

PROBLEMI E SISTEMI DI CONTROLLO

Problemi di controllo

I problemi di controllo consistono nell'imporre una *modalità di funzionamento desiderata* ad un *sistema controllato* assegnato

Il *sistema controllato* può essere, ad esempio, un impianto, una apparecchiatura,, una macchina od anche un fenomeno di natura fisica (ad esempio si controlla l'eutrofizzazione delle alghe).

La *Modalità di funzionamento assegnata*, rinunciando a dare formulazioni più generali, è espressa dalla richiesta che l'andamento nel tempo di alcune variabili di interesse del sistema coincida (approssimativamente) con gli andamenti nel tempo di variabili preassegnate.

Nel corso faremo riferimento ad un sistema con una sola variabile di interesse. Essa è quindi detta *variabile controllata*.

L'andamento nel tempo della variabile preassegnata rappresenta l'andamento desiderato della variabile controllata ed è anche detto *segnale di riferimento*

Obiettivo

In poche parole si desidera che l'andamento dell'uscita di un sistema (che è la variabile di interesse) sia il più possibile simile ad un segnale di riferimento assegnato (per tutto il tempo in cui il funzionamento del sistema è di interesse).

Si dice anche che si desidera che l'uscita *insegu* il riferimento

Per perseguire tale obiettivo occorre avere la possibilità di condizionare la variabile controllata.

A tale scopo si suppone di poter agire sul sistema mediante una variabile manipolabile o anche detta di controllo. Tale variabile è quella che nella rappresentazione dei sistemi abbiamo chiamato ingresso.

Riassumendo in termini matematici

Problema del Controllo: l'inseguimento ideale

Per il sistema



determinare la legge di controllo $u(t)$ tale che $y(t) = K_c r(t)$ (nella realtà sarà soddisfatto solo approssimativamente) dove K_c è detta costante di regolazione e $r(t)$ è il segnale di riferimento.

Realizzazione della legge di controllo mediante un regolatore

Controllo ad azione diretta

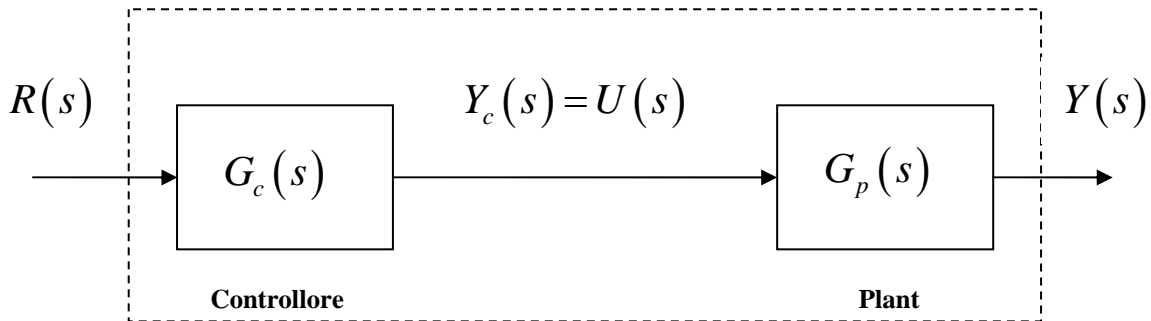
La legge di controllo $u(t)$ può essere realizzata da un sistema dinamico, detto controllore o regolatore, che elabora il segnale di riferimento. L'ingresso del regolatore è quindi il riferimento $r(t)$.

In tal caso il controllo è detto ad *azione diretta*

Vediamone lo schema

- sia $G_p(s)$ la fdt del sistema controllato (il pedice p sta per Plant ossia impianto)
- sia $G_c(s)$ la fdt del sistema controllore (detto anche regolatore soprattutto nel caso in cui il riferimento da inseguire sia costante)

Lo schema di un controllo ad azione diretta (si dice anche controllo ad anello aperto) è



Sistema di controllo ad azione diretta

ove $R(s)$ è la trasformata del segnale di riferimento.

Limitazioni del controllo ad azione diretta (detto anche a catena aperta, od anello aperto da alcuni autori):

- il valore della variabile manipolabile $u(t)$ non dipende da quello della variabile controllata $y(t)$
- $G_c(s)$ viene progettato supponendo che il sistema sia descritto completamente dalla sola $G_p(s)$.

Tali caratteristiche del controllo ad azione diretta fanno sì che esso non possa tener conto di variazioni parametriche del sistema ($G_p(s)$ in realtà è $G_p(s) + \Delta G_p(s)$) né di ingressi non modellati, i disturbi, agenti sul sistema.

Sia in condizioni nominali (cioè senza errore di modello e senza disturbi) sia in condizioni reali (cioè con errore di modello e con disturbi), la legge di controllo che $G_c(s)$ fornisce al sistema è sempre la stessa: $u(s) = G_c(s)R(s)$.

Evidentemente, nel caso reale, le prestazioni del sistema di controllo possono deteriorarsi in modo inaccettabile.

Per le ragioni sopra esposte è necessario che il controllore (o regolatore) possa avere informazione dell'andamento reale della variabile controllata in modo tale da correggere l'azione di controllo sulla base dello scostamento reale, misurato, fra l'andamento desiderato e quello ottenuto.

Ciò è realizzato dalla schema di controllo in retroazione negativa sotto rappresentato

Sistema di controllo in retroazione negativa

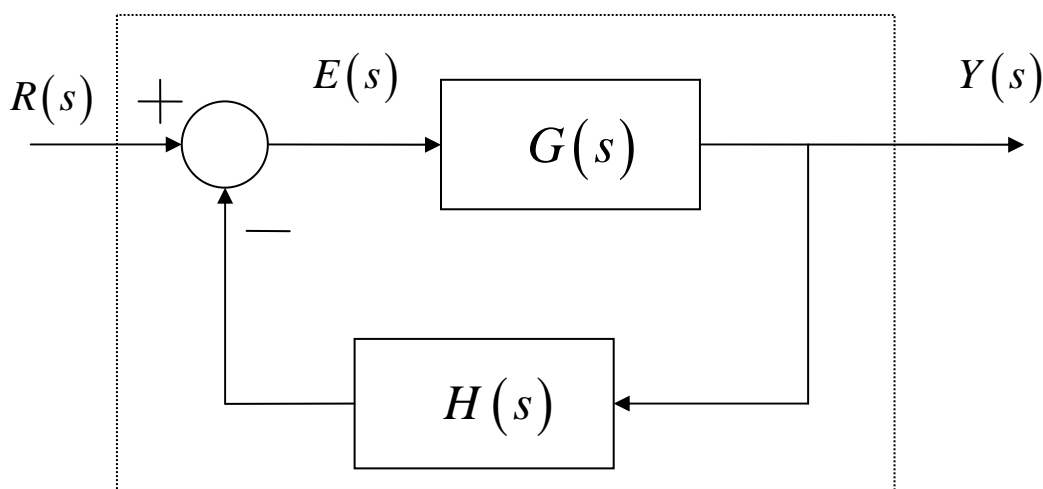


Figura 1: sistema di controllo in retroazione negativa

- $G(s) = G_c(s)G_p(s)$: la funzione di trasferimento del ramo in catena diretta è data dalla cascata della parte del regolatore agente in catena diretta, ossia $G_c(s)$ e del plant $G_p(s)$
- $H(s) = H_T(s)H_c(s)$: la funzione di trasferimento del ramo di retroazione è data dalla cascata della funzione di trasferimento dall'apparato di misura dell'uscita (trasduttore), ossia $H_T(s)$, e della parte del controllore agente nel ramo di retroazione, ossia $H_c(s)$
- $R(s)$ è il segnale di riferimento che deve essere "inseguito" il più fedelmente possibile
- $E(s)$ è il cosiddetto segnale errore. Il regolatore elabora il segnale errore per generare il segnale di controllo

- la retroazione è detta “negativa” perché il segnale di retroazione si sottrae da quello di riferimento.
In caso contrario è detta positiva.
- Più precisamente, la retroazione si dice negativa quando, immaginando di sezionare in un punto l’anello, una perturbazione del segnale a valle viene riportata sul segnale a monte del sezionamento con segno opposto. Si dice positiva in caso contrario

La retroazione positiva non si usa perché, di regola, porta ad instabilità del sistema complessivo in retroazione.

Quindi con maggior grado di precisione nella descrizione del sistema di controllo, la Figura 1 può essere così ripetuta individuando il regolatore, il plant ed il sensore di misura (trasduttore) nel ramo di retroazione

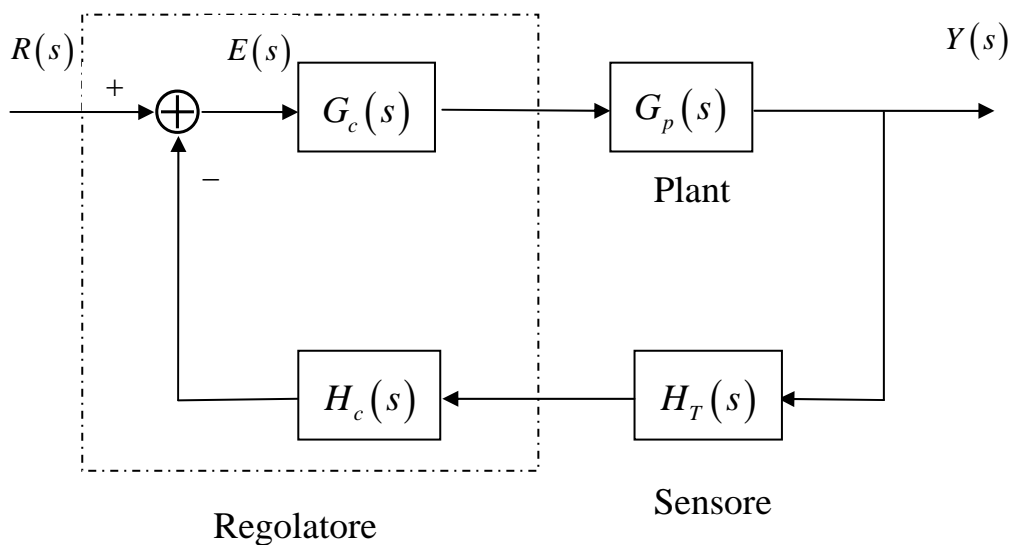


Figura 2: componenti di un sistema di controllo in retroazione negativa

La descrizione ognuno dei componenti del sistema di controllo (in gergo si dice anche del “loop di controllo”) può essere ulteriormente affinata come segue.

Struttura interna del regolatore

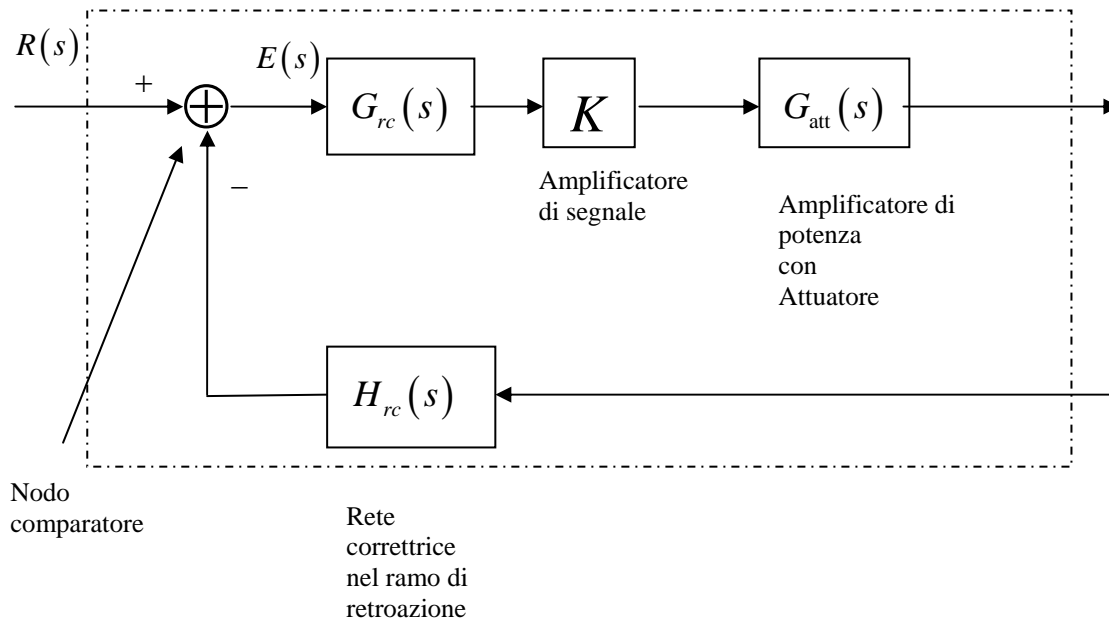


Figura 3: struttura interna del regolatore

Entro il regolatore si possono distinguere diversi sottoparti (Figura 3)

- un *nodo comparatore* che esegue la differenza tra il segnale di riferimento ed il segnale proveniente dalla retroazione
- **reti correttive:**
 - $G_{rc}(s)$, nel ramo diretto, che elabora il segnale errore
 - $H_{rc}(s)$ che elabora il segnale del ramo di retroazione

esse servono per ottenere un miglioramento del comportamento dinamico del sistema complessivo. Nei moderni sistemi di controllo, le reti correttive sono implementate sotto forma di algoritmo su sistemi a microprocessore detti microcontrollori. In tal caso deve essere presente a monte del microcontrollore un convertitore analogico-digitale ed a valle un convertitore digitale-analogico.

Classicamente le reti correttive erano sistemi analogici costituiti da interconnessioni di resistori, condensatori ed induttori ed amplificatori operazionali.

- un **amplificatore di segnale** descritto da una costante algebrica per passare dal livello di segnale in uscita dal microcontrollore (o dal sistema analogico) ad un livello atto ad essere usato come ingresso da un amplificatore di potenza
- un **amplificatore di potenza** per passare dai bassi livelli di potenza dell'elaborazione del segnale a dei livelli di potenza tali da poter comandare un **attuatore** (ad esempio un motore elettrico) , cioè un dispositivo che attui sul sistema l'azione di controllo elaborata dal regolatore.

Sensore

Spesso il sensore è un trasduttore, in quanto la variabile di uscita del sistema non è una grandezza elettrica.

Spesso sono infatti grandezze meccaniche, ad esempio traslazioni o rotazioni di organi meccanici, pressioni di aria o di olio in condutture.

Esempio di componenti di un sistema di controllo reale

Il componente più elementare degli autopiloti (progettati con le metodologie di controllo classico) è il cosiddetto “yaw dumper” o in lingua Italiana, lo smorzatore della velocità di imbardata.

Sia

- bank angle, o angolo di inclinazione laterale: rotazione attorno all’asse longitudinale di simmetria dell’aereo
- angolo di imbardata: rotazione attorno all’asse di simmetria verticale dell’aereo
- velocità di imbardata (yaw rate) r : la velocità angolare di rotazione attorno all’asse di simmetria verticale dell’aereo
- δ_r deflessione angolare del timone
- δ_{rp} deflessione angolare del timone richiesta dal pilota

Quando si imposta una virata, e quindi un dato angolo di inclinazione laterale (*bank angle*), variando per un breve intervallo di tempo l'angolo di deflessione degli alettoni, si innesca un moto oscillatorio non solo dell'angolo di inclinazione laterale, ma anche della velocità di imbardata. Tale moto oscillatorio deve essere corretto mediante l'azione del timone.

Le caratteristiche di questo moto oscillatorio risultano, in genere, piuttosto fastidiose per i passeggeri e, perciò, il pilota, in genere, interviene per variare la frequenza e lo smorzamento di queste oscillazioni o agendo direttamente sull'angolo di deflessione del timone oppure inserendo un *sistema di controllo (Stability Augmentation System in gergo aeronautico)*, detto anche *smorzatore della velocità di imbardata (yaw damper)* che utilizza

- una rete correttiva nel ramo di retroazione (detta anche *washout circuit*). Tale rete include anche un amplificatore di segnale.
- come attuatore ed amplificatore di potenza un servo-sistema idraulico del timone (*rudder servo*)
- come sensore, il trasduttore della variabile di uscita costituito da un giroscopio (traduce in tensione una velocità angolare)
- come riferimento la deflessione di riferimento δ_{rp} impostata dal pilota o da un sistema di controllo a livello più elevato detto sistema di guida

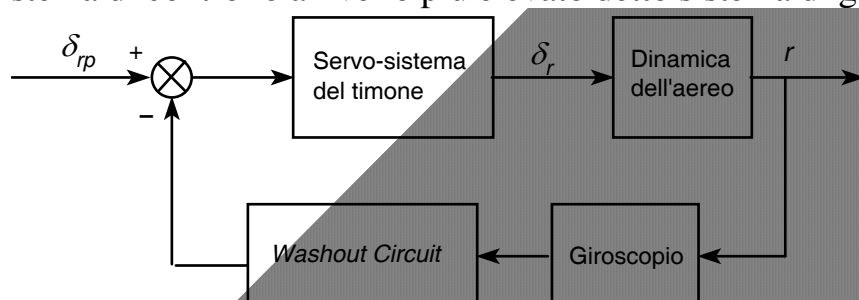


Figura 4: Diagramma a blocchi dello “yaw dumper”

Non pochi autori definiscono i componenti elementari di un sistema di controllo raggruppandoli in modo leggermente diverso

Si faccia riferimento alla figura che segue

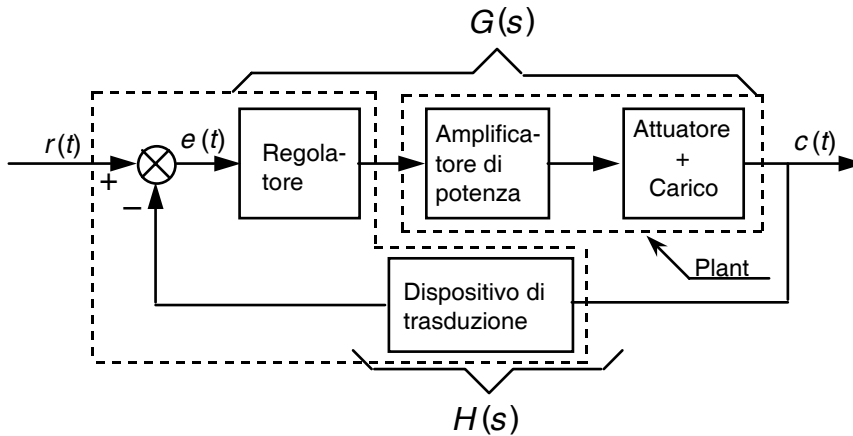


Figura 5: definizione alternativa, ma equivalente, degli elementi dell'anello di controllo

- **l'amplificatore di potenza, l'attuatore ed il sistema controllato (detto anche carico) sono definiti come "plant"**
- il regolatore è in pratica costituito dalle sole reti correttive (in figura è presente solo quella nel ramo diretto)
- regolatore e sensori sono raggruppati in un sistema caratterizzato da livelli di potenza bassi (al contrario del plant che opera a livelli di potenza alti)