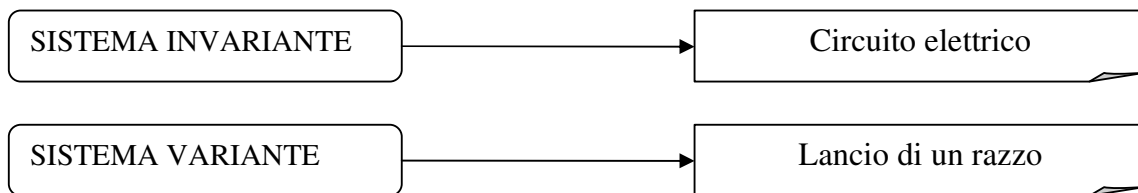
E invece un sistema variante nel tempo perché il parametro **K** è funzione del tempo.

Se consideriamo un razzo lanciato nello spazio esso perde materia durante il tragitto, in quanto espelle i gas combusti, pertanto le sue caratteristiche (la sua massa) non sono costanti e si tratta di un sistema **non stazionario o variante**.

Invece il più delle volte un circuito elettrico ha caratteristiche costanti (i componenti mantengono i propri valori nel tempo) e rappresenta un sistema **invariante o stazionario**.

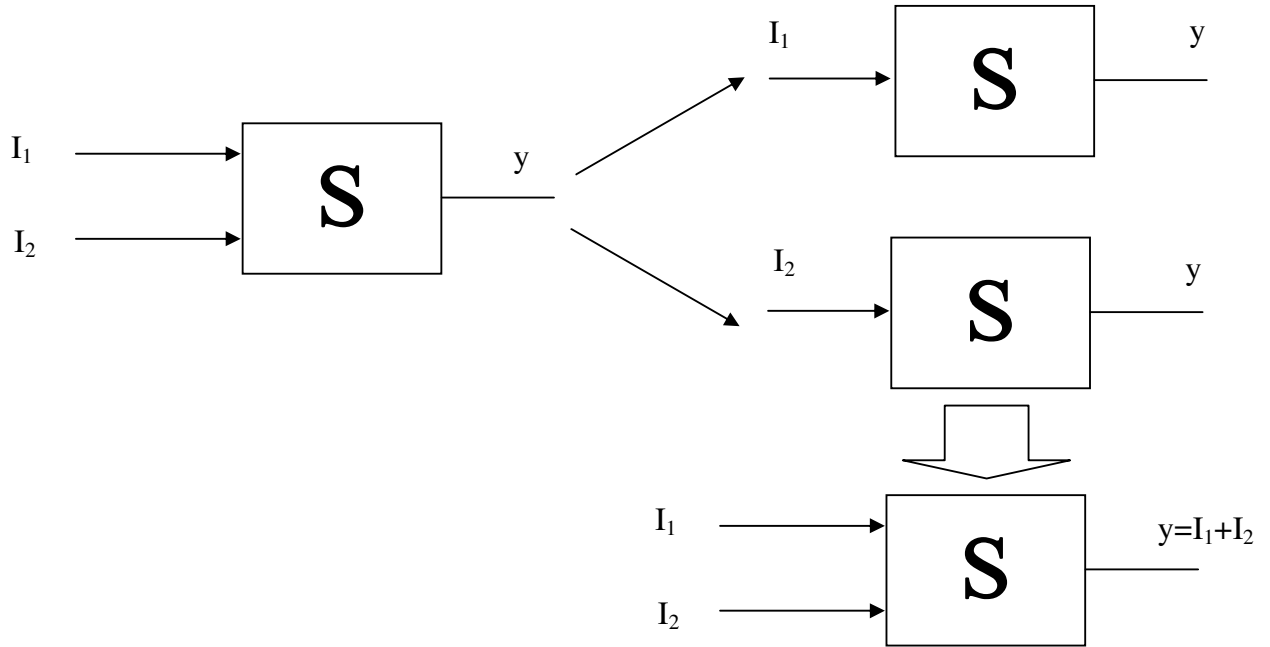
In definitiva un sistema invariante nel tempo fornisce, a parità di condizioni iniziali e di sollecitazione applicata, la medesima risposta indipendentemente dall'istante in cui esso è sollecitato.

In realtà quasi tutti i sistemi sono varianti perché modificano nel tempo, a più o meno breve termine, le loro caratteristiche come ad esempio la resistenza il cui valore può subire delle variazioni dopo anni.



### 3.8 Sistemi lineari e on lineari

Un sistema si dice lineare se è possibile applicare il principio di sovrapposizione degli effetti.



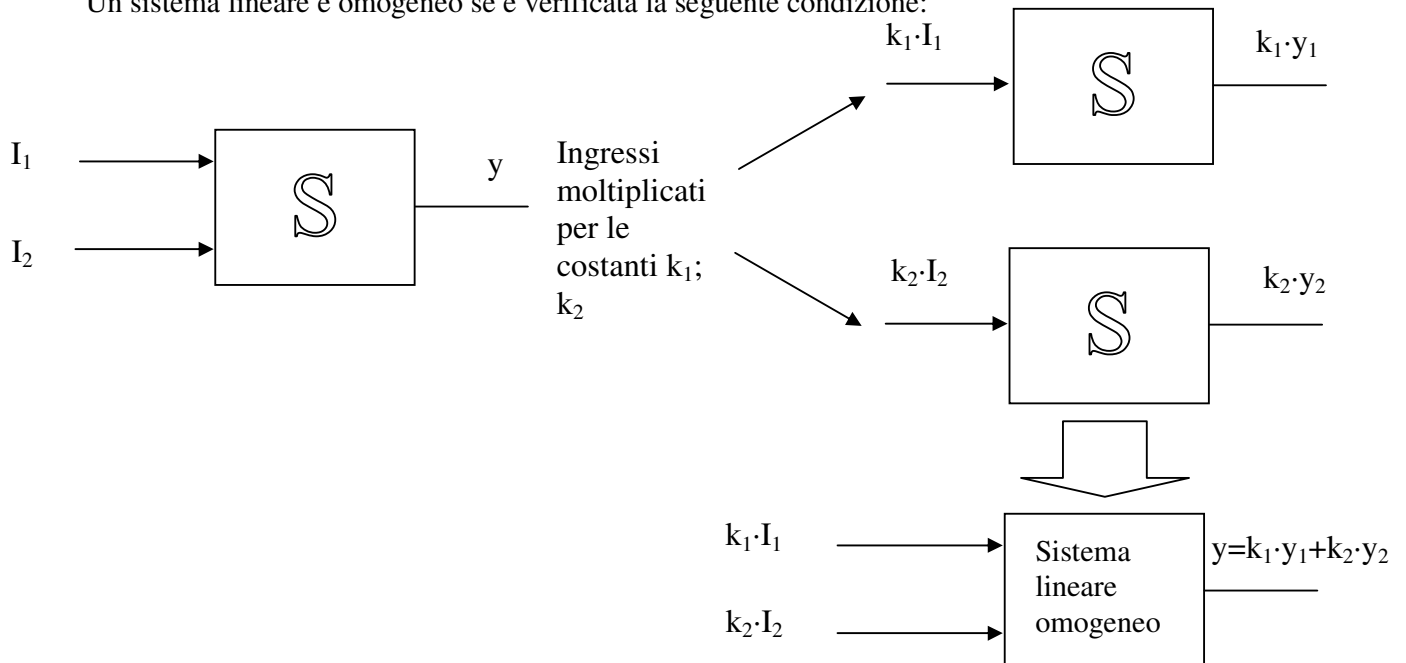
Per un sistema lineare gli effetti dovuti a più cause sono la risultante, somma algebrica, degli effetti prodotti da ogni causa applicata singolarmente.

Lo studio dei sistemi lineari risulta così semplificato perché riportato allo studio di sottosistemi più semplici.

È fondamentale lo studio dei sistemi stazionari e lineari, con i quali inoltre si cerca di lavorare soprattutto nel campo tecnico.

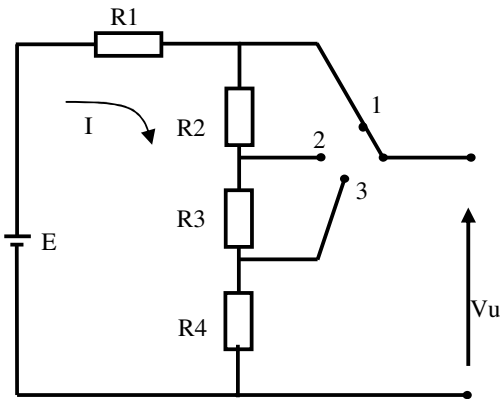
#### Concetto di omogeneità

Un sistema lineare è omogeneo se è verificata la seguente condizione:



**Esercizio N°1 (sistema discreto)**

Dato il circuito di figura calcolare le tre tensioni d'uscita.

**DATI**

$$E = 120V$$

$$R2 = 2R1$$

$$R3 = 3R1$$

$$R4 = 4R1$$

$$I = \frac{E}{R1 + R2 + R3 + R4} = \frac{120}{R1 + 2R1 + 3R1 + 4R1} = \frac{120}{10R1}$$

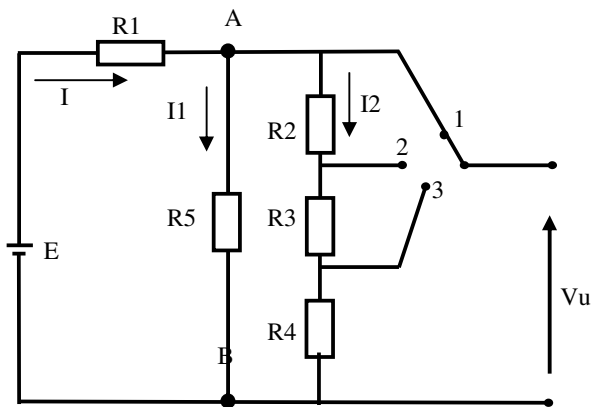
$$V_3 = R4 * I = \frac{4R1 * 120}{10R1} = 48V$$

$$V_2 = (R3 + R4) * I = (3R1 + 4R1) \frac{120}{10R1} = \frac{7R1 * 120}{10R1} = 84V$$

$$V_1 = (R3 + R2 + R4) * I = (3R1 + 2R1 + 4R1) * \frac{120}{10R1} = \frac{9R1 * 120}{10R1} = 108V$$

**Esercizio N2 (sistema discreto)**

Dato il circuito di figura calcolare le tre tensioni d'uscita.

**DATI**

$$E = 120V$$

$$R2 = 2R1$$

$$R3 = 3R1$$

$$R4 = R1$$

$$R5 = 3R1$$

$$R_s = R2 + R3 + R4 = 2R1 + 3R1 + R1 = 6R1$$

$$R_p = R_s // R5 = \frac{R_s * R5}{R_s + R5} = \frac{6R1 * 3R1}{6R1 + 3R1} = 2R1$$

$$R_t = R1 + R_p = 3R1$$

$$I = \frac{E}{R_t} = \frac{120}{3R1} = \frac{40}{R1}$$

$$V_{AB} = R_p * I = 2R1 * \frac{40}{R1} = 80V$$

$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_s} = \frac{80}{6R1} = \frac{40}{3R1} A$$

$$V_{u3} = R4 * I_2 = R1 * \frac{40}{3R1} = \frac{40}{3} V$$

$$V_{u1} = V_{AB} = 80V$$

$$V_{u2} = (R3 + R4) * I_2 = (3R1 + R1) * \frac{40}{3R1} = \frac{4R1 * 40}{3R1} = \frac{160}{3} V$$

**Esercizio N°3 (sistema lineare)**

Dato il circuito di fig.1 (sistema lineare) calcolare la differenza di potenziale  $V_{AB}$

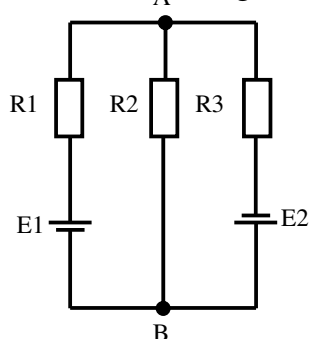


Fig.1

**DATI**

$$E1 = 100V$$

$$E2 = 200V$$

$$R1 = R2 = R3 = 10K$$

**1ª FASE**

$V_{AB}' \rightarrow E1$  ( $E2 = 0 \rightarrow$  CORTO CIRCUITO)

Lo schema di Fig.1 si semplifica nello schema di Fig.2

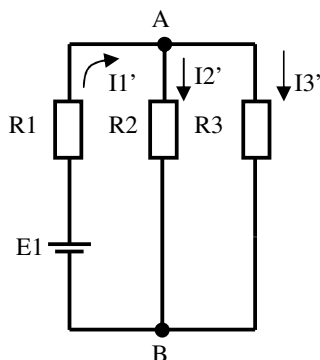


Fig.2

$$I1' = \frac{E1}{R2 // R3 + R1} = \frac{100}{(5 + 10) * 10^3} = \frac{100}{15} mA$$

$$V_{AB}' = R2 // R3 * I1' = 5 * 10^3 * \frac{100}{15} * 10^{-3} = \frac{100}{3} V$$

$$V_{AB}' = \frac{100}{3} V$$

**2ª FASE**

$V_{AB}'' \rightarrow E2$  ( $E1 = 0 \rightarrow$  CORTO CIRCUITO)

Lo schema di Fig.1 si semplifica nello schema di Fig.3

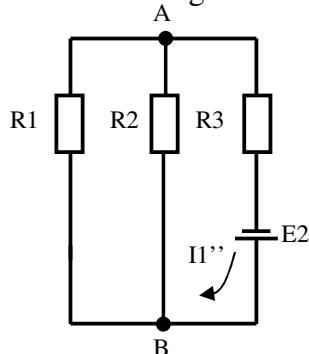


Fig.3

$$I1'' = \frac{E2}{R1 // R2 + R3} = \frac{200}{(5 + 10) * 10^3} = \frac{200}{15} mA$$

$$V_{AB}'' = -R1 // R2 * I1'' = -5 * 10^3 * \frac{200 * 10^{-3}}{15} = -\frac{200}{3} V$$

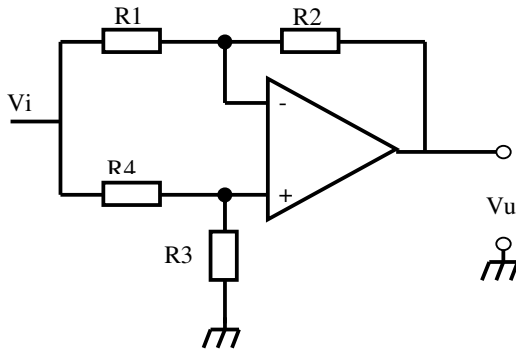
$$V_{AB}'' = -\frac{200}{3} V$$

**3ª FASE**

Somma algebrica

$$V_{AB} = V_{AB}' + V_{AB}'' = \frac{100}{3} - \frac{200}{3} = -\frac{100}{3} = -33,3V$$

$$V_{AB} = -33,3V$$

**Esercizio N°4 (sistema lineare)**Dato il circuito di Fig.1 (sistema lineare) calcolare  $V_u$ 

DATI

$$V_i = 2V$$

$$R_1 = 10K$$

$$R_2 = 20K$$

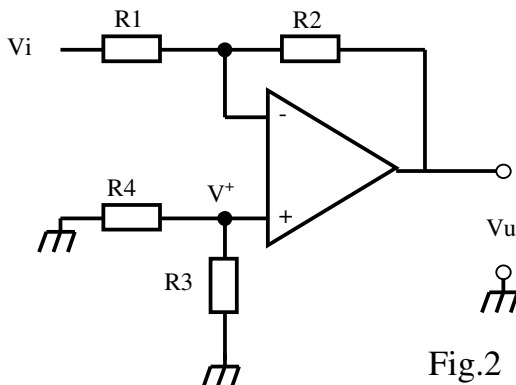
$$R_3 = 30K$$

$$R_4 = 40K$$

Fig.1

**1ª FASE CONTRIBUTO INVERTENTE**

Lo schema di Fig.2 si semplifica nello schema di Fig.2.



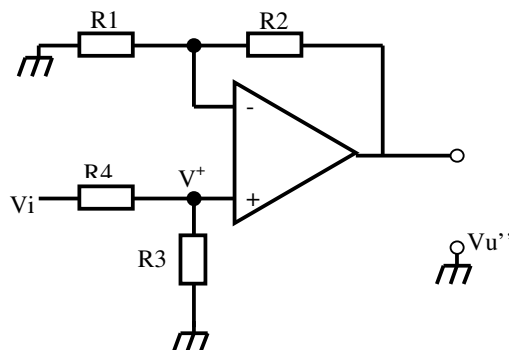
$$V_U' = -\frac{R_2}{R_1} * V_i = -\frac{20 * 10^3}{10 * 10^3} * 2 = -4V$$

$$V_U' = -4V$$

Fig.2

**2ª FASE CONTRIBUTO NON INVERTENTE**

Lo schema di Fig.1 si semplifica nello schema di Fig.3.



$$V_U'' = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) * V^+$$

$$V_U'' = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) * \frac{V_i}{R_4 + R_3} * R_3$$

$$V_U'' = \left(1 + \frac{20 * 10^3}{10 * 10^3}\right) * \frac{2}{(40 + 30) * 10^3} * 30 * 10^3$$

$$V_U'' = (1 + 2) * \frac{2 * 30}{70} = \frac{18}{7}V$$

$$V_U'' = \frac{18}{7}V$$

Fig.3

$$V_U = V_U' + V_U''$$

$$V_U = -4 + \frac{18}{7} = \frac{-28 + 18}{7} = \frac{-10}{7} = -1,43V$$

$$V_U = -1,43V$$

**3ª FASE SOMMA ALGEBRICA**

### Esercizio N°5 SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA VELOCITA'

Il sistema di rilevamento, schematizzato in Fig.1, è costituito da due fotocellule, a raggi infrarossi, distanti 1m l'una dall'altra e da un contatore.

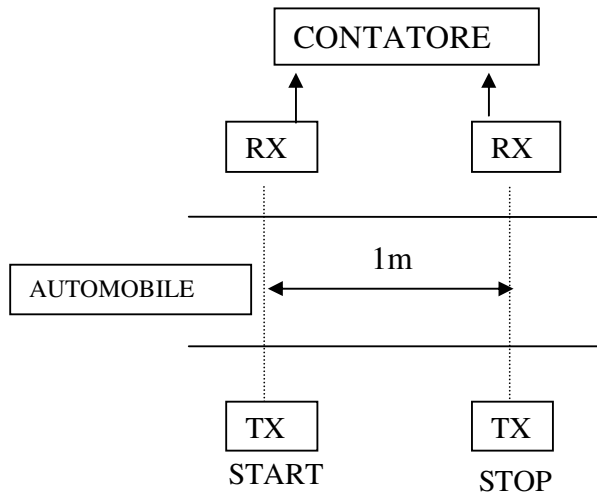


Fig.1

Il segnale di start, che avvia il conteggio, è generato quando un autoveicolo in moto interrompe il raggio emesso dal primo dispositivo TX (start).

Il segnale di stop, che arresta il conteggio, viene generato quando l'autoveicolo, dopo aver percorso 1m, distanza delle fotocellule, interrompe il raggio emesso dal secondo dispositivo TX.

La velocità scalare media dell'autoveicolo è:  $V = \frac{S}{T}$        $S = 1m$

Dall'esame dello schema di Fig.1 ricavare :

1. variabili d'ingresso;
2. variabili d'uscita;
3. parametri del sistema;
4. classificare il sistema;

### SOLUZIONE

Il sistema indicato in Fig.1 può essere schematizzato nello schema di Fig.2.

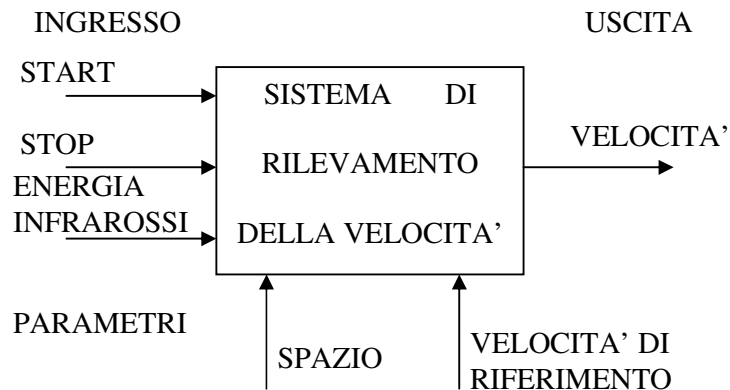


Fig.2

Le variabili d'ingresso sono:

1. start;
2. stop;
3. energia infrarossi.

Le variabili d'uscita sono:

1. velocità.

I parametri sono:

1. spazio;
2. velocità di riferimento.

Il sistema può essere così classificato:

- **DETERMINISTICO** perché è possibile determinare con certezza la velocità dell'autoveicolo.
- **INVARIANTE NEL TEMPO** perché si suppone che gli elementi del sistema conservino invariate nel tempo le loro caratteristiche.
- **CONTINUO** perché la variabile d'uscita assume tutti i valori che possono essere messi in corrispondenza con un sottoinsieme di numeri reali.
- **SENZA MEMORIA** perché la variabile d'uscita dipende dai segnali di start e di stop generati durante il passaggio dell'autoveicolo. Al termine di ogni rilevamento il sistema è automaticamente inizializzato.
- **APERTO** perché interagisce con l'ambiente.



## Esercizio N°6 SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE DI GAS

Il sistema di rilevamento della concentrazione di gas presente in una stanza è costituito da un opportuno sensore di gas, da un circuito elettronico adatto a trasformare una variazione della concentrazione di gas in una variazione di tensione ad essa proporzionata.

Questo sistema può essere collegato ad un sistema di allarme che deve azionare un'elettrovalvola per arrestare il flusso del gas e contemporaneamente una sirena di segnalazione nel caso in cui i valori della concentrazione del gas superino quelli prestabiliti corrispondenti ad una determinate tensione di riferimento.

In condizioni normali l'elettrovalvola deve rimanere aperto.

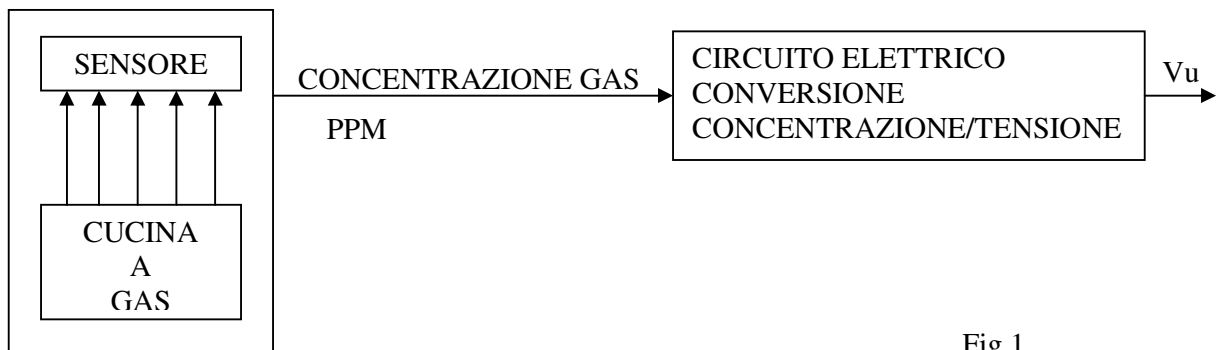


Fig.1

Dalla descrizione del sistema ricavare:

1. variabili d'ingresso;
2. variabili d'uscita;
3. parametri del sistema;
4. classificare il sistema.

### SOLUZIONE

Lo schema di Fig.1 viene semplificato nello schema a blocchi di Fig.2

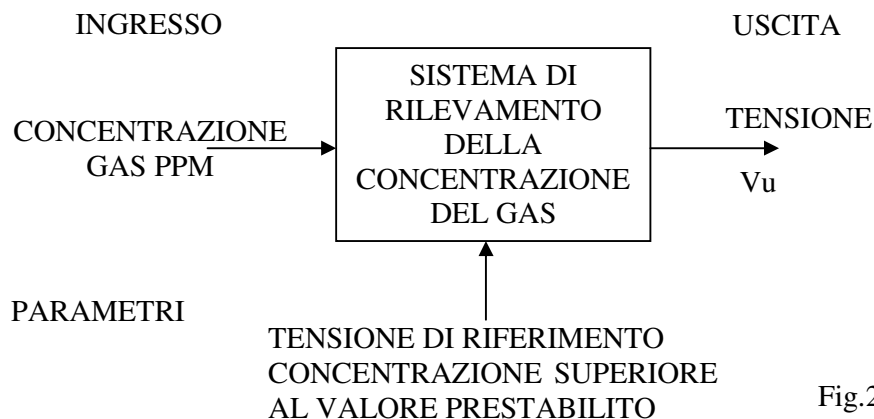


Fig.2

1. variabili d'ingresso: concentrazione gas PPM
2. variabili d'uscita: tensione  $V_u$
3. parametri: tensione di riferimento concentrazione superiore al valore prestabilito.

Sulla base della descrizione verbale e dello schema a blocchi di Fig.1, il sistema è classificato:

- **DETERMINISTICO** perché è possibile calcolare il valore della tensione d'uscita se si conosce la concentrazione del gas.
- **CONTINUO** perché i valori che può assumere la tensione d'uscita possono essere messi in corrispondenza con un sottoinsieme dei numeri reali (es. compresi nell'intervallo 0-5V).
- **APERTO** perché interagisce con l'ambiente.
- **SENZA MAMORIA** perché la tensione d'uscita all'istante T dipende dal valore della concentrazione del gas presente nell'ambiente nel medesimo istante T.

### Esercizio N°7 SISTEMA DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA CON PANNELLI SOLARI.

Il sistema schematizzato in Fig.1 costituisce un esempio di produzione di energia elettrica sfruttando l'energia solare.

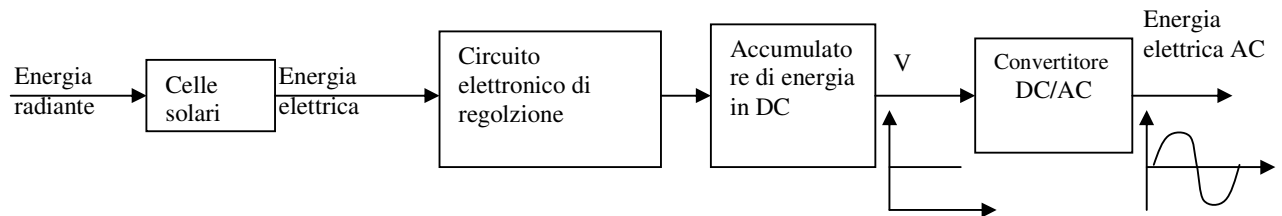


Fig.1

Esso è costituito da un certo numero di pannelli solari che convertono l'energia solare in energia elettrica (tensione continua). Il circuito elettronico di regolazione ottimizza il rendimento del sistema e protegge, tra le altre funzioni svolte, i pannelli solari nei periodi in cui essi non ricevono la radiazione luminosa.

L'energia in DC viene infine trasformata da un apposito sottosistema in alternata (convertitore DC/AC)

Dalla descrizione del sistema ricavare:

1. variabili d'ingresso;
2. variabili d'uscita;
3. classificare il sistema.

Il sistema indicato in Fig.1 può essere schematizzato nello schema a blocchi di Fig.2



Fig.2

## SOLUZIONE

1. variabili d'ingresso: energia radiante.
  2. variabili d'uscita: energia elettrica AC.
  3. classificazione del sistema:
- **DETERMINISTICO** perché è possibile determinare l'energia prodotta dal sistema a parità di energia variante incidente sulla superficie dei pannelli.
  - **INVARIANTE** tutti i componenti mantengono inalterate le loro caratteristiche nel tempo.
  - **APERTO** perché il sistema interagisce con l'ambiente.
  - **CONTINUO** perché la variabile d'uscita (tensione AC) può assumere tutti i valori compresi in un intervallo definito (220V)
  - **DINAMICO** perché la variabile d'uscita all'istante generico T dipende dall'energia radiante sui pannelli in quell'istante e dall'energia immagazzinata nell'accumulatore.

## 4.1 - Modelli.

Nel corso dello sviluppo scientifico l'uomo ha formulato le leggi relative ai fenomeni naturali, operando semplificazioni e approssimazioni con il risultato di pervenire a rappresentazioni astratte della realtà.

La semplificazione e l'astrazione rispetto alla realtà porta alla costruzione di quello che nel linguaggio scientifico viene definito modello, termine con il quale si deve intendere una rappresentazione astratta e semplificata di un fenomeno o di un sistema, adatta a far comprendere l'evoluzione e le caratteristiche di esso (fenomeno o sistema)

Il modello classico di un atomo richiama immediatamente l'immagine di un nucleo centrale, costituito da protoni e neutroni, attorno al quale si muovono gli elettroni.

La peculiarità principale di un buon modello risiede nella semplicità, nella aderenza alla realtà e nella generalità. Pertanto nel costruire il modello di un fenomeno o di un sistema è buona norma assumere ipotesi semplificative, saper scegliere le caratteristiche essenziali e tralasciare inizialmente le altre. In tal modo si semplifica il calcolo per lo studio di esso.

La scelta delle caratteristiche non importanti dipende dal punto di vista con il quale si intende affrontare lo studio del fenomeno o del sistema. È noto infatti che la medesima realtà può essere rappresentata con modelli diversi.

Un tecnico dell' hardware vede un personal computer come un insieme di schede e circuiti integrati, egli ritiene che il software sia una caratteristica non essenziale del sistema. Un programmatore vede un personal computer come un sistema in grado di gestire programmi di applicazione. Dal suo punto di vista è irrilevante sapere in che modo i programmi siano eseguiti dall' hardware.

In realtà il sistema è un'entità complessa costituita da tanti elementi che interagiscono tra di loro: la validità del modello costruito per un'applicazione scientifica specifica comincia a non essere più aderente alla realtà quando è applicato oltre i limiti consentiti. Allora il programmatore si renderà conto che il suo modello di personal, costituito da soli programmi, ha dei limiti in quanto lo sviluppo di un programma non può prescindere dalle caratteristiche hardware della macchina (ad esempio la capacità di memoria). Analogamente il tecnico dell' hardware deve tener presente, nel momento in cui progetta alcune parti del personal, i fondamenti del linguaggio macchina del microprocessore utilizzato.

**In definitiva un modello è la rappresentazione semplificata di una realtà complessa: esso è costruito con lo scopo di analizzare gli aspetti significativi dell'applicazione specifica rispetto all'insieme generale.**

## 4.2 - Classificazione dei modelli.

La parola modello richiama un'auto in scala o il plastico di un edificio.

Sebbene i modelli in scala siano molto noti tra la gente e siano stati utilizzati fin dai tempi più antichi, tuttavia essi non costituiscono l'unico modo possibile per rappresentare la realtà.

Esistono altre forme di rappresentazione di un fenomeno o di un sistema, forme che possono essere classificate in base alle finalità, alla natura, ecc.

Di seguito viene riportata una classificazione dei modelli che frequentemente si trova nei testi che trattano la teoria dei sistemi.

- **Modelli iconici.**
- **Modelli analoghi.**
- **Modelli astratti.**

- **Modelli iconici.**

I modelli **iconici o modelli fisici** sono una rappresentazione grafica in scala del sistema. Esempi di modelli iconici sono:

- **lo schema di un impianto elettrico;**
- **la pianta di un edificio o di un impianto industriale.**

Il significato di modello iconico si estende anche a quei modelli che rappresentano il prototipo del sistema in scala ridotta o a dimensioni reali (1:1).

Il plastico di una diga è un esempio di modello iconico in scala ridotta.

Un'auto utilizzata nella galleria del vento è un esempio di modello iconico in grandezza naturale. Da quest'ultimo esempio si deduce che i modelli iconici sono utilizzati per valutare le caratteristiche del sistema in fase di progettazione e di collaudo.

- **Modelli analoghi.**

Un altro esempio di modello fisico è costituito dai modelli analoghi, utilizzati per simulare il comportamento di sistemi meccanici, idraulici, termici, ecc. con sistemi elettrici.

Due sistemi si definiscono analoghi quando, pur essendo di natura diversa (per esempio sistema meccanico ed elettrico), le loro variabili sono legate dalle medesime relazioni matematiche. Il comportamento del sistema idraulico rappresentato in fig.1 è analogo a quello del sistema elettrico di fig.2.

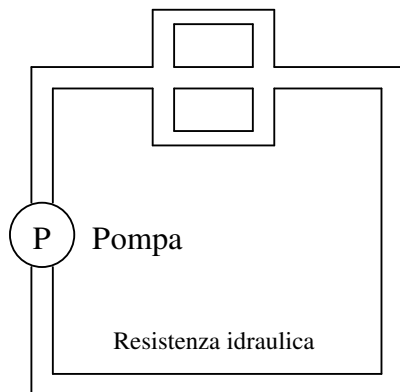


Fig. 1

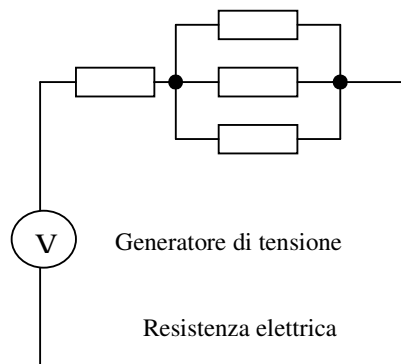


Fig. 2

Il comportamento del sistema meccanico massa-molla rappresentato in fig.3 può essere simulato con il circuito oscillante costituito da un condensatore e da un induttore (fig. 4).

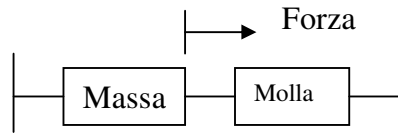


Fig. 3

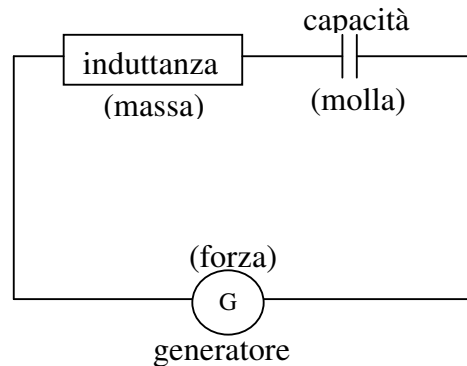


Fig.4

### • Modelli astratti

Il modello di un sistema, come detto, deriva da un processo di astrazione della realtà: lo studio del moto di un'automobile, per esempio, prescinde dalla natura precisa degli oggetti che si trovano al suo interno in quanto, dopo il processo di astrazione, il sistema automobile può essere rappresentato con una massa  $M$  situata in corrispondenza del baricentro del mezzo. Quando il processo di astrazione è molto spinto, allora si ottengono:

- lo schema a blocchi;
- il modello matematico/deterministico, modello matematico/statistico
- il modello grafico

### • Schema a blocchi

Lo consente di rappresentare un sistema mediante uno o più blocchi.

In ogni blocco si individuano le linee entranti che rappresentano le sollecitazioni o variabili d'ingresso applicate al blocco e le linee uscenti che rappresentano le risposte o le variabili d'uscita del blocco (fig. 5)

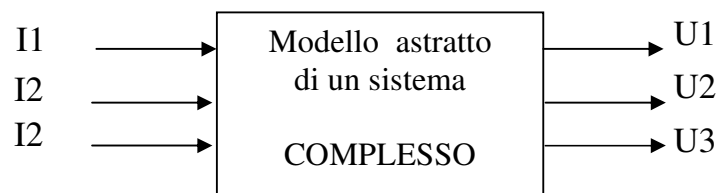


Fig.5

Ogni blocco è interconnesso agli altri con linee orientate che indicano il verso di propagazione dei segnali. Ogni blocco, inoltre, può rappresentare sia singoli elementi del sistema, sia tante parti distinte ma riunite in modo da formare un'unica entità (il motore del sistema automobile può essere rappresentata mediante un unico blocco pur essendo formato da molti elementi separati).

La rappresentazione di un sistema complesso mediante uno schema a blocchi si rivela utile perché consente di identificare gli elementi fondamentali del sistema e le

interazioni che esistono tra i singoli elementi, ma è limitativa perché non consente di fare valutazioni quantitative sul comportamento del sistema.

- **Modello matematico/deterministico, modello matematico/statistico**

Il modello matematico di un sistema, a differenza dello schema a blocchi, consente invece di risolvere numerosi problemi legati all'analisi e alla sintesi dei sistemi.

Per modello matematico di un sistema, o meglio per rappresentazione matematica del modello di un sistema, si deve intendere la rappresentazione astratta del sistema espressa mediante un insieme di relazioni matematiche che correlano le variabili e i parametri caratteristici del sistema. Il modello matematico consente, di definire lo stato nel quale verrà a trovarsi il sistema in un determinato istante se si conoscono le sue condizioni iniziali e alcune informazioni sulle variabili e sui parametri del sistema.

Un modello matematico può essere **deterministico** o **statistico** a seconda dei dati e delle relazioni matematiche utilizzate per costruirlo.

Se il fenomeno o il sistema presentano caratteristiche di casualità di importanza rilevante è necessario prevedere relazioni probabilistiche e funzioni di distribuzione di probabilità. In tal caso si parlerà di modello probabilistico. Se invece le caratteristiche di casualità presenti nel sistema sono irrilevanti, allora si dovrà pensare a un modello deterministico.

Poiché la ricerca del modello matematico di un processo richiede la conoscenza del modello matematico del sistema in cui esso si svolge, di seguito è illustrata la metodologia per la sua costruzione. Per costruire il modello matematico di un sistema è necessario, secondo l'approccio classico, scomporre il sistema in parti elementari, costruire i modelli delle singole parti elementari e, successivamente, ricomporre le singole parti tenendo presente le possibili interazioni tra esse.

Poiché ogni sistema è costituito da più componenti elementari, la fase di modellizzazione deve iniziare dalla costruzione del modello matematico di ognuno dei componenti costituenti il sistema, proseguire con la combinazione dei modelli dei singoli componenti fino a formare il modello matematico dell'intero sistema che deve essere studiato.

Per verificare la resistenza di un edificio, costruito in cemento armato, alle sollecitazioni di carico sarebbe necessario costruire l'edificio e sottoporlo alle prove di carico. È possibile evitare tali prove formulando il modello matematico del sistema costituito da un certo numero di equazioni che mettono in relazione la resistenza della struttura dell'edificio con l'intensità delle sollecitazioni ad esso applicate.

In tal modo è possibile conoscere a priori come si comporterà l'edificio in presenza di carichi ed è possibile calcolare il carico massimo che esso può sopportare senza che la sua struttura subisca danni.

L'utilizzazione del modello matematico/deterministico è molto diffusa per l'analisi e la sintesi delle strutture in cemento armato.

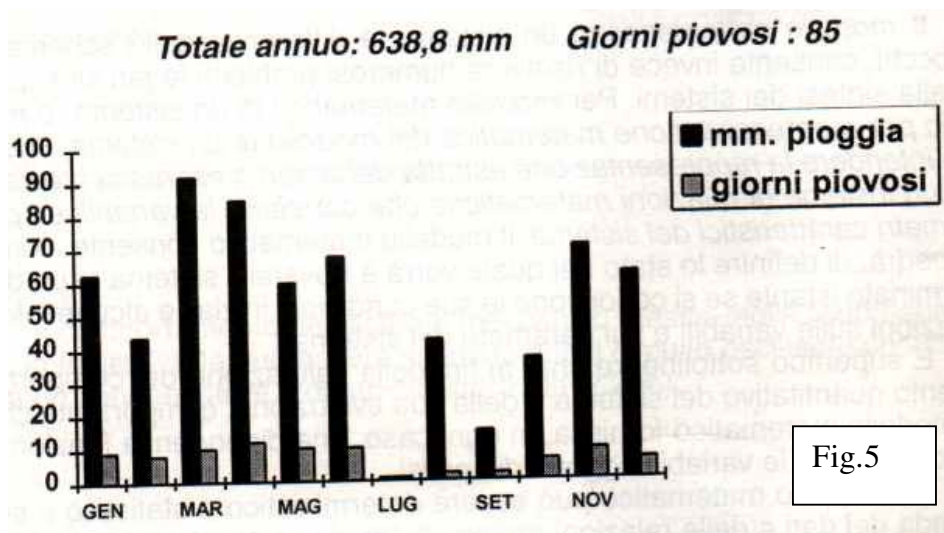
- **Modello grafico**

Quando le relazioni che legano le variabili dipendenti a quelle indipendenti sono costituite da tabelle o da grafici anziché da equazioni, allora si parla di **modelli grafici**.

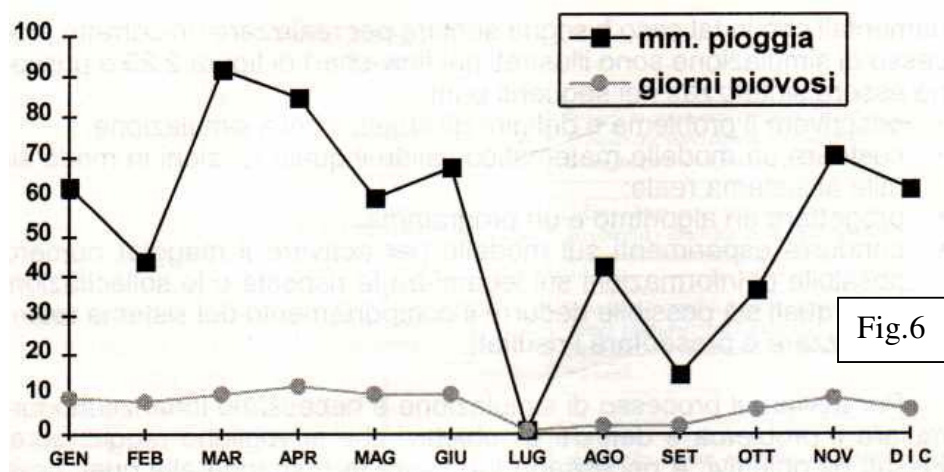
La rappresentazione grafica fornisce una visione immediata di alcuni aspetti significativi del sistema.

Il grafico di fig.5, detto a istogramma, e quello di fig.6, detto xy, indicano rispettivamente il numero di millimetri di pioggia caduti ogni mese nel 1988 ed il numero di giorni di piovosità che si sono avuti in ogni mese del medesimo anno.

Dai  
si



grafici  
rileva



immediatamente che la massima piovosità si è avuta nel mese di marzo, con 90 millimetri di pioggia, mentre la minima piovosità si è avuta nel mese di luglio insieme al minor numero di giorni piovosi.

### 4.3 - SIMULAZIONE.

Lo studio dei sistemi si prefigge di capire quale possa essere l'andamento della risposta del sistema quando è sollecitato da variabili d'ingresso di vario tipo.

Per raggiungere l'obiettivo è necessario in primo luogo aver definito limiti del sistema e identificato gli elementi che lo costituiscono, in altre parole è necessario che il sistema oggetto di studio esista realmente. A tal fine si potrebbero utilizzare i sistemi naturali e quelli artificiali già costruiti, ma quelli artificiali in corso di progettazione non sarebbero in ogni caso disponibili. Inoltre, qualora si volessero sottoporre a prove i sistemi naturali



ed artificiali già esistenti, si correrebbe il rischio di danneggiarli o distruggerli in modo irreparabile. Se in laboratorio è possibile sollecitare al massimo il motore di un'automobile fino alla sua distruzione non è possibile, invece, caricare le strutture di un ponte oltre certi limiti perché, così facendo, potrebbe essere danneggiato permanentemente.

Molti problemi sopra citati sono stati ormai superati con l'utilizzazione di tecniche di simulazione al computer, che consentono di analizzare il comportamento di un sistema economico, industriale, naturale, ecc. senza dover intervenire direttamente sul sistema reale.

**Per simulazione si intende la possibilità di costruire il modello di un sistema reale, condurre esperimenti su di esso al fine di ricavare informazioni dalle quali sia possibile dedurre il comportamento e la sua evoluzione temporale.**

Simulare il comportamento di un sistema significa dunque costruire il suo modello, condurre su di esso esperimenti e trasferire al sistema reale, per la verifica, i risultati delle conoscenze così acquisite. La simulazione è applicata sia a problemi prettamente ingegneristici, quali il dimensionamento di sistemi di controllo, sia a problemi gestionali, sociali, biologici, ecc.

Le tecniche di simulazione, dette anche modelli di simulazione perché sono classificate secondo il modello matematico utilizzato per la loro realizzazione, si distinguono in:

- 1. modelli deterministici;**
- 2. modelli probabilistici.**

I primi non tengono conto degli elementi casuali e sono risolti con metodi di calcolo esatti, mentre i secondi tengono conto dei fenomeni aleatori e sono fatti evolvere inserendo elementi di casualità. I modelli probabilistici di simulazione sono maggiormente utilizzati perché forniscono, per ragioni che esulano dagli scopi di questo corso, una rappresentazione del sistema più aderente alla realtà di quella fornita da un equivalente modello deterministico.

La simulazione richiede l'uso del computer in ambedue i casi e perciò è superfluo sottolineare che essa debba essere accompagnata da un processo di discretizzazione.

I criteri fondamentali che in tal caso bisogna seguire per realizzare un corretto processo di simulazione sono illustrati nel flow-chart di figura 7 e possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- descrivere il problema e definire gli obiettivi della simulazione;
- costruire un modello matematico valido il quale funzioni in modo simile al sistema reale;
- progettare un algoritmo e un programma;
- condurre esperimenti sul modello per ricavare il maggior numero possibile di informazioni sui legami tra le risposte e le sollecitazioni dalle quali sia possibile dedurre il comportamento del sistema reale;
- analizzare e presentare i risultati.

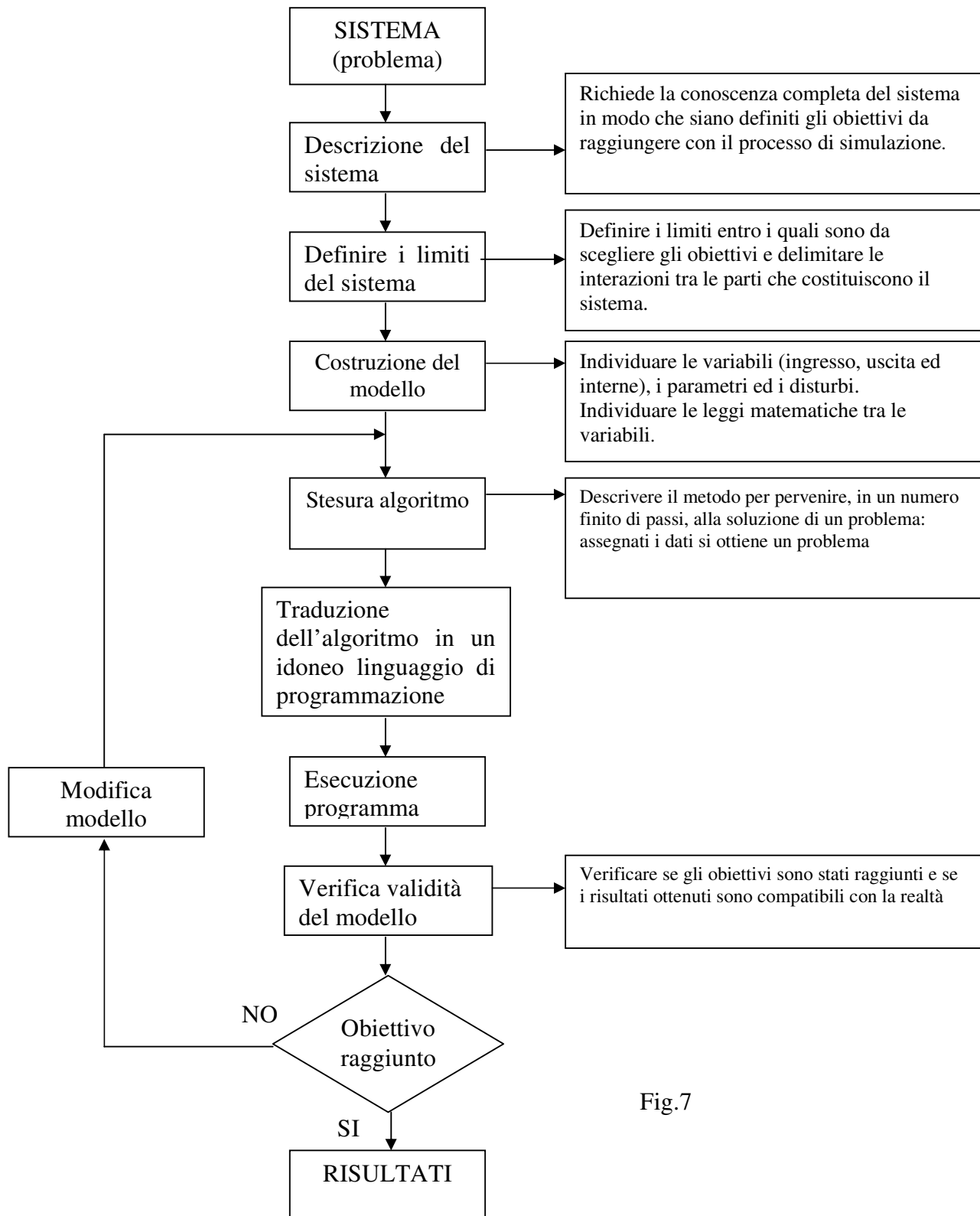


Fig.7

Per avviare il processo di simulazione è necessario innanzitutto formulare il problema e definire gli obiettivi che si vogliono raggiungere. Fissati gli obiettivi, è necessario formulare le domande alle quali deve essere data risposta, scegliere le ipotesi da verificare e stimare gli effetti.

Costruire il modello matematico significa individuare gli elementi del sistema, identificare le variabili (d'ingresso, d'uscita e i parametri) e le relazioni funzionali che le legano.

Le relazioni funzionate devono essere ben definite, in modo che il sistema sia descritto solo mediante leggi matematiche e/o logiche che legano le variabili.

Terminata la fase di costruzione del modello è necessario provvedere alla ricerca dell'algoritmo e alla stesura del programma di simulazione in un linguaggio di programmazione. Quest'ultima fase deve comprendere la preparazione del flow-chart, la codifica vera e propria, la ricerca degli errori di programma ed infine, nel caso esista un sistema reale, la elaborazione su una situazione già nota, in modo da rilevare eventuali errori di logica che non siano stati precedentemente individuati. È necessario poi collaudare il modello sottoponendolo a molte verifiche sperimentali. Quando il modello non risponde alla realtà e i risultati della simulazione non sono affidabili è necessario ripercorrere le fasi precedentemente descritte e verificare se siano state erroneamente ritenute non essenziali alcune grandezze o interazioni, se i dati scelti per l'esperimento simulato non siano adatti allo scopo, ecc.

Nel primo caso è necessario cambiare il modello matematico, mentre nel secondo caso risulta fondamentale la scelta di un corretto intervallo di discretizzazione.

Questo ciclo deve essere ripetuto più volte fino a quando non risulti soddisfacente la rispondenza del modello alla realtà. Una volta accertata la validità del modello, è possibile passare alle prove di simulazione che consistono nel, far funzionare il modello applicando al suo ingresso sollecitazioni di tipo diverso. Le prove devono essere ripetute fino a quando non si ritiene che il numero dei dati acquisiti sia sufficiente a garantire la validità prefissata. È importante, in ultimo, che i dati siano raccolti in forma di grafici o tabelle da cui risultino evidenti le relazioni tra le variabili e siano disponibili in tutte le fasi della simulazione, compresa quella di collaudo.