

## Domande d'esame più frequenti

Queste sono le domande che **più frequentemente** vengono poste ai candidati durante l'esame orale di Fondamenti di Automatica. Per ciascuna di esse viene presentata una traccia di quella che **potrebbe** essere la risposta. Ovviamente **non sono tutte** le domande possibili ma costituiscono un insieme dal quale difficilmente è possibile prescindere per il superamento dell'esame stesso.

### Primo modulo

#### Rappresentazioni ingresso-uscita (Funzioni di trasferimento)

- ❖ **Proprietà linearizzante della controreazione (sulle caratteristiche statiche)**
  - Il candidato deve mostrare come una caratteristica statica non lineare sia modificata da una controreazione ad elevato guadagno. Il discorso è ovviamente estensibile al caso dei controllori ad alto guadagno di sistemi, questa volta, dinamici.
- ❖ **Linearizzazione intorno ad un punto d'equilibrio**
  - Spesso i sistemi non lineari devono operare nell'intorno di un punto d'equilibrio. Il candidato deve ricavare la descrizione lineare del sistema, valida in questo intorno, sfruttando l'espansione in serie di Taylor.
- ❖ **Modi propri d'evoluzione di un sistema lineare e stabilità di un sistema lineare**
  - Il candidato deve conoscere le evoluzioni canoniche corrispondenti alle diverse configurazioni dei poli di un sistema lineare sul piano complesso  $S$ . Per ciascuna di esse deve essere illustrata la rappresentazione con la trasformata di Laplace ed il corrispondente andamento nel tempo. Dovranno poi essere definite le proprietà di stabilità asintotica, limite di stabilità ed instabilità.
- ❖ **Risposta libera e risposta forzata**
  - Il candidato deve sapere definire le due risposte e, dall'analisi e confronto dei modi propri di un sistema con quelli dell'ingresso, saper dedurre il tipo di uscita atteso.
- ❖ **Risposta transitoria e permanente**
  - Il candidato deve poter definire le due risposte e saperle distinguere dall'analisi dei modi dell'uscita. E' richiesta l'uso e la descrizione del teorema del valore finale per il caso di ingresso a gradino.
- ❖ **Risposta armonica e sue rappresentazioni grafiche (Nyquist, Bode)**
  - Il candidato deve mostrare analiticamente come l'uscita di un sistema lineare, al cui ingresso è applicato un segnale sinusoidale, sotto alcune ipotesi di partenza (asint.

stabile), sia ancora una sinusoide d'ampiezza e fase opportune. Si devono poi descrivere le due principali rappresentazioni grafiche della risposta stessa.

#### ❖ Margini di stabilità (guadagno e fase)

- Partendo dall'analisi della stabilità di un sistema a controreazione (stabile a ciclo aperto), il candidato dovrà definire, prima sul diagramma di Nyquist e poi su quello di Bode, i margini di guadagno e di fase dandone, infine, un'interpretazione pratica.

#### ❖ Criterio di stabilità di Nyquist

- Partendo dal Teorema dell'Indicatore Logaritmico, il candidato dovrà applicarlo al computo del numero di poli a parte reale positiva (instabili) della funzione di trasferimento a ciclo chiuso di un sistema a controreazione. Verrà a tal scopo definito il percorso di Nyquist sul quale deve viaggiare la variabile complessa  $s$  e quindi ricavato il criterio di stabilità completo e ridotto di Nyquist.

#### ❖ Comportamento a regime: classificazione in tipi

- Il candidato dovrà analizzare il comportamento di un sistema a regime permanente e valutare l'errore di inseguimento di un certo insieme di segnali canonici. Rimarranno definiti sia il tipo d'ingresso sia il tipo di sistema di controllo. Analizzando, poi, la posizione degli eventuali poli nell'origine presenti in catena diretta, potranno essere dedotti comportamenti statici e astatici in relazione alla presenza di disturbi nel loop di controreazione.

#### ❖ Specifiche ad anello chiuso ed aperto per un sistema di controllo

- Il candidato deve illustrare le specifiche progettuali che più frequentemente vengono usate nella sintesi dei sistemi di controllo a controreazione, sia che esse vengano fornite nel tempo (sovraelongazione, tempo di salita, tempo di assestamento, ...), sia che esse vengano fornite in frequenza (banda passante, modulo alla risonanza, ...). In particolare devono essere individuati i legami tra queste grandezze ed il loro effetto sui margini di stabilità e sulla pulsazione d'attraversamento.

#### ❖ Carta di Nichols

- Il candidato deve illustrare la relazione analitica e grafica tra la funzione di trasferimento d'anello e quella a ciclo chiuso. Dovranno poi essere individuate sulla carta di Nichols le principali grandezze caratteristiche del comportamento del sistema di controllo.

#### ❖ Regolatori standard

- Il candidato deve mostrare i benefici e le controindicazioni dei componenti elementari di un regolatore standard PID (proporzionale, integrale e derivativo).

#### ❖ Metodo di Ziegler-Nichols

- Il candidato deve mostrare i due algoritmi proposti da Ziegler e Nichols per il calcolo di un regolatore P, PD, o PID. Dovrà poi dimostrare come questo tipo d'algoritmo sia implementabile in maniera automatica facendo ricorso ad una non linearità di tipo a relè inserita nell'anello di controllo al posto del regolatore.
- ❖ **Stabilità dei sistemi non lineari stazionari e autonomi**
  - Dovranno essere definiti analiticamente i concetti di stabilità semplice, asintotica ed esponenziale (locali e globali) per un sistema stazionario ed autonomo non lineare. Dovrà, inoltre, essere definita la stabilità BIBO.
- ❖ **Criterio di stabilità di Lyapunov**
  - Dovrà essere illustrato il criterio di stabilità partendo dalla definizione di una funzione dello stato definita positiva. Potranno essere forniti alcuni esempi di costruzione di funzioni di Lyapunov collegate all'energia totale di un sistema.
- ❖ **Modello di un asservimento in c.c.**
  - Il candidato deve dimostrare la conoscenza del modello dinamico di un motore in c.c. sia alimentato in tensione sull'armatura che alimentato in corrente. Deve inoltre saper aggiungere al modello i tipi di carico meccanico più frequenti (inerzia, riduttore, attrito, coppia frenante...).

## **Secondo modulo**

### **Studio di semplici nonlinearità**

- ❖ **Funzione descrittiva (Cicli limite di sistemi non lineari. Stabilità di un ciclo limite. Piano delle fasi)**
  - Il candidato dovrà spiegare l'uso dell'espansione in serie di Fourier, troncata al primo ordine, nello studio di particolari non linearità inserite in un loop di controreazione. Dovrà essere introdotta la funzione descrittiva ed il suo utilizzo nella determinazione del possibile instaurarsi di cicli limite. Questi dovranno essere descritti e caratterizzati per il loro comportamento stabile o instabile. Cenni potranno essere fatti sull'uso del "piano delle fasi".

### **Rappresentazioni ingresso-stato-uscita (Variabili di Stato)**

- ❖ **Risposta libera e risposta forzata**

- Il candidato dovrà ricavare le espressioni delle due risposte. Potranno essere mostrati i legami con le analoghe espressioni della rappresentazione ingresso-uscita (FdT) e potrà essere illustrato un metodo di calcolo dell'esponenziale di matrice.
- ❖ **Diagonalizzazione (disaccoppiamento delle dinamiche)**
  - Il candidato dovrà introdurre il tema delle trasformazioni di coordinate, ed in particolare illustrare quella basata sul calcolo degli autovalori ed autovettori e quindi in grado di diagonalizzare un sistema. Dovranno essere discussi i vantaggi di questa nuova rappresentazione disaccoppiata delle dinamiche.
- ❖ **Passaggio dalla FdT alla forma diagonale o alla forma canonica di Jordan mediante decomposizione in poli e residui**
  - Il candidato deve almeno mostrare come attraverso la decomposizione in poli e residui il sistema nella rappresentazione ingresso-uscita possa essere posto come somma di catene di poli semplici ; dovrebbe inoltre affrontare il caso di poli multipli che danno origine a blocchi di Jordan.
- ❖ **Passaggio dalla FdT alla forma canonica compagna**
  - Il candidato deve dimostrare che è sempre possibile passare da una rappresentazione ingresso-uscita ad una particolare rappresentazione ingresso-stato-uscita, illustrando le caratteristiche salienti di quest'ultima.
- ❖ **Passaggio dalla rappresentazione VdS alla FdT**
  - E' richiesto di ricavare l'espressione che fornisce la matrice di funzioni di trasferimento tra gli ingressi e le uscite di un sistema rappresentato nello spazio di stato. Dovranno essere evidenziate le problematiche relative a possibili cancellazioni di dinamiche e la corrispondenza tra i poli e gli autovalori di un sistema.
- ❖ **Definizione di stato e di sistema controllabile**
  - Il candidato deve mostrare nel semplice caso di sistema SISO e diagonalizzabile come alcuni stati possano essere non controllabili e dare il criterio per la ricerca di tali situazioni.
- ❖ **Definizione di stato osservabile e di sistema osservabile**
  - Il candidato deve mostrare nel semplice caso di sistema SISO e diagonalizzabile come alcuni stati possano essere non osservabili dall'uscita e dare il criterio per la ricerca di tali situazioni.
- ❖ **Assegnazione degli autovalori con reazione dallo stato**
  - Il candidato dovrà mostrare come, sotto opportune ipotesi di controllabilità, sia possibile trovare una matrice di controreazione dallo stato in grado di assegnare arbitrariamente la posizione dei poli.

## Sistemi a segnali campionati

- ❖ **Teorema del campionamento (spettro di un segnale campionato, ricostruttore di Shannon)**
  - Dovrà essere introdotto il concetto di segnale campionato rappresentato come sequenza di impulsi e quindi, dopo averne ricavato la trasformata di Fourier, il candidato dovrà mostrare come sia possibile, sotto opportune ipotesi, ricostruire il segnale di continuo di partenza tramite il ricostruttore ideale di Shannon. Dovranno essere messe in evidenza tutte le problematiche collegate a tale ricostruttore e quali difficoltà si incontrano nel momento in cui si pensi di utilizzare l'organo di tenuta di ordine zero al suo posto. Dovrà essere illustrato il problema dell'aliasing e come possa essere evitato in un sistema di controllo a segnali campionati.
- ❖ **Organo di tenuta**
  - Il candidato dovrà ricavare la funzione di trasferimento dell'organo di tenuta e la sua approssimazione a basse frequenze evidenziando le problematiche associate al suo uso in un sistema di controllo a segnali campionati.
- ❖ **Trasformata Z**
  - Dovrà essere fornita la definizione di trasformata Z per una sequenza di campioni e come essa possa essere proficuamente utilizzata nell'analisi di un sistema di controllo a segnali campionati.
- ❖ **Trasformazione esatta da  $F(s)$  ad  $F(z)$** 
  - IL candidato dovrà mostrare come sia possibile ricavare la funzione di trasferimento discreta di un sistema campionato partendo dalla sua rappresentazione ingresso-uscita. Dovrà essere illustrato il metodo della decomposizione in poli e residui.
- ❖ **Mapping dal piano S al piano Z**
  - Data la trasformazione esatta tra  $s$  e  $z$ , il candidato dovrà mostrare la corrispondenza tra il semipiano sinistro del piano S con il domino definito sul piano Z contenuto all'interno della circonferenza unitaria.
- ❖ **Modi propri d'evoluzione di un sistema discreto**
  - Il candidato dovrà analizzare i modi propri di un sistema discreto, facendo riferimento alle loro evoluzioni in funzione della posizione dei poli sul piano Z.
- ❖ **Trasformazioni approssimate dal piano S al piano Z**
  - Dovranno essere illustrate le tecniche approssimate per trasformare una funzione di trasferimento continua in una discreta, ricavandone le opportune espressioni come

approssimazione dell'integrale e mostrandone i limiti di utilizzo in funzione delle loro proprietà di mappatura del semipiano sinistro del piano  $S$  sul piano  $Z$ .

#### ❖ Metodologie di sintesi di sistemi di controllo a segnali campionati

- Il candidato dovrà illustrare le due principali metodologie di sintesi dei regolatori discreti, ovvero, quella che fa riferimento alla discretizzazione di controllori sintetizzati nel continuo, e quella che, a partire dalla discretizzazione del processo da controllare, si muove su tecniche di sintesi proprie dei sistemi discreti.

#### ❖ Regolatore PID discreto

- Partendo dall'espressione del controllore PID continuo, il candidato dovrà trasformarlo in un controllore discreto mostrandone la struttura e le modalità d'impiego.

#### ❖ Regolatore Dead-Beat

- Dovrà essere mostrato come, sotto opportune ipotesi che garantiscano l'assenza di cancellazioni di dinamiche instabili, sia possibile sintetizzare un controllore in grado di realizzare una funzione di trasferimento a ciclo chiuso composta esclusivamente da un ritardo di  $n$  campioni.

#### ❖ Scelta del tempo di campionamento

- Il candidato dovrà illustrare come la scelta del tempo di campionamento non sia soltanto legata al soddisfacimento del teorema di Shannon, ma anche a problematiche che riguardano, tra le altre cose, il passo di quantizzazione e la lunghezza di parola del processore utilizzato.

#### ❖ Identificazione parametrica

- Il candidato dovrà esporre il problema della stima dei coefficienti di un sistema attraverso l'analisi di sequenze di campioni dell'ingresso e dell'uscita. Dovrà illustrare come detto problema si possa ricondurre ad un problema di ottimizzazione ai minimi quadrati e quindi possa essere risolto tramite il calcolo della pseudoinversa della matrice delle misure.