

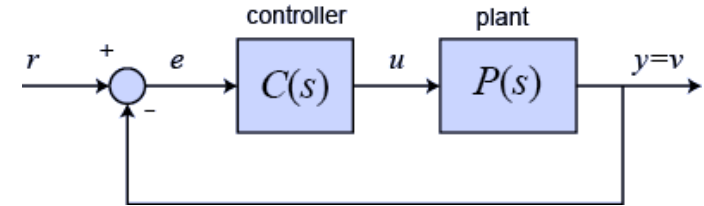
$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

$$[B \ AB \ \dots \ A^{k-1}B]$$

Corso di Teoria dei Sistemi e del Controllo

Prof.ssa Lucia Pallottino

Prof. Andrea Caiti



INFORMAZIONI SUL CORSO

1° Modulo:

Teoria dei Sistemi – Prof.ssa Lucia Pallottino

2° Modulo:

Teoria del Controllo – Prof. Andrea Caiti

Esame/Prove in itinere:

Scritto e orale, esame **UNICO** per i due moduli

Testi di autovalutazione durante il semestre

Materiale didattico:

- Fondamenti di controlli automatici, P. Bolzern, R. Scattolini, N. Schiavoni, Mc Graw Hill, Education.
- E. Fornasini, G. Marchesini: “Esercizi di Teoria dei Sistemi”, Ed. Libreria Progetto (Padova). (CON SOLUZIONI!)
- Dispense messe a disposizione sul canale Teams

Registo lezioni: Unimap

Info su Corso: Canale Teams (Dispense, prerequisiti etc)



Info su Corso:

Canale Teams (Dispense, prerequisiti, vecchi testi di esame, etc)

Comunicazioni:

- Teams
- Gruppo google: [tdsc_unipi](#)

Orario di Ricevimento/Tutoraggio:

Da concordare



Contatti Docenti:

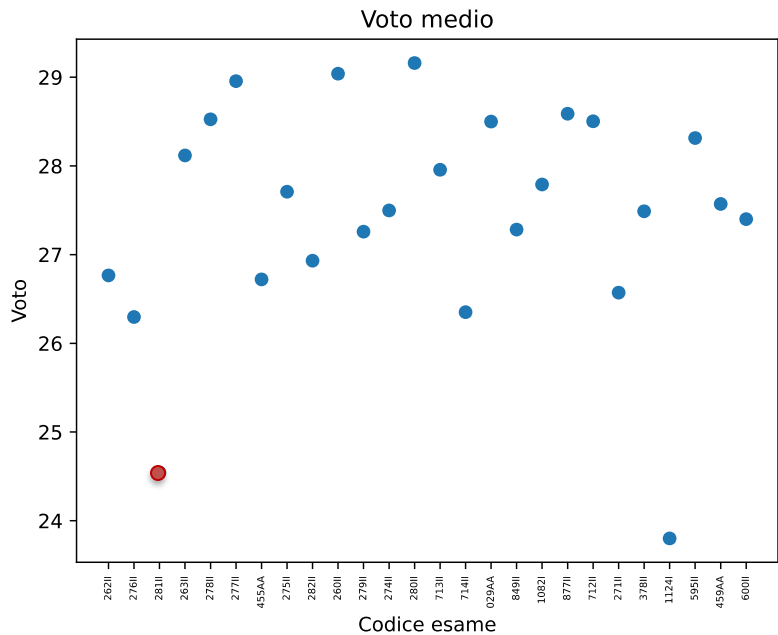
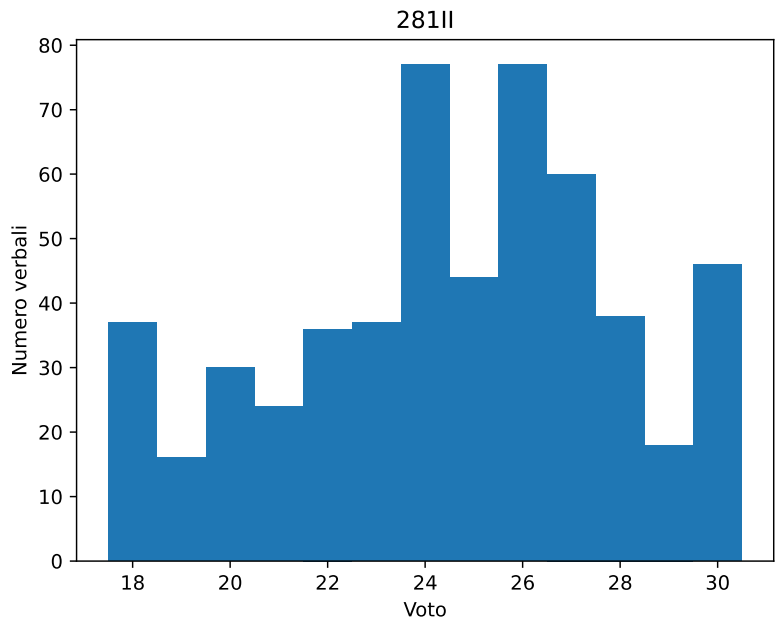
lucia.pallottino@unipi.it

andrea.caiti@unipi.it

Uffici:

Pallottino: Centro “E. Piaggio”, 3° Piano Polo A

Caiti: Dip. Ingegneria dell’Informazione, 2° Piano Polo A



TdS&C



SEGUIRE CON CONTINUITA'



FARE DOMANDE DURANTE E DOPO LA LEZIONE



ANDARE A RICEVIMENTO



STUDIARE FIN DALL'INIZIO (Corso teorico)



FARE I TEST



A large satellite dish antenna is shown from a low angle, pointing towards a bright sun in a clear blue sky. The sun is on the left, creating a strong lens flare effect with multiple rays of light. A colorful, multi-colored streak of light, resembling a comet or a meteor, streaks across the sky from the sun towards the dish. The dish itself is a large, curved structure made of many smaller panels, with a complex network of support beams and cables. The word "AUTOMATION" is overlaid in large, bold, white capital letters across the center of the image, partially obscuring the dish and the sky.

AUTOMATION

COSA E' L'AUTOMATICA?



Insieme di **discipline** che forniscono **strumenti** (matematici e tecnologici) per la *specifica*, *l'analisi*, il *progetto* e la *gestione* di

Sistemi automatici di controllo

L'Automatica si occupa di (definire e) risolvere i
Problemi di controllo

PROBLEMA DI CONTROLLO

ESEMPIO

Controllo di Velocità di una Autovettura

Si desidera imporre ad un'auto
(sistema) un'andatura a velocità
costante (comportamento
desiderato)



COME FARE?



Agire sui pedali fa variare la velocità del veicolo:

RELAZIONE CAUSA-EFFETTO

In Automatica dove c'è relazione causa effetto c'è un

SISTEMA



PROBLEMA DI CONTROLLO

Causa



Sistema

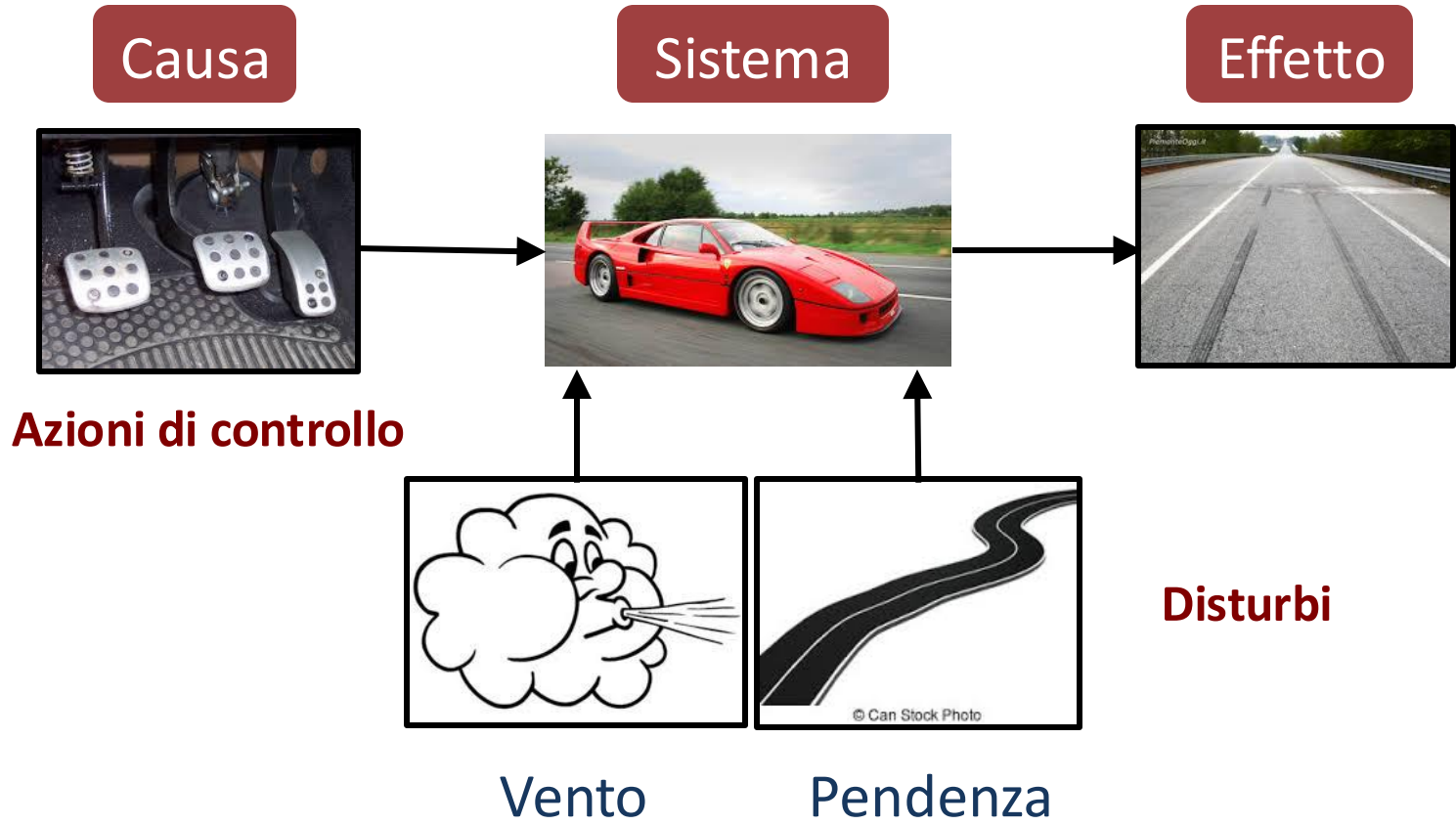


Effetto

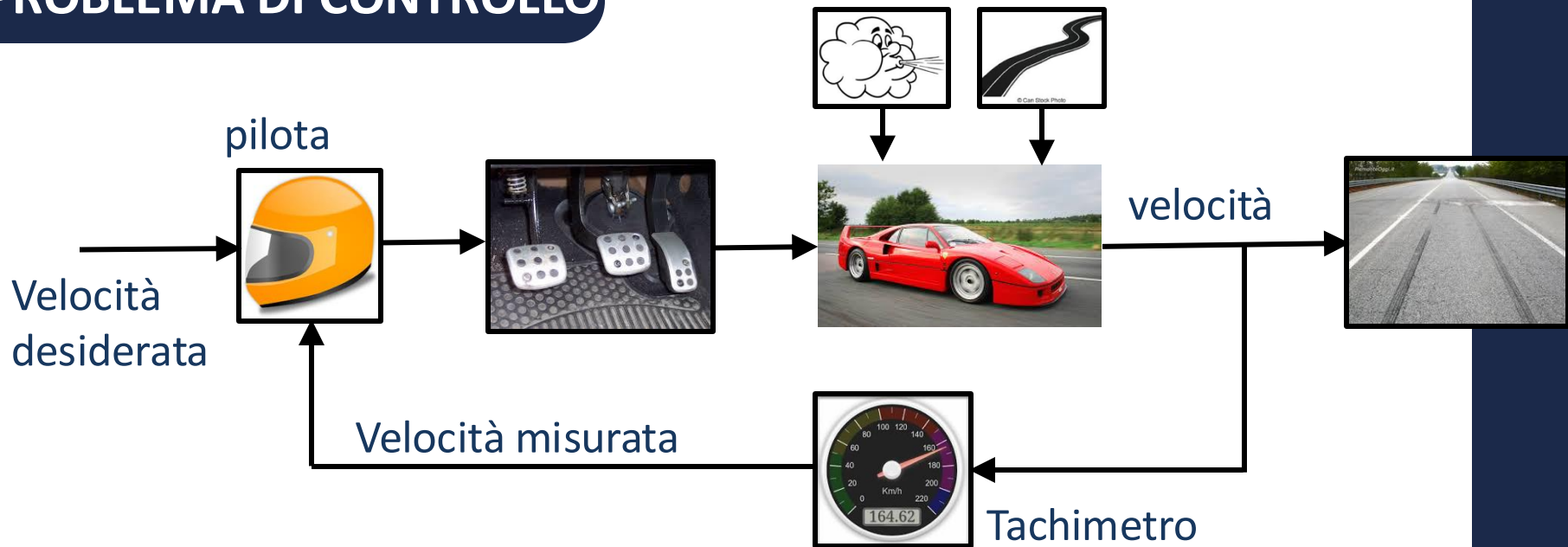


Non sempre è facile determinare le cause corrette.
La velocità dell'auto è influenzata da più fattori come i pedali ma anche la pendenza della strada la condizione degli pneumatici etc.

PROBLEMA DI CONTROLLO

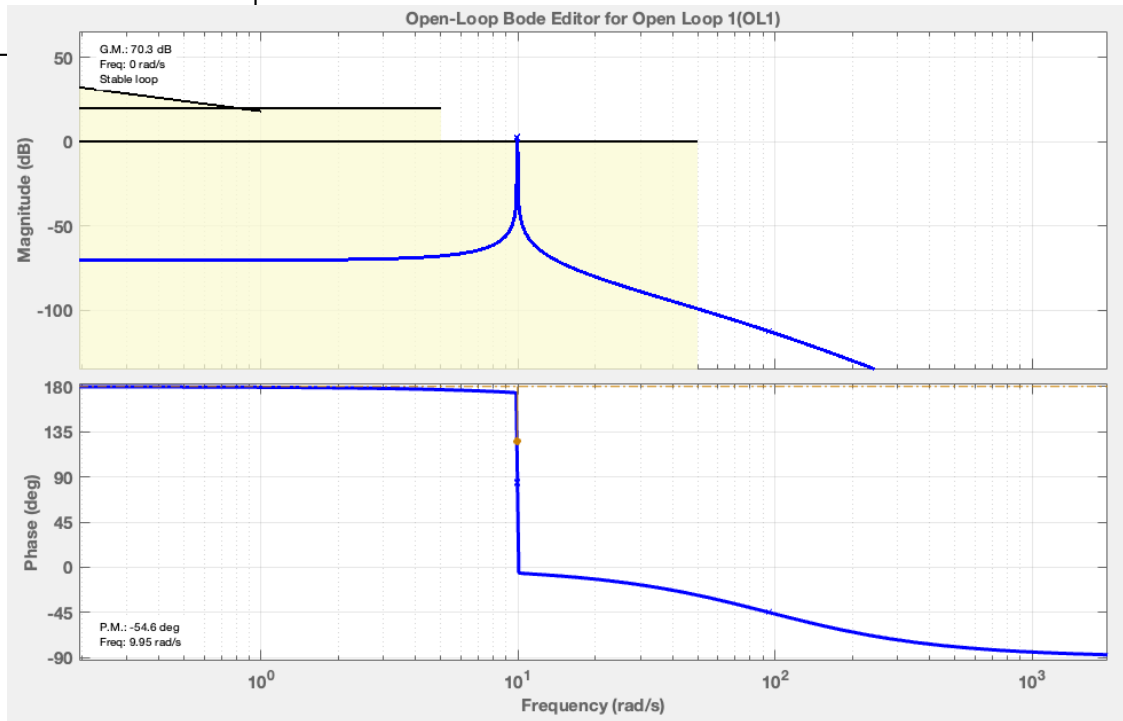
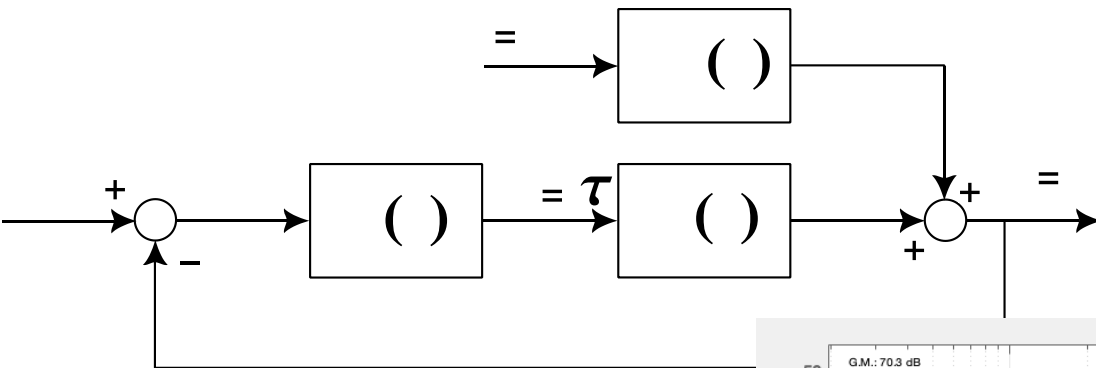


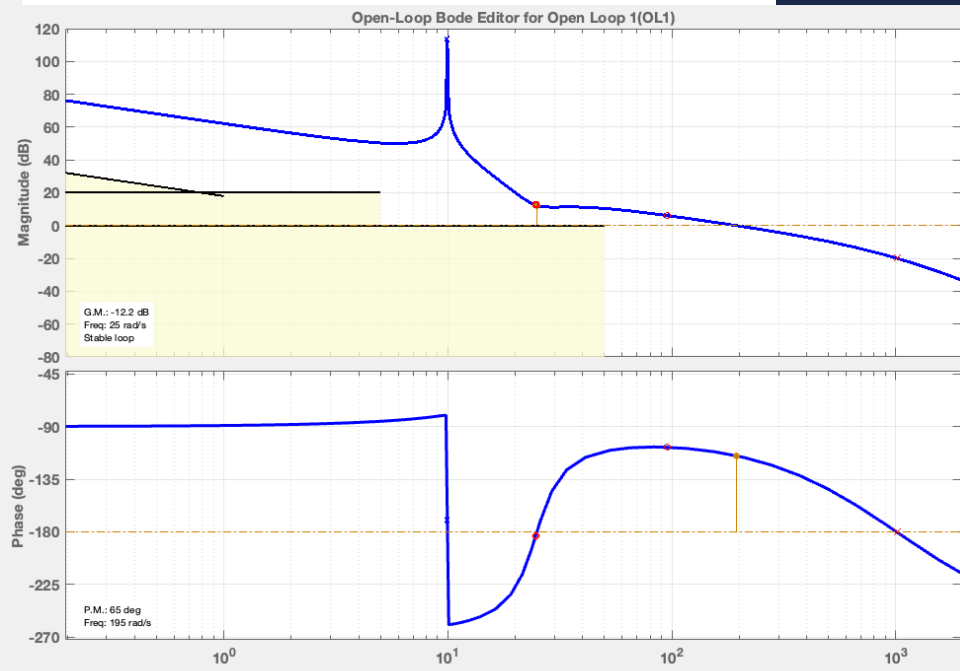
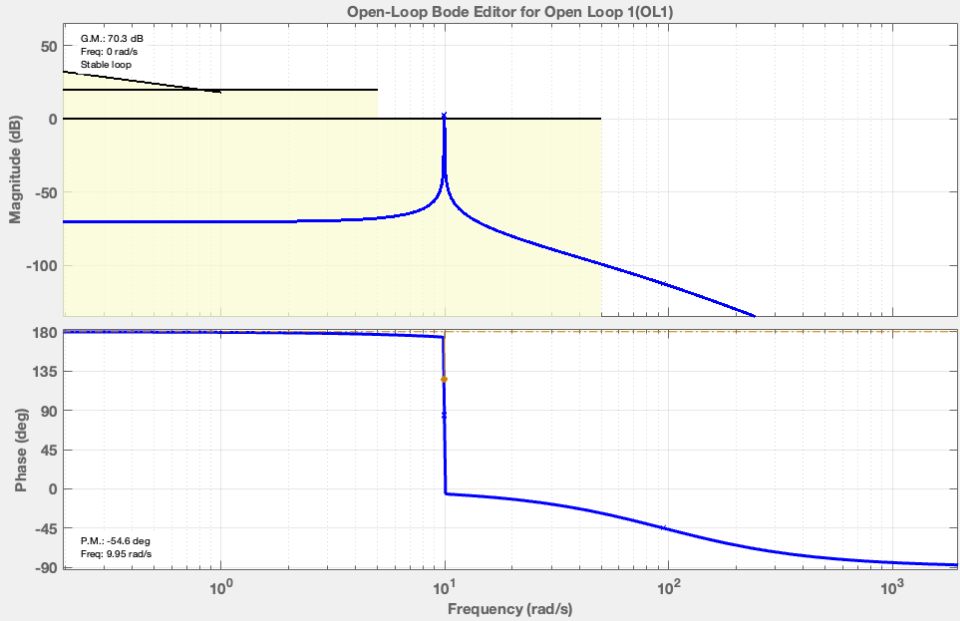
PROBLEMA DI CONTROLLO



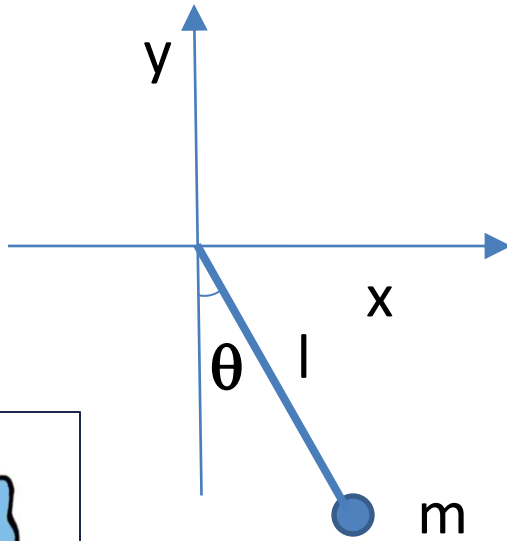
Per risolvere il problema di controllo si decide una **strategia di controllo** (per es. confronto tra velocità desiderata e velocità misurata) tale da **compensare l'effetto di eventuali disturbi**

COSA SAPPIAMO FARE





MA!



$$ml^2\ddot{\theta} + mgl \sin \theta + b\dot{\theta} = \tau$$

$G(s)$

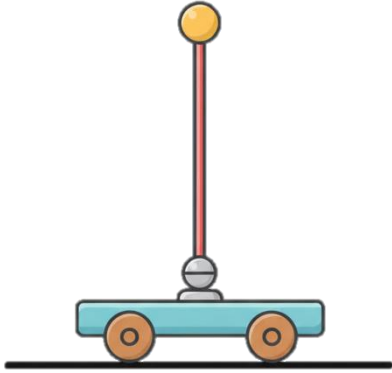


**HAPPINESS IS
ASSUMING THE
WORLD IS LINEAR**



MA!





Ingresso: Forza applicata al carrello

Uscita: angolo del pendolo rispetto alla verticale

Ipotesi: angolo del pendolo rispetto alla vertical molto PICCOLO

SISTEMA LINEARE!

MA?

ARGOMENTI

Control system design – progettazione degli algoritmi di controllo

System theory – modellistica, simulazione e analisi dei sistemi

System identification – modellistica dei dati dei sistemi da controllare e stima

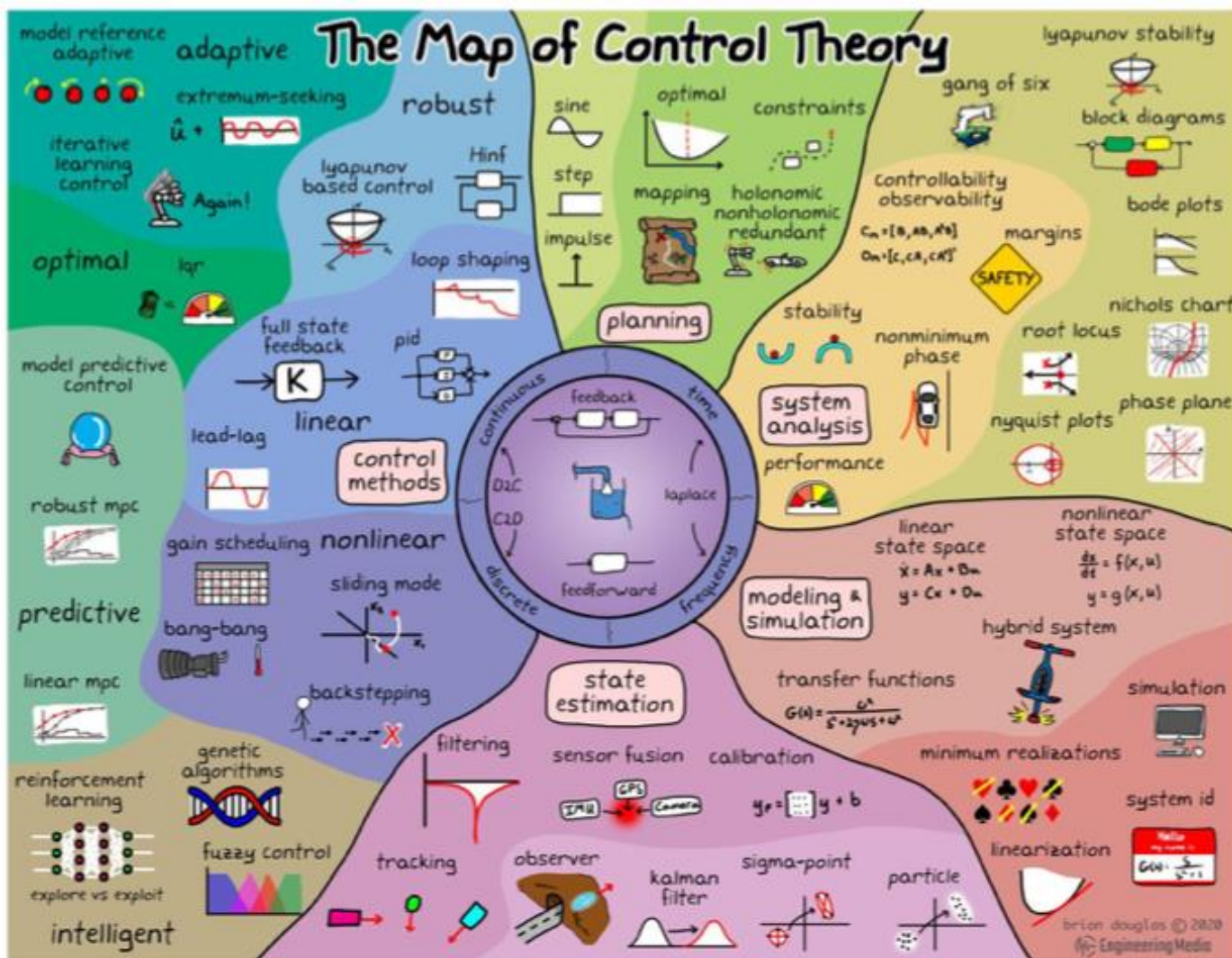
Mechatronics – modellistica e controllo dei sistemi meccanici

Robotics – robotica, controllo dei manipolatori industriali e sistemi autonomi intelligenti

Fault diagnosis & supervision – diagnostica ed isolamento dei guasti; supervisione dei sistemi complessi

Automation, manufacturing and logistics – controllo e coordinamento di macchine in impianti manifatturieri; logistica

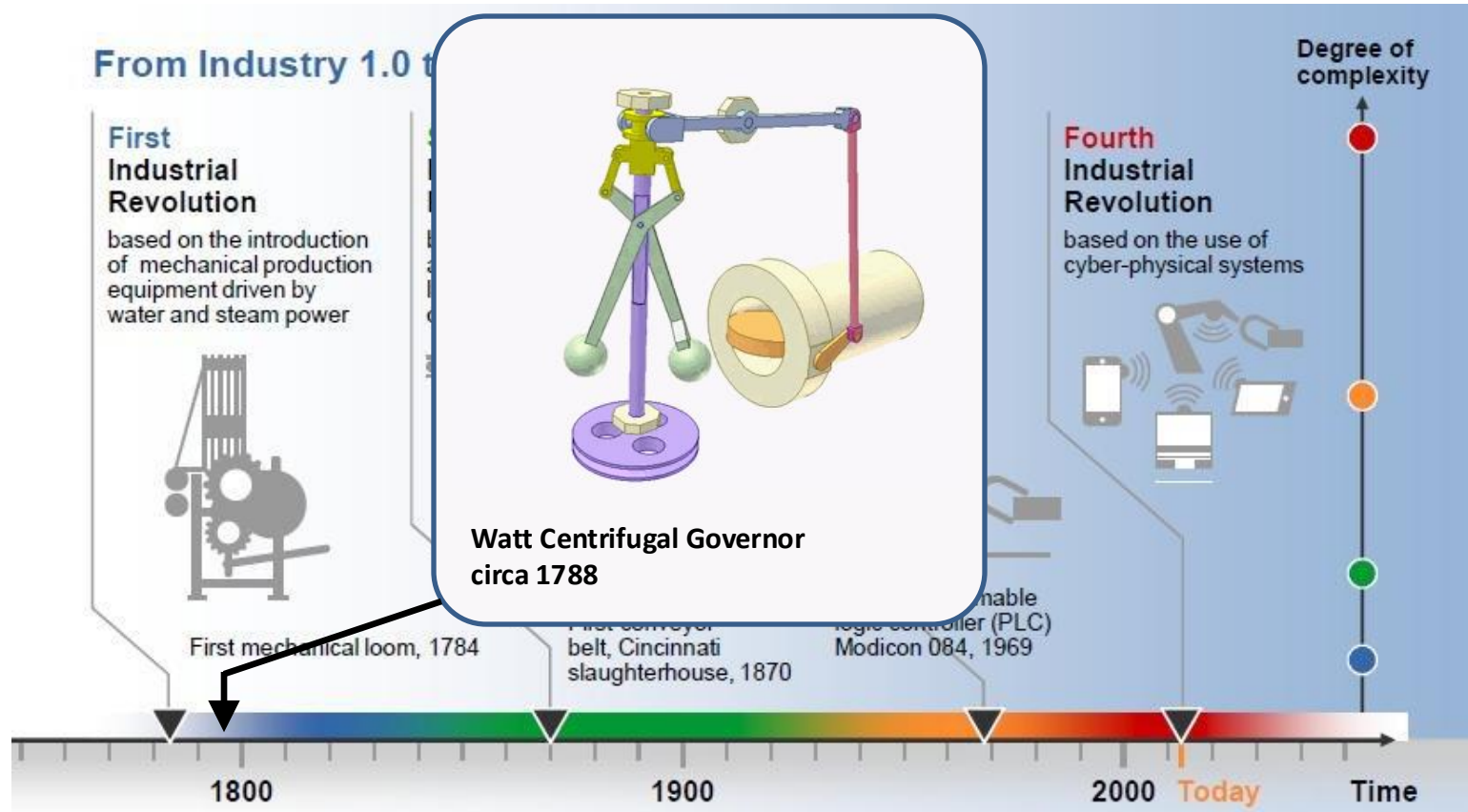
Process control – controllo di particolari processi produttivi industriali (chimici, petroliferi, minerari, farmaceutici,...)



HIDDEN TECHNOLOGY

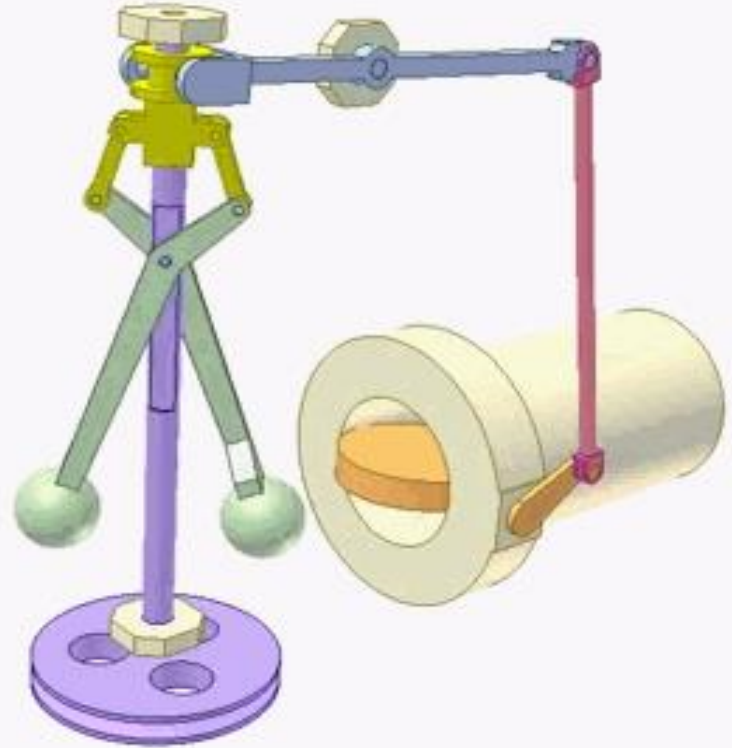
Difficile da vedere ma onnipresente (da settori scientifici a quelli industriali fino a quelli intorno a noi)

- Automotive (sospensioni elettroniche, controllo di velocità, etc)
- Biomedicale (Protesica e riabilitazione)
- Fisica nucleare
- Industria di Processo (cartiere etc)
- Industria Alimentare
- Logistica industriale
- Finanza
- Materiali biologici
- Industria tessile
- ...

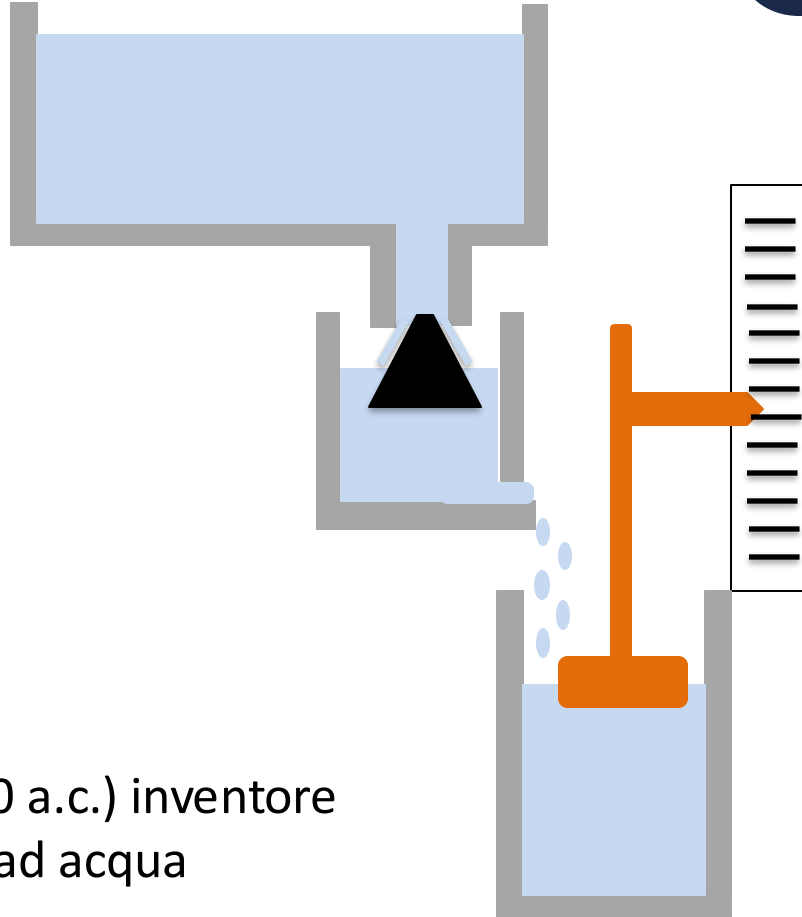


James Clerk Maxwell (1868) fornisce la descrizione matematica individuando le condizioni per un comportamento stabile

Obiettivo: mantenere la velocità di rotazione del motore (variabile controllata) ad un valore predefinito costante (segnale di riferimento) indipendentemente da variazioni nel carico e nella pressione del vapore (disturbi).



Esempi automatismi

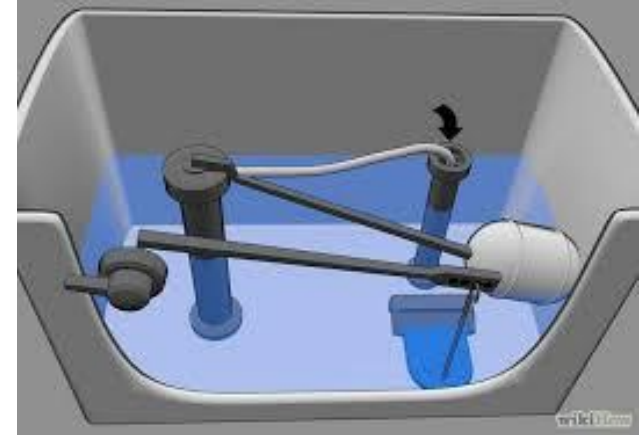
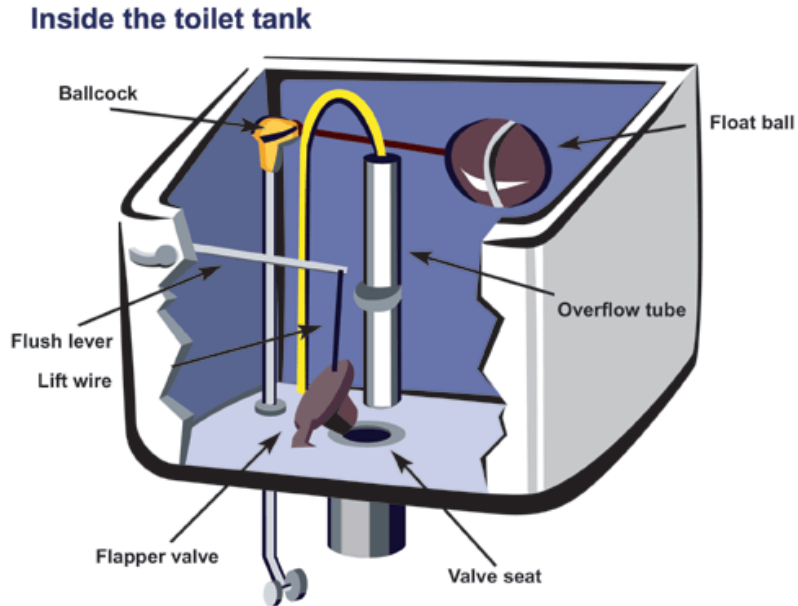


Scala temporale

Ktesibios (270 a.c.) inventore
dell'orologio ad acqua

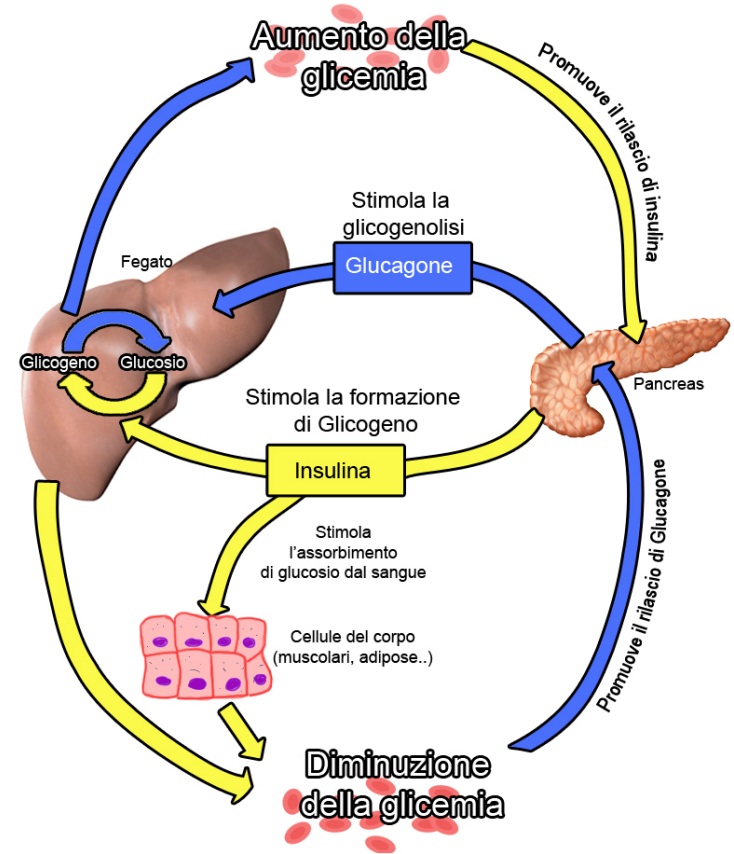
Esempi automatismi

2025 – Scarico dell'acqua

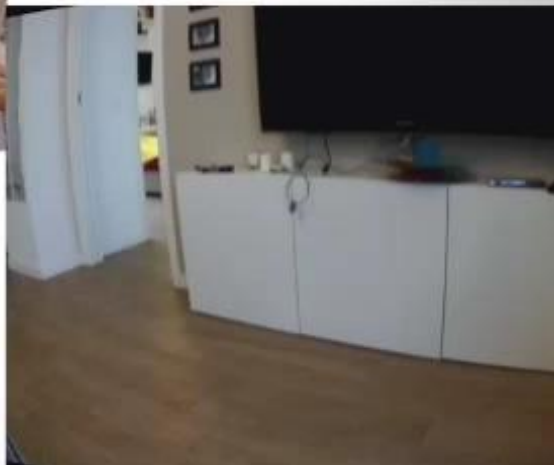


Esempi automatismi

Controllo della glicemia



- ✓ Sistemi dinamici (Lineari e non lineari)
- ✓ Proprietà strutturali dei Sistemi Lineari (TD e TC)
- ✓ Raggiungibilità e Osservabilità dei Sistemi Lineari
- ✓ Stabilità dei Sistemi Dinamici (Lineari e non lineari)
- ✓ Controllori e osservatori di sistemi lineari

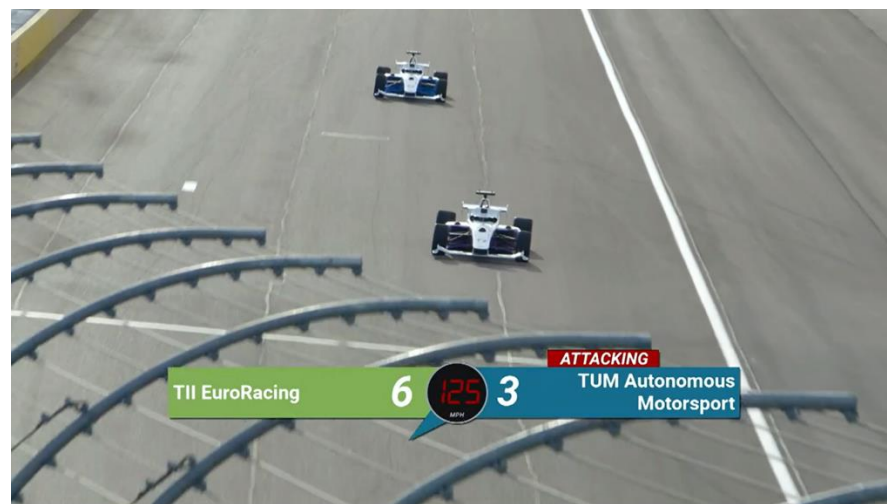


R-R & H-R Interactions



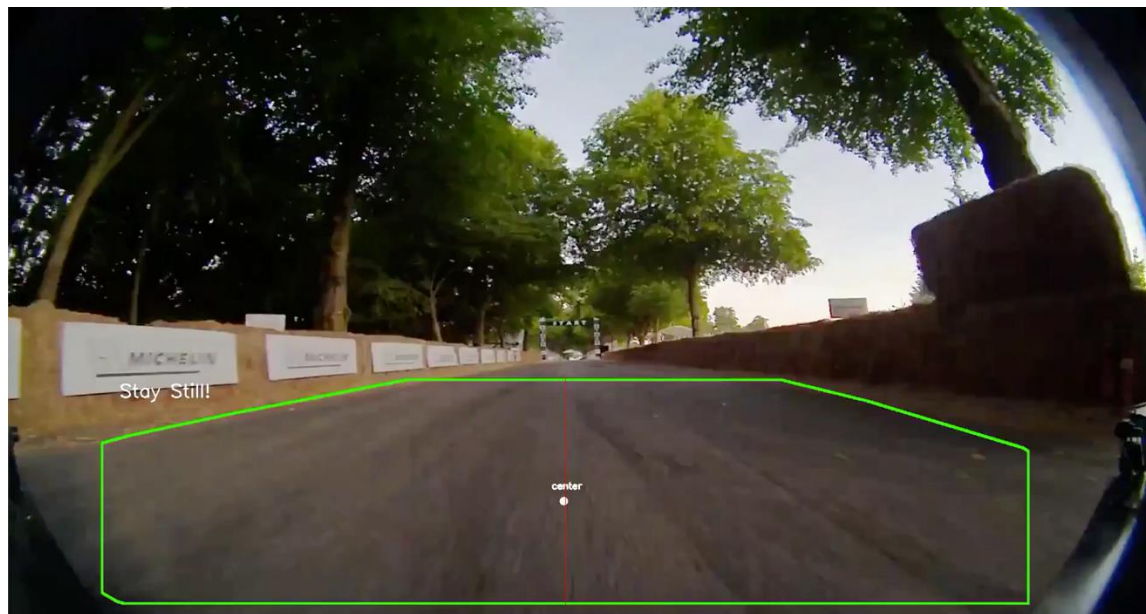


Indy Autonomous









PREREQUISITI

- Algebra lineare: spazi vettoriali, autovalori, autovettori
- Trasformata di Laplace
- Concetto di controllo in retroazione
- Specifiche di controllo
- Progettazione di controllori data una funzione di trasferimento

PREREQUISITI

Algebra Lineare:

- Vettori, matrici, matrici a blocchi, determinante, autovalori e autovettori
- Spazi vettoriali, spazio immagine e spazio nullo di una matrice
- Forme di Jordan
- Potenze ed esponenziali di matrici

PREREQUISITI

Analisi:

- Funzioni, derivate e integrali e derivate parziali
- Equazioni differenziali lineari, equazioni alle differenze lineari

Fondamenti di Automatica:

- Modellistica di sistemi dinamici lineari e non lineari
- Linearizzazione di sistemi dinamici non lineari
- Sistemi dinamici lineari, forma di stato, forma canonica di controllo

PREREQUISITI

Fondamenti di Automatica:

- Soluzione sistemi dinamici lineari, evoluzione libera ed evoluzione forzata (modi)
- Trasformata di Laplace
- Da forma di stato a funzione di trasferimento, e realizzazione di una funzione di trasferimento in forma di stato
- Da equazioni differenziali a forme di stato e a funzioni di trasferimento (e viceversa)
- Equilibri e Stabilità dei sistemi lineari, Criterio di Routh
- Controllo in retroazione, Criterio di Nyquist per la stabilità

PREREQUISITI

Fondamenti di Automatica:

Specifiche di controllo:

- Errori a regime a segnali come gradino e rampa
- Sovraelongazione e tempo di assestamento
- Attenuazione di disturbi agenti in varie parti dell'anello di controllo (disturbo su uscite, su attuazione, rumori di misura)
- Attenuazione di effetti dovuti ad incertezze parametriche
- Luogo delle radici e progettazione controllori per sistemi instabili
- Anelli multipli di controllo

Si consideri il modello dinamico del sistema illustrato in Fig. 1 che è descritto dalle equazioni

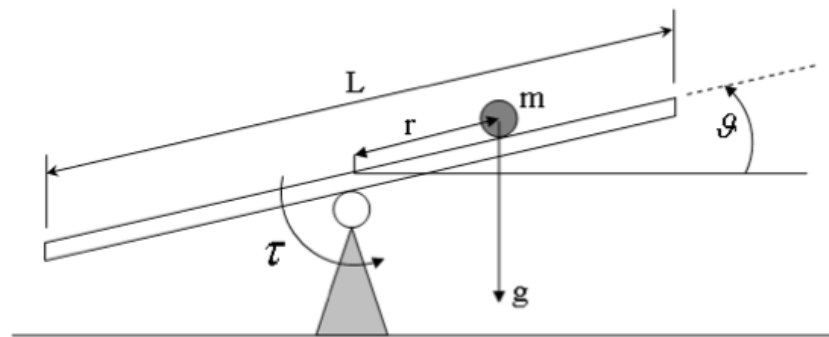


Figura 1: Modello del sistema

$$\begin{cases} (I + m r^2) \ddot{\theta} + m g r \cos(\theta) + 2 m r \dot{r} \dot{\theta} + b \dot{\theta} = \tau \\ \left(m + \frac{J}{R^2}\right) \ddot{r} + m g \sin(\theta) - m r \dot{\theta}^2 = 0 \end{cases}$$

dove $I = 2.5 \text{ Kg m}^2$ è il momento di inerzia della barra, $m = 1.5 \text{ Kg}$ e $J = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Kg m}^2$, rispettivamente, la massa e il momento di inerzia della sfera; τ è la coppia di ingresso, $g = 9.81 \text{ m/sec}$ l'accelerazione di gravità, $b = 1.5 \text{ Kg m}^2/\text{sec}$ è il coefficiente di attrito viscoso agente sul perno al quale è vincolata la barra ed $R = 6 \text{ cm}$ è il raggio della sfera.

La barra ha lunghezza L ed è incernierata esattamente a metà; la coordinata r che indica la posizione della sfera lungo la barra è zero in corrispondenza del fulcro e positiva verso destra.

- A) Si descriva un modello del sistema (in spazio di stato in forma simbolica) considerando come ingresso la coppia τ e come uscita la posizione della sfera r , linearizzando attorno al punto di equilibrio con ingresso nominale $\hat{\tau}$ nullo e scegliendo come variabili di stato $[x_1, x_2, x_3, x_4]^T = [\theta, r, \dot{\theta}, \dot{r}]^T$.
Se ne riporti infine la forma numerica delle matrici.
- B) Si consideri il problema del controllo della posizione della sfera mediante l'ingresso τ , si specifichi la funzione di trasferimento del sistema, discutendone la stabilità e dandone un'interpretazione fisica; si disegnino inoltre i diagrammi di Bode asintotici.
- C) Si progetti un controllore che, usando la misura del valore di uscita r , regoli la coppia τ in modo da garantire le seguenti specifiche:
1. la sfera, a partire dal punto di equilibrio $r = 0$, raggiunga esattamente la posizione $\hat{r} = 40$ cm;
 2. dopo al più 7 sec, la posizione della sfera non si allontani da \hat{r} di più di 1 cm;
 3. la sfera non cada dalla barra la cui lunghezza è $L = 1$ m.

Si riportino quindi

- le specifiche tradotte nel dominio della frequenza e visualizzate sul diagramma di Bode;
- il procedimento di progetto del controllore che si intende seguire illustrato con diagrammi a blocchi;
- il controllore progettato;
- i diagrammi di Bode del sistema nelle diverse fasi del progetto, mostrando il raggiungimento delle specifiche;
- la risposta al gradino del sistema controllato con le caratteristiche significative.