

## 1.1 Introduzione al corso

In genere, nei corsi di Controlli Automatici e Teoria dei Sistemi, un sistema di controllo viene rappresentato dalla interazione tra due sistemi dinamici lineari. Un sistema rappresenta il processo  $P$  e l'altro il controllore  $C$ , che interagiscono tramite retroazione come raffigurato in alto in Figura 1.1. Questo tipo di rappresentazione include implicitamente una serie di semplificazioni ed approssimazioni ottenute dal sistema di controllo reale.

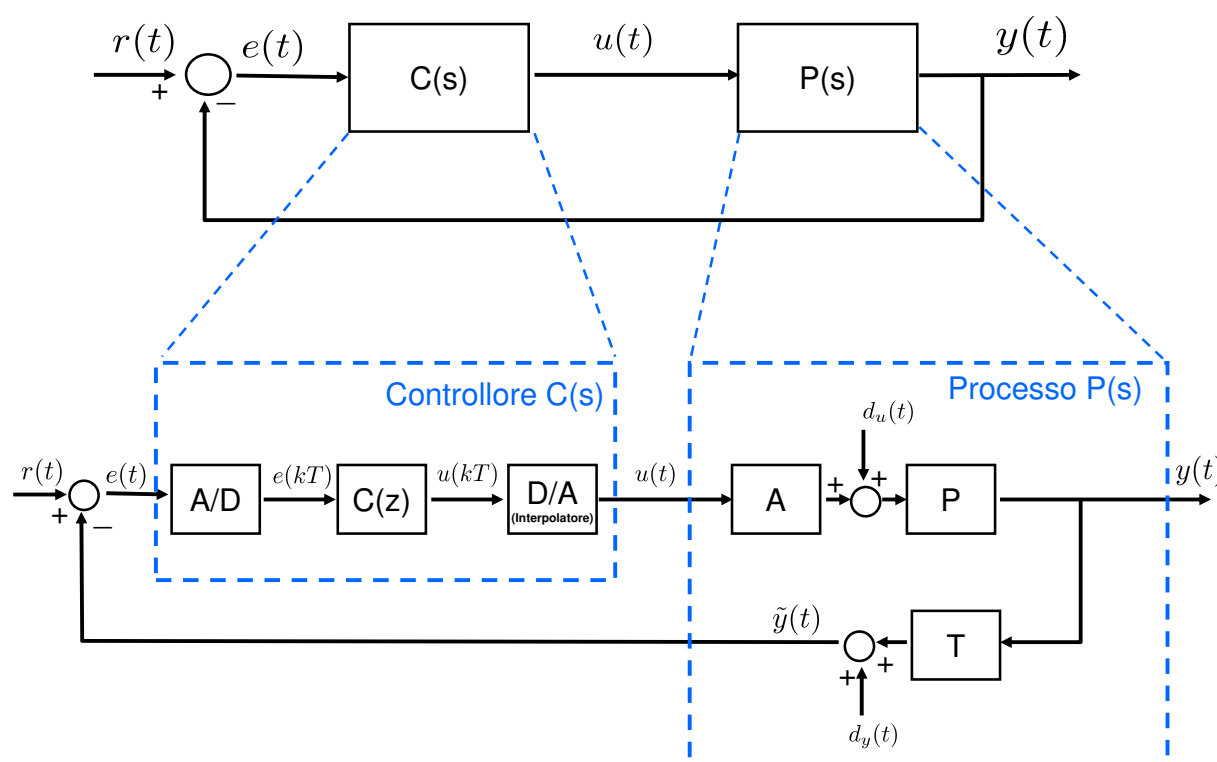


Figura 1.1. Modellizzazione di un sistema di controllo in catena chiusa

Un modello più rappresentativo del sistema reale è rappresentato nella parte inferiore della Figura 1.1 nella quale possono essere evidenziati i seguenti componenti:

- $P$ : Processo** Sistema dinamico rappresentato tramite equazioni integro-differenziali, non necessariamente lineari o tempo invarianti (TI).
- $A$ : Attuatore** Dispositivo atto a convertire il segnale di controllo in una interazione con il processo, quale la generazione di una forza, di una corrente elettrica, etc ...
- $T$ : Trasduttore o Sensore** Dispositivo atto a convertire una grandezza fisica di interesse in un segnale compatibile con il sistema di controllo.
- $C$ : Controllore** Sistema dinamico generalmente implementato in forma digitale, atto a generare un opportuno segnale di controllo in base alle misure provenienti da sensori per ottenere un comportamento desiderato del processo  $P$ . Il controllore può essere ulteriormente scomposto in tre elementi:
- $A/D$ :** Convertitore analogico-digitale, che trasforma un segnale continuo in un segnale a valori finiti (bits) e campionato con uno specifico periodo di campionamento,  $T$ .
  - $C(z)$ :** Controllore digitale rappresentato da equazioni alle differenze
  - $D/A$ :** Convertitore digitale-analogico, concettualmente simile ad un interpolatore che trasforma un segnale digitale in un segnale analogico continuo.
- $e$ : Errore** Differenza tra segnale di riferimento  $r$  e uscita del sensore  $\tilde{y}$ .
- $r$ : Riferimento** Segnale di riferimento od uscita desiderata.
- $u$ : Ingresso del processo** Segnale che permette di influenzare il processo.
- $y$ : Uscita del processo** Segnale di interesse generato dal processo.
- $\tilde{y}$ : Uscita del sensore** Segnale di interesse all'uscita dal sensore.
- $d_u$ : Disturbo di processo (o rumore di ingresso)** Segnale che rappresenta disturbi non noti o errori di modellizzazione che influenzano il processo.
- $d_y$ : Rumore di misura (o di uscita)** Segnale che rappresenta rumori inerenti al sensore oppure non idealità nel processo di misura.

L'obiettivo che si vuole perseguire è quello di progettare  $C(z)$  in modo tale che il sistema retroazionato soddisfi alcune specifiche o garantisca una certa prestazione in termini di:

- Stabilità
- Prestazioni in termini di inseguimento del segnale di controllo, quali tempo di salita minimo, sovraelongazione massima, massimo errore tollerabile, etc..
- Reiezione dei disturbi esterni, robustezza rispetto all'incertezza dei parametri di sistema e non idealità, in genere ottenuti tramite la determinazione di banda in catena chiusa e il margine di fase.

### 1.1.1 Non-idealità più comuni

Il sistema presentato nella sezione precedente presenta una serie di non idealità che devono essere tenute in considerazione al momento della modellizzazione e progettazione. Una lista non esaustiva delle non-idealità più comuni è la seguente:

**Non-linearità di  $P$ :** dovuta, per esempio, ad attriti di stacco o con dipendenza quadratica dalla velocità. Oppure presente in sistemi dinamici fortemente non lineari quali robot con giunti multipli e processi biochimici.

**Tempo varianza:** Variabilità nel tempo di alcuni parametri del sistema dovuti per esempio a cambiamenti di temperatura, a carichi variabili, ad usura ed invecchiamento di parti meccaniche

**Incerteza parametri:** Per esempio alcuni di questi parametri sono costanti ma ignoti e quindi devono essere stimati (vedi *Identificazione*), oppure sono tempo varianti ma limitati nelle possibili variazioni (vedi *Controllo Robusto*), oppure hanno escursioni temporali non trascurabili ma lente (vedi *Controllo Adattativo* e *Controllo con Modello Predittivo*).

**Non-linearità di  $C$ :** dovuta, per esempio, alla saturazione degli attuatori (vedi *Controllo Anti-wind-up*), alla quantizzazione degli ingressi di controllo,  $u$ , e delle misure,  $y$ , ed alla quantizzazione dei coefficienti di  $C(z)$ .

**Rumore:** di processo e di misura dovuti ad effetti termici, di trasduzione del segnale o disturbi esterni.

**Ritardi:** dovuti, per esempio, a ritardi fisici (trasporto, calore, biochimici), a ritardi dovuti al controllore (tempo necessario per elaborare i dati, convertire i segnali da D/A e A/D), ed a ritardi dovuti alla comunicazione (sensori distribuiti, reti wireless).

**Jitter e perdita di pacchetto** dovuta, per esempio, all'uso di reti di comunicazione cablate (CAN, PROFIBUS) o wireless (WiFi, Zigbee).

**Banda limitata** di sensori e attuatori, che si comportano come “passa basso” ad alte frequenze.

### 1.1.2 Linea guida per la progettazione

A causa di tutte le non idealità descritte precedentemente ed al fatto che molte delle specifiche richieste al sistema di controllo sono spesso in contrapposizione fra di loro, si può affermare che non esiste una metodologia generale e applicabile ad ogni sistema di controllo. Tuttavia, è possibile individuare una serie di linee guida che poi ogni progettista deve adattare alle sue esigenze in base alla sua esperienza, intuizione e buon senso.

Per quel che riguarda questo corso, verranno seguite i seguenti passaggi:

- (1) **Analisi del sistema e modellizzazione** In questa fase si cerca di creare un modello dinamico del sistema partendo dalle equazioni fisiche che ne regolano il comportamento. Una parte fondamentale è cercare di individuare le non-idealità più rilevanti e incertezze in modo tale da bilanciare la necessità di avere un modello realistico, ma allo stesso tempo sufficientemente semplice per poter essere analizzato.
- (2) **Identificazione e verifica sperimentale del modello** Sebbene le equazioni che regolano la dinamica possono essere note, spesso alcuni parametri non sono noti a priori come per esempio attriti o dimensioni, oppure possono differire dai valori nominali. È quindi importante capire se il modello matematico derivato riesce a prevedere sufficientemente il comportamento del sistema reale oppure se necessita l'identificazione del valore esatto di alcuni parametri in maniera sperimentale.
- (3) **Progettazione basata su modello lineare** Una volta ottenuto un modello lineare del sistema  $P(s)$  e date le specifiche di progetto, si procede alla progettazione di un controllore digitale seguendo lo schema riassuntivo presentato in Figura 1.2. Nel seguito del corso verranno illustrati in dettaglio le varie tecniche di progettazione indicate nello schema.
- (4) **Simulazione con modello più realistico** Una volta ottenuto un controllore  $C(z)$  basato su un modello lineare del processo  $P(s)$ , si può procedere alla simulazione delle prestazioni del sistema in catena chiusa utilizzando un modello computerizzato più accurato che tengo conto, per esempio di possibili saturazioni degli attuatori, non-linearità degli attriti, etc... Nel caso di prestazioni insufficienti si può tentare di ritarare i parametri del controllore direttamente sulla simulazione per tentativi o in base a considerazioni fatte alla luce del comportamento osservato.
- (5) **Verifica sperimentale e ritaratura controllore** Una volta ottenuto un controllore che si comporti in maniera soddisfacente in simulazione si procede alla sua implementazione e verifica sperimentale. In caso di prestazioni insufficienti si può tentare di ritarare i parametri del controllore direttamente sull'apparato sperimentale, oppure cercare di individuare delle modifiche da apportare al modello matematico iniziale, e riprogettare il controllore.

Sebbene le linee guida appena illustrate sono specifiche alle esperienze di laboratorio di questo corso, possono essere adattate anche a casi più generali. In pratica, ogni progettista si trova a compiere i precedenti passaggi più volte, cercando di adeguare modellizzazione, simulazioni, progettazione del controllore in base alle osservazioni ottenute durante le varie fasi.

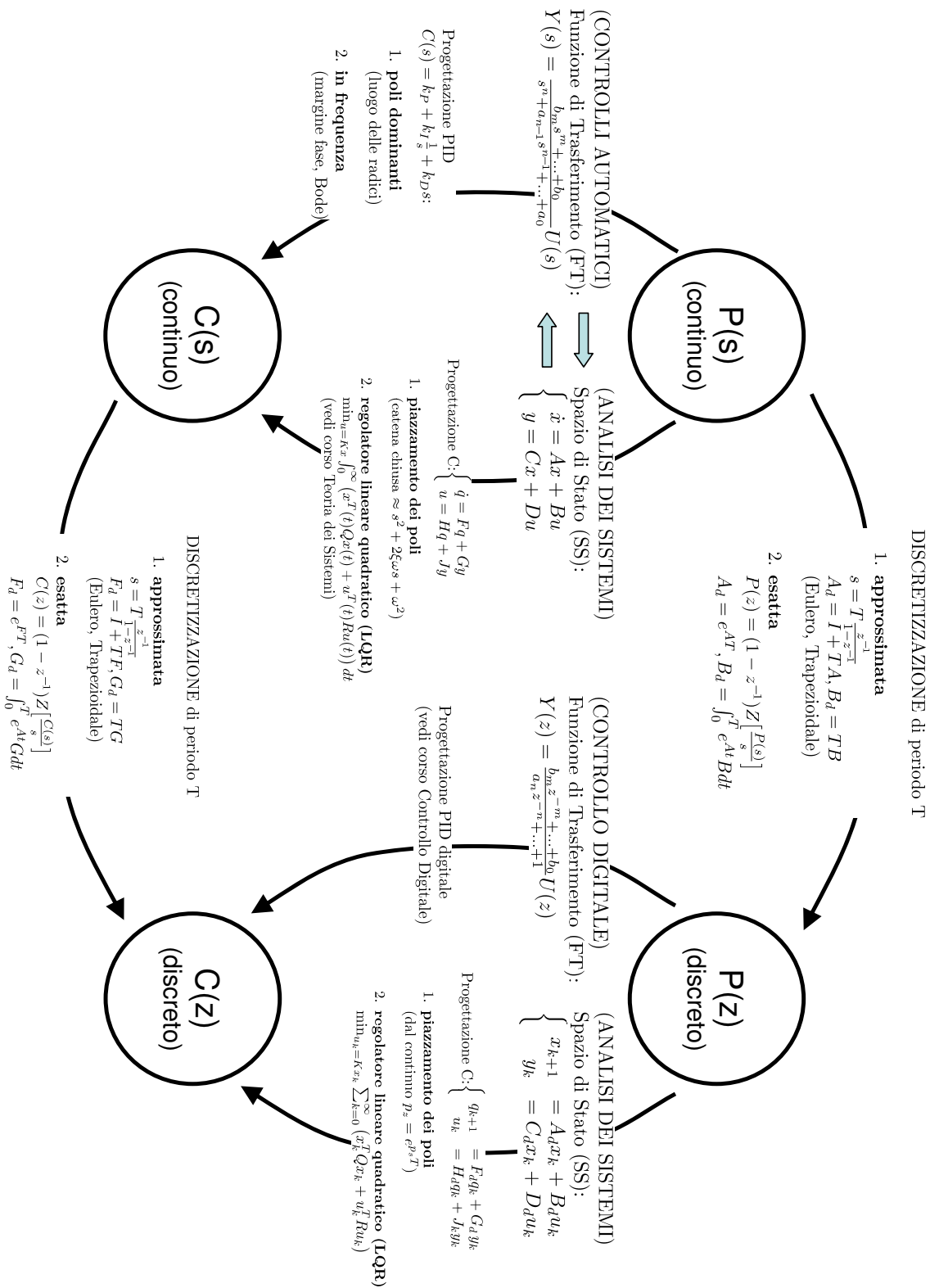


Figura 1.2. Schema riassuntivo per la progettazione di controllori con implementazione digitale