Automatica

Prof. Giancarlo Ferrari Trecate

Dipartimento di Informatica e Sistemistica

Università degli Studi di Pavia

giancarlo.ferrari@unipv.it

Informazioni utili

- Orario lezioni:
  Mercoledì: 16-18 (aula A1), Giovedì: 12-13 (aula A2) e 16-18 (aula EF1)
  - 4 laboratori (Giovedì 16-18, aula B2, date da decidersi)
- Orario di ricevimento: Mercoledì 11-13 (Ufficio: Dipartimento di Informatica e Sistemistica, piano C)
- Sito web di riferimento: http://sisdin.unipv.it/lab/ → Didattica → Automatica - Laurea Triennale
- Testo consigliato: P. Bolzern, R. Scattolini, N. Schiavoni "Fondamenti di controlli Automatici" 2 ed., 2004, McGraw-Hill, Italia
- Modalità dell'esame:
  - due prove in itinere
  - per coloro che non avranno superato *entrambe* le prove in itinere: una prova scritta, su tutti gli argomenti del corso.

Argomenti della lezione

- Introduzione all'Automatica
- Elementi di un problema di controllo
  - Esempio: Controllo in posizione di un sistema massa-molla
- Controllo in anello aperto ed in anello chiuso

Problema di controllo

Imporre una modalità di funzionamento desiderata ad un processo assegnato detto anche sistema sotto controllo

Esempio: automobile

- Problema di controllo: si vuole seguire una traiettoria desiderata
  - Si stima la posizione dell'auto
  - Si agisce sul volante
- Problema di controllo: seguire un profilo di velocità assegnato
  - Si misura la velocità dell'auto (tachimetro)
  - Si agisce sui pedali (acceleratore e freno) e sul cambio

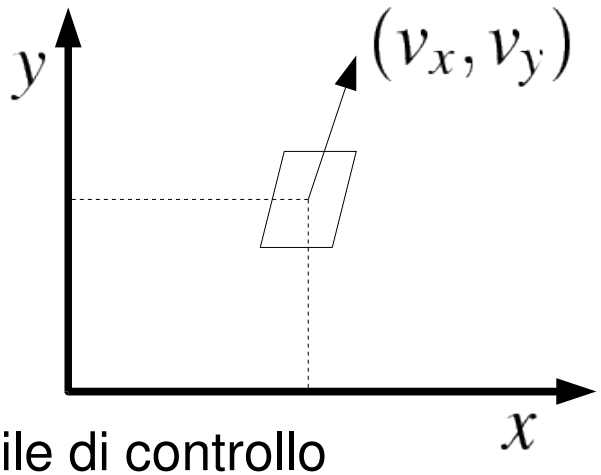
Problema di controllo

Definizione più formale:

Imporre che l'andamento nel tempo di alcune variabili di processo (dette controllate) sia il più simile possibile a quello di alcune variabili assegnate (dette di riferimento o setpoint) agendo su altre variabili (dette manipolabili o di controllo)

Esempio. Automobile su strada pianeggiante: controllo di velocità e di traiettoria

- 4 variabili controllate (2 di posizione e 2 di velocità) e 4 variabili di riferimento
- 4 variabili di controllo (posizioni del volante, dell'acceleratore, del freno e del cambio)
- N.B.: la coppia dell'albero motore non è una variabile di controllo



Disturbi

Un disturbo è una variabile non manipolabile che agisce sul processo “dall'esterno”. Esso può essere misurato o meno.

Esempio di disturbi. Automobile:

- Pendenza della strada
- Carico della macchina
- Forza esercitata dal vento
- Condizioni dell'asfalto
- ...

Il controllo deve essere efficace anche in presenza dei disturbi !

Controllo manuale ed automatico

- Controllo manuale: è esercitato dall'uomo
- Controllo automatico: è realizzato da dispositivi detti controllori

Esempio di controllo automatico: climatizzazione di un edificio

- Temperature degli ambienti = variabili controllate
- Temperature desiderate = variabili di riferimento
- Portate d'aria nei locali = variabili di controllo (modificabili tramite saracinesche)
- Temperatura esterna, insolazione = disturbi

Controllore: modifica automaticamente le temperature agendo sulle portate d'aria e compensando, allo stesso tempo, l'effetto dei disturbi

Automatica

Disciplina che studia gli aspetti metodologici e concettuali alla base dello sviluppo di controlli automatici

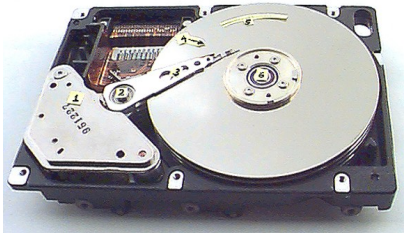
- Moltissime applicazioni, per funzionare in modo efficiente fanno uso di controlli automatici
  - Automatica = “the hidden technology” (K. Åstrom)

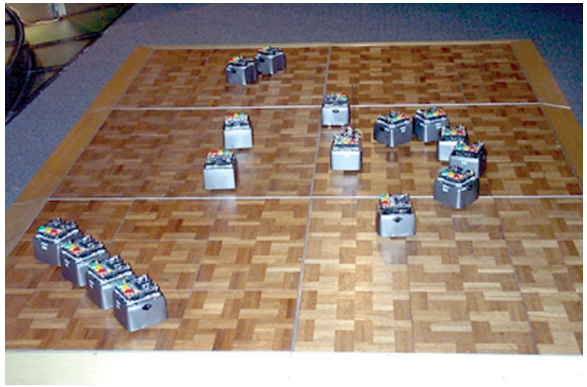
Esempi in autoveicoli moderni:

- Controllo delle emissioni
- Controllo del minimo
- Servosterzo
- Controllo della trazione
- Climatizzazione
- Sospensioni attive
- ...

Controlli automatici: campi di applicazione

- Controllo attivo di strutture
- Elettrodomestici (frigorifero, condizionatore, CD player ...) e apparecchiature elettroniche
- Impianti chimici (regolazione di pressione, temperatura, livello, concentrazione e portata ...)
- Impianti di produzione di energia elettrica (controllo di turbine ...)
- Strumentazione in ambito sanitario (respirazione automatica, dialisi, controllo dell'anestesia ...)
- Sistemi ambientali (depuratori, bioreattori ...)
- Controllo cooperativo di veicoli autonomi
- ...





Automatica = rassegna di tecniche sviluppate *ad hoc* per ogni processo ? NO ...

Automatica

Automatica = sviluppo di metodi quanto più possibile indipendenti dal contesto applicativo

Sistema reale

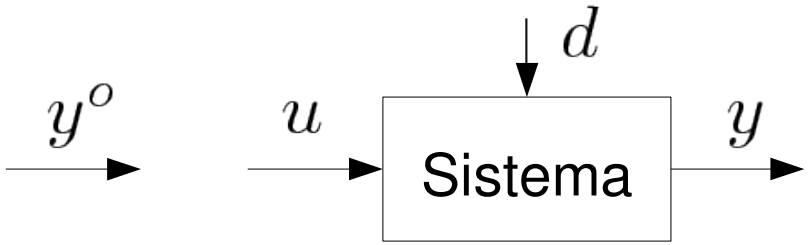
Modello matematico (sistema dinamico) → Leggi costitutive (fisica, chimica etc.)

Modello matematico (sistema dinamico) → Teoria dei sistemi (I^a e II^a parte del corso): strumenti di analisi per sistemi dinamici

Progettazione del controllore → Automatica (II^a parte del corso)

Realizzazione del controllore e dell'interfaccia col sistema

Elementi di un problema di controllo



u : variabili di controllo (ingressi)

d : disturbi (ingressi)

y : variabili controllate (uscite)

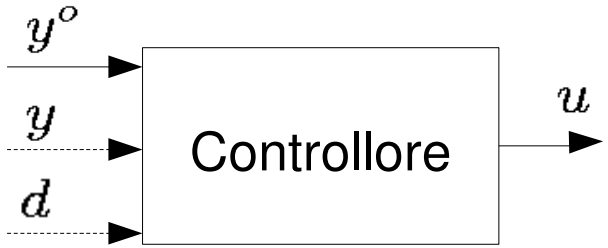
y^o : variabili di riferimento (setpoint)

Problema di controllo:

determinare ad ogni istante di tempo u tale che l'errore $e = y^o - y$ sia "accettabilmente piccolo" per tutti gli "andamenti ragionevoli" di y^o e d.

Controllore:

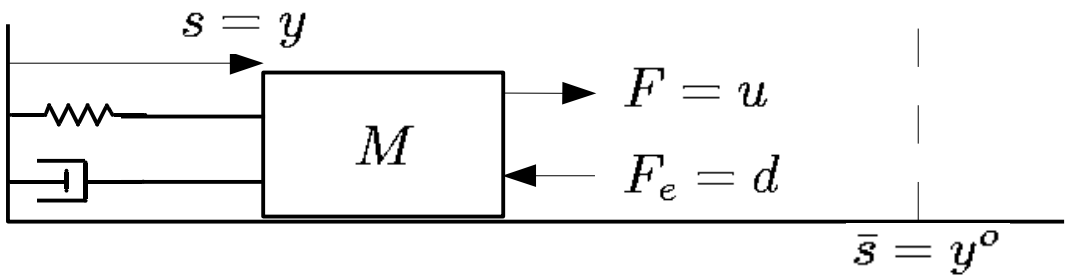
- riceve sempre y^0
- può ricevere o meno le misure di y e d.



Modello matematico del processo (sistema sotto controllo):

descrive come y dipende da u

Esempio: sistema massa-molla

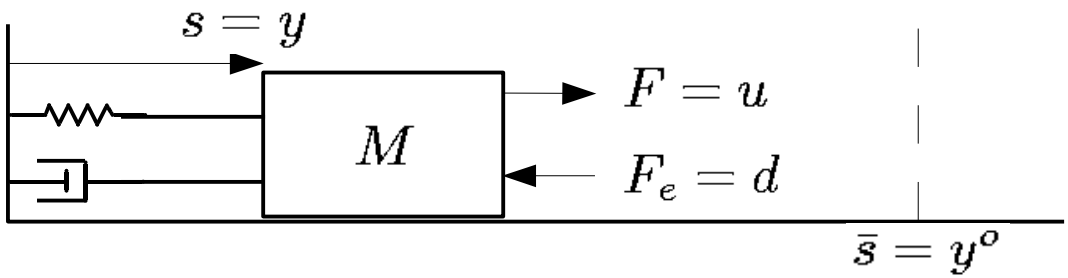


M :	massa
$h > 0$:	coeff. di attrito viscoso
$k > 0$:	costante elastica
F :	forza motrice (variabile di controllo)
F_e :	forza esterna costante ma di valore incerto (disturbo)
s :	posizione della massa (variabile controllata)

Obbiettivo: portare la massa ad una posizione $\bar{s}$ costante nel tempo (setpoint: $y^o = \bar{s}$) agendo su F

Controllore (da progettare):

Primo progetto del controllore



Ipotesi: condizioni statiche = tutte le variabili sono costanti nel tempo

Modello statico del processo: s costante $\Rightarrow \ddot{s} = \dot{s} = 0 \Rightarrow u = ky + d$

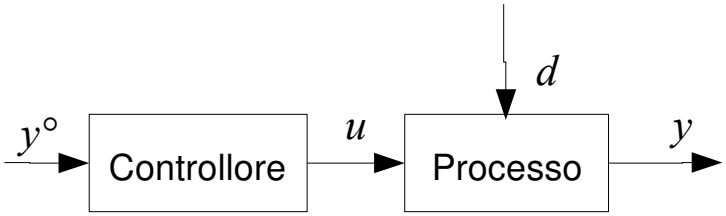
Primo progetto del controllore:

Ipotesi: è noto il valore nominale del disturbo $d = 0$

Modello nominale del processo: $y = \frac{u}{k}$

Controllore: $u = ky^o$

Sistema controllato: $y = \frac{u}{k} = \frac{ky^o}{k} = y^o$

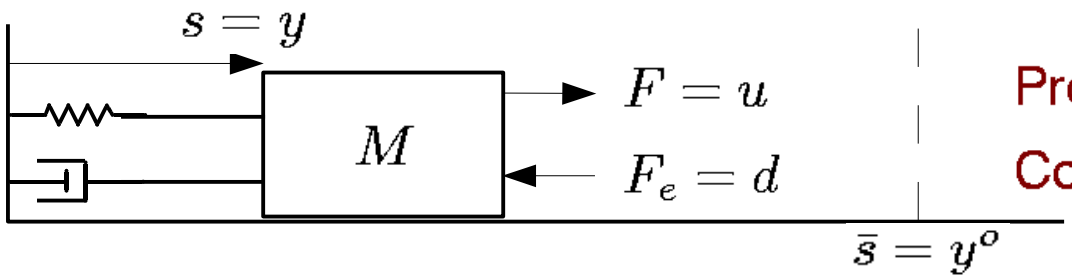


Vantaggi:

1) se il disturbo è realmente nullo, l'obbiettivo di controllo è raggiunto

2) non è richiesto di misurare la posizione

Primo progetto del controllore



Processo: $u = ky + d$

Controllore: $u = ky^o$

Svantaggi: le prestazioni degradano quando

1) il disturbo è diverso da quello nominale $d = d_1 \neq 0$.

   Si consideri l'errore $e \doteq y^o - y$

   Sistema controllato: $ky^o = ky + d_1, \quad ke = d_1, \quad e = \frac{d_1}{k}$

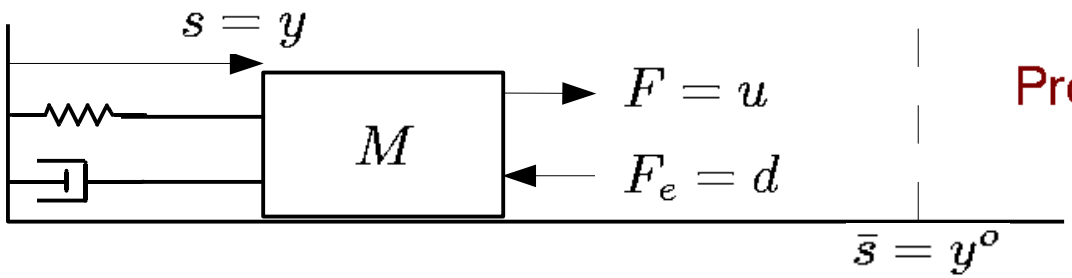
2) il modello del processo non è preciso.

   Processo reale: $y = \frac{u}{k_1}$, $k_1 \neq k$

   Sistema reale controllato: $y = \frac{k}{k_1} y^o, \quad e = y^o \left(\frac{k_1 - k}{k_1} \right) \neq 0$

- Errore statico proporzionale alle incertezze $(d_1 - 0$ e $k_1 - k)$
  - ragione: la variabile di controllo dipende solo dal setpoint e dal modello del sistema (che deve essere preciso)

Secondo progetto del controllore



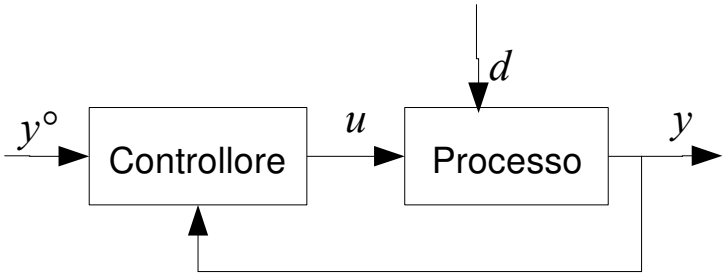
Processo: $u = ky + d$

Secondo progetto del controllore:

Controllore: $u = ky^o + \mu(y^o - y)$, $\mu > 0$: parametro di progetto (da scegliere)

Sistema di controllo: $ky^o + \mu(y^o - y) = ky + d$

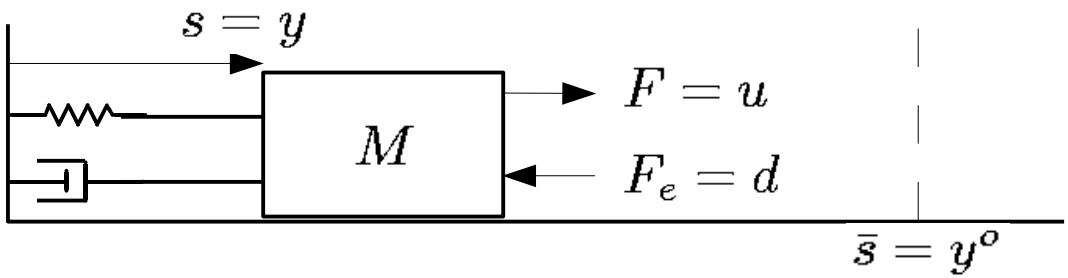
Errore: $e \doteq y^o - y$, $\quad (k + \mu)e = d$



Vantaggi:

- se il disturbo è nullo, l'errore è nullo (come nel primo progetto)
- se $d = d_1 \neq 0$ si ha $e = \frac{d_1}{k+\mu}$ (ed $e \approx 0$ se $\mu >> 0$).
  - l'errore è comunque inferiore a quello ottenuto dal primo progetto (migliore <u>reiezione dei disturbi</u>)

Secondo progetto del controllore



Processo: $u = ky + d$

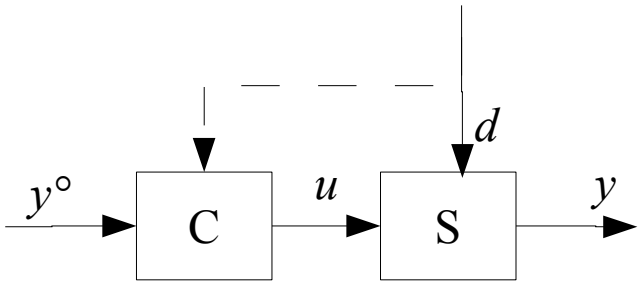
- se in modello del processo non è preciso, cioè $y = \frac{u}{k_1}$, $k_1 \neq k$
  si ottiene $e = \frac{k_1 - k}{k_1 + \mu} y^o$ (ed $e \approx 0$ se $\mu >> 0$)
  - l'errore è comunque inferiore a quello ottenuto dal primo progetto (migliore <u>robustezza</u> rispetto ad errori di modellizzazione)

Svantaggio: Il controllore utilizza la variabile controllata che deve essere misurata

Questo è un prezzo che si paga spesso volentieri
pur di ridurre l'errore !

Schema di controllo feedforward

Controllo in anello aperto (feedforward): il controllore utilizza solo il setpoint ed eventualmente il disturbo

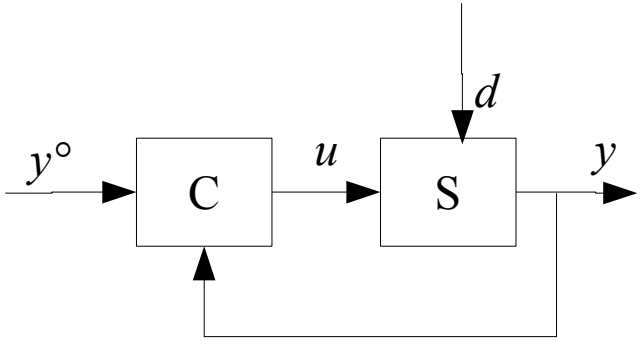


Sistema massa-molla: 1^0 controllore: $u = ky_0 \rightarrow$ feedforward

Se il disturbo è misurato ed utilizzato dal controllore si parla di schema con compensazione del disturbo

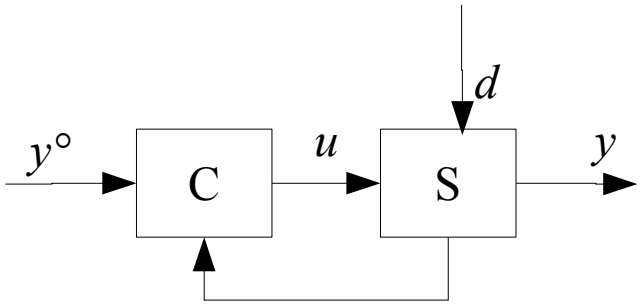
Schema di controllo feedback

Controllo in anello chiuso o in retroazione (feedback): il controllore utilizza il setpoint e la variabile controllata



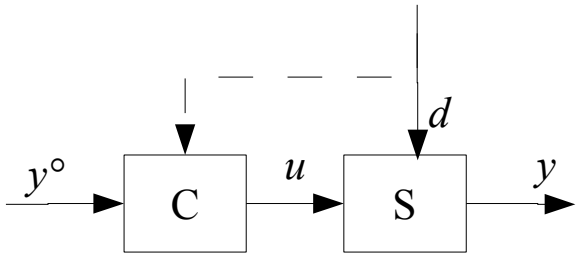
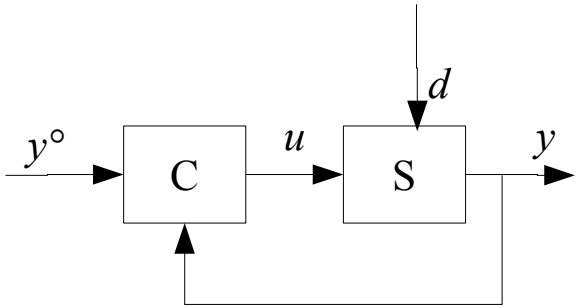
Sistema massa-molla: 2° controllore: $u = ky_0 + \mu(y_0 - y)$ $\rightarrow$ feedback

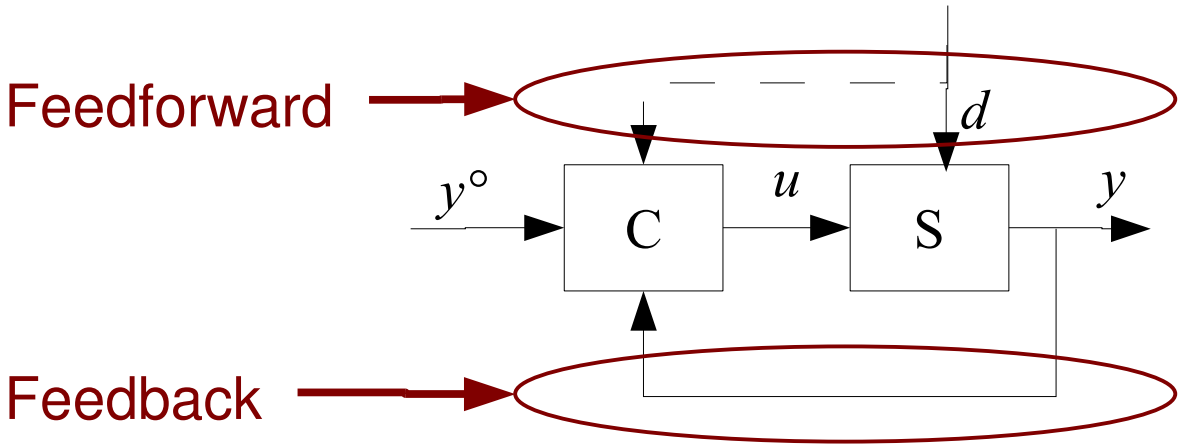
Variante: invece che la variabile controllata, viene retroazionata una variabile misurabile che dipende dalla variabile di controllo



Feedforward vs. feedback

In base alle osservazioni fatte:

	 Anello aperto	 Anello chiuso
Misura della variabile controllata	Non richiesta	Necessaria
Robustezza rispetto ad errori di modellizzazione	Bassa	Alta
Reiezione dei disturbi	Bassa	Alta

Schema di controllo feedback + feedforward

Quando il disturbo è misurato, si usa spesso uno schema di controllo misto (feedback + feedforward)