

## Lezione 001

### **Domanda 01- Quali sono gli obiettivi del corso di Metodi e Tecnologie di Simulazione?**

#### **Risposta corretta: A**

Illustrare allo studente il problema della modellizzazione di sistemi reali e fornirgli un insieme di metodi per l'analisi e il controllo di sistemi dinamici in ambiente simulato.

## Lezione 002

### **Domanda 01 - In cosa consiste l'azione di controllo?**

#### **Risposta corretta: A**

Consiste nell'individuazione delle evoluzioni temporali delle grandezze controllanti e nella loro attuazione concreta affinché le grandezze controllate assumano l'andamento desiderato.

### **Domanda 02 (Aperta)**

**Si descrivano brevemente il problema del controllo e i suoi elementi fondamentali.**

#### **Risposta (max 10 righe):**

Il problema del controllo consiste nel determinare un'azione che consenta a determinate grandezze fisiche (grandezze controllate) di assumere un andamento desiderato nel tempo. Gli elementi fondamentali sono: il processo o sistema da controllare, le grandezze controllate, le grandezze controllanti e il controllore. Il controllore elabora le informazioni disponibili e determina le azioni da applicare al sistema per ottenere il comportamento voluto. L'obiettivo è garantire stabilità, precisione e prestazioni adeguate.

## Lezione 003

### **Domanda 01- Qual è la differenza tra modelli deterministici e modelli stocastici?**

#### **Risposta corretta: C**

I secondi, a differenza dei primi, modellano sistemi intrinsecamente probabilistici oppure sistemi deterministici di cui non si abbia conoscenza completa.

### **Domanda 02 (Aperta) - Si illustrino le principali modalità di classificazione dei modelli di sistemi dinamici.**

#### **Risposta:**

I modelli di sistemi dinamici possono essere classificati in deterministici o stocastici, a seconda della presenza o meno di incertezza probabilistica. Possono inoltre essere lineari o

non lineari, a seconda della struttura matematica delle equazioni. Un'ulteriore distinzione riguarda modelli statici o dinamici, continui o discreti nel tempo, a parametri concentrati o distribuiti. Questa classificazione consente di scegliere gli strumenti di analisi e simulazione più appropriati.

## Lezione 004

### **Domanda 01 - Quando un modello lineare è adatto a fornire un'approssimazione locale di un sistema non lineare?**

#### **Risposta corretta: C**

Quando le variabili dinamiche hanno una variabilità piccola tale da non portare lo stato del sistema fuori da un opportuno intorno del punto di lavoro scelto.

### **Domanda 02 (Aperta) - Si discutano brevemente i limiti di validità dei modelli lineari.**

#### **Risposta:**

Un modello lineare rappresenta un'approssimazione locale del comportamento di un sistema non lineare attorno a un punto di lavoro. La sua validità è limitata a piccole variazioni delle variabili di stato. Se le variazioni diventano ampie, il sistema può uscire dall'intorno del punto di equilibrio e il modello lineare non descrive più correttamente la dinamica reale. Pertanto, è necessario verificare sempre l'intervallo operativo entro cui l'approssimazione rimane accettabile.

## Lezione 005

### **Domanda 01 - Cosa rappresentano i coefficienti $\lambda_i$ nella soluzione dell'equazione omogenea?**

#### **Risposta corretta: C**

Le radici del polinomio caratteristico associato all'equazione differenziale considerata.

### **Domanda 02 - Come si scrive la soluzione generale di un'equazione differenziale ordinaria?**

#### **Risposta corretta: A**

Come somma della soluzione dell'equazione omogenea associata e dell'integrale particolare.

### **Domanda 03 (Aperta) - Definire la soluzione generale e la procedura di calcolo della soluzione omogenea.**

#### **Risposta:**

La soluzione generale di un'equazione differenziale lineare è data dalla somma della soluzione dell'equazione omogenea associata e di un integrale particolare. Per calcolare la

soluzione omogenea si impone nullo il termine noto e si risolve l'equazione caratteristica associata. Le radici del polinomio caratteristico determinano la forma della soluzione, che può essere esponenziale reale o complessa coniugata. Le costanti di integrazione si determinano tramite le condizioni iniziali.

## Lezione 006 — *Equazioni differenziali ordinarie: integrale particolare*

**Domanda 01 (Aperta) - Illustrare la procedura di determinazione di un integrale particolare nel caso di ingresso polinomiale.**

**Risposta (max 10 righe):**

Si cerca un integrale particolare ( $y_p(t)$ ) della stessa "famiglia" del termine noto polinomiale ( $u(t)$ ): se ( $u(t)$ ) è un polinomio di grado ( $r$ ), si pone ( $y_p(t)$ ) polinomio di grado ( $r$ ) (con coefficienti incogniti). Si sostituisce ( $y_p$ ) nell'equazione differenziale e si eguagliano i coefficienti delle potenze di ( $t$ ) per ricavare le incognite. Se il polinomio "proposto" è in risonanza con la soluzione omogenea (es. presenza di radici ( $s=0$ ) nel caratteristico), si moltiplica l'ansatz per ( $t^k$ ) finché non si elimina la sovrapposizione.

**Domanda 02 (Aperta) - Illustrare la procedura di determinazione di un integrale particolare nel caso di ingresso sinusoidale.**

**Risposta (max 10 righe):**

Se ( $u(t)=U\sin(\omega t)$ ) o ( $U\cos(\omega t)$ ), si assume ( $y_p(t)=A\sin(\omega t)+B\cos(\omega t)$ ). Si calcolano derivate, si sostituisce nell'equazione e si uguagliano i coefficienti di ( $\sin(\omega t)$ ) e ( $\cos(\omega t)$ ) per trovare ( $A,B$ ). Se c'è risonanza (la pulsazione coincide con una dinamica naturale che rende l'ansatz non valido), si moltiplica per ( $t$ ) (o ( $t^k$ )) e si ripete.

## Lezione 007

**Domanda 01 (Chiusa)- Per determinare univocamente l'integrale generale di un'ODE non omogenea di ordine  $n$ , cosa è necessario associare?**

**Risposta corretta: A**  
n condizioni iniziali.

**Domanda 02 (Aperta)**

**Procedura di soluzione di un'equazione differenziale nel dominio di Laplace.**

**Risposta (max 10 righe):**

1. Si applica la trasformata di Laplace a entrambi i membri, usando linearità e le formule per le derivate (che introducono le condizioni iniziali). 2) Si raccoglie ( $Y(s)$ ) e si risolve algebricamente per ( $Y(s)$ ) (il denominatore è il polinomio caratteristico). 3) Si separano, se utile, contributo di risposta libera (condizioni iniziali) e forzata (termine noto). 4) Si scompone ( $Y(s)$ ) in fratti semplici/frazioni parziali. 5) Si antitrasforma per ottenere ( $y(t)$ ).

## Lezione 008

### Domanda 01 (Chiusa)

Cosa rappresenta  $\phi(t)=e^{At}$ ?

Risposta corretta: B

La matrice di transizione dello stato in sé stesso.

### Domanda 02 (Chiusa)

L'antitrasformata della funzione di trasferimento  $W(s)$  rappresenta:

Risposta corretta: D

La risposta all'impulso del sistema nel dominio del tempo.

### Domanda 03 (Chiusa)

L'antitrasformata di  $W(s)U(s)$  consente:

Risposta corretta: B

Il calcolo della risposta forzata nel dominio del tempo in corrispondenza a qualunque ingresso.

### Domanda 04 (Chiusa)

Se  $x \in \mathbb{R}^n$ ,  $u \in \mathbb{R}^q$ ,  $y \in \mathbb{R}^p$ , che dimensioni ha  $B$ ?

Risposta corretta: D

$(n \times q)$ .

### Domanda 05 (Aperta)

Definire (con formule) la matrice di transizione dello stato nell'uscita e la matrice delle risposte impulsive.

Risposta (max 10 righe):

Per un sistema LTI:  $\dot{x}=Ax+Bu$ ,  $y=Cx+Du$ . La matrice di transizione dello stato nell'uscita è  $\Psi(t)=C\phi(t)=C e^{At}$ . La matrice delle **risposte impulsive ingresso→uscita** (per  $t \geq 0$ ) è  $w(t)=C e^{At}B$  (eventualmente con il contributo diretto  $D\delta(t)$  se presente). In Laplace:  $W(s)=C(sI-A)^{-1}B + D$ .

### Domanda 06 (Aperta)

Procedura di passaggio da un'equazione differenziale allo spazio di stato.

Risposta (max 10 righe):

Si parte da un'ODE di ordine  $(n)$  e si definiscono variabili di stato come catena di derivate dell'uscita:  $x_1=y$ ,  $x_2=\dot{y}$ ,  $\dots$ ,  $x_n=y^{(n-1)}$ . Si riscrive l'ODE isolando  $y^{(n)}$  in funzione di  $(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)})$  e dell'ingresso  $u(t)$ , ottenendo  $\dot{x}=Ax+Bu$ . L'uscita è  $y=Cx(+Du)$  scegliendo  $(C)$  per estrarre  $(x_1)$  (o altre combinazioni).

### Domanda 07 (Aperta)

**Definire (con formule) la matrice di transizione dello stato in sé stesso e la matrice delle risposte impulsive nello stato.**

**Risposta (max 10 righe):**

La matrice di transizione dello stato in sé stesso è  $\Phi(t) = e^{At}$ . La risposta dello stato a condizioni iniziali  $x(0) = x_0$  (con  $u=0$ ) è  $x_L(t) = \Phi(t)x_0$ . La matrice delle risposte impulsive **nello stato** (ingresso  $\rightarrow$  stato) è  $h(t) = \Phi(t)B = e^{At}B$  per  $t \geq 0$ ; quindi la risposta forzata è  $x_F(t) = \int_0^t \Phi(t-\tau)B u(\tau) d\tau$ .

Nota veloce: nelle risposte precedenti ho messo alcune citazioni in un formato sbagliato. Da qui in avanti userò **solo** i riferimenti corretti ai due PDF (lezioni + set domande).

## Lezione 009 — Oscillatore armonico semplice + oscillatore smorzato

### Domanda 01 (Chiusa)

**Da cosa è caratterizzato l'oscillatore smorzato?**

**Risposta corretta: D**

**Dalla presenza di un termine aggiuntivo nell'equazione del moto che tiene conto degli attriti, in genere proporzionale alla velocità.**

### Domanda 02 (Chiusa)

**Qual è la soluzione dell'equazione del moto dell'oscillatore armonico semplice?**

**Risposta corretta: D**

**$x(t) = a \sin(\omega_0 t + \phi)$ , periodica con periodo  $(T = 2\pi/\omega_0)$ .**

### Domanda 03 (Chiusa)

**Cosa rappresenta l'oscillatore armonico semplice?**

**Risposta corretta: B**

**Un corpo puntiforme di massa (m) vincolato a muoversi lungo una direzione, collegato a una massa "infinita" tramite molla lineare di costante (k).**

### Domanda 04 (Chiusa)

**Come si determinano le costanti di integrazione dell'oscillatore armonico semplice?**

**Risposta corretta: D**

**Dal problema di Cauchy (condizioni iniziali):**

**$(a = \sqrt{x_0^2 + (\dot{x}_0/\omega_0)^2})$ ,  $(\phi = \arctan(\frac{x_0\omega_0}{\dot{x}_0}))$ .**

### Domanda 05 (Chiusa)

### Casi dell'evoluzione libera dell'oscillatore smorzato ( $\alpha$ vs $\omega_0$ ).

Risposta corretta: C

1. ( $\alpha < \omega_0$ ): regime oscillatorio/pseudoperiodico
2. ( $\alpha = \omega_0$ ): smorzamento critico
3. ( $\alpha > \omega_0$ ): sovrasmorzamento  
con ( $\alpha = \frac{\text{coeff\_attrito}}{2m}$ ).

### Domanda 06 (Chiusa)

Come è definito il fattore di merito dell'oscillatore smorzato?

Risposta corretta: A

Nessuna delle altre risposte proposte è corretta.

*(nelle definizioni standard, il fattore di merito è legato al rapporto tra energia immagazzinata e dissipata per ciclo, spesso con un fattore  $(2\pi)$ ; le opzioni proposte non tornano così come sono scritte)*

### Domanda 07 (Aperta)

Descrivere brevemente il modello dell'oscillatore smorzato (non forzato).

Risposta (max 10 righe):

È un sistema massa–molla con una forza dissipativa (attrito viscoso) proporzionale alla velocità. L'equazione tipica è

$$(\ddot{x} + 2\alpha \dot{x} + \omega_0^2 x = 0).$$

La presenza di ( $\alpha$ ) provoca dissipazione di energia e quindi decadimento dell'ampiezza nel tempo. In base al confronto tra ( $\alpha$ ) e ( $\omega_0$ ) si hanno: regime pseudoperiodico ( $\alpha < \omega_0$ ), critico ( $\alpha = \omega_0$ ) e sovrasmorzato ( $\alpha > \omega_0$ ).

### Domanda 08 (Aperta)

Descrivere brevemente il modello dell'oscillatore armonico semplice.

Risposta (max 10 righe):

È un corpo di massa ( $m$ ) collegato a una molla lineare di costante ( $k$ ), senza attrito. La forza di richiamo è ( $F = -kx$ ) e l'equazione del moto è

$$(\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0), \text{ con } (\omega_0 = \sqrt{k/m}).$$

La soluzione è sinusoidale ( $x(t) = a \sin(\omega_0 t + \phi)$ ): l'energia totale si conserva e si scambia periodicamente tra energia cinetica e potenziale elastica.

## Lezione 010 — Oscillatore smorzato forzato + energia/potenza

### Domanda 01 (Chiusa)

Quanto vale la potenza media trasferita all'oscillatore smorzato forzato sul periodo  $T$ ?

Risposta corretta: D

$$(P_{\text{media}} = \frac{a \omega_0^2 f_0^2}{2} \sin(\phi))$$

### Domanda 02 (Chiusa)

**Qual è l'equazione del moto di un oscillatore smorzato forzato?**

**Risposta corretta: D**

$$(\ddot{x} + 2\alpha \dot{x} + \omega_0^2 x = f/m)$$

### **Domanda 03 (Chiusa)**

**Qualitativamente, qual è il comportamento in regime oscillatorio?**

**Risposta corretta: B**

**Tipico di un filtro passa-banda del secondo ordine con poli complessi coniugati.**

### **Domanda 04 (Chiusa)**

**Differenza energetica tra oscillatore armonico semplice e oscillatore smorzato?**

**Risposta corretta: C**

**Il primo è conservativo, mentre nel secondo l'energia non si conserva (si dissipa).**

### **Domanda 05 (Chiusa)**

**Situazione energetica dell'oscillatore armonico semplice quando la massa attraversa l'origine?**

**Risposta corretta: D**

**Energia cinetica massima ed energia potenziale nulla.**

### **Domanda 06 (Aperta)**

**Descrivere brevemente il modello dell'oscillatore smorzato forzato.**

**Risposta (max 10 righe):**

È un oscillatore massa–molla con smorzamento viscoso e una forza esterna applicata (tipicamente sinusoidale). Il modello è

$$(\ddot{x} + 2\alpha \dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{f(t)}{m}).$$

La risposta totale è somma di transitorio (che si estingue per lo smorzamento) e regime permanente, che oscilla alla pulsazione della forzante con ampiezza e fase dipendenti da  $(\omega)$ ,  $(\alpha)$  e  $(\omega_0)$ . Il sistema dissipa energia e richiede potenza media non nulla per mantenere l'oscillazione in regime.

## **Lezione 011 — Pendolo semplice + pendolo inverso**

### **Domanda 01 (Chiusa)**

**Alla risoluzione di quale problema di controllo ben si presta il modello del pendolo inverso forzato?**

**Risposta corretta: A**

**Trovare il controllo  $(\tau)$  tale che a regime  $(\phi = 0)$ , cioè il pendolo si mantenga in posizione verticale.**

### **Domanda 02 (Chiusa)**

**Quali sono le forze agenti sul pendolo semplice?**

**Risposta corretta: B**

Forza peso ( $mg$ ) e tensione ( $T$ ) del filo; il moto avviene lungo una circonferenza di raggio ( $l$ ).

### **Domanda 03 (Chiusa)**

**Evoluzione libera e periodo (piccole oscillazioni):**

**Risposta corretta: A**

$(\theta(t) = a \sin(\omega_0 t + \phi))$ ,  $(T = 2\pi \sqrt{l/g})$ .

### **Domanda 04 (Chiusa)**

**L'equazione del pendolo semplice (piccole oscillazioni) ha la stessa struttura di:**

**Risposta corretta: B**

Oscillatore armonico semplice.

### **Domanda 05 (Chiusa)**

**Nel pendolo semplice, la componente della forza peso lungo la direzione normale vale:**

**Risposta corretta: C**

$(F_n = -mg \sin(\theta))$ .

### **Domanda 06 (Chiusa)**

**Con riferimento a direzione radiale (filo) e normale (ortogonale):**

**Risposta corretta: A**

Lungo la direzione radiale l'accelerazione non è nulla: la tensione del filo impone il vincolo e contribuisce alla componente radiale (centripeta).

### **Domanda 07 (Aperta)**

**Descrivere brevemente il modello del pendolo semplice.**

**Risposta (max 10 righe):**

È una massa ( $m$ ) vincolata a un filo rigido e inestensibile di lunghezza ( $l$ ), che oscilla in un piano sotto l'azione della gravità. La coordinata è l'angolo ( $\theta$ ). L'equazione del moto completa è non lineare ( $\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0$ ). Per piccole oscillazioni si linearizza: ( $\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \theta = 0$ ), cioè un oscillatore armonico con ( $\omega_0 = \sqrt{g/l}$ ) e periodo ( $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ ).

### **Domanda 08 (Aperta)**

**Descrivere brevemente il modello del pendolo inverso.**

**Risposta (max 10 righe):**

È un pendolo con equilibrio instabile in posizione verticale (asta "in su"), spesso montato su un carrello o soggetto a una coppia di controllo ( $\tau$ ). La dinamica è non lineare e il controllo mira a stabilizzare ( $\phi=0$ ) (verticale). In pratica si lavora con un modello linearizzato attorno



all'equilibrio instabile e si progetta una legge di controllo (feedback) per mantenere il pendolo in equilibrio nonostante perturbazioni.

## Lezione 012 — Oscillatori accoppiati (con attrito)

### Domanda 01 (Chiusa)

**Quando i due oscillatori si muovono in opposizione di fase (asincroni)?**

**Risposta corretta: D**

Per  $(\omega = \sqrt{(k+2h)/m})$ .

### Domanda 02 (Chiusa)

**Cosa succede con smorzamento?**

**Risposta corretta: A**

Le oscillazioni tendono esponenzialmente a zero, tanto più velocemente quanto più sono grandi gli attriti.

### Domanda 03 (Chiusa)

**Cosa succede dal punto di vista energetico?**

**Risposta corretta: A**

L'energia si trasferisce continuamente: quando un oscillatore ha ampiezza massima, l'altro si annulla e viceversa.

### Domanda 04 (Chiusa)

**Quale affermazione è vera sulla soluzione?**

**Risposta corretta: D**

Moto sinusoidale a pulsazione media tra sincrona e asincrona, modulato da una sinusoide a pulsazione pari alla semidifferenza.

### Domanda 05 (Chiusa)

**Se tutte le molle sono identiche ( $h = k$ ), relazione tra  $(\omega_s)$  e  $(\omega_a)$ :**

**Risposta corretta: A**

$(\omega_a = \sqrt{3}, \omega_s)$ .

### Domanda 06 (Chiusa)

**Quando si muovono in fase (sincroni)?**

**Risposta corretta: B**

Per  $(\omega = \sqrt{k/m})$ .

### Domanda 07 (Aperta)

**Descrivere brevemente il modello degli oscillatori accoppiati.**

**Risposta (max 10 righe):**

Si considerano due masse ( $m$ ) collegate a una parete tramite molle ( $k$ ) e tra loro tramite una molla di accoppiamento ( $h$ ) (con eventuale attrito viscoso). Il sistema ha due gradi di libertà e quindi due modi propri: sincrono (masse in fase) e asincrono (masse in opposizione). L'accoppiamento fa sì che l'energia passi periodicamente da una massa all'altra (battimenti). Con smorzamento, l'ampiezza decresce nel tempo fino a spegnersi.

## Lezione 013 — Apparato uditivo: orecchio esterno/medio/interno

### Domanda 01 (Chiusa)

**Qual è il ruolo dell'orecchio medio nell'apparato uditivo umano?**

**Risposta corretta: C**

Ha il ruolo di **adattatore di impedenza** tra orecchio esterno e orecchio interno.

### Domanda 02 (Chiusa)

**Qual è l'organo principale dell'orecchio interno?**

**Risposta corretta: C**

La **coclea**.

### Domanda 03 (Chiusa)

**Dove avviene la trasduzione meccanico-elettrica dello stimolo sonoro?**

**Risposta corretta: A**

Nell'**organo del Corti**.

### Domanda 04 (Aperta)

**Descrivere brevemente l'orecchio interno.**

**Risposta (max 10 righe):**

L'orecchio interno comprende la coclea (udito) e il sistema vestibolare (equilibrio). Nella coclea, le vibrazioni trasmesse dalla staffa mettono in moto i fluidi e la membrana basilare; l'organo del Corti converte il moto in segnali elettrici tramite le cellule ciliate. La codifica è anche "spaziale" (diverse zone rispondono a diverse frequenze).

### Domanda 05 (Aperta)

**Descrivere brevemente l'orecchio esterno.**

**Risposta (max 10 righe):**

È formato da padiglione auricolare e condotto uditivo esterno. Raccoglie e convoglia le onde sonore verso il timpano e contribuisce (in modo limitato) alla direzionalità e a una prima "filtratura" in frequenza dovuta alla geometria del condotto.

### Domanda 06 (Aperta)

**Descrivere brevemente l'orecchio medio.**

**Risposta (max 10 righe):**

Comprende timpano e catena degli ossicini (martello-incudine-staffa) nella cassa timpanica. Trasmette le vibrazioni dall'aria ai fluidi della coclea e soprattutto realizza un adattamento di impedenza, aumentando l'efficacia di trasferimento energetico verso l'orecchio interno.

## Lezione 014 — Organo del Corti + modello della partizione cocleare

### Domanda 01 (Chiusa)

**Con riferimento al modello della partizione cocleare, quale è corretta?**

**Risposta corretta: A**

È un **modello non lineare attivo**, impostato per analogia con il problema degli **oscillatori accoppiati**.

### Domanda 02 (Aperta)

**Descrivere brevemente l'organo del Corti.**

**Risposta (max 10 righe):**

È la struttura sensoriale nella coclea responsabile della trasduzione mecano-elettrica. È costituito da cellule ciliate interne/esterne e membrane associate (es. membrana tettoria). Le vibrazioni della membrana basilare inducono deflessioni delle stereociglia, generando potenziali recettoriali e quindi segnali nervosi verso il cervello.

### Domanda 03 (Aperta)

**Descrivere brevemente il modello della partizione cocleare.**

**Risposta (max 10 righe):**

La partizione cocleare può essere modellata come una catena di elementi oscillanti accoppiati che rappresentano porzioni della membrana basilare e l'interazione col fluido. Il modello è attivo/non lineare per includere l'amplificazione e la selettività in frequenza (ruolo delle cellule ciliate esterne). L'accoppiamento lungo la coclea spiega la propagazione dell'onda viaggiante e la risposta dipendente dalla posizione.

## Lezione 015 — Bipoli passivi + leggi di Kirchhoff

### Domanda 01 (Chiusa)

**Cosa distingue un condensatore reale da quello ideale?**

**Risposta corretta: B**

Dissipazioni nei conduttori/armature (resistenza), autoinduzione, perdite nel dielettrico.

### Domanda 02 (Chiusa)

**Cosa distingue un resistore a filo da quello ideale?**

**Risposta corretta: C**

Presenza di **capacità parassite** e **autoinduzione**.

### **Domanda 03 (Chiusa)**

**Enunciato corretto della legge di Kirchhoff delle maglie:**

**Risposta corretta: D**

La somma delle **tensioni** ai capi dei bipoli di una maglia è **nulla**.

### **Domanda 04 (Chiusa)**

**Enunciato corretto della legge di Kirchhoff dei nodi:**

**Risposta corretta: D**

La somma delle **correnti** entranti in un nodo è **nulla** (equivalentemente: la somma algebrica delle correnti in un nodo è zero).

### **Domanda 05 (Chiusa)**

**Relazioni costitutive dei bipoli passivi ideali:**

**Risposta corretta: A**

Resistore:  $(v(t)=R, i(t))$

Condensatore:  $(i(t)=C, \frac{dv(t)}{dt})$

Induttore:  $(v(t)=L, \frac{di(t)}{dt})$

### **Domanda 06 (Aperta)**

**Caratteristiche dei bipoli passivi ideali.**

**Risposta (max 10 righe):**

Sono componenti che non generano energia ma la dissipano o la immagazzinano. Il resistore ideale dissipa potenza ( $p=vi$ ) senza memoria. Condensatore e induttore ideali hanno memoria: immagazzinano energia rispettivamente nel campo elettrico e magnetico e sono descritti da relazioni differenziali (corrente-tensione). Non includono parassiti (resistenze, induttanze/capacità indesiderate, perdite).

### **Domanda 07 (Aperta)**

**Enunciare le leggi di Kirchhoff.**

**Risposta (max 10 righe):**

1. **Legge dei nodi (KCL):** in un nodo la somma algebrica delle correnti è zero (correnti entranti = correnti uscenti).
2. **Legge delle maglie (KVL):** in una maglia chiusa la somma algebrica delle tensioni è zero (somma delle cadute = somma delle f.e.m.).

### **Domanda 08 (Aperta)**

**Caratteristiche dei bipoli passivi reali.**

**Risposta (max 10 righe):**

I componenti reali presentano parassiti e perdite: un condensatore reale ha ESR (resistenza serie), induttanza parassita e perdite dielettriche; un resistore reale può avere induttanza e capacità parassite; un induttore reale ha resistenza degli avvolgimenti e perdite nel nucleo. Questi effetti rendono il comportamento dipendente dalla frequenza e limitano l'idealità dei modelli.

## **Lezione 016 — Circuiti RC/RLC nello spazio di stato**

### **Domanda 01 (Chiusa)**

**Perché la rappresentazione di un circuito RLC nello spazio di stato ha un vettore di stato di dimensione 2?**

**Risposta corretta: C**

Perché il circuito RLC presenta **due elementi con memoria** (L e C).

### **Domanda 02 (Chiusa)**

**Qual è la corretta rappresentazione di un circuito RC nello spazio di stato?**

**Risposta corretta: C**

$\dot{x} = A x(t) + B u(t)$ , con  $(x = v_c)$ ,  $(u = v_{in})$ ,  $(A = -1/(RC))$ ,  $(B = 1/(RC))$ .

### **Domanda 03 (Aperta)**

**Illustrare e commentare brevemente un circuito RLC.**

**Risposta (max 10 righe):**

Un RLC (serie o parallelo) combina resistenza (dissipazione) con induttanza e capacità (memoria/immagazzinamento energia). È un sistema del 2° ordine: può avere risonanza e comportamento passa-basso/passa-alto/passa-banda a seconda della misura di uscita. Nel dominio del tempo mostra transitori oscillatori smorzati (se sottosmorzato). In Laplace la dinamica ha un denominatore tipico  $(1+sRC+s^2LC)$  (forma normalizzata), con poli che dipendono da R, L, C.

### **Domanda 04 (Aperta)**

**Illustrare e commentare brevemente un circuito RC.**

**Risposta (max 10 righe):**

Un circuito RC è del 1° ordine: il condensatore introduce memoria, la resistenza dissipa energia. La costante di tempo è  $(\tau=RC)$  e governa la velocità di carica/scarica del condensatore. Con uscita su C si comporta da passa-basso (attenua alte frequenze), e la risposta al gradino è esponenziale. È spesso usato come filtro semplice o come "integratore" approssimato per frequenze adeguate.

## **Lezione 017 — Funzioni di trasferimento + filtri + Thevenin**

### Domanda 01 (Chiusa)

RLC serie: uscita ai capi del resistore  $\rightarrow (W(s))?$

Risposta corretta: A

$$(W(s) = \frac{sRC}{1+sRC+s^2LC}).$$

### Domanda 02 (Chiusa)

RLC serie: uscita ai capi dell'induttore  $\rightarrow (W(s))?$

Risposta corretta: D

$$(W(s) = \frac{s^2LC}{1+sRC+s^2LC}).$$

### Domanda 03 (Chiusa)

RLC serie: uscita ai capi del condensatore  $\rightarrow (W(s))?$

Risposta corretta: C

$$(W(s) = \frac{1}{1+sRC+s^2LC}).$$

### Domanda 04 (Chiusa)

Comportamento del modulo risposta armonica: 1) RC su C, 2) CR su R, 3) LR su R, 4) RL su L

Risposta corretta: C

1. passa-basso, 2) passa-alto, 3) passa-basso, 4) passa-alto.

### Domanda 05 (Chiusa)

Teorema di Thevenin: definizione di  $(V_{th})$  e  $(Z_{th})$

Risposta corretta: A

$(V_{th})$ : tensione ai capi A–B a circuito aperto.

$(Z_{th})$ : impedenza vista tra A–B con generatori di tensione cortocircuitati e generatori di corrente aperti.

### Domanda 06 (Chiusa)

Circuito CR (uscita su R)  $\rightarrow (W(s))?$

Risposta corretta: A

$$(W(s) = \frac{sRC}{1+sRC}).$$

### Domanda 07 (Chiusa)

Circuito LR (uscita su R)  $\rightarrow (W(s))?$

Risposta corretta: A

$$(W(s) = \frac{1}{1+s(L/R)}).$$

### Domanda 08 (Chiusa)

**Circuito RC (uscita su C)  $\rightarrow$  (W(s))?**

**Risposta corretta: A**

$$(W(s)=\frac{1}{1+sRC}).$$

### **Domanda 09 (Chiusa)**

**Circuito RL (uscita su L)  $\rightarrow$  (W(s))?**

**Risposta corretta: C**

$$(W(s)=\frac{s(L/R)}{1+s(L/R)}).$$

### **Domanda 10 (Aperta)**

**Enunciare il teorema di Thevenin e mostrarne l'utilità con un esempio.**

**Risposta (max 10 righe):**

Qualsiasi rete lineare vista da due morsetti A–B è equivalente a un generatore ideale di tensione ( $V_{th}$ ) in serie a un'impedenza ( $Z_{th}$ ). ( $V_{th}$ ) è la tensione a vuoto ai morsetti; ( $Z_{th}$ ) è l'impedenza vista ai morsetti con le sorgenti indipendenti "spente" (V corti, I aperte). Utilità: per calcolare rapidamente corrente/tensione su un carico variabile ( $Z_L$ ): basta usare l'equivalente e fare partitore/Ohm, invece di risolvere ogni volta tutta la rete.

## **Lezione 018 — Amplificatore operazionale (op-amp)**

### **Domanda 01 (Chiusa)**

**Impedenza di ingresso dell'op-amp invertente?**

**Risposta corretta: C**

$$(Z_{in}=Z_1).$$

### **Domanda 02 (Chiusa)**

**Funzione di trasferimento op-amp non invertente?**

**Risposta corretta: A**

$$(W(s)=1+\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}).$$

### **Domanda 03 (Chiusa)**

**Funzione di trasferimento dell'integratore?**

**Risposta corretta: B**

$$(W(s)=-\frac{1}{sRC}).$$

### **Domanda 04 (Chiusa)**

**Funzione di trasferimento del buffer (inseguitore)?**

**Risposta corretta: A**

$$(W(s)=1).$$

### **Domanda 05 (Chiusa)**

**Funzione di trasferimento op-amp invertente?**

**Risposta corretta: A**

$$(W(s) = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}).$$

### **Domanda 06 (Chiusa)**

**Impedenza di ingresso op-amp non invertente?**

**Risposta corretta: D**

È infinita (idealmente).

### **Domanda 07 (Chiusa)**

**In cosa l'op-amp reale si discosta dall'ideale?**

**Risposta corretta: B**

Guadagno e ( $Z_{in}$ ) molto alti ma finiti, ( $Z_{out}$ ) bassa ma non nulla, banda limitata, offset, mismatch ingressi, limiti di tensione rispetto all'alimentazione.

### **Domanda 08 (Chiusa)**

**Proprietà di un op-amp ideale:**

**Risposta corretta: B**

Impedenza di ingresso infinita, impedenza di uscita nulla, guadagno infinito, banda a catena aperta infinita, bilanciamento perfetto.

### **Domanda 09 (Aperta)**

**Disegnare un non invertente e ricavare ( $W(s)$ ).**

**Risposta (max 10 righe):**

Configurazione non invertente: ingresso su (+), rete di feedback su (-) con ( $Z_1$ ) verso massa e ( $Z_2$ ) dall'uscita al nodo (-). Con op-amp ideale e retroazione negativa si ha ( $v^- \approx v^+ = v_{in}$ ). Per partitore: ( $v^- = v_{out}, \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$ ). Quindi ( $v_{in} = v_{out}, \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1}$ ).

### **Domanda 10 (Aperta)**

**Descrivere l'amplificatore operazionale e le sue proprietà.**

**Risposta (max 10 righe):**

Un op-amp è un amplificatore differenziale ad altissimo guadagno a catena aperta: ( $v_{out} = A(v^+ - v^-)$ ). Idealmente ha ( $A \rightarrow \infty$ ), ( $Z_{in} \rightarrow \infty$ ), ( $Z_{out} \rightarrow 0$ ), banda infinita e comportamento perfettamente simmetrico. In pratica, con retroazione negativa, lavora imponendo ( $v^+ \approx v^-$ ) e permette di realizzare funzioni analogiche (amplificatori, filtri, integratori, sommatore) determinate dal network di feedback.



## Lezione 019 — NIC / GIC, amplificatore differenziale, sommatore

### Domanda 01 (Chiusa)

Quanto vale l'impedenza che l'ingresso “vede” verso massa in un Negative Impedance Converter (NIC)?

Risposta corretta: A

$$Z_{in} = -\left(\frac{R_1}{R_2}\right) Z$$

### Domanda 02 (Chiusa)

Quanto vale l'impedenza di ingresso di un Generic Impedance Converter (GIC)?

Risposta corretta: D

$$Z_{in} = \frac{Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4}$$

### Domanda 03 (Chiusa)

Espressione dell'uscita di un amplificatore differenziale con ( $R_3=R_1$ ) e ( $R_4=R_2$ ):

Risposta corretta: A

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_{in+} - V_{in-})$$

### Domanda 04 (Chiusa)

Qual è lo scopo del sommatore?

Risposta corretta: C

Effettua la **somma delle tensioni di ingresso** e la restituisce in uscita **cambiata di segno**.

### Domanda 05 (Aperta)

Disegnare un sommatore e ricavare la formula della tensione di uscita.

Risposta (max 10 righe):

Sommatore invertente: più ingressi ( $V_1, \dots, V_n$ ) entrano nel nodo ((-)) tramite resistori ( $R_1, \dots, R_n$ ); il nodo ((+)) è a massa; feedback con ( $R_f$ ) dall'uscita al nodo ((-)). Con op-amp ideale e retroazione: ( $V^- \approx V^+ = 0$ ) (massa virtuale). Per KCL nel nodo ((-)):

$$\left(\sum_{k=1}^n \frac{V_k - 0}{R_k}\right) = \frac{0 - V_{out}}{R_f}$$

Quindi:

$$V_{out} = -R_f \sum_{k=1}^n \frac{V_k}{R_k}$$

(se ( $R_k=R$ ) tutti uguali: ( $V_{out} = -(R_f/R) \sum V_k$ )).

## Lezione 020 — Principi di idraulica: Archimede, Stevino, conservazione massa

### Domanda 01 (Chiusa)

**Enunciato corretto del principio di Archimede:**

**Risposta corretta: D**

La spinta idrostatica su un corpo immerso è uguale al **peso del fluido spostato** ed è diretta verso l'alto.

### Domanda 02 (Chiusa)

**Enunciato corretto della legge di Stevino:**

**Risposta corretta: A**

$$\begin{aligned} &[ \\ p(h) &= p_0 + \rho g h \\ &] \end{aligned}$$

### Domanda 03 (Chiusa)

**Cosa esprime l'equazione di conservazione della massa (continuità)?**

**Risposta corretta: D**

Localmente: la massa entrante è pari alla massa uscente **a meno di accumuli** (variazioni locali di densità/massa).

### Domanda 04 (Chiusa)

**Enunciato corretto della legge di conservazione di massa:**

**Risposta corretta: C**

La variazione di massa nell'unità di tempo in un accumulo (senza sorgenti/perdite) è la differenza tra portata in massa entrante e uscente.

### Domanda 05 (Aperta)

**Enunciare la conservazione della massa nei sistemi idraulici a costanti concentrate.**

**Risposta (max 10 righe):**

In un volume di controllo "lumped" la massa accumulata varia in base al bilancio tra portate entranti e uscenti:

$$\begin{aligned} &[ \\ \frac{dm}{dt} &= G_{in} - G_{out} \\ &] \end{aligned}$$

dove (G) è la portata massica. Per fluido incomprimibile ( $\rho$  costante), usando ( $m = \rho V$ ):

$$\begin{aligned} &[ \\ \rho \frac{dV}{dt} &= G_{in} - G_{out} \\ &] \end{aligned}$$

e, per un serbatoio a sezione (A), ( $V = Ah \rightarrow \rho A \frac{dh}{dt} = G_{in} - G_{out}$ ).

## Lezione 021 — Fluidi reali, calore, Bernoulli, Reynolds

### Domanda 01 (Chiusa)

Quale è corretta con riferimento a un fluido reale?

Risposta corretta: B

Per valori del numero di Reynolds superiori a una certa soglia si passa dal moto **laminare** a quello **turbolento**.

### Domanda 02 (Chiusa)

Un corpo di massa  $m$  passando da  $(T_i)$  a  $(T_f)$  scambia calore pari a:

Risposta corretta: B

[

$$Q = mc(T_f - T_i)$$

]

(dove  $(c)$  è il calore specifico).

### Domanda 03 (Chiusa)

Enunciato corretto della legge di Bernoulli:

Risposta corretta: C

Nel moto stazionario di un fluido ideale incompressibile, la somma di pressione + energia potenziale per unità di volume + energia cinetica per unità di volume è costante lungo un tubo di flusso.

### Domanda 04 (Chiusa)

Con quale quantità si esprime il passaggio laminare→turbolento?

Risposta corretta: C

Il numero di Reynolds.

### Domanda 05 (Aperta)

Come si distingue un fluido viscoso da un fluido ideale?

Risposta (max 10 righe):

Un fluido ideale è privo di viscosità: non oppone resistenza agli sforzi di taglio e non dissipa energia per attrito interno. Un fluido viscoso (reale) ha viscosità  $(\mu)$  e quindi sviluppa tensioni tangenziali proporzionali ai gradienti di velocità, dissipando energia (perdite di carico). La viscosità è responsabile dello strato limite e influisce sul regime di moto (laminare/turbolento), descritto dal numero di Reynolds.

## Lezione 022 — Turbina Pelton, valvola di regolazione, ugello

### Domanda 01 (Chiusa)

**Affermazione corretta sul rendimento di una turbina Pelton:**

**Risposta corretta: D**

Il rendimento ( $\eta$ ) è funzione di ( $\lambda = \omega r / v$ ), con ( $\omega$ ) pulsazione, ( $r$ ) raggio girante, ( $v$ ) velocità del getto.

### **Domanda 02 (Chiusa)**

**A quale categoria appartiene la turbina Pelton?**

**Risposta corretta: D**

Turbine ad azione.

### **Domanda 03 (Chiusa)**

**Portata reale misurabile all'uscita di una valvola:**

**Risposta corretta: A**

[

$$G = k_{\max} \alpha(\theta) \sqrt{2\rho(p_{\text{in}} - p_{\text{out}})}$$

]

### **Domanda 04 (Chiusa)**

**Legame ingresso–uscita del modello nonlineare di un ugello:**

**Risposta corretta: C**

[

$$v_{\text{out}} = \sqrt{\frac{2(p_{\text{in}} - p_{\text{out}})}{\rho}}$$

]

### **Domanda 05 (Aperta)**

**Ruolo e caratteristiche della valvola di regolazione in un sistema idraulico.**

**Risposta (max 10 righe):**

La valvola di regolazione è un attuatore che modula la portata (e quindi indirettamente pressioni e livelli) introducendo una perdita di carico controllata. L'apertura dipende da un comando (es. angolo ( $\theta$ )) e la portata segue una legge tipicamente non lineare del tipo ( $G \propto \alpha(\theta) \sqrt{\Delta p}$ ). Serve per stabilizzare e controllare dinamiche di serbatoi/condotte, e il suo dimensionamento incide su autorità di controllo, range operativo e sensibilità.

## **Lezione 023 — Serbatoi e condotte: dinamica di temperatura/portata/pressione**

### **Domanda 01 (Chiusa)**

**Dinamica della temperatura ( $T_u$ ) del fluido in uscita da un serbatoio chiuso:**

**Risposta corretta: C**

[

$$\dot{x} = -ax + au, \quad y = x, \quad a = \frac{G}{m}, \quad x = T_u, \quad u = T_i$$

### Domanda 02 (Chiusa)

**Dinamica di portata in una condotta di sezione A costante:**

**Risposta corretta: C**

$$\frac{dG}{dt} + \rho A g (z_{out} - z_{in}) + A(p_{out} - p_{in}) = 0$$

### Domanda 03 (Chiusa)

**Relazione per la dinamica di pressione sul fondo di un serbatoio a pelo libero:**

**Risposta corretta: A**

$$\frac{A}{g} \frac{dp_h}{dt} = G_{in} - G_{out}$$

### Domanda 04 (Aperta)

**Illustrare la dinamica di temperatura in un serbatoio chiuso.**

**Risposta (max 10 righe):**

In un serbatoio chiuso ben mescolato, la temperatura interna (e quindi in uscita) varia per bilancio energetico tra fluido entrante e massa termica contenuta. Assumendo massa (m) costante e calore specifico uniforme, la dinamica è del 1° ordine:

$$\dot{T}_u = \frac{G}{m} (T_i - T_u)$$

dove (G) è la portata massica in ingresso (uguale a quella in uscita) e ( $T_i$ ) la temperatura in ingresso. La costante di tempo è (m/G): più grande (m) → risposta lenta; più grande (G) → risposta rapida.

Di seguito **Lezioni 024–026** con: per le **chiuse** → *domanda + lettera + risposta*; per le **aperte** → *max ~10 righe*, e **lezione corrispondente**.

## Lezione 024 — Reti di telecomunicazione (satelliti, PLC, UMTS/HSPA/LTE, PSTN, NGN)

**[024-01]** Quale delle seguenti affermazioni è corretta con riferimento alla rete satellitare?

- **D)** È utilizzata per il trasporto dati internazionale, per la diffusione broadcast di contenuti multimediali e per la localizzazione.

**[024-02]** Quale delle seguenti affermazioni è corretta con riferimento alle PLC?

- **A)** Le Power Line Communications codificano in formato analogico o digitale un'informazione e la inviano su reti elettriche a bassa/media/alta/altissima tensione.

**[024-03]** Qual è la differenza tra HSPA e UMTS?

- **B)** HSPA usa in maniera più efficiente i canali radio messi a disposizione da UMTS (aumentando le prestazioni di UMTS).

**[024-04]** Quale delle seguenti affermazioni contraddistingue le reti di nuova generazione?

- **A)** Uso efficiente delle risorse ma poca/nessuna QoS; trasmissione digitale a pacchetto con meccanismi anche eterogenei; infrastrutture ad-hoc riusabili solo in parte; terminali con tecnologie di accesso eterogenee.

**[024-05]** Quale delle seguenti affermazioni **NON** è corretta, con riferimento alle NGN?

- **D)** "Una NGN non prevede trasferimento a pacchetti."

**[024-06]** Quale delle seguenti affermazioni contraddistingue le reti di vecchia generazione?

- **D)** Uso inefficiente delle risorse per garantire QoS; trasmissione analogica o digitale, a circuito o a pacchetto con trasporti differenti/incompatibili; infrastrutture e servizi ad-hoc non riusabili su reti diverse.

**[024-07]** Quale delle seguenti affermazioni **NON** è corretta, con riferimento alla rete LTE?

- **D)** "È cronologicamente precedente rispetto a UMTS."

**[024-08]** Quale delle seguenti affermazioni è corretta con riferimento alla rete PSTN?

- **B)** La PSTN è una rete di telecomunicazione **fissa** di **vecchia generazione**.

**[024-09]** Qual è la sequenza cronologica corretta con la quale sono state sviluppate le reti mobili cellulari?

- **D)** 1) **ETACS**, 2) **GSM**, 3) **GPRS**, 4) **EDGE**.

**[024-10]** (Aperta) Caratteristiche principali delle Next Generation Networks (NGN).

Una NGN è **packet-based**, usa trasporti **broadband** e **QoS-enabled** e fornisce servizi **eterogenei** indipendenti dallo strato di trasporto. Prevede **separazione** tra funzioni di **trasporto**, **segnalazione/controllo** e **servizi/applicazioni**, con **interfacce/protocolli aperti**. Deve supportare **mobilità** (servizi ubiqui e affidabili) e abilitare l'accesso dell'utente a fornitori diversi. L'evoluzione è "**service-oriented**": servizi come sessioni (audio/video/dati) con **classi di servizio** e parametri QoS (ritardo, jitter, banda minima, error rate).

## Lezione 025 — Controllo di accesso e congestione nelle reti (CAC, QoS, risorse, modellazione TLC)

[025-01] Tecniche di allocazione del canale nei protocolli di accesso alla rete: quale è corretta?

- **A)** Si usano generalmente approcci **closed-loop/reattivi** e **open-loop/proattivi**.

[025-02] A cosa servono gli algoritmi di CAC e quali sono i requisiti di QoS?

- **C)** Il CAC decide **ammissione/rifiuto** di una nuova connessione con requisiti QoS; la QoS è espressa (tipicamente) in termini di **capacità garantita**, **delay** e **jitter**.

[025-03] Congestione di rete e un esempio di protocollo di controllo di congestione:

- **B)** Congestione = la rete **non ha risorse sufficienti** per trasmettere i dati delle sorgenti; esempio: **TCP**.

[025-04] Principali risorse di una rete di comunicazione:

- **D)** **Banda/capacità di trasmissione** (risorsa condivisa) e **buffer** (code nei nodi dove i pacchetti attendono).

[025-05] Cosa **NON** è rilevante nella modellazione di una rete satellitare TLC?

- **D)** La presenza di **motori elettrici**.

[025-06] Elementi costitutivi di una rete di comunicazione:

- **D)** **Link** = collegamenti fisici tra nodi (cavo/wireless); **nodi** = punti della rete cui afferiscono uno o più canali.

[025-07] (Aperta) Gestione risorse: come e con quali protocolli avviene?

La gestione risorse mira a evitare **congestione** e garantire **QoS**. Tipicamente include: **Call Admission Control (CAC)** per ammettere/rifiutare connessioni in base a banda/delay/jitter; **controllo di congestione** (es. meccanismi stile **TCP**) per regolare il rate quando la rete satura; e politiche di **allocazione/scheduling** e **prioritizzazione** nei nodi tramite buffer/code. Nelle reti satellitari entrano anche logiche di **assegnazione dinamica della capacità** e feedback di rete (NCC/controllore) per ridistribuire banda quando cambia il carico.

## Lezione 026 — Schema a blocchi di una rete e controllo di accesso satellitare (BoD, ritardi)

[026-01] Schema a blocchi generale di una rete terrestre/wireless:

- **C)** Controllore, **ritardo**, **rete senza ritardo**, variabile di riferimento, azione di controllo, disturbi.

**[026-02]** Bandwidth-on-Demand Controller (NCC): con quale approccio opera?

- **C)** Se **non** c'è congestione assegna **tutta** la capacità richiesta; se c'è congestione assegna un rate **minore**; se c'è **free capacity** può assegnare un rate **maggiore** del richiesto.

**[026-03]** Ritardo complessivo  $UT \leftrightarrow UT$ : componenti corrette:

- **B)** Ritardi del collegamento terrestre ( $UT1-ES1$ ,  $ES2-UT2$ ) + ritardo di feedback ( $ES-satellite-NCC-satellite-ES$ ) + ritardo del collegamento satellitare ( $ES1-satellite-ES2$ ).

**[026-04]** (Aperta) Esempio di controllo di accesso per reti satellitari (con schema a blocchi). Esempio tipico: più **UT** inviano richieste di capacità verso una **Earth Station (ES)** che inoltra al **Network Control Center (NCC)**. L'NCC implementa un controllore **Bandwidth-on-Demand**: misura/ricostruisce il carico (congestione) e decide l'allocazione di banda (azione di controllo) verso ES/UT. Nel blocco complessivo compaiono: **rete senza ritardo** (processing/commutazione), **ritardi** (uplink/downlink satellitare + tratte terrestri + feedback NCC), **disturbi** (variazioni traffico, errori canale). L'obiettivo è rispettare QoS e stabilizzare il sistema evitando saturazione dei buffer e assegnando rate in modo adattativo.

## Lezione 027 — Trasformata Z, aliasing, teorema del campionamento, Eulero avanti

**[027-01] (Chiusa) Trasformata Z: linearità e ritardo**

**Domanda:** Quale affermazione è corretta sulla trasformata Z?

**Risposta corretta: A** — La trasformata Z è lineare e un ritardo di ( $nT$ ) moltiplica per ( $z^{-n}$ ).

**[027-02] (Chiusa) Discretizzazione con Eulero in avanti**

**Domanda:** Quanto vale ( $W(z)$ ) con Eulero in avanti?

**Risposta corretta: D** — ( $W(z)=W(s)$ ) calcolata in ( $s=\frac{z-1}{T}$ ).

**[027-03] (Chiusa) Cos'è la trasformata Z**

**Domanda:** Cos'è la trasformata Z?

**Risposta corretta: B** — Operazione che produce una funzione in variabile complessa, analoga a Laplace per sistemi a tempo discreto.

**[027-04] (Chiusa) Trasformazione ( $z=e^{sT}$ )**

**Domanda:** Quale affermazione è corretta?

**Risposta corretta: A** — Mappa il semipiano sinistro del piano ( $s$ ) nel cerchio unitario del piano ( $z$ ) (regioni di stabilità).

**[027-05] (Chiusa) Aliasing**



**Domanda:** Cosa è vero quando si genera aliasing?

**Risposta corretta: B** — Si sta effettuando un cattivo campionamento.

### [027-06] (Chiusa) Teorema del campionamento

**Domanda:** Enunciato corretto del teorema del campionamento?

**Risposta corretta: C** — Per ricostruire il segnale, la pulsazione di campionamento deve essere **almeno il doppio** della massima pulsazione del segnale (Nyquist).

### [027-07] (Aperta) Metodo di Eulero in avanti (max 10 righe)

Si parte da  $\dot{x}(t)=f(x(t),u(t))$ . Con passo  $(T)$ , Eulero in avanti approssima la derivata come  $\dot{x}(kT)\approx \frac{x[k+1]-x[k]}{T}$ . Ne segue l'aggiornamento:

[  
 $x[k+1]=x[k]+T\cdot f(x[k],u[k])$ .  
]

È un metodo esplicito (usa valori “correnti”), semplice da implementare ma può essere instabile se  $(T)$  è troppo grande rispetto alla dinamica del sistema.

## Lezione 028 — Eulero indietro e trasformata bilineare (Tustin)

### [028-01] (Chiusa) Rapporto con $(z=e^{sT})$

**Domanda:** Che rapporto c'è tra Eulero avanti/indietro, Tustin e  $(z=e^{sT})$ ?

**Risposta corretta: C** — Sono **approssimazioni** della trasformazione  $(z=e^{sT})$ .

### [028-02] (Chiusa) Tustin (bilineare)

**Domanda:** Quanto vale  $(W(z))$  con Tustin?

**Risposta corretta: A** —  $(W(z)=W(s))$  con  $(s=\frac{2}{T}\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}})$ .

### [028-03] (Chiusa) Eulero all'indietro

**Domanda:** Quanto vale  $(W(z))$  con Eulero all'indietro?

**Risposta corretta: D** —  $(W(z)=W(s))$  con  $(s=\frac{z-1}{Tz})$ .

### [028-04] (Chiusa) Rappresentazione corretta di Tustin

**Domanda:** Quale è corretta per Tustin?

**Risposta corretta: D** —  $(s=\frac{2}{T}\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}})$ .

### [028-05] (Aperta) Metodo di Eulero all'indietro (max 10 righe)

È un metodo implicito:  $\dot{x}(kT)\approx \frac{x[k]-x[k-1]}{T}$  ma l'aggiornamento usa il valore “futuro”. In forma tipica:

[  
 $x[k+1]=x[k]+T\cdot f(x[k+1],u[k+1])$ .  
]

Per sistemi lineari porta alla sostituzione ( $s \approx \frac{z-1}{Tz}$ ). È più stabile di Eulero in avanti, soprattutto per dinamiche “veloci”, ma richiede spesso di risolvere un’equazione (perché  $x[k+1]$  è su entrambi i lati).

### [028-06] (Aperta) Trasformata bilineare (Tustin) (max 10 righe)

Tustin approssima ( $z=e^{sT}$ ) con una mappatura razionale che sostituisce:

$$\left[ \begin{aligned} s &\approx \frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \end{aligned} \right]$$

È detta “bilineare” perché mappa linee/circonferenze in linee/circonferenze e preserva la stabilità (semipiano sinistro  $\rightarrow$  interno del cerchio unitario). Riduce problemi rispetto a Eulero, ma può introdurre “warping” in frequenza (distorsione dell’asse delle frequenze), spesso compensabile con pre-warping.

## Lezione 029 — ZOH (mantenitore d’ordine zero)

### [029-01] (Chiusa) Procedura corretta di discretizzazione con ZOH

**Domanda:** Quale procedura è corretta per lo ZOH?

**Risposta corretta: B** — 1) calcolo ( $W(s)$ ) dello ZOH, 2) risposta impulsiva cascata ZOH–processo, 3) campionamento ogni ( $T$ ), 4) trasformata  $Z$  della risposta campionata  $\rightarrow (W(z))$ .

### [029-02] (Chiusa) Funzione di trasferimento dello ZOH

**Domanda:** Quanto vale ( $W(s)$ ) dello ZOH?

**Risposta corretta: C** — 
$$\left[ \begin{aligned} W(s) &= \frac{1-e^{-sT}}{s} \end{aligned} \right]$$

### [029-03] (Chiusa) Definizione di ZOH

**Domanda:** Cos’è uno ZOH?

**Risposta corretta: D** — Dispositivo che mantiene **costante** ciascun campione per tutto l’intervallo di campionamento ( $T$ ).

### [029-04] (Aperta) Comportamento ZOH e derivazione ( $W(s)$ ) (max 10 righe)

Lo ZOH riceve una sequenza ( $u[k]$ ) e genera un segnale continuo a gradini: ( $u(t)=u[k]$ ) per ( $t \in [kT, (k+1)T)$ ). È equivalente a un blocco che “tiene” l’ultimo valore (sample-and-hold). La sua risposta impulsiva è un rettangolo di durata ( $T$ ), quindi nel dominio di Laplace la funzione di trasferimento è:

$$\left[ \begin{aligned} W(s) &= \int_0^T e^{-st} dt = \frac{1-e^{-sT}}{s} \end{aligned} \right]$$

]

Questa descrive l'effetto di mantenimento costante tra due campioni.

## Lezione 030 — FOH (First Order Holder)

### [030-01] (Chiusa) Differenza tra FOH e ZOH

**Domanda:** Qual è la differenza tra FOH e ZOH?

**Risposta corretta: B** — Un FOH, invece di produrre un'uscita **costante a tratti**, fa una **interpolazione lineare** tra i campioni in ingresso.

### [030-02] (Aperta) Comportamento di un FOH (max 10 righe)

Il FOH (mantenitore di ordine uno) prende i campioni ( $u[k]$ ) e genera un segnale continuo **a tratti lineare**: tra  $(kT)$  e  $((k+1)T)$  collega  $u[k]$  e  $u[k+1]$  con una retta (quindi produce una “rampa” tra campioni). A differenza dello ZOH, non mantiene costante il valore: riduce la distorsione quando l'ingresso è “smooth” e risulta spesso più accurato per ingressi lentamente variabili. È anche noto come **triangle approximation** / **ramp-invariant approximation**.

## Lezione 031 — MATLAB base: definizione matrici, indicizzazione, eye, linspace

### [031-01] (Chiusa) Sintassi corretta per definire una matrice in MATLAB

**Risposta corretta: D** — `A = [7 8; 8.9 7; 9 8]`

### [031-02] (Chiusa) Cosa fa `A(n, :)`

**Risposta corretta: B** — Estrae l'**n-esima riga** della matrice (A).

### [031-03] (Chiusa) Separatori righe/colonne nella definizione di matrici

**Risposta corretta: D** — Uno **spazio** separa gli elementi della stessa riga; un **punto e virgola** indica la fine di una riga.

### [031-04] (Chiusa) Cosa genera `eye(n, m)`

**Risposta corretta: C** — Matrice ( $n \times m$ ) con **1** sulla **diagonale principale** e **0** altrove.

### [031-05] (Chiusa) Cosa fa `linspace(a, b, N)`

**Risposta corretta: B** — Crea un vettore riga di estremi (a) e (b) con **N** punti equispaziati.

## Lezione 032 — MATLAB: eig, operatori punto, roots/polyval

### [032-01] (Chiusa) Cosa calcola **eig(A)**

**Risposta corretta: A** — Calcola gli **autovalori** della matrice (A).

### [032-02] (Chiusa) Operatori **.\*, ./, .^**

**Risposta corretta: A** — Eseguono rispettivamente **moltiplicazione, divisione** ed **elevamento a potenza elemento per elemento**.

### [032-03] (Chiusa) Zeri del polinomio e valutazione in un punto

**Risposta corretta: A** — **roots(pol)** per gli zeri e **polyval(pol, punto)** per valutare il polinomio nel punto.

## Lezione 033 — Modelli “scatola nera / grigia / completo” + metodologia di modellazione

### [033-01] (Chiusa)

**Domanda:** Cosa si intende per modello a scatola nera, a scatola grigia, o completo di un sistema?

**Risposta corretta: A** — **Diversi gradi di dettaglio** nella derivazione del modello del processo.

### [033-02] (Aperta — max 10 righe)

**Domanda:** Si riporti una metodologia (proposta nel corso) di definizione del modello matematico di un sistema.

**Risposta:**

1. Definisci **scopo** del modello (analisi, controllo, simulazione) e **confini** del sistema.
2. Identifica **ingressi, uscite, disturbi** e **variabili di stato** (energia accumulata).
3. Scegli il **livello di dettaglio** (scatola nera/grigia/completo).
4. Applica **leggi fisiche**/bilanci (massa, energia, carica, quantità di moto) → **equazioni differenziali**.
5. Fissa **ipotesi** (linearità locale, parametri costanti, ecc.).
6. **Valida:** confronta modello vs dati/atteso e calibra parametri; se serve, raffina il modello.

## Lezione 034 — Modello quantitativo, comportamenti dinamici, linearizzazione

### [034-01] (Chiusa)

**Domanda:** Quale è corretta sul modello matematico quantitativo di un sistema?

**Risposta corretta: D** — Mette le **uscite** in relazione con **ingressi**, **disturbi** e **stato** tramite opportune **equazioni differenziali**.

### [034-02] (Chiusa)

**Domanda:** Quale affermazione è corretta sulla linearizzazione?

**Risposta corretta: D** — Serve fissare **punto di lavoro** e **tolleranza**; fuori tolleranza il modello non vale e va **ricalcolato** su un nuovo punto di lavoro.

### [034-03] (Chiusa)

**Domanda:** Quali sono i limiti principali della linearizzazione?

**Risposta corretta: D** — Solo alcuni sistemi sono linearizzabili; se l'intorno operativo è ampio bisogna fare approssimazioni **punto-per-punto** (più modelli lineari).

### [034-04] (Chiusa)

**Domanda:** Condizioni necessarie per un sistema lineare?

**Risposta corretta: A** — **Sovrapposizione degli effetti + omogeneità**.

### [034-05] (Chiusa)

**Domanda:** Condensatore in parallelo a resistenza e induttanza (RLC parallelo): quale è corretta?

**Risposta corretta: A** — La tensione ai capi del condensatore **oscilla** con **smorzamento esponenziale** fino al valore asintotico **nullo**.

### [034-06] (Chiusa)

**Domanda:** Quali sono in genere le uscite da controllare in (1) elettrici, (2) meccanici traslazione, (3) rotazione, (4) fluido, (5) termici?

**Risposta corretta: B** — 1) **tensione**, 2) **velocità**, 3) **velocità angolare**, 4) **pressione**, 5) **temperatura**.

### [034-07] (Chiusa)

**Domanda:** Condensatore come accumulo di energia: quale è corretta?

**Risposta corretta: C** — Con **corrente costante** in ingresso, la tensione cresce **linearmente**: comportamento da **integratore**.

### [034-08] (Chiusa)

**Domanda:** Condensatore in parallelo a una resistenza: quale è corretta?

**Risposta corretta: D** — Il parallelo R–C con eccitazione continua **accumula** e **dissipa** energia: dinamica **esponenziale**.

### [034-09] (Aperta — max 10 righe)

**Domanda:** Enunciare i pro e i contro della linearizzazione.

**Risposta:**

**Pro:** semplifica molto l'analisi e consente di usare teoria/strumenti dei sistemi lineari; permette di progettare controllori “classici” attorno a un **punto di lavoro**.

**Contro:** validità **locale** (solo entro una tolleranza); non tutti i sistemi sono linearizzabili (serve continuità/derivabilità); se il range operativo è ampio servono più linearizzazioni (modelli diversi) e controlli robusti.

## Lezione 035 — Evoluzione libera/forzata + Trasformata di Laplace

### [035-01] (Chiusa) Differenza tra evoluzione libera ed evoluzione forzata

**Risposta corretta: B** — L'evoluzione **libera** dipende dallo **stato iniziale** ed evolve indipendentemente dall'ingresso; l'evoluzione **forzata** dipende dal **segnale di ingresso**.

### [035-02] (Chiusa) Perché è utile passare dal dominio (t) al dominio (s)?

**Risposta corretta: D** — Perché con Laplace la risoluzione di **equazioni differenziali** si semplifica diventando risoluzione di **equazioni algebriche lineari**.

### [035-03] (Chiusa) Strumento per passare da (s) a (t)

**Risposta corretta: C** — Trasformata inversa di Laplace.

### [035-04] (Chiusa) Proprietà fondamentali della trasformata di Laplace

**Risposta corretta: D** — Invariante rispetto a **somma** e **prodotto scalare** (linearità).

### [035-05] (Aperta — max 10 righe) Formula di Laplace e anti-trasformata

[  
$$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$
  
]  
[  
$$f(t) = \mathcal{L}^{-1}\{F(s)\} = \frac{1}{2\pi j} \int_{\gamma-j\infty}^{\gamma+j\infty} F(s) e^{st} ds$$
  
]  
(dove  $\gamma$  è scelto a destra di tutti i poli di  $F(s)$ ).

## Lezione 036 — Funzione di trasferimento e schemi a blocchi

### [036-01] (Chiusa) Funzione di trasferimento ad anello chiuso

Risposta corretta: A

$$\left[ \begin{aligned} W(s) &= \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s), G_a(s), G_c(s)}{1 + G(s), G_a(s), G_c(s), H(s)} \end{aligned} \right]$$

### [036-02] (Chiusa) Due blocchi in serie ( $G_1(s)$ ), ( $G_2(s)$ )

Risposta corretta: C — ( $G_{eq}(s) = G_1(s), G_2(s)$ ).

### [036-03] (Chiusa) Definizione di funzione di trasferimento (sistema lineare)

Risposta corretta: B — È il rapporto tra la trasformata di Laplace dell'uscita e quella dell'ingresso, con **condizioni iniziali nulle**:

$$\left[ \begin{aligned} W(s) &= \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (\text{C.I.} = 0) \end{aligned} \right]$$

### [036-04] (Chiusa) Passaggio da (s) a (t): contributi della risposta

Risposta corretta: C — Da ( $Y(s)$ ) si separano 3 contributi: **transitorio libero**, **transitorio forzato**, **regime permanente forzato** (dopo antitrasformata).

### [036-05] (Chiusa) Regime transitorio vs regime permanente

Risposta corretta: B — Il transitorio si ottiene con **frazioni parziali + antitrasformata**, il regime permanente col **teorema del valore finale** applicato a ( $Y(s)$ ).

### [036-06] (Aperta — max 10 righe) Procedura per calcolare ( $W(s)$ ) di un sistema ad anello chiuso

Rappresenti il sistema in **schema a blocchi**: controllore ( $G_c(s)$ ), attuatore ( $G_a(s)$ ), processo ( $G(s)$ ), sensore ( $H(s)$ ), con sommatore che genera l'errore ( $E(s) = R(s) - H(s)Y(s)$ ). La catena diretta è ( $G_c G_a G$ ). Scrivi: ( $Y(s) = G(s)G_a(s)G_c(s)E(s)$ ). Sostituisci ( $E(s) = R(s) - H(s)Y(s)$ ) e risolvi rispetto a ( $Y/R$ ):

$$\left[ \begin{aligned} \frac{Y(s)}{R(s)} &= \frac{G, G_a, G_c}{1 + G, G_a, G_c, H} \end{aligned} \right]$$

che è la funzione di trasferimento ad anello chiuso.

## Lezione 037 — Sistemi di controllo a controreazione (catena aperta vs chiusa, disturbi, rumore, guadagno d'anello)

**[037-01] (Chiusa)  $Y(s)$  in funzione di  $L(s)$ ,  $R(s)$ ,  $T(s)$ ,  $N(s)$**

**Risposta corretta: C**

$$Y(s) = \frac{L(s)}{1+L(s)}R(s) + \frac{G(s)}{1+L(s)}T(s) - \frac{L(s)}{1+L(s)}N(s)$$

**[037-02] (Chiusa)  $E(s)$  in funzione di  $L(s)$ ,  $R(s)$ ,  $T(s)$ ,  $N(s)$**

**Risposta corretta: B**

$$E(s) = \frac{1}{1+L(s)}R(s) - \frac{G(s)}{1+L(s)}T(s) + \frac{L(s)}{1+L(s)}N(s)$$

**[037-03] (Chiusa) Effetto di disturbi ed errori di misura**

**Risposta corretta: C**

I **disturbi** in ingresso al processo **immettono energia** nel sistema causando un'evoluzione non voluta; gli **errori di misura** **alterano l'informazione** di ritorno falsando il valore reale dell'uscita.

**[037-04] (Chiusa) Quando è opportuno usare feedback?**

**Risposta corretta: A**

In presenza di **disturbi**, dinamiche molto veloci, variazioni parametriche, ecc.

**[037-05] (Chiusa) Definizione di controllo a catena chiusa/controreazione**

**Risposta corretta: C**

Si misura il feedback, lo si confronta col riferimento, si calcola l'errore e si genera un'azione di controllo per ridurlo.

**[037-06] (Chiusa) Cos'è il controllo a catena aperta?**

**Risposta corretta: A**

Non prevede feedback sull'andamento della variabile controllata.

**[037-07] (Chiusa) La catena aperta garantisce sempre le prestazioni desiderate?**

**Risposta corretta: B**

No, non sempre.

**[037-08] (Chiusa) Affermazione corretta su un sistema ad anello aperto**



**Risposta corretta: C**

Opera senza retroazione e genera direttamente l'uscita in risposta all'ingresso.

### **[037-09] (Aperta — max 10 righe) Differenza tra catena aperta e catena chiusa/controreazione**

La **catena aperta** non misura l'uscita: l'azione di controllo dipende solo dal riferimento (e dal modello), quindi se cambiano parametri o arrivano disturbi, l'errore non viene "corretto" automaticamente. La **catena chiusa/controreazione** misura l'uscita (feedback), la confronta col riferimento e usa l'**errore** per aggiornare l'azione di controllo: questo permette in genere **minor sensibilità** alle variazioni del processo, **migliore reiezione disturbi**, **attenuazione rumore di misura** (se progettata bene) e **errore a regime più piccolo**, a costo di maggiore complessità e possibili problemi di stabilità.

Lezione 038 — Controreazione Parte II (errore a regime, sensitività, reiezione disturbi/rumore, costi)

### **[038-01] (Chiusa) Errore a regime ad anello aperto per gradino unitario**

**Risposta corretta: B**

[  
 $e_{\infty} = 1 - L(0)$   
]

### **[038-02] (Chiusa) Definizione corretta di errore a regime**

**Risposta corretta: A**

Scostamento tra riferimento e uscita **dopo** che il transitorio si è esaurito.

### **[038-03] (Chiusa) Affermazione corretta sulla risposta in transitorio**

**Risposta corretta: B**

È controllabile se si riesce a modificare opportunamente i parametri dinamici associati al **denominatore** (poli) della funzione di trasferimento.

### **[038-04] (Chiusa) Definizione corretta di sensitività**

**Risposta corretta: B**

Rapporto tra variazione relativa della f.d.t. del **sistema controllato** e variazione relativa della f.d.t. del **processo** (o di un suo parametro), per variazioni piccole.

### **[038-05] (Chiusa) Svantaggi principali della controreazione**

**Risposta corretta: B**

1. maggiore complessità; 2) perdita di guadagno; 3) anche se l'anello aperto è stabile, l'anello chiuso può diventare instabile.

### [038-06] (Chiusa) Sensitività ad anello chiuso

Risposta corretta: D

[

$$S(s) = \frac{1}{1+L(s)}$$

]

e si può **ridurre** aumentando ( $|L(s)|$ ) alle frequenze operative.

### [038-07] (Chiusa) Sensitività ad anello aperto

Risposta corretta: B

Non è modificabile: è costante e pari a 1.

### [038-08] (Chiusa) Reiezione dei disturbi

Risposta corretta: C

Per rigettare un disturbo ( $T(s)$ ) serve guadagno d'anello **molto elevato** alle frequenze caratteristiche del disturbo (tipicamente basse).

### [038-09] (Chiusa) Errore a regime ad anello chiuso per gradino unitario

Risposta corretta: D

(Nessuna delle altre) — perché il valore atteso in controreazione è del tipo

[

$$e_{\infty} = \frac{1}{1+L(0)}$$

]

che non compare tra le opzioni proposte.

### [038-10] (Aperta — max 10 righe) Vantaggi e costi della controreazione

**Vantaggi:** riduce la **sensibilità** a variazioni del processo, migliora la **reiezione dei disturbi**, attenua (se progettata bene) i **rumori di misura**, riduce l'**errore a regime** e permette di migliorare il **transitorio**. **Costi/svantaggi:** maggiore complessità (sensori, misura, implementazione), spesso **riduzione del guadagno** “utile”, possibilità di **instabilità** in anello chiuso anche con processo stabile, e necessità di gestire il compromesso tra alto guadagno a bassa frequenza (disturbi) e basso guadagno ad alta frequenza (rumore).

## Lezione 039 — *Obiettivi e segnali di ingresso nei sistemi di controllo*

Domande chiuse

1. Come si definiscono i segnali di ingresso canonici?

**Risposta: A** — Sono quella classe di segnali di ingresso cui corrisponde un segnale di uscita avente, **a regime permanente**, un andamento analogo a quello del segnale di ingresso.

2. **Definizione di specifiche e prestazioni di un sistema di controllo**  
**Risposta: A** — Specifiche e prestazioni sono determinate con riferimento alla risposta **in transitorio** e **a regime** per una determinata classe di segnali di ingresso.
3. **Funzionalità, specifiche, prestazioni: cosa significa?**  
**Risposta: C** — (1) Funzionalità: inseguimento dei riferimenti; (2) Specifiche: stabilità/attenuazione disturbi/accuratezza a regime; (3) Prestazioni: limiti sul transitorio e costo.
4. **Trasformate di Laplace: gradino, rampa lineare, rampa parabolica (ampiezza A)**  
**Risposta: A** — 1)  $A/s$ ; 2)  $A/s^2$ ; 3)  $2A/s^3$ .
5. **Relazione poli-zeri e risposta a gradino**  
**Risposta: A** — Lo sviluppo in frazioni parziali di  $Y(s)$  permette di separare i contributi (poli nell'origine / reali / complessi coniugati) e l'inversa dà  $y(t)$ .
6. **Definizione corretta di risposta impulsiva**  
**Risposta: C** — È la rappresentazione nel dominio del tempo della funzione di trasferimento (in pratica l'inversa di Laplace di  $G(s)$ ).
7. **Due proprietà fondamentali dell'impulso**  
**Risposta: A** — È un segnale a energia infinita e la convoluzione con  $g(t)$  restituisce  $g(t)$ .

#### Domanda aperta (max 10 righe)

8. **Illustrare e commentare la relazione tra poli-zeri e risposta a gradino.**  
 La risposta al gradino si ottiene da  $(Y(s)=G(s)\cdot \frac{A}{s})$  e, sviluppando  $(Y(s))$  in frazioni parziali, emergono contributi associati ai poli: **poli nell'origine** → termini polinomiali (integratori/accumulo), **poli reali** → esponenziali (assestamento con costante di tempo), **poli complessi coniugati** → sinusoidi smorzate (oscillazioni + smorzamento). La stabilità (risposta limitata) richiede poli con parte reale negativa e grado d'integrazione compatibile. Gli **zeri** non “creano” modi dinamici nuovi, ma modificano pesi/forma del transitorio tramite residui e contributi tipo derivativo.

## Lezione 040 — Obiettivi e segnali di ingresso nei sistemi di controllo

#### Domande chiuse

1. **Influenza poli complessi coniugati sulla risposta a gradino**  
**Risposta: D** — Al crescere del valore dello smorzamento caratteristico, l'intensità delle oscillazioni diminuisce.
2. **Contributo dei poli complessi coniugati alla risposta a gradino**  
**Risposta: D** — Due termini: uno **transitorio** che si annulla nel tempo e uno **permanente** che si assesta nel tempo.
3. **Parte reale della coppia di poli complessi coniugati: interpretazione**  
**Risposta: A** — Nessuna delle altre risposte è corretta. ( $Re=0$  → oscillazioni non smorzate;  $Re<0$  → oscillazioni smorzate;  $Re>0$  → divergenza/instabilità).
4. **Influenza dei poli di  $Y(s)$  sulla  $y(t)$  (gradino in ingresso)**  
**Risposta: A** — Origine → integratore/accumulo; reali → esponenziale (accumulo+dissipazione); complessi → oscillatorio (trasformazione+dissipazione).

5. **Costante di tempo associata a un polo reale**

**Risposta: B** — Con  $(s+\sigma)$  al denominatore,  $(\tau=1/\sigma)$  e misura la velocità di assestamento esponenziale.

6. **Collocazione nel piano  $s$  dei poli complessi coniugati**

**Risposta: D** — Minore smorzamento  $\rightarrow$  poli più vicini all'asse immaginario; maggiore smorzamento  $\rightarrow$  poli più lontani e più "allineati" all'asse reale.

**Domanda aperta (max 10 righe)**

7. **Significato fisico dei poli e degli zeri di un sistema**

I **poli** rappresentano i "modi" con cui l'energia immagazzinata nel sistema evolve: un polo nell'origine indica **accumulo senza dissipazione** (integratore) e può portare a instabilità; poli reali negativi indicano **accumulo con dissipazione** (assestamento esponenziale); poli complessi coniugati indicano **scambio/trasformazione + dissipazione** (oscillazioni smorzate). Gli **zeri** non determinano la dinamica di base, ma agiscono come "forzamenti" che rimodellano la risposta (pesi dei modi), spesso introducendo effetti tipo derivativo; ad esempio uno zero nell'origine può portare a valore a regime nullo per risposta al gradino (evidenza di dipendenza da derivate dell'ingresso).

## Lezione 041 — Specifiche e prestazioni dei sistemi di controllo

**Domande chiuse**

**01. Quale delle seguenti affermazioni è corretta con riferimento al tipo del sistema?**

- **Risposta: B** — *Nei sistemi a controreazione di tipo  $N$  (con  $N$  integratori), l'errore a regime rispetto a un ingresso a rampa è infinito se  $N < 1$ , finito ma non nullo se  $N = 1$ , nullo se  $N > 1$ .*

**02. Qual è la definizione di tempo di assestamento?**

- **Risposta: A** — *È il tempo impiegato dalla risposta a gradino per assestarsi permanentemente entro un opportuno intervallo percentuale centrato sul valore di riferimento.*

**03. Qual è la definizione corretta del concetto di "tipo" del sistema?**

- **Risposta: D** — *Il tipo del sistema è il numero intero  $N$  di integrazioni presenti nel guadagno di anello.*

**04. Qual è la definizione di tempo di salita nei sistemi sovrasmorzati (esponenziali)?**

- **Risposta: B** — *È il tempo impiegato dalla risposta a gradino per salire dal 10% al 90% del valore di riferimento.*

**Domande aperte (max 10 righe)**

**05. Riportare e commentare la tabella dell'errore a regime dei sistemi di tipo N con ingressi standard.**

- Si definiscono le costanti di errore:  $K_p = \lim_{s \rightarrow 0} L(s)$  (posizione),  $K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot L(s)$  (velocità),  $K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 \cdot L(s)$  (accelerazione).
- **Ingresso a gradino**: errore finito; è **nullo** se  $N \geq 1$ , **finito non nullo** se  $N=0$  (dipende da  $K_p$ ).
- **Ingresso a rampa**: errore **nullo** se  $N \geq 2$ , **finito non nullo** se  $N=1$  (dipende da  $K_v$ ), **infinito** se  $N=0$ .
- **Ingresso parabolico**: errore **nullo** se  $N \geq 3$ , **finito non nullo** se  $N=2$  (dipende da  $K_a$ ), **infinito** se  $N \leq 1$ .

## Lezione 042 — Specifiche e prestazioni dei sistemi di controllo

### Domande chiuse

**01. Quali sono le prestazioni generalmente richieste al transitorio della risposta a gradino di un sistema?**

- **Risposta: B** — *Prontezza e fedeltà di risposta.*

### Domande aperte (max 10 righe)

**02. Spiegare brevemente come si misurano prontezza e fedeltà di risposta e indicare perché essi rappresentano due requisiti contrastanti.**

- **Prontezza**: quanto “velocemente” risponde il sistema → tipicamente **tempo di salita**  $T_r$ , **tempo al picco**  $T_p$  e/o **tempo di assestamento**  $T_s$  (a seconda del tipo di risposta).
- **Fedeltà**: quanto la risposta segue bene il riferimento senza scostamenti → tipicamente **sovraelongazione percentuale**  $S\%$  e l'**errore residuo** entro la banda  $\pm 0$ .
- Sono **contrastanti** perché rendere il sistema più rapido (poli più “veloci”, maggiore banda) tende ad aumentare oscillazioni/sovraelongazione e sensibilità, peggiorando la fedeltà; viceversa aumentare smorzamento/robustezza spesso rallenta il transitorio.

## Lezione 043 — Stabilità dei sistemi controllati

**01. Enunciato corretto del criterio di Routh**

- **Risposta: D** — La condizione necessaria e sufficiente per la stabilità asintotica è che **non ci siano cambiamenti di segno nella prima colonna** della tabella di Routh.

**02. Condizione di stabilità asintotica**

- **Risposta: A** — Un sistema è asintoticamente stabile se **tutti i poli hanno parte reale negativa**.

### 03. Tipo di stabilità di interesse nei sistemi controllati

- **Risposta: B** — **Stabilità asintotica**.

### 04. Affermazione corretta sul grado di stabilità

- **Risposta: A** — **Più** le radici del polinomio caratteristico sono **a sinistra** nel semipiano sinistro, **maggiore** è il grado di stabilità (più “robusto” rispetto a variazioni parametriche).

### 05. Quando un sistema controllato è definito stabile

- **Risposta: C** — Se, dato un ingresso limitato, l'uscita è limitata (**BIBO stability**).

### 06. Condizione di equilibrio $x_0$ e definizione

- **Risposta: B** — Se il sistema tende a  $x_0$  per  $t \rightarrow \infty$  è **stabile asintoticamente**.

### 07. (Aperta) Come si applica il criterio di Routh (max 10 righe)

Si costruisce la **tabella di Routh** a partire dai coefficienti del polinomio caratteristico.

Si riempiono le prime due righe con i coefficienti a potenze pari/dispari, poi si calcolano ricorsivamente gli elementi successivi.

Il sistema è **asintoticamente stabile** se e solo se **tutti gli elementi della prima colonna hanno lo stesso segno** (nessun cambio di segno).

Il numero di cambi di segno nella prima colonna indica quanti poli sono nel semipiano destro (instabilità).

## Lezione 044 — Metodo del luogo delle radici

### 01. Quando $K \rightarrow 0$ , dove sono i poli a ciclo chiuso?

- **Risposta: D** — I poli a ciclo chiuso **si avvicinano ai poli a ciclo aperto**.

### 02. Descrizione corretta della sintesi con luogo delle radici

- **Risposta: B** — Si modifica la funzione d'anello (es. aggiungendo poli/zeri come integratori/anticipatori) e poi si sceglie **K** con il luogo delle radici per rispettare stabilità e prestazioni.

### 03. (Aperta) Regole principali per tracciare il luogo delle radici (max 10 righe)

1. Numero di rami = numero di poli a ciclo aperto.
2. I rami partono dai **poli** ( $K \rightarrow 0$ ) e terminano sugli **zeri** ( $K \rightarrow \infty$ ); se zeri finiti mancano, terminano a  $\infty$ .
3. Tratti sull'asse reale: un punto è sul luogo se alla sua destra c'è un numero **dispari** di poli+zeri reali.
4. Asintoti: angoli =  $(2q+1) \cdot 180^\circ / (n-m)$ ; centro =  $(\text{somma poli} - \text{somma zeri}) / (n-m)$ .

5. Breakaway/break-in da  $dK/ds=0$ .
6. Attraversamenti dell'asse  $j\omega$ : con Routh o sostituendo  $s=j\omega$ .

## Lezione 045 — Risposta in frequenza

### 01. Perché si esprimono i moduli in dB?

- **Risposta: A** — Perché **semplifica i calcoli** (prodotti  $\rightarrow$  somme), e rende più leggibili variazioni di guadagno su ampia dinamica.

### 02. Scala sulle ascisse del diagramma delle fasi

- **Risposta: D** — Logaritmica.

### 03. Come si rappresentano i moduli nel diagramma di Bode

- **Risposta: D** — In decibel.

### 04. Scala sulle ascisse del diagramma dei moduli

- **Risposta: D** — Logaritmica.

### 05. Cosa sono i diagrammi di Bode

- **Risposta: B** — Sono i diagrammi di **modulo e fase** della risposta armonica ( $F(j\omega)$ ) di un sistema lineare.

### 06. Affermazione corretta sulla risposta armonica

- **Risposta: C** — Per un sistema lineare **stabile**, l'uscita a regime è una sinusoide di **stessa frequenza** con ampiezza e fase modificate da ( $T(j\omega)$ ).

### 07. Quando preferire sintesi in frequenza rispetto al dominio $s$

- **Risposta: A** — Se interessano specifiche **frequenziali** (banda, risonanza, ecc.); se interessano prestazioni nel transitorio a gradino, meglio il dominio **s/tempo**.

### 08. Definizione di risposta in frequenza

- **Risposta: A** — È la **risposta a regime** a un ingresso sinusoidale.

### 09. (Aperta) Vantaggi/svantaggi della risposta in frequenza (max 10 righe)

**Vantaggi:** consente di leggere direttamente attenuazione disturbi, banda passante, robustezza; sperimentalmente è “facile” eccitare un sistema con sinusoidi e ricostruire ( $T(j\omega)$ ); riduce lo studio al solo asse ( $j\omega$ ).

**Svantaggio principale:** il legame tra modifiche in frequenza e l'effetto nel dominio del tempo è spesso **meno immediato** rispetto al dominio  $s$ .

## Lezione 046 — Risposta in frequenza (Bode: contributi di poli/zeri e regole)

### 01. Contributo di poli/zeri nell'origine (modulo)

- **Risposta: D** — Zero nell'origine: **+20 dB/dec**; polo nell'origine: **-20 dB/dec** (per ciascuno).

### 02. Modulo in dB di un numero M

- **Risposta: B** —  $20 \cdot \log_{10}(M)$ .

### 03. Modulo in dB di 1

- **Risposta: D** — **0 dB**.

### 04. Quanti sono i diagrammi di Bode

- **Risposta: A** — **2** (modulo e fase).

### 05. Cosa c'è in ascissa nei diagrammi di Bode

- **Risposta: C** — Le **pulsazioni** ( $\omega$ ).

### 06. Modulo naturale di $1 + j2$

- **Risposta: C** —  $(\sqrt{1^2 + 2^2}) = \sqrt{5}$ .

### 07. Modulo in dB di 10

- **Risposta: A** —  $(20 \log_{10}(10) = 20) \Rightarrow$  **20 dB**.

### 08. Dove si può calcolare pulsazione di risonanza (eventuale risonanza)

- **Risposta: A** — Contributo di una **coppia di poli/zeri complessi coniugati**.

### 09. Cosa rappresentano i diagrammi di Bode

- **Risposta: B** — La funzione di trasferimento **valutata in  $(j\omega)$** , cioè  $(T(j\omega))$ .

### 10. (Aperta) Regole per tracciare i Bode (max 10 righe)

1. Porta la  $(T(s))$  in forma fattorizzata (guadagno, poli/zeri reali, all'origine, coppie complesse).
2. Sostituisci  $(s=j\omega)$  e lavora con  $(T(j\omega))$ .
3. Modulo: somma i contributi in **dB** ( $20 \log_{10}|\cdot|$ ).
4. Fase: somma i contributi di fase (in gradi).
5. Ascissa:  $(\omega)$  in **scala logaritmica**.
6. Poli/zeri all'origine danno pendenza costante  $\pm 20$  dB/dec per ciascun polo/zero.



7. Poli/zeri reali cambiano pendenza attorno alla loro pulsazione di taglio.
8. Coppie complesse possono introdurre picchi (risonanza) e variazioni di fase più rapide.

Ecco il **proseguimento** (lezioni 047 → 050), con **lezione corrispondente** e formato come mi hai chiesto.

## Lezione 047

**(Aperta)**

**01.** *Si illustri la relazione tra risposta a gradino e risposta armonica.*

La risposta armonica (in frequenza) descrive come il sistema risponde a sinusoidi di diversa pulsazione; la risposta al gradino è nel tempo e dipende dagli stessi poli/zeri. Sono due “viste” dello stesso sistema: la risposta al gradino si ottiene dalla trasformata inversa della funzione di trasferimento, mentre la risposta armonica deriva dalla valutazione in ( $s=j\omega$ ). Caratteristiche come smorzamento e risonanza emergono in frequenza (picco) e si riflettono nel transitorio al gradino (overshoot/oscillazioni). In sintesi: poli complessi poco smorzati  $\Rightarrow$  picco in Bode/Nyquist e overshoot/oscillazioni nel gradino.

## Lezione 048

**(Aperta)**

**01.** *Quando una funzione di trasferimento di un sistema lineare stabile è chiamata funzione di trasferimento a fase minima?*

È “a fase minima” quando, a parità di modulo in frequenza, ha la fase più “alta” (meno negativa) possibile: condizione equivalente è che **tutti gli zeri siano nel semipiano sinistro** (nessuno zero a parte reale positiva) e il sistema sia stabile. In pratica: stabile + zeri “stabili”  $\Rightarrow$  inversione possibile senza instabilità e fase più favorevole.

## Lezione 049

**(Chiusa)**


**01.** *Criterio di stabilità di Nyquist: enunciato corretto?*

**Risposta: C)** “... il diagramma di Nyquist di ( $L(s)$ ) effettua un numero di giri **in senso orario** intorno al punto **(-1;0)** pari al numero di **poli di ( $L(s)$ )** con parte reale positiva.”

**02.** *Cos’è il diagramma di Nyquist?*

**Risposta: B)** “È la rappresentazione grafica sul piano complesso della **funzione di risposta armonica**.”

**03.** *Affermazione corretta per ( $L(s)=\frac{K}{s(1+\tau s)}$ ) (un polo reale e uno nell’origine)?*

 **Nel PDF le 3 opzioni “Supponendo che il polo reale sia negativo (quindi tau ...)” risultano tronche** (si vede solo l’inizio, manca il resto della frase), quindi non posso associare in modo affidabile **lettera + testo risposta**.

**(Aperta)**

**04.** *Descrivere, con un esempio, le regole di tracciamento del Nyquist.*

Si traccia  $(L(j\omega))$  per  $(\omega: 0 \rightarrow +\infty)$  nel piano complesso e si completa con la parte a  $(\omega < 0)$  (coniugata se coefficienti reali). Si considerano eventuali poli su asse  $(j\omega)$  con una piccola deviazione del contorno. Poi si conta quante volte il diagramma **avvolge  $(-1,0)$**  (verso e numero). Con  $(N=Z-P)$ :  $(P)$  = poli di  $(L(s))$  a parte reale positiva,  $(Z)$  = zeri di  $(1+L(s))$  a parte reale positiva (poli a destra dell'anello chiuso). Esempio: se  $(P=0)$  e il diagramma non avvolge  $(-1,0)$ , allora  $(Z=0) \Rightarrow$  sistema a controreazione stabile.

## Lezione 050

(Chiusa)

**01. F.d.t. di un sistema a controreazione non unitaria con  $(H(s))$ ?**

**Risposta: A)**  $(T(s) = \frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)H(s)})$

**02. Definizione corretta di margine di fase?**

**Risposta: C)** "Incremento della **fase** di  $(L(j\omega))$  **quando il modulo è unitario**, che porta il sistema al limite della stabilità (attraversamento di  $(-1;0)$  nel Nyquist)."

**03. Definizione corretta di margine di guadagno?**

**Risposta: A)** "Aumento di **guadagno** quando la **fase è  $-180^\circ$** , che porta il sistema ad essere marginalmente stabile (intersezione di  $(-1;0)$  nel Nyquist)."

(Aperta)

**04. Come rilevare margine di guadagno e di fase dai Bode (con grafico)?**

Dal Bode di  $(L(j\omega))$ :

- **Margine di fase (PM):** trovi la pulsazione  $(\omega_{gc})$  dove  $(|L|=1)$  (0 dB). A quella  $(\omega)$ , leggi la fase  $(\angle L)$ . Il margine è  $(PM = 180^\circ + \angle L(j\omega_{gc}))$ .
- **Margine di guadagno (GM):** trovi la pulsazione  $(\omega_{pc})$  dove  $(\angle L = -180^\circ)$ . A quella  $(\omega)$ , leggi il modulo in dB:  $(GM_{dB} = -|L(j\omega_{pc})|_{dB})$  (quanto manca a 0 dB).

Di seguito **continuo** con le lezioni successive (da **Lezione 052** a **Lezione 058**), nel formato che mi hai chiesto.

## Lezione 052

**01. (Aperta)** Descrivere il legame tra pulsazione di attraversamento di  $L(j\omega)$  e banda passante di  $T(j\omega)$ .

La **pulsazione di attraversamento**  $\omega_t$  (dove  $|L(j\omega)| = 1$ ) è **strettamente legata** alla **banda passante** del sistema in anello chiuso  $T(j\omega)$ : in molti sistemi ben progettati (con margini adeguati) la **banda passante di T** risulta **dello stesso ordine di grandezza** di  $\omega_t$ . In pratica, **aumentare  $\omega_t$**  tende ad **aumentare la banda passante**, rendendo il sistema più "pronto" (ma spesso più sensibile a rumore/alte frequenze).

## Lezione 053

**01. (Chiusa)** Rete anticipatrice come compensazione: quale affermazione è corretta?

- **Risposta: B** — “polo reale negativo e uno zero reale negativo, con il **polo a sinistra dello zero**”.

**02. (Chiusa)** Rete ritardatrice come compensazione: quale affermazione è corretta?

- **Risposta: C** — “polo reale negativo e uno zero reale negativo, con il **polo a destra dello zero**”.

**03. (Aperta)** Obiettivo della progettazione di un controllore?

Progettare un controllore significa scegliere una legge di controllo che faccia sì che il sistema **rispetti stabilità e prestazioni** richieste: tracking del riferimento, **reiezione dei disturbi**, errore a regime accettabile, **buon transitorio** (sovraelongazione/tempo di assestamento), e **robustezza** rispetto a incertezze. Se il sistema non soddisfa i requisiti, si introducono compensazioni (es. reti anticipatrici/ritardatrici) e si validano i risultati anche su modello completo.

## Lezione 054

**01. (Chiusa)** Affermazione corretta sulle reti compensatrici?

- **Risposta: B** — anticipatrice  $\approx$  **derivatore** (migliora transitorio), ritardatrice  $\approx$  **integratore** (migliora regime permanente).

**02. (Chiusa)** Svantaggio connesso all'uso delle reti compensatrici?

- **Risposta: D** — il metodo vale **solo se** il sistema è **dominato** da una **coppia di poli complessi** (da verificare su modello completo).

## Lezione 055

**01. (Chiusa)** Utilità di una rete anticipatrice: quale è vera?

- **Risposta: C** — aumenta il **margin di fase**, migliorando **stabilità e prestazioni dinamiche**.

**02. (Aperta)** Esempio di uso di rete anticipatrice nel dominio della frequenza.

Caso tipico: il sistema ha **margin di fase insufficiente**. Si progetta una rete anticipatrice per fornire un **incremento di fase** attorno alla nuova pulsazione di attraversamento desiderata. Passi tipici: (1) fissare la correzione di fase richiesta, (2) scegliere i parametri ( $\alpha$ ,  $\tau$ ) per centrare il picco di fase vicino a  $\omega_t$ , (3) regolare **K** per mantenere l'attraversamento (o riportarlo) alla pulsazione desiderata, (4) verificare margini e prestazioni sul Bode del sistema compensato.

## Lezione 056

**01. (Aperta)** Esempio di uso di rete ritardatrice nel dominio della frequenza.

Caso tipico: il sistema è “ok” come transitorio/margini, ma serve migliorare il **regime**

**permanente** (es. ridurre errore a regime / aumentare guadagno alle basse frequenze) senza peggiorare troppo la stabilità. Si introduce una rete ritardatrice che **modifica il modulo** (soprattutto) lasciando quasi invariata la zona attorno a  $\omega t$ : spesso si posiziona lo **zero** ben sotto la pulsazione di attraversamento e si sceglie  $\alpha$  in modo da ottenere l'attenuazione/variazione voluta, minimizzando l'impatto sulla fase e poi si rifinisce  $K$  se necessario.

## Lezione 057

**01. (Chiusa)** Istruzioni base MATLAB: quale affermazione è corretta?

- **Risposta: B** — `lsim(num, den, u, t)` calcola la risposta rispetto a un ingresso generico  $u$  (con  $t$  vettore dei tempi).

**02. (Chiusa)** Istruzioni base MATLAB (bode/nyquist): quale è corretta?

- **Risposta: D** — `bode(num, den, w)` calcola **modulo e fase** alle pulsazioni indicate da  $w$ .

## Lezione 058

**01. (Chiusa)** Quale istruzione consente la conversione continuo  $\rightarrow$  discreto in MATLAB?

- **Risposta: A** — “Nessuna delle altre risposte proposte è corretta” (in MATLAB tipicamente si usa `c2d(...)`, non `convert2discrete(...)`).

## Lezione 059 — Simulazione dei sistemi dinamici con MATLAB (Parte II)

**01. Quale dei seguenti è un esempio corretto di istruzione MATLAB che consente di tracciare l'evoluzione libera di un sistema?**

- **Risposta: B** `[y, t, x] = initial(sys, x0);` (genera i vettori  $t$ ,  $x$ ,  $y$  a partire da  $sys$  e dalle condizioni iniziali  $x_0$ )

**02. Quale dei seguenti è un esempio corretto di istruzione MATLAB che consente di tracciare la risposta a gradino di un sistema?**

- **Risposta: B** `[y, t, x] = step(sys);` (genera i vettori  $t$ ,  $x$ ,  $y$  a partire dall'oggetto  $sys$ )

**03. Esempio (risposta aperta,  $\leq 10$  righe): simulazione risposta a gradino di un circuito RLC in MATLAB**

Esempio tipico:

1. definisci  $R$ ,  $L$ ,  $C$

2. ricava la funzione di trasferimento (ad es. uscita su C / ingresso in tensione):  
`sys = tf([1],[L*C R*C 1]);`
3. calcola e traccia la risposta al gradino:  
`[y,t] = step(sys); plot(t,y); grid on;`
4. (opz.) imposta titolo/assi: `title('Step response RLC'); xlabel('t'); ylabel('y(t)');`

## Lezione 061 — Simulink (Parte II)

### 01. Elementi necessari per il modello massa–molla–smorzatore: $\ddot{x} = -(c/m)\dot{x} - (k/m)x$

- **Risposta: B)** Due integratori, due blocchi di guadagno costante e un sommatore (algebrico).

### 02. (Risposta aperta, ≤10 righe) Schema a blocchi Simulink del massa–molla–smorzatore

Imposta l'accelerazione come somma algebrica di due contributi:  $-(c/m)\dot{x}$  e  $-(k/m)x$  usando **Gain** + **Sum** (con segni "-"). Poi integra due volte: un **Integrator** per ottenere la velocità  $\dot{x}$  e un secondo **Integrator** per ottenere la posizione  $x$ . Collega **Scope** a valle degli integratori per osservare velocità e posizione (menu **Sinks**).

## Lezione 062 — Simulink (Parte III)

### 01. Elemento necessario per osservare l'evoluzione durante la simulazione

- **Risposta: A)** Serve una **scope** collegata alla variabile da osservare (disponibile nel menu **Sinks**).

## Lezione 063 — Simulink

### 01. Blocchi Simulink che modellano discontinuità (affermazione corretta)

- **Risposta: B)** Backlash→isteresi, Relay→relé, Saturation→saturazione, Quantized/Quantizer→quantizzazione.

### 02. Quali sono blocchi “continui” in Simulink?

- **Risposta: A)** Integrator, Derivative, State-Space, Transfer Fcn, Zero-Pole, Transport Delay.

## Lezione 064 — Simulink

### 01. Blocchi che rappresentano operazioni matematiche

- **Risposta: B)** Abs, Dot Product, Rounding Function, Gain, Math Function, MinMax, Sign, Vector Concatenate.

### 02. Blocchi che rappresentano elementi discreti

- **Risposta: A)** Discrete Derivative, Discrete-Time Integrator, Discrete State-Space, Discrete Transfer Fcn, Discrete Zero-Pole, ZOH, FOH, Unit Delay, Weighted Moving Average.

## Lezione 065 — Simulink

### 01. Blocchi “pozzo” (sink/terminatori)

- **Risposta: D)** Scope, Display, XY Graph, To File, To Workspace.

### 02. Libreria di multiplexer e demultiplexer

- **Risposta: C)** Signal Routing.

### 03. Blocchi “sorgente” (source)

- **Risposta: B)** Band-Limited White Noise, Chirp Signal, Constant, Pulse Generator, Sine Wave, Random Number, From File, From Workspace, Step, Ramp, Signal Generator.

## Lezione 066

### 01. (Chiusa) Istruzione corretta per tracciare il **luogo delle radici** in MATLAB?

- **Risposta: B)** `[r, k] = rlocus(num, denom);`

## Lezione 067

### 01. (Chiusa) Verso corretto di lettura del luogo delle radici?

- **Risposta: A)** Il **luogo positivo** si legge **dai poli verso gli zeri/asintoti**, il **luogo negativo** nel verso opposto.

### 02. (Aperta — max 10 righe) Esempio di sintesi di controllore via luogo delle radici.

Esempio: ho un sistema in anello aperto con transitorio troppo oscillante (poli chiusi con  $\zeta$  basso). Traccio il **root locus** e scelgo un guadagno **K** che posizioni i poli dominanti più a sinistra e con smorzamento maggiore (riducendo overshoot e migliorando  $T_s$ ). Se il luogo non passa nella zona desiderata, aggiungo una compensazione (es. **zero** con una rete anticipatrice) per “tirare” il luogo verso la regione con  $\zeta$  e  $\omega_n$  richiesti, poi rifinisco K e verifico la risposta a gradino.

## Lezione 068

### 01. (Chiusa) Affermazione corretta sull'istruzione `bode` di MATLAB?

- **Risposta: C)** `[mag, phase, wout] = bode(sys)` restituisce (senza disegnare) moduli, fasi e pulsazioni.

**02. (Chiusa)** Affermazione corretta su cosa rappresenta il Bode restituito da MATLAB?

- **Risposta: B)** Modulo =  $(20 \log_{10}(|T(j\omega)|))$  in dB; fase = argomento (in radianti o gradi).

## Lezione 069

**01. (Chiusa)** Con guadagno **negativo**, in cosa “differisce” MATLAB rispetto alle regole manuali?

- **Risposta: B)** MATLAB introduce un termine costante di fase **-180°**, mentre nelle regole manuali spesso si considera **+180°** (equivalente per fase modulo 360°, ma cambia il “wrapping”).

## Lezione 070

**01. (Chiusa)** Affermazione corretta sul calcolo dei margini di stabilità in MATLAB?

- **Risposta: A)** `[Gm, Pm, Wcg, Wcp] = margin(sys);`

Di seguito **Lezioni 072 → 081**, con:

- **domande chiuse** = *Domanda + lettera + risposta*
- **domande aperte** = *max ~10 righe e lezione corrispondente.*

## Lezione 072

**01) (chiusa)** In corrispondenza dei poli con  $\text{Re}=0$ , l’arco di chiusura del Nyquist...

**Risposta: A** — “...descrive  $m$  mezzi giri all’infinito in senso orario.”

**02) (aperta)** Come si comporta il diagramma di Nyquist in presenza di poli con  $\text{Re}=0$ ?

In presenza di poli sull’asse immaginario ( $\text{Re}=0$ ), il contorno di Nyquist va “deformato” per evitare i poli.

La deformazione introduce un **arco di chiusura all’infinito** che compie  **$m$  mezzi giri** ( $m$  = numero di poli su  $j\omega$ ) **in senso orario**.

Questa parte è necessaria per applicare correttamente il criterio (conteggio degli avvolgimenti).

## Lezione 073

**01) (chiusa) Per disegnare il diagramma di Nyquist e ottenere ascisse/ordinate con MATLAB...**

Risposta: B — `nyquist(sys, {wmin wmax})`

## Lezione 074

**01) (chiusa) Quale affermazione è corretta riguardo al limite della funzione `nyquist` di MATLAB?**

Risposta: D — “Se utilizziamo la funzione `nyquist` ... con poli nell’origine, la chiusura all’infinito non viene disegnata.”

**02) (aperta) Qual è il limite della funzione `nyquist` per cui può essere utile `nyquist1`?**

Il limite pratico è che `nyquist` può non disegnare correttamente la chiusura all’infinito (in particolare con **poli nell’origine**), quindi il grafico risulta “incompleto” per applicare bene il criterio di Nyquist.

La funzione `nyquist1` è utile perché gestisce/mostra meglio queste parti “critiche” del contorno, rendendo più affidabile la verifica di stabilità in anello chiuso.

## Lezione 075

**01) (chiusa) Funzione preferibile per tracciare Nyquist in MATLAB ai fini del criterio di Nyquist**

Risposta: A — `nyquist1`

## Lezione 078

**01) (aperta) Esempio di utilizzo congiunto di rete anticipatrice e attenuatrice per la sintesi (controreazione unitaria)**

Esempio tipico: hai una funzione d’anello aperto ( $L(s)=G(s)$ ) che **non rispetta** margine di fase e/o banda.

1. Inserisci una **rete anticipatrice (lead)** ( $G_{\text{lead}}(s)=K\frac{1+s\tau}{1+s\tau/a}$ ) con ( $a>1$ ) per **aumentare il margine di fase** e migliorare il transitorio (maggiore stabilità/prestazioni dinamiche).
2. Se dopo il lead peggiori troppo il guadagno a bassa frequenza (errore a regime), aggiungi una **rete attenuatrice/ritardatrice (lag)** per **regolare il guadagno alle alte frequenze** e “sistemare” le specifiche a regime senza distruggere troppo la fase.



3. Verifichi su Bode/Nyquist e ritocchi i parametri (approccio spesso iterativo).

## Lezione 079

### 01) (chiusa) Modellistica e simulazione: affermazione corretta

Risposta: D — “La trasmissione richiede elaborazione... tempo non nullo... ritarda la ricezione.”

### 02) (chiusa) Modellizzazione del ritardo nel dominio del tempo

Risposta: B — “ $y(t) = u(t - T)$ ”

### 03) (chiusa) Ritardi nella trasmissione dei segnali: affermazione corretta

Risposta: D — “Sia il segnale in uscita dal controllore sia il segnale di misura... sono soggetti a ritardi (TLC).”

### 04) (aperta) Cosa comporta la presenza di un ritardo e dove si colloca (schema a blocchi)?

Il ritardo introduce una **traslazione temporale** dei segnali e può degradare stabilità e prestazioni in anello chiuso.

Nei sistemi di telecontrollo, tipicamente i ritardi sono nel **canale TLC**:

- tra **controllore** → **attuatore** (segnale di comando)
  - tra **sensore** → **controllore** (segnale di misura/feedback)
- Quindi puoi modellare due blocchi “ritardo” inseriti nei due collegamenti di comunicazione.

## Lezione 080

### 01) (chiusa) Funzione di trasferimento ingresso-uscita di un blocco ritardo

Risposta: D —  $(F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = e^{-sT})$

### 02) (chiusa) Contributo del ritardo al diagramma di Bode

Risposta: B — modulo costante 0 dB e fase =  $(-\omega T \cdot 180/\pi)$

### 03) (chiusa) Modellizzazione del ritardo nel dominio di Laplace

Risposta: C —  $(Y(s) = e^{-sT}U(s))$

### 04) (aperta) Comportamento nel dominio della frequenza di un ritardo temporale

Con  $(s=j\omega)$ :  $(e^{-sT})=e^{-j\omega T}$ .

- **Modulo:**  $(|e^{-j\omega T}|=1) \Rightarrow 0 \text{ dB}$  (costante)
- **Fase:**  $(\angle e^{-j\omega T}=-\omega T) \text{ (rad)} \Rightarrow$  fase che decresce linearmente con  $(\omega)$ .  
In Nyquist,  $(e^{-j\omega T})$  descrive il **cerchio unitario** ruotando con  $(\omega)$ .

## 05) (aperta) Modellizzazione del ritardo nel dominio della variabile complessa s

Il ritardo si modella come una funzione **non razionale**:  $(F(s)=e^{-sT})$ .

È rappresentabile come **serie** (polinomio di grado infinito), quindi non è un classico trasferimento razionale a poli/zeri finiti.

Per questo spesso si usano approssimazioni (es. Padé) quando serve lavorare con modelli razionali.

## Lezione 081

### 01) (aperta) Limiti di MATLAB (es. Nyquist di un sistema con ritardo) e accortezze

Un ritardo puro  $(e^{-sT})$  è **non razionale** (dinamica “infinita”), e strumenti come MATLAB possono dare grafici “strani/inattesi” se usi direttamente `nyquist(exp(-s*T))`.  
Accortezze tipiche:

- usare una **approssimazione razionale** del ritardo (es. **Padé**) prima di applicare Nyquist/Bode;
- oppure calcolare/valutare la risposta in frequenza imponendo un set di  $(\omega)$  e lavorare su  $(e^{-j\omega T})$  in modo controllato.

Ecco il seguito con **Lezione 082**  $\rightarrow$  **085** (come da PDF domande), sempre con **lezione corrispondente** e formato richiesto.

## Lezione 082

### 01) (Chiusa) Condizione necessaria e sufficiente di stabilità (K, ritardo T sul comando, processo istantaneo Kp)

**Risposta: C** — Nessuna delle altre risposte proposte è corretta.

(La condizione corretta dipende da  $K \cdot K_p$  e dal fatto che c'è un **ritardo**: nel testo non compare la forma completa tipo “ $< 1$ ”, quindi tra le opzioni la scelta coerente è “nessuna”).

### 02) (Chiusa) Impatto del ritardo sulla stabilità di una cascata (catena aperta)

**Risposta: B** — Il blocco ritardo **non influisce** sulla stabilità della catena aperta; la cascata è stabile se e solo se sono stabili gli altri componenti in serie.

### 03) (Aperta — max 10 righe) Stabilità catena aperta controllore–ritardo–attuatore–processo

Il ritardo ( $e^{-sT}$ ) non introduce poli a parte reale positiva (non “rende instabile” da solo una cascata). In **catena aperta**, la stabilità dipende dai poli dei blocchi dinamici (controllore/attuatore/processo): se questi sono stabili, la cascata resta stabile anche con il ritardo. Il ritardo però introduce **fase** e può peggiorare drasticamente la stabilità **in anello chiuso** (feedback), non in open-loop.

### 04) (Aperta — max 10 righe) Processo istantaneo $K_p$ + ritardo in ingresso + feedback unitario con $K$

Con ( $L(s)=K, K_p, e^{-sT}$ ), in **anello chiuso** il ritardo può portare a instabilità anche con processo “banale” (solo guadagno). La stabilità dipende da come l’esponenziale altera la condizione ( $1+L(s)=0$ ): il ritardo non cambia il **modulo** ( $|e^{-j\omega T}|=1$ ) ma aggiunge una fase ( $-\omega T$ ), quindi riduce i margini. In pratica, più  $T$  cresce, più devi tenere “basso” il guadagno efficace per restare stabile.

## Lezione 083

### 01) (Chiusa) Schema più semplice per stabilizzare un processo instabile del primo ordine

**Risposta: B** — Controreazione unitaria con **controllore proporzionale** ( $k=(1-\varepsilon)$ ), ( $\varepsilon>0$ ) piccolo.

### 02) (Aperta — max 10 righe) Stabilità con processo instabile del primo ordine (feedback unitario)

In controreazione unitaria, la stabilità dipende dai poli della funzione caratteristica (es. ( $1+L(s)=0$ )). Per un primo ordine instabile, un controllore proporzionale può stabilizzare **solo se** il guadagno viene scelto in un intervallo che sposta il polo equivalente nel semipiano sinistro (tipicamente “abbassando” o cambiando segno del guadagno efficace in anello). Se il guadagno è fuori range, il polo resta a destra e l’anello chiuso è instabile.

## Lezione 084

### 01) (Chiusa) Processo instabile 1° ordine + controllore $k$ + ritardo $T$ sul comando: quale è corretta?

**Risposta: D** — **Non è possibile garantire** la stabilità del sistema controreazionato con  $k$  (solo proporzionale) in presenza di ritardo.

## 02) (Aperta — max 10 righe) Effetto del ritardo sul segnale di controllo con processo instabile 1° ordine

Il ritardo aggiunge una fase ( $-\omega T$ ) che cresce con la frequenza: questo riduce margine di fase e può generare oscillazioni/instabilità. Con un processo già instabile, il ritardo rende la stabilizzazione più difficile perché limita la banda e “mangia” robustezza: spesso serve abbassare il guadagno, accettare risposta più lenta, oppure usare compensazioni più ricche del solo proporzionale (lead/anticipatrice, ecc.).

## Lezione 085

### 01) (Chiusa) Serbatoio cilindrico, rubinetto: input, stato, uscita

**Risposta: D** — Ingresso: portata  $p(t)$ ; stato: livello  $h(t)$ ; uscita: misura di  $h(t)$  (coincide con lo stato).

### 02) (Chiusa) Funzione di trasferimento con $(\pi r^2) \dot{h}(t) = p(t)$

**Risposta: C** —  $(F(s) = \frac{H(s)}{P(s)} = \frac{1}{\pi r^2} \cdot \frac{1}{s})$ .

### 03) (Chiusa) Significato fisico di un polo nell'origine

**Risposta: C** — Indica **accumulo di energia** (assenza di dissipazione dominante), tipico di un comportamento da integratore.

### 04) (Chiusa) Foro + $(v(t) = \sqrt{2gh(t)})$ : che tipo di contributo è?

**Risposta: A** — È un termine che rappresenta **dissipazione** (perdita di “energia utile”/massa dal serbatoio).

### 05) (Chiusa) Dinamica con disturbo $(v(t))$ (portata in uscita dal foro)

**Risposta: B** —  $(\pi r^2) \dot{h}(t) = p(t) - (\pi r_f^2) v(t)$ .

### 06) (Aperta — max 10 righe) Significato fisico dei poli tramite l'esempio del serbatoio

Nel serbatoio senza foro, la dinamica  $(\dot{h} \propto p(t))$  produce una f.d.t. con **polo nell'origine** (integratore): il livello accumula nel tempo → “memoria/energia accumulata” senza dissipazione. Se introduci un foro (perdita), compare un termine che tende a ridurre  $h$ : il sistema diventa dissipativo e il polo si sposta tipicamente nel semipiano sinistro (comportamento esponenziale verso un equilibrio). Quindi: **poli** descrivono come evolve l'energia/massa accumulata (accumulo puro vs accumulo+dissipazione).

## Lezione 088 — Simulazione dell'effetto dei poli e degli zeri (Parte IV)

**Domanda 01 (chiusa)** — *Quale delle seguenti affermazioni è corretta con riferimento all'effetto dei poli e degli zeri?*

- **Risposta: D** — “La dinamica di un sistema è interamente determinata dai **poli**, mentre gli **zeri** influenzano la risposta a gradino come contributi derivativi addizionali rispetto alla risposta a gradino priva di zeri.”

**Domanda 02 (chiusa)** — *Sistema RLLC con  $F(s)=RLs/(R+Ls+RLCs^2)$ : quale affermazione è corretta?*

- **Risposta: B** — **1)** se  $L > 4 \cdot R^2 \cdot C \rightarrow$  **due poli reali negativi** (stabile); **2)** se  $L = 4 \cdot R^2 \cdot C \rightarrow$  **due poli reali negativi coincidenti** (stabile); **3)** se  $L < 4 \cdot R^2 \cdot C \rightarrow$  **due poli complessi coniugati a parte reale negativa** (stabile ma con oscillazioni).

## Lezione 089 — Pendolo inverso: struttura ed energie

**Domanda 01 (chiusa)** — *Qual è la descrizione corretta del sistema del pendolo inverso?*

- **Risposta: C** — pendolo inverso su carrello semovente; obiettivo mantenere (vicino) l'equilibrio **verticale** agendo sul carrello (che si muove a destra/sinistra con motore).

**Domanda 02 (chiusa)** — *Energia cinetica traslazionale lungo x?*

- **Risposta: A** —  $((1/2), (m_p + m_c), \dot{x}^2)$ .

**Domanda 03 (chiusa)** — *Energia cinetica rotazionale?*

- **Risposta: C** —  $((1/2), (1/3, m_p, \text{length}^2), \dot{\theta}^2)$ .

**Domanda 04 (chiusa)** — *Moto lungo y nel pendolo inverso?*

- **Risposta: C** — lungo **y** si muove **solo il pendolo**, non il carrello (vincolato a muoversi lungo x).

**Domanda 05 (chiusa)** — *Affermazione corretta sull'energia potenziale?*

- **Risposta: C** — l'energia potenziale è **massima** quando il pendolo è in **equilibrio verticale instabile**.

**Domanda 06 (chiusa)** — *Quanto vale l'energia potenziale U?*

- **Risposta: D** —  $(U = m, g, (\text{length}/2) \cos(\theta))$ .

**Domanda 07 (chiusa)** — *Energia cinetica traslazionale lungo y?*

- **Risposta: D (Nessuna delle altre)** — perché la forma corretta dipende da  $(\dot{y})$  del **baricentro del pendolo** (con termini al quadrato), mentre le opzioni proposte non riportano l'espressione corretta.

**Domanda 08 (aperta, max ~10 righe)** — *Descrivere brevemente la struttura del pendolo inverso su carrello semovente.*

Il sistema è composto da un **pendolo inverso** incernierato su un **carrello semovente**.

Il carrello include tipicamente **carrello + motore in CC + batteria**.

La finalità è mantenere il pendolo vicino alla configurazione di **equilibrio verticale instabile**, agendo sulla dinamica del carrello (spostandolo a destra/sinistra).

L'interazione tra gli elementi comporta scambi tra energia elettrica (attuazione) ed energie meccaniche (traslazione/rotazione del pendolo e traslazione del carrello).

**Domanda 09 (aperta, max ~10 righe)** — *Procedura di calcolo di energie (traslazionale, rotazionale, potenziale) per pendolo inverso su carrello.*

1. Definisci coordinate:  $(x(t))$  (carrello) e  $(\theta(t))$  (angolo pendolo).
2. Scrivi posizione del baricentro del pendolo:  $(p(t)=x(t)+(\ell/2)\sin\theta,;$   
 $y(t)=(\ell/2)\cos\theta)$ .
3. Deriva per ottenere le velocità e quindi  $(T_x=(1/2)(m_p+m_c)\dot{x}^2)$ .
4. Lungo  $(y)$  contribuisce solo il pendolo (carrello vincolato su  $(x)$ ):  
 $(T_y=(1/2)m_p\dot{y}^2)$ .
5. Energia rotazionale:  $(T_{rot}=(1/2)I_p\dot{\theta}^2)$  con  $(I_p=(1/3)m_p\ell^2)$ .
6. Energia potenziale:  $(U=m_pg(\ell/2)\cos\theta)$  (massima in equilibrio instabile).
7. Se serve il modello dinamico: usa la Lagrangiana  $(L=T-U)$  e applica le equazioni di Eulero-Lagrange

•

Certo — ecco **tutte le risposte** delle **Lezioni 086 e 087** nel formato che vuoi (chiuse: *domanda + lettera + risposta*; aperte: *max ~10 righe*), indicando la lezione.

## Lezione 086

### 01) (Chiusa) Significato fisico dei poli

**Risposta: C** — *“Uno o più poli nell'origine sono significativi di elementi del sistema che accumulano senza dissipazione di energia e sono quindi causa di instabilità.”*

### 02) (Chiusa) Due serbatoi interagenti + foro nel secondo serbatoio

**Risposta: B** — *“Due elementi accumulano energia... scambio in un verso... il foro nel secondo serbatoio dissipa energia e garantisce stabilità intrinseca.”*

### 03) (Chiusa) Serbatoio cilindrico con portata $p(t)$ e livello $h(t)$

**Risposta: D** — *“Un elemento accumula energia  $\rightarrow$  1 polo. Senza dissipazioni polo in origine (sistema instabile); con dissipazione (foro) polo reale negativo (sistema stabile).”*

## Lezione 087

### 01) (Chiusa) RC in parallelo, generatore di corrente, $(i(t)=v/R + C, dv/dt)$

**Risposta: C** —  $(F(s)=\frac{V(s)}{I(s)}=\frac{R}{1+RCs})$

## **02) (Chiusa) RLC in parallelo, generatore di corrente, tensione ai capi**

**Risposta: A** —  $(F(s)=\frac{V(s)}{I(s)}=\frac{RLs}{R+Ls+RLCs^2})$

## **03) (Chiusa) Equazione differenziale ingresso–uscita (RC in parallelo)**

**Risposta: A** —  $(i(t)=\frac{v(t)}{R}+C,\frac{dv(t)}{dt})$

## **04) (Chiusa) Interpretazione poli/zeri per $(F(s)=\frac{RLs}{R+Ls+RLCs^2})$**

**Risposta: D** — *Zero in origine dovuto all'azione integrale dell'induttanza (forzamento transitorio induttivo), dissipazione dovuta a R, due poli dovuti a energia accumulabile capacitiva e induttiva.*

## **05) (Chiusa) Solo condensatore con generatore di corrente**

**Risposta: A** —  $(i(t)=C,\frac{dv(t)}{dt})$

## **06) (Chiusa) Funzione di trasferimento con $(i(t)=C,dv/dt)$**

**Risposta: B** —  $(F(s)=\frac{V(s)}{I(s)}=\frac{1}{C}\cdot\frac{1}{s})$

## **07) (Aperta — max 10 righe) Esempi di risposte a gradino con polo dominante nullo/negativo e polo secondario**

- **Polo dominante in origine (instabile):** risposta al gradino cresce **senza assestarsi** (tipico integratore)  $\Rightarrow$  **accumulo senza dissipazione**. Se c'è anche un polo reale negativo secondario, si nota un "effetto iniziale" (curvatura/derivata iniziale particolare) ma poi domina comunque la crescita.
- **Polo dominante reale negativo (stabile):** risposta si assesta esponenzialmente  $\Rightarrow$  **accumulo con dissipazione**. Se aggiungi un polo reale negativo secondario, compare una seconda dinamica (es. tratto iniziale più lento/curva più complessa) ma sempre con assestamento finale.

## **08) (Aperta — max 10 righe) Significato fisico dei poli con esempio elettrico**

Nei circuiti, i **poli** rappresentano i modi con cui l'energia immagazzinata evolve: elementi che **accumulano energia** (C e L) generano dinamiche (poli) perché introducono derivate/integrali. Un **polo nell'origine** corrisponde a **accumulo senza dissipazione** (es. integratore, instabilità). Un **polo reale negativo** indica **accumulo con dissipazione** (tipicamente introdotta da R) e quindi assestamento stabile. Nel caso RLC, i due poli sono legati alle due energie accumulabili (capacitiva e induttiva) e la resistenza fornisce dissipazione.

Perfetto, continuo con **Lezioni 90–94** (con **domanda + lettera + risposta** per le chiuse, e **max ~10 righe** per le aperte).

## Lezione 090 (Pendolo inverso: modello)

### 01. Quale equazione differenziale descrive la dinamica angolare del pendolo inverso?

- **Risposta: (C)**  $\rightarrow ((l/2), N(t) \cos \theta(t) - (l/2), P(t) \sin \theta(t) = I_p \ddot{\theta}(t))$

### 02. Effetti delle 3 forze esterne sul pendolo

- **Risposta: (D)**  $\rightarrow$  influenzano **accelerazioni lungo x e y + accelerazione angolare**

### 03. Posizione del centro di massa del pendolo

- **Risposta: (D)**  $\rightarrow (p(t)=x(t)+(l/2)\sin\theta(t)), (y(t)=(l/2)\cos\theta(t))$

### 04. Forze esterne agenti sul sistema (come nel corso)

- **Risposta: (B)**  $\rightarrow$  gravità + attrito viscoso del pendolo + attrito viscoso sul carrello

### 05. Come si calcola la Lagrangiana

- **Risposta: (D)**  $\rightarrow (L=T_{\text{trasl}}+T_{\text{rot}}-U)$

### 06. (Aperta) Teoria delle piccole oscillazioni $\rightarrow$ modello dinamico

Si linearizza attorno a ( $\theta=0$ ) (equilibrio instabile): ( $\sin\theta \approx \theta$ ), ( $\cos\theta \approx 1$ ).

Si scrivono le energie (T) (traslazione carrello+pendolo e rotazione pendolo) e (U) (gravità).

Si costruisce ( $L=T-U$ ) e si applicano le equazioni di Lagrange su (x) e ( $\theta$ ).

Il risultato è un sistema di EDO accoppiate linearizzate che descrivono la dinamica del pendolo su carrello.

### 07. (Aperta) Bilancio forze e momenti $\rightarrow$ modello dinamico

In alternativa a Lagrange: si fa FBD (free-body diagram) di carrello e pendolo.

Si scrive ( $\sum F_x = m \ddot{x}$ ) e ( $\sum F_y = m \ddot{y}$ ) per i corpi coinvolti.

Poi ( $\sum M = I \ddot{\theta}$ ) rispetto al perno del pendolo (momenti di N e P).

Con la cinematica ( $p(t), y(t)$ ) e la linearizzazione per piccole oscillazioni si ottiene lo stesso modello finale.

## Lezione 091 (Linearizzazione + risposte a gradino/impulso)

### 01. Stabilità del pendolo inverso

- **Risposta: (C)**  $\rightarrow$  è **instabile**: qualunque energia (impulso o ingresso costante) lo porta all'instabilità

### 02. Perturbazione con ingresso costante (gradino)



- **Risposta: (D)** → dopo un tempo di ritardo ( $\theta$ ) diventa negativo e va oltre specifica per l'instabilità

### 03. Struttura corretta della fdt ( $F(s)=\theta/U$ )

- **Risposta: (B)** →  $F(s)=\frac{a s}{c s^3 + d s^2 + e s + f}$

### 04. Ipotesi piccole oscillazioni intorno a ( $\theta=0$ )

- **Risposta: (D)** → ( $\theta=0, \sin\theta=\theta, \cos\theta=1$ )

### 05. Risposta all'impulso

- **Risposta: (A)** → dopo un ritardo ( $\theta$ ) diverge (va oltre specifiche) per instabilità dell'equilibrio

### 06. (Aperta) Come si fa l'approssimazione per piccole oscillazioni e si ricava ( $F(s)$ )

Si parte dal modello non lineare (equazioni su  $(x, \theta)$ ).

Si sceglie il punto di lavoro instabile ( $\theta=0$ ) e si linearizza: ( $\sin\theta \approx \theta, \cos\theta \approx 1$ ).

Si ottiene un sistema lineare di EDO a coefficienti costanti.

Si porta il sistema nel dominio di Laplace (condizioni iniziali spesso nulle) e si isola ( $\Theta(s)/U(s)$ ).

Il risultato tipico è una fdt razionale con denominatore di ordine 3 (dinamica accoppiata carrello+pendolo).

### 07. (Aperta) Controllo a catena aperta con specifiche a regime: possibile?

In pratica **no**: il pendolo inverso è **instabile**, quindi senza retroazione piccoli errori/perturbazioni crescono.

Le specifiche “a regime” (errore a regime, mantenimento ( $\theta \approx 0$ )) richiedono robustezza ai disturbi e incertezze.

In catena aperta non puoi correggere deviazioni: anche con un input “giusto”, basta un disturbo minimo per perdere l'equilibrio.

## Lezione 092 (Disturbi su ( $\theta$ ) + controlli)

### 01. Condizione necessaria e sufficiente di stabilità (PID ( $K_p+K_i/s+K_d s$ ))

- **Risposta: (B)** → ( $K \cdot K_i - 1$ )

### 02. Perché il PID stabilizza con disturbo su ( $\theta$ )

- **Risposta: (C)** → perché può spostare i poli della catena chiusa in zona stabile

### 03. Con controllore proporzionale ( $K_g$ ), disturbo direttamente su ( $\theta$ ): fdt disturbo→uscita

- **Risposta: (C)** →  $\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{1}{1+K_g P(s)}$

### 04. Effetto dei disturbi sul pendolo inverso

- **Risposta: (D)** → essendo instabile, un disturbo è “fatale” e porta il sistema all’instabilità

#### 05. Cos’è un PID

- **Risposta: (B)** → controllore con azione **Proporzionale + Integrale + Derivativa** (somma dei tre contributi sull’errore)

#### 06. Stabilizzazione con solo proporzionale (disturbo su $\theta$ )

- **Risposta: (A)** → possibile **solo** se i parametri del processo rientrano in opportuni limiti

#### 07. Stabilizzazione con solo integrale (k/s)

- **Risposta: (A)** → No

#### 08. Perché il solo integrale non stabilizza

- **Risposta: (B)** → non modifica il **polo** che causa l’instabilità

#### 09. (Aperta) Controllore opportuno per stabilizzare a catena chiusa con disturbo su $\theta$

Serve un controllore che **riposizioni i poli** (es. PID/lead-lag) così che la caratteristica  $(1+P(s)G(s)=0)$  abbia poli a parte reale negativa.

Il solo integrale non basta (non “cura” il polo instabile), mentre una componente proporzionale e/o derivativa permette di modellare luogo delle radici e introdurre smorzamento.

Si sceglie quindi un **PID** (o PD + eventuale I per prestazioni a regime) tarato via luogo delle radici/Bode, mirando a stabilità e attenuazione del disturbo su  $\theta$ .

### Lezione 093 (Disturbo sulla spinta del carrello)

#### 01. fdt disturbo–uscita con disturbo sulla spinta del carrello

- **Risposta: (A)** →  $\frac{\theta(s)}{D(s)} = \frac{P(s)}{1+L(s)}$

#### 02. Stabilizzabile con PID ( $G(s) = \frac{K_g}{s(1+\mu s)(1+\gamma s)}$ )?

- **Risposta: (B)** → Sì, solo per  $(K_g)$  sufficientemente alto (e taratura coerente)

#### 03. Stabilizzabile con solo proporzionale?

- **Risposta: (D)** → possibile solo entro limiti sui parametri del processo

#### 04. (Aperta) Controllore opportuno con disturbo applicato al carrello

Obiettivo: stabilizzare l’equilibrio instabile e ridurre l’effetto del disturbo che entra sulla spinta del carrello.

Un controllore con **integratore** aiuta la reiezione di disturbi costanti (errore a regime), mentre **zeri** (tipo  $((1+\mu s)(1+\gamma s))$ ) permettono di sagomare la dinamica e

aumentare stabilità/smorzamento.

Quindi è opportuno un **PID/compensatore lead-lag** tarato (luogo delle radici o frequenza), scegliendo ( $K_g$ ) adeguato per portare i poli in zona stabile e ottenere prestazioni accettabili.

## Lezione 094 (Data processing: medie + acquisizione)

### 01. Scopo della media adattativa

- **Risposta: (C)** → stima ricorsiva che minimizza passo-passo l'errore per ridurre il transitorio d'algoritmo

### 02. Quale problema risolve la media pesata

- **Risposta: (C)** → problema di **occupazione di memoria** (stima ricorsiva senza conservare tutti i dati)

### 03. Obiettivo del data processing

- **Risposta: (C)** → ripulire il segnale da rumore/disturbi per estrarre il segnale utile

### 04. Quale problema risolve la media mobile

- **Risposta: (B)** → overflow/underflow (limitando a ( $k$ ) campioni la finestra)

### 05. Schema funzionale tipico di acquisizione dati

- **Risposta: (C)** → segnale analogico → filtro passa-basso → ADC → segnale digitale → data processing

### 06. Rischi passo di acquisizione troppo fitto o troppo rado

- **Risposta: (A)** → troppo fitto: esalta rumore di digitalizzazione; troppo rado: perdi info del segnale utile

### 07. (Aperta) Metodo online ricorsivo per stimare la media

Esempio: **media pesata ricorsiva**.

Si aggiorna la stima usando la stima precedente e il nuovo campione:  $\bar{x}_j = (1-\alpha)\bar{x}_{j-1} + \alpha x_j$ .

Non serve memorizzare tutti i campioni: basta  $\bar{x}_{j-1}$ .

$(\alpha)$  governa transitorio e dispersione della stima (dipende dalla varianza dei dati).

### 08. (Aperta) Media adattativa e media pesata adattativa (assunzioni)

Media adattativa: stima ricorsiva che mira a minimizzare l'errore di stima ad ogni passo (idea: ridurre transitorio).

Media pesata adattativa: come la pesata, ma con scelta/aggiornamento di  $(\alpha)$  in base alle caratteristiche statistiche (varianza).

Assunzione tipica: dati con statistiche "ragionevolmente stazionarie" nel tratto osservato, così  $(\alpha)$  ha senso fisico.

### 09. (Aperta) Schema a controreazione per calcolo della media pesata

Si interpreta la stima come uscita di un sistema in retroazione che insegue il valore medio.

Errore ( $e_j = x_j - \bar{x}_{j-1}$ ).

Aggiornamento ( $\bar{x}_j = \bar{x}_{j-1} + \alpha e_j$ ).

È una retroazione “semplice”: più ( $\alpha$ ) è grande, più reagisce veloce (ma più rumore passa).

### 10. (Aperta) Metodo offline per calcolare la media

È la **media aritmetica** calcolata a posteriori su ( $n$ ) campioni: ( $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ).

Richiede che tutti i dati siano disponibili e (in pratica) memorizzati/leggibili.

### 11. (Aperta) Cosa significa data processing

È l'insieme di elaborazioni sul segnale acquisito per migliorarlo e renderlo informativo: filtraggio rumore, stime (media), estrazione di caratteristiche, ecc.

Scopo: ottenere “tutto e solo” il segnale utile.

### 12. (Aperta) Schema funzionale della procedura di acquisizione dati

Segnale analogico → **condizionamento** (es. filtro passa-basso anti-alias) → **ADC** → sequenza digitale.

Poi **data processing** (filtri, stime, elaborazioni) e, se serve, conversione/visualizzazione/attuazione.

## Lezione 095

**01. (Chiusa)** Quale comportamento dovrebbe avere un filtro passa-basso ideale?

- **Risposta: A)** Dovrebbe **lasciare inalterate** le frequenze entro la banda del segnale utile e **attenuare massimamente** le frequenze oltre la banda del segnale utile.

**02. (Chiusa)** Quale affermazione è corretta sui filtri di Bessel?

- **Risposta: D)** I filtri di Bessel hanno un buon comportamento **passa-basso**.