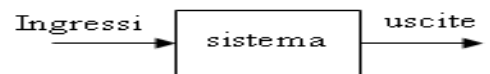


Definizione di sistema: Un sistema è un insieme di parti o elementi collegati tra loro in diversi modi per raggiungere uno scopo comune preciso.

Esempio: la **scuola** è un insieme di persone fisiche, strutture, leggi, programmi per ottenere l'educazione e la formazione degli alunni.

Il modello di un sistema generico viene presentato attraverso un blocco funzionale o una scatola nera.

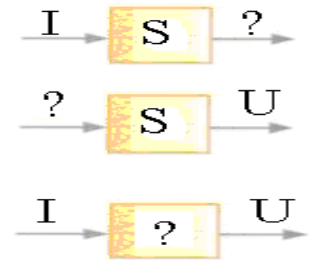


chiare la differenza tra le **grandezze controllate** e quelle **controllanti** in un sistema?

Nell'ambito del controllo le **variabili di uscita** sono **variabili dipendenti** e vengono chiamate **grandezze controllate** o **effetto** mentre le **variabili in entrata** sono **variabili indipendenti** sono dette **grandezze controllanti di riferimento o causa**.

Perché studiare un sistema: il sistema viene studiato per affrontare tre diversi tipi di problemi.

- 1- **Problema della previsione:** Noti l'ingresso I ed il sistema S si vuole determinare l'uscita U;
- 2- **Problema di controllo:** Noti l'uscita U e il sistema S, si vuole conoscere l'ingresso I. In pratica si vuole sapere quale ingresso deve essere applicato per ottenere una determinata uscita.
- 3- **Problema di identificazione:** Noti l'ingresso I e l'uscita U, si vuole conoscere il sistema S.

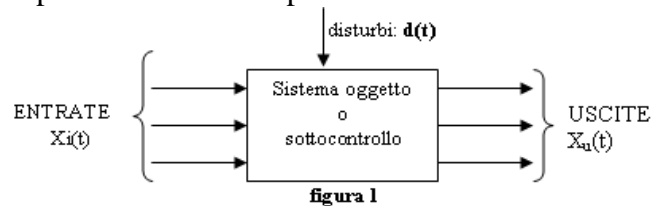


La differenza tra rumore e disturbo:

per **rumore (noise)** solitamente si intendono segnali di origine aleatoria o stocastica (casuale) provenienti dall'interno di un sistema e vengono descritti in termini probabilistici, mentre i **disturbi** sono segnali che provengono dall'esterno (**interferenze**) e possono pertanto essere descritti in termini deterministici (attraverso formule e regole matematiche). Sia il rumore che il disturbo possono limitare le prestazioni di un sistema.

L'effetto indesiderato consiste in un'alterazione o **distorsione** del segnale informativo utile.

Un rumore bianco (white noise) è un particolare tipo di rumore che ha un'ampiezza o potenza costante su tutto lo spettro delle frequenze.



Definizione del rapporto segnale rumore:

In **telecomunicazioni** ed **elettronica** il **rapporto segnale/rumore**, spesso abbreviato con la sigla inglese **SNR** (*Signal to Noise Ratio*) o **S/N** anche nell'uso italiano, è una grandezza numerica adimensionale che mette in relazione la potenza del **segnale** utile rispetto a quella del **rumore** in un qualsiasi sistema di acquisizione, elaborazione o **trasmissione** dell'**informazione**.

Il rapporto segnale/rumore è formalmente espresso dalla relazione:

$$SNR = \frac{P_{segnale}}{P_{rumore}} \quad \text{con} \quad 0 \leq SNR < \infty$$

dove $P_{segnale}$ è la potenza del segnale utile e P_{rumore} la potenza totale del rumore presente nel sistema, grandezze queste solitamente espresse in **watt** o **dBm**.

Il rapporto S/N, misura la qualità del segnale utile rispetto al rumore.

CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI, I sistemi vengono classificati in:

- **sistemi naturali:** sono i sistemi presenti in natura già costituiti (ecosistema, sistema solare ...);
- **sistemi artificiali:** sono il risultato dell'attività del uomo (l'automobile, la scuola...);
- **sistemi deterministici:** sono sistemi di cui si può determinare con certezza il comportamento rispettando leggi matematiche (distributore di biglietti, impianto luce ...);
- **sistemi stocastici o probabilistici:** sono sistemi in cui il loro comportamento è legato alle leggi del caso e il proprio comportamento può essere oggetto di previsioni di tipo probabilistico (ad esempio non è possibile prevedere con certezza il formarsi di una coda sull'autostrada, oppure il sistema delle elezioni politiche);
- **sistemi continui:** sono sistemi descritti con variabili continue (sistemi con variabili analogiche che assumono valori definiti in qualsiasi istante: il sistema termico che misura la variazione della temperatura);
- **sistemi discreti:** sono quelli descritti con variabili digitali o numeriche (il personal computer, microcontrollore);

- **sistema dinamico**: se sia l'ingresso che l'uscita evolvono nel tempo; Esempio: si consideri un sistema dinamico composto da un generatore di tensione $V(t)$ ed un condensatore
- **sistema lineare**: un sistema dinamico è detto lineare se soddisfa il principio di sovrapposizione degli effetti, il legame fra l'uscita e l'ingresso è di tipo proporzionale (una retta), esempio la resistenza elettrica. Nei sistemi lineari l'effetto dovuto a più cause diverse è pari alla somma degli effetti delle singole cause
- **sistema stazionario** o **tempo-invariante**: quando fornisce risposta uguale alla stessa sollecitazione d'ingresso, qualsiasi sia l'istante in cui viene applicato; in altre parole, **un sistema si dice stazionario (o tempo invariante)** quando i suoi parametri rimangono costanti nel tempo. In un sistema elettrico i parametri sono i valori delle resistenze, dei condensatori e delle induttanze.
- **sistemi aperti**: qualsiasi sistema a contatto con l'ambiente esterno ovvero scambia una qualche forma di energia con tutto ciò che è esterno al sistema stesso (**l'abitazione, una pentola senza coperchio** piena d'acqua che bolle, scambia calore ma anche materia con l'esterno)
- **sistemi chiusi**: sono sistemi immuni all'influenza proveniente dall'esterno oppure gli effetti dell'ambiente esterno rappresentati come disturbo (effetti indesiderati) hanno un peso marginale sul comportamento del sistema (**il pianeta Terra nel suo complesso**, se si esclude l'apporto trascurabile di materia fornito dalle meteoriti, scambia con l'ambiente al di fuori dell'atmosfera solo energia, che costantemente riceve dal Sole come energia radiante (soprattutto radiazioni luminose e infrarosse) e alla fine restituisce allo spazio cosmico come calore. Può essere perciò considerato un sistema chiuso. Un altro esempio di **sistema chiuso è la lampadina**: essa scambia con l'ambiente circostante energia ricevendola come elettricità e restituendola come energia luminosa e calore, mentre l'ampolla di vetro sigillata impedisce ogni scambio di materia con l'esterno.

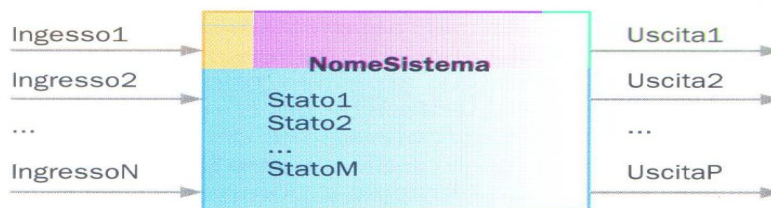
sistemi combinatori: quando la risposta in un dato istante di tempo, dipende solamente dalle combinazioni tra gli ingressi (circuito a porte logiche: NOT, AND e OR), si dicono **sistemi senza memoria**.

sistemi sequenziali: sono i sistemi che **contengono memoria**, cioè la risposta in un dato istante di tempo, non dipende solo dalle combinazioni tra gli ingressi ma da un **stato** precedente memorizzato (latch, flip-flop, ...). In questi sistemi, oltre agli ingressi e alle uscite, descritte attraverso opportune variabili, esiste un'altra grandezza che caratterizza un sistema: lo **stato interno**.

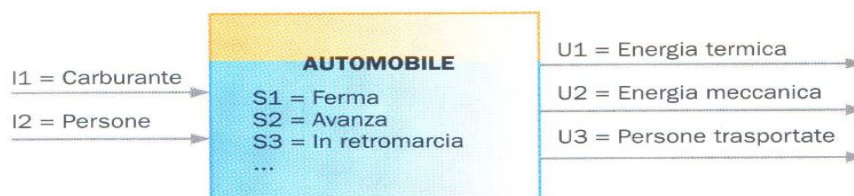
Lo **stato interno** rappresenta le proprietà caratteristiche, di un sistema ovvero le informazioni necessarie e sufficienti atte a descriverne le condizioni in cui si trova il sistema in un determinato istante.

Nell'esempio del sistema aeroplano, lo stato interno può essere composto dall'insieme dei valori che rappresentano i litri di carburante nei serbatoi, il numero di giri del motore, il livello dell'olio ecc.

Leggere i valori dello stato di un sistema in un determinato istante equivale a farne una fotografia ovvero a vedere la situazione in quel momento.



Se consideriamo, per esempio, il sistema automobile, possiamo rappresentarlo col seguente diagramma a blocco:



cosa si intende per controllo?

Con il termine **controllo**, si intende l'azione o l'insieme delle azioni intraprese, per costringere una grandezza fisica (temperatura, spostamento, velocità, ecc..) a evolvere nel modo desiderato. **Esempio**: un problema classico di controllo può essere quello di imporre alla velocità di un motore di assumere nel tempo valori prefissati e noti (*restare costante, crescere in modo proporzionale al tempo ecc.*)

Controllo automatico?

Il problema del controllo, comporta l'individuazione delle grandezze controllanti e della relativa evoluzione, per far sì che, le grandezze controllate assumano il comportamento evoluto desiderato. L'azione sulle grandezze controllanti può essere svolta in modo **completamente automatico**, da un sistema dinamico che viene denominato **controllore o regolatore** (sono dispositivi di controllo indipendenti dall'intervento del uomo).

L'automazione, consiste nella sostituzione dell'intervento e del lavoro dell'uomo, con il lavoro di macchine dotate di un certo grado di intelligenza sollevandolo da compiti ripetitivi e migliorando con ciò l'efficienza dell'esercizio.

Allora, è evidente che una caratteristica dei sistemi di automazione è quella di sfruttare una forma di energia per sollevare l'uomo da compiti faticosi.

Esempio:

- la catena di montaggio di automobili è automatica ed è costituita da soli robot.
- L'impianto di irrigazione, solleva il uomo della fatica del trasporto e il controllo dell'acqua.

SISTEMA DI CONTROLLO

Il **sistema di controllo** è un qualsiasi sistema fisico, il quale operi al mantenimento di una certa relazione fra una grandezza di ingresso (riferimento) ed una grandezza di uscita (controllata) anche in presenza di disturbi.

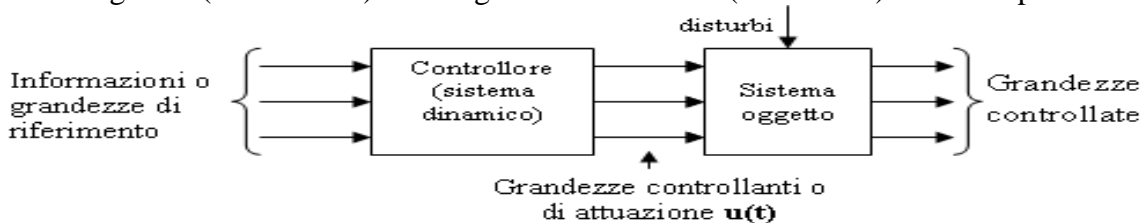


figura. 2

L'azione del controllore è rivolta alle grandezze controllanti del sistema oggetto e a esse viene imposta una determinata evoluzione chiamata **legge di controllo**. Il sistema risultante dalla combinazione del controllore e del sistema oggetto viene detto **sistema di controllo**.

Classificazione dei sistemi di controllo

I sistemi di controllo si classificano in:

Sistemi ad anello aperto (detto anche controllo in **avanti** o controllo in **feedforward**): sistema in cui l'azione di controllo è indipendente dall'uscita.

in sistemi ad anello aperto non operano alcuna verifica se la grandezza d'uscita ha il valore voluto e perciò non garantiscono il mantenimento della relazione prestabilita tra i segnali di riferimento e la grandezza controllata.

Un tostapane è un sistema ad anello aperto perché è controllato con un timer che decide quale è il tempo necessario per fare un "buon toast".

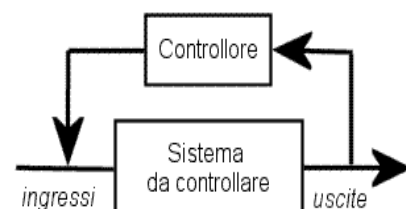
Quindi si ottiene il controllo di qualità del toast (l'uscita) una volta che si è indicato il tempo di cottura, il quale costituisce sia l'ingresso che l'azione di controllo.



Sistemi ad anello chiuso (retroazionati o retroregolazione detto anche **feedback**): sistema in cui l'azione di controllo dipende dall'uscita.

La caratteristica di questi sistemi, è la presenza di una retroazione negativa che consente di compensare in gran parte l'effetto dei disturbi, riportando la variabile controllata alla condizione voluta o prefissata.

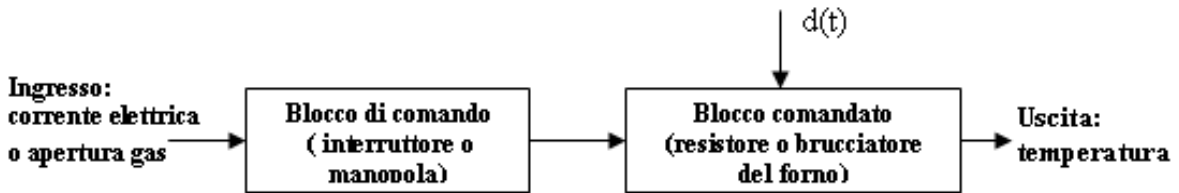
La retroazione: si intende quella proprietà del sistema per cui l'uscita viene continuamente confrontata con l'ingresso, in modo da produrre, ogni qualvolta ci sia una diversità fra l'uscita reale e quella voluta, un'azione correttiva che riporti l'uscita al valore desiderato.



Quali sono i vantaggi di un controllo in reazione rispetto a un controllo in anello aperto?

Con il controllo ad **anello aperto** non si hanno informazioni sullo stato effettivo della grandezza di uscita (**poco preciso e instabile**). In altri termini, qualora un disturbo agente sul sistema modifichi in modo indesiderato l'uscita il sistema non è in grado di effettuare nessuna correzione. (esempio il tostapane, il forno di casa, l'uomo fa da controllore).

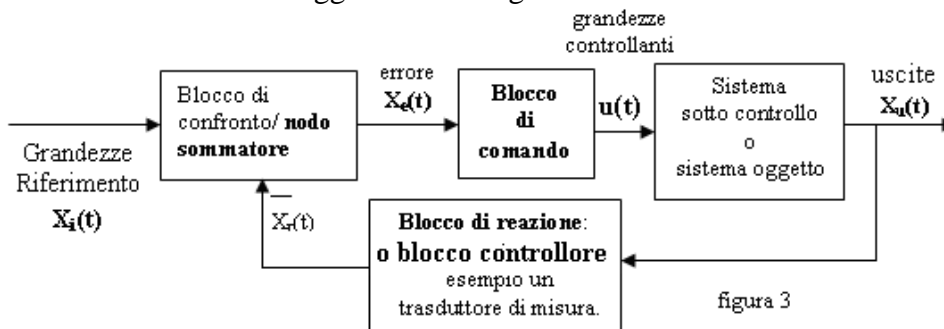
Esempio: Lo schema ad anello aperto del forno di casa



$d(t)$: disturbo può essere causato (apertura e chiusura sportello) – (oturazioni ugelli del bruciatore) – (l'invecchiamento del resistore) tutto questo comporterebbe a un cambiamento nella risposta del sistema. Nel sistema ad anello aperto (**figura 1**), le grandezze controllanti coincidono con le grandezze di riferimento. Invece, nella (**figura. 2**) è un tipo di controllo automatico ad azione diretta.

Controllo ad anello chiuso (*in reazione o feed back*) la grandezza di uscita è continuamente controllata, e confrontata con una grandezza di riferimento, in modo da fornire al controllore le opportune informazioni che permettono a quest'ultimo di agire sulle grandezze controllanti al fine di ottimizzare l'evoluzione delle grandezze controllate, compensando così eventuali variazioni di quest'ultima a causa di possibili disturbi. (*esempio controllo di temperatura di un appartamento*)

Il concetto base utilizzato nei sistemi di controllo ad anello chiuso è la retroazione negativa, dal risultato del segnale errore ottenuto si interviene a correggere o no il segnale di uscita.



esempio di schema a blocchi ad anello chiuso vede modello controllo temperatura figura 5 e 6.

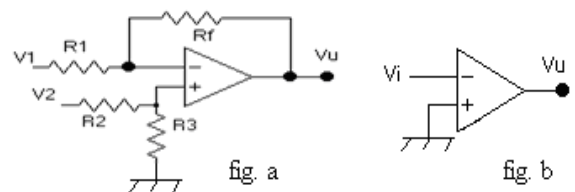
- $X_i(t)$ è il segnale di riferimento, ossia il segnale elettrico che rappresenta il valore desiderato della grandezza da controllare;
- $X_r(t)$ è il segnale di uscita riportato in ingresso e rappresenta una misura della grandezza da controllare viene chiamato segnale di reazione
- $X_e(t)$ è il segnale errore e rappresenta la differenza tra il valore di riferimento e quello misurato.

blocco reazione (feed back e reazione negativa): preleva la grandezza controllata fornendo un segnale $X_r(t)$ ad essa sostanzialmente proporzionale, ma non necessariamente omogenea e rappresenta una misura della grandezza da controllare. Il suo obiettivo è quello di opporsi alle variazioni delle grandezze di uscita, dovute a cause impreviste o disturbi, rendendo così il sistema controllabile.

In elettronica **questo** tipo di **reazione** viene utilizzata **negli amplificatori**.

Nodo sommatore o di confronto:

Esso effettua la differenza tra il segnale riferimento e quello di reazione generando un segnale errore $X_e(t) = X_i(t) - X_r(t)$. questo blocco può essere un semplice comparatore (fig. b) o un amplificatore differenziale (fig. a).

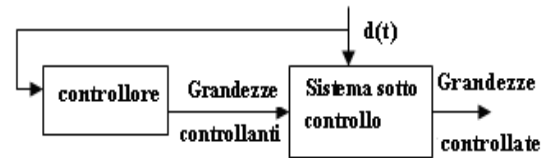


Il blocco di comando: in base al segnale errore ricevuto opera le azioni correttive di controllo volute (regolatore + attuatore).

Il **trasduttore**, ha il compito di convertire la grandezza fisica in una grandezza elettrica (corrente o tensione).

Sistema di controllo di tipo feed – forward (azione in avanti o compensazione):

Il controllo ad anello aperto può essere modificato per tener conto dei disturbi che tendono a modificare l'azione di regolazione desiderata, utilizzando il principio della compensazione diretta (feed forward). In elettronica questa reazione viene utilizzato nei **oscillatori**.

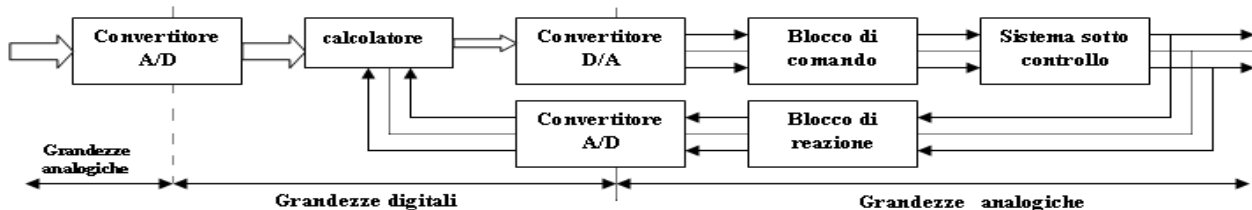


In questo sistema non viene eseguita una misura diretta della variabile controllata per effettuare le necessarie correzioni, ma una misura sul disturbo per compensarne gli effetti.

La differenza tra *feed forward* e *feed back* è che **nel primo**, l'informazione necessaria per effettuare le necessarie correzioni viene assunta su grandezze in entrata (i disturbi) e non sulle grandezze in uscita come nel **secondo**. La compensazione e la reazione possono anche coesistere in un medesimo sistema di controllo.

I sistemi di controllo a catena chiusa si distinguono in:

1. **regolatori**: quando la grandezza di uscita deve essere mantenuta costante (controllo di temperatura: forno, frigorifero e ambiente domestico). Il regolatore detto PID (**Proporzionale, Integrativo, Derivativo**) rappresenta, quasi certamente, il modo più usato per effettuare le regolazioni ad anello chiuso. Questa tipologia di regolatore è senza dubbio la più usata e conosciuta proprio perché integra in un solo componente le tre azioni regolatrici P, PD, PI.
2. **servosistemi**: quando la grandezza controllata deve seguire nel tempo le variazioni della grandezza di riferimento (l'amplificatore di potenza è un servosistema, il segnale d'uscita deve seguire l'andamento di quello d'ingresso).
3. **servomeccanismi o controllo cinetico**, quando le grandezza controllate sono di tipo meccanico (velocità, posizione e angolo di rotazione. Esempio il servosterzo: le ruote devono seguire l'angolo di rotazione dello sterzo oppure il sistema di trasmissione e ricezione via satellite: l'antenna di trasmissione e di ricezione insegue istante per istante il satellite).
4. **a valore programmato**: quando le grandezze controllate devono avere nel tempo un andamento prestabilito (il ciclo di lavaggio di una lavatrice deve seguire un programma prestabilito lo è anche per i distributori automatici di bevande).

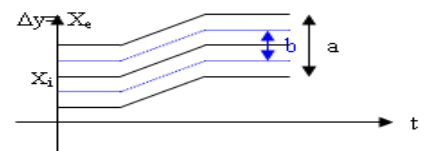


Il nodo di confronto è costituito da un calcolatore, attraverso un software è in grado di manipolare solo grandezze discrete (binarie o digitali). È necessario disporre opportune interfacce (convertitori Analogici/Digitali A/D e D/A) tra calcolatore e sistema controllato

I requisiti dei sistemi di controllo: Ad sistema di controllo è richiesto:

Buona stabilità: La **stabilità di un sistema** è la sua capacità di mantenere le sue grandezze in uscita entro valori limitati prestabiliti a fronte di variazioni limitate delle grandezze ai suoi ingressi.

Alta precisione: consente di fornire una risposta, che sia vicina a quella ideale in limiti ristretti di errore. **Un sistema preciso** quando è sufficiente un piccolo scostamento della grandezza di uscita dal valore di riferimento, per far intervenire il sistema di controllo.

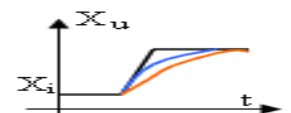


a: sistema a bassa precisione; b.: sistema ad alta precisione;

Δy (errore): lo scarto dell'uscita dal valore di riferimento X_i .

Sensibilità ai rumori: limita gli effetti prodotti dai disturbi sulla grandezza controllata, di risentire nel minor modo possibile gli effetti dei disturbi dovuti a cause esterne.

Tempo o velocità di risposta: rappresenta la quantità di tempo impiegata dal sistema per portarsi a regime dopo una variazione dell'uscita causata da una modifica della grandezza di riferimento o dai disturbi.



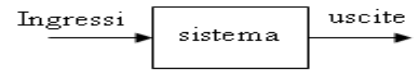
Alla variazione brusca del valore di riferimento X_i (linea nera), corrisponde una risposta: **Linea blu**: un sistema a risposta rapida, invece **linea rossa**: un sistema a risposta più lento con un tempo di risposta più lungo.

Cosa si intende per modello?

Studiare e progettare un sistema di controllo, significa disporre di un modello costruito da elementi di vario genere, che debbono realizzare un processo.

Un modello è una astrazione mentale della realtà, che l'uomo con le sue facoltà di ragionamento riesce a costruirne a somiglianza, con lo scopo di procedere in modo adeguato all'analisi, al progetto e alla costruzione del sistema e del suo controllo.

Il modello di un sistema generico viene presentato attraverso un blocco funzionale.



Tipologie di modelli: I modelli di un sistema possono essere assai diversi, in funzione dell'obiettivo per cui vengono realizzati:

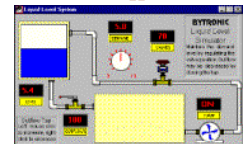
modelli iconici: hanno un aspetto fisico simile a quello dei sistemi. Per esempio: il modellino di un'auto per studiarne l'aspetto esteriore e anche la penetrazione aerodinamica.



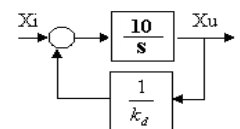
Modelli analogici: evidenziano una proprietà del sistema con una rappresentazione avente andamento analogico. Per esempio: il diagramma cartesiano che descrive il legame funzionale tra due variabili di un sistema



Modelli di simulazione: a partire dalla conoscenza delle variabili d'ingresso e della struttura, permettono di prevedere il comportamento del sistema ricorrendo in genere a software specializzati. Per esempio: i simulatori elettronici Pspice o Multisim



Modelli a blocchi o matematici: le parti principali dei sistemi vengono rappresentate mediante funzioni matematiche, le cui variabili corrispondono (in forma opportuna) a quelle del sistema. Per esempio la funzione di trasferimento (f.d.t) dei quadripoli.



Il modello a blocchi di un sistema riscaldamento (senza il controllo della temperatura ambiente):

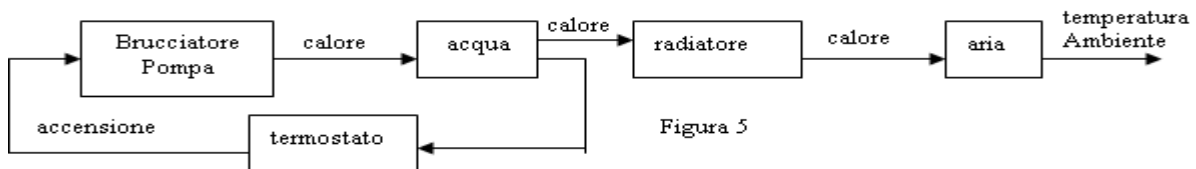


Figura 5

Il modello a blocchi di un sistema riscaldamento (con controllo temperatura ambiente):

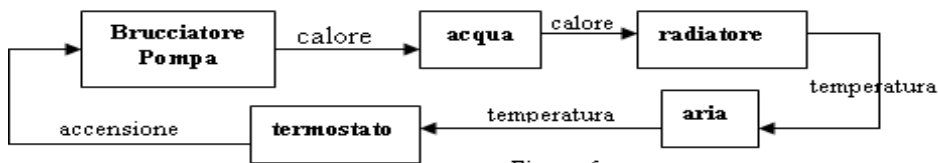
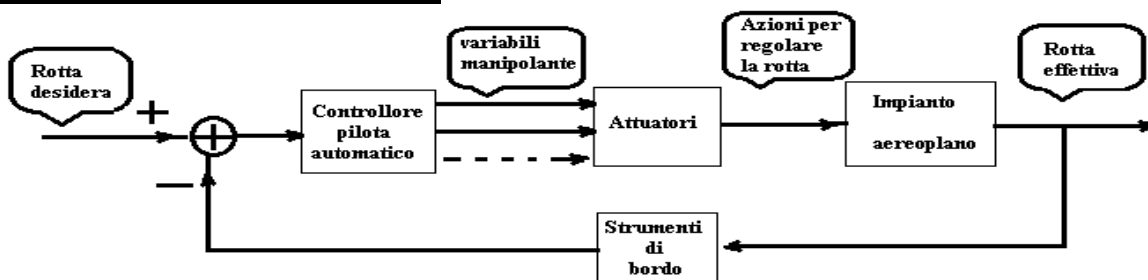


Figura 6

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

Il modello del pilota automatico nell'aereo



Il pilota stabilisce gli input del controllo corrispondenti alla rotta prescelta e una serie di strumenti di navigazione misurino con continuità l'effettiva rotta dell'aeroplano. Il calcolatore di bordo elabora tali dati e

sulla base dei risultati delle elaborazioni eseguite agisce, con opportuni attuatori, sulla superficie di controllo (flap, timone, ecc.), in modo da mantenere la rotta prefissata nonostante i cambiamenti delle condizioni atmosferiche.

Il controllo automatico gestito da un "calcolatore di bordo" di un aereo, in grado di mantenere autonomamente la rotta stabilità dal pilota.

Esercizi:

1- Realizzare lo schema a blocchi di un sistema di irrigazione in catena aperta e ad anello chiuso, in cui abbiamo a disposizione (acqua, pompa, centralina per impostare i tempi di irrigazione, umidità del terreno, sensore umidità).

In catena aperta, viene impostata la centralina, definendo i tempi di irrigazione senza verificare se il terreno è umido.

In catena chiusa il sensore riporta il valore dell'umidità alla centralina che lo confronterà con un valore di riferimento, impostato dall'utente. Essa deciderà se è il caso di aumentare o diminuire il tempo di irrigazione.

2- Realizzare un sistema a catena chiusa che controlla la temperatura di un forno a gas. I parametri a disposizione sono: ingresso una temperatura di riferimento prestabilita, un sensore di temperatura, un disturbo causato dall'apertura e chiusura dello sportello forno, uscita il controllo della temperatura del forno, attuatore: una valvola che fa aumentare o diminuire la portata del gas, un controllore che fornisce all'attuatore l'inizio e la fine del lavoro in base all'errore misurato dal nodo di confronto.

3- Realizzare il modello del partitore di tensione utilizzando un potenziometro (ingresso resistenza variabile, l'uscita una tensione, e altri parametri aggiuntivi: segnale tensione d'ingresso e il valore resistivo totale).

4- Realizzare il modello del pilota automatico: il sistema deve mantenere costante una velocità impostata. I parametri sono: velocità di riferimento e di uscita, trasduttore di velocità, variabili controllanti è la quantità del carburante, centralina di controllo e attuatore: pompa di iniezione, sistema oggetto: motore e parti meccaniche, disturbo: fattori ambientali.



Figura 3.1 Sistema irrigatore in catena aperta



Figura 3.2 Sistema irrigatore catena chiusa

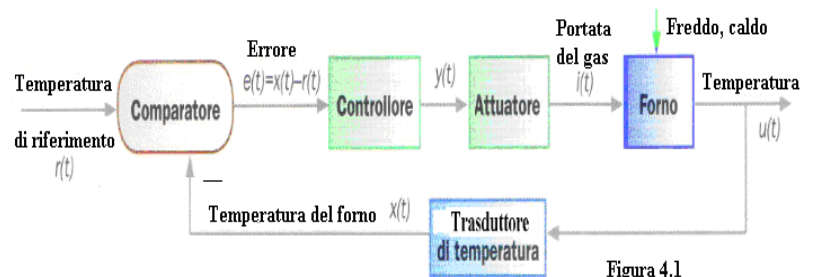


Figura 4.1

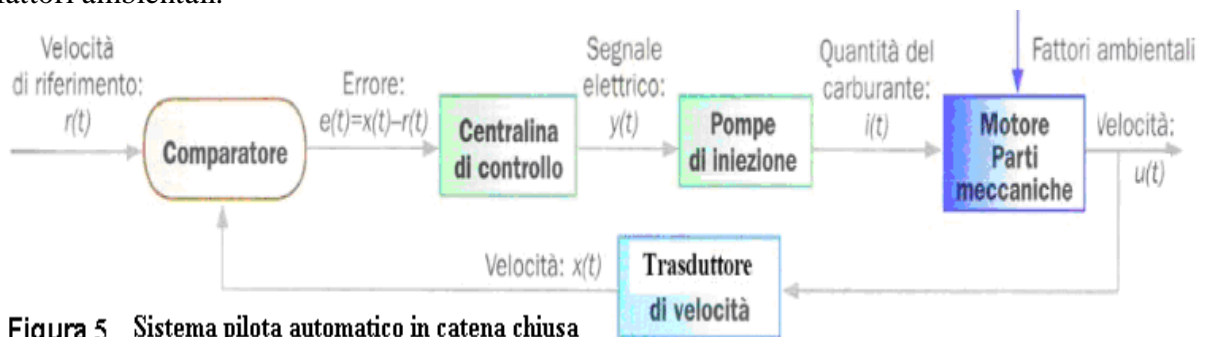
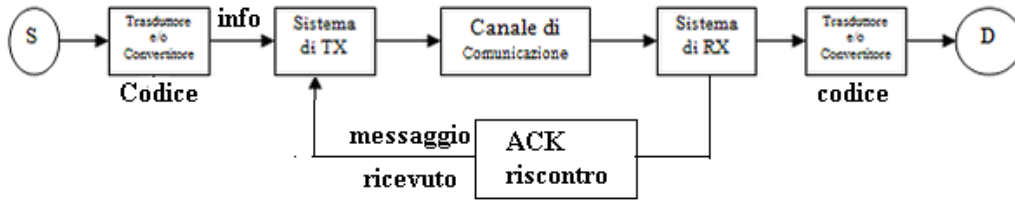


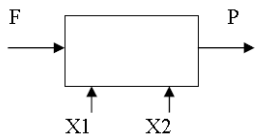
Figura 5 Sistema pilota automatico in catena chiusa

5- descrivere gli elementi costitutivi di un sistema di comunicazione. (pensaci alla spedizione email via internet)

L'obiettivo della **Telecomunicazione** è la trasmissione di dati e/o informazioni da una sorgente (S) ad un destinatario (D).



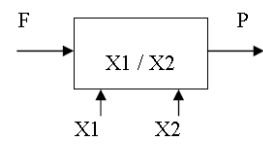
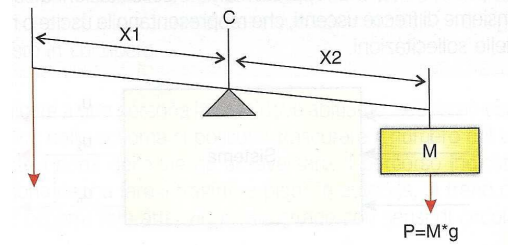
6- Rappresentare il sistema formato da una leva per studiare la relazione che esiste tra peso P che si può sollevare applicando la forza F.



I valori dei bracci della leva X1 e X2 possono essere fissati a un valore costante per il periodo Osservazione (variabili di stato). Si tratta di trovare la relazione esistente tra F e P
La condizione di equilibrio è data da:

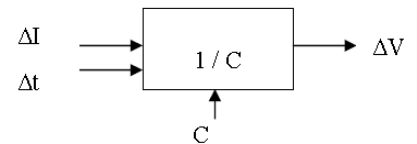
$F * X1 = P * X2$ e quindi la relazione ingresso/uscita risulta;
 $P = (X1/X2) * F$

Per cui il modello si trasforma nel seguente modo figura a destra

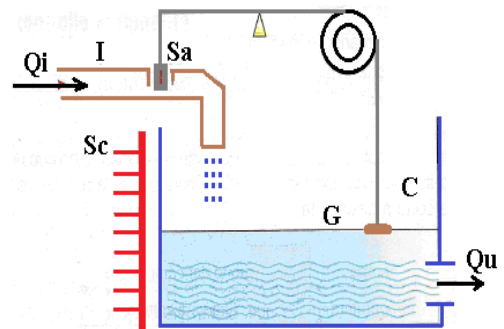
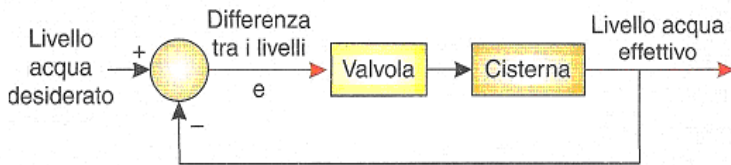


7- Rappresentare l'andamento temporale della tensione V ai capi di un condensatore C attraversato da una corrente I variabile nel tempo.

Poiché la corrente è, per definizione, la variazione della carica nel tempo, si può scrivere: $\Delta I = C * \Delta V / \Delta t$ Indicando con I la corrente che circola nel condensatore. $\Delta V = \Delta I * \Delta t / C$



8- Rappresentare un sistema a controllo automatico di un serbatoio di acqua destinato ad alimentare una serie di utenti e rifornito da un condotto collegato a una rete di distribuzione



- Qi : portata di acqua entrante;
- Qu portata di acqua in uscita;
- C: cisterna;
- SC scala graduata per il livello ;
- Sa : valvola di immissione;
- G: galleggiante;
- I: condotto.