

Teoria dei Sistemi e Controllo Ottimo e Adattativo (C. I.)  
Teoria dei Sistemi (Mod. A)

Docente: Giacomo Baggio

Lez. 1: Introduzione al Corso

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccatronica

A.A. 2019-2020

# Introduzione al corso ☕

- ▷ Chi sono e cosa faccio?
- ▷ Chi siete e cosa fate?
- ▷ Cos'è la Teoria dei Sistemi e a cosa serve?
- ▷ Cosa si impara in questo corso?
- ▷ Com'è l'esame? (E come fare a passarlo?)

# Introduzione al corso ☕

▷ Chi sono e cosa faccio?

▷ Chi siete e cosa fate?

▷ Cos'è la Teoria dei Sistemi e a cosa serve?

▷ Cosa si impara in questo corso?

▷ Com'è l'esame? (E come fare a passarlo?)

## Il docente: formazione

- Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica e Meccatronica @UniPD
- Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione @UniPD
- Visiting Scholar @University of Cambridge, UK
- Ph.D. in Ingegneria dell'Informazione @UniPD
- PostDoctoral Scholar @University of California, Riverside, USA
- **Ricercatore in Automatica (s.s.d. ING-INF/04) @DEI, UniPD**

2011

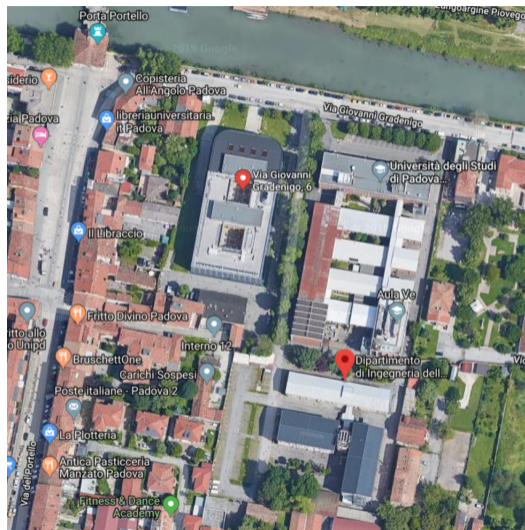


now

## Il docente: contatti

- ufficio: DEI-A, piano 3, stanza 321
- e-mail: [baggio@dei.unipd.it](mailto:baggio@dei.unipd.it)
- web: <http://baggiogi.github.io>

Ricevimento dopo lezione  
o su appuntamento  
(da concordarsi via e-mail)



# Il docente: ricerca

Artificial Intelligence

## Self-driving cars take the wheel

Advanced technologies come together to get autonomous vehicles driving safely and efficiently.

by MIT Technology Review Insights

Feb 15, 2019

Quantum technologies

+ Add to myFT

## Google claims to have reached quantum supremacy

Researchers say their quantum computer has calculated an impossible problem for ordinary machines

Madhumita Murgia and Richard Waters SEPTEMBER 20, 2019

156



Giacomo Baggio



IMC-TdS-1920: Intro

NATURE | NEWS FEATURE

عربي

## Neuroscience: Tuning the brain

Deep brain stimulation has shown promise in treating conditions such as Parkinson's disease. Now scientists are using the technology to eavesdrop on problem neural circuits.

Helen Shen

19 March 2014

# Il docente: ricerca

Artificial Intelligence

## Self-driving cars take the wheel

Advanced technologies come together to get autonomous vehicles driving safely and efficiently.

by MIT Technology Review Insights

Feb 15, 2019

Quantum technologies

+ Add to myFT

## Google claims to have reached quantum supremacy

Researchers say their quantum computer has calculated an impossible problem for ordinary machines

Madhumita Murgia and Richard Waters SEPTEMBER 20, 2019

156



Giacomo Baggio



IMC-TdS-1920: Intro

NATURE | NEWS FEATURE

عربي

## Neuroscience: Tuning the brain

Deep brain stimulation has shown promise in treating conditions such as Parkinson's disease. Now scientists are using the technology to eavesdrop on problem neural circuits.

Helen Shen

19 March 2014

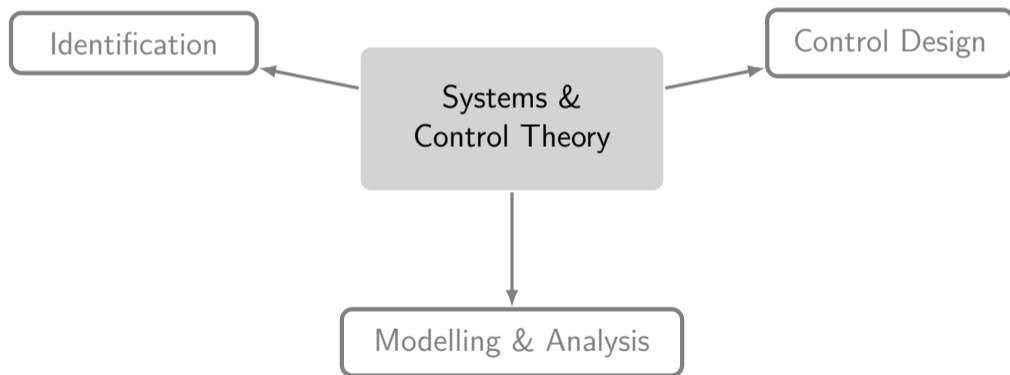
*physics? neuroscience? computer science?*

Il docente: ricerca

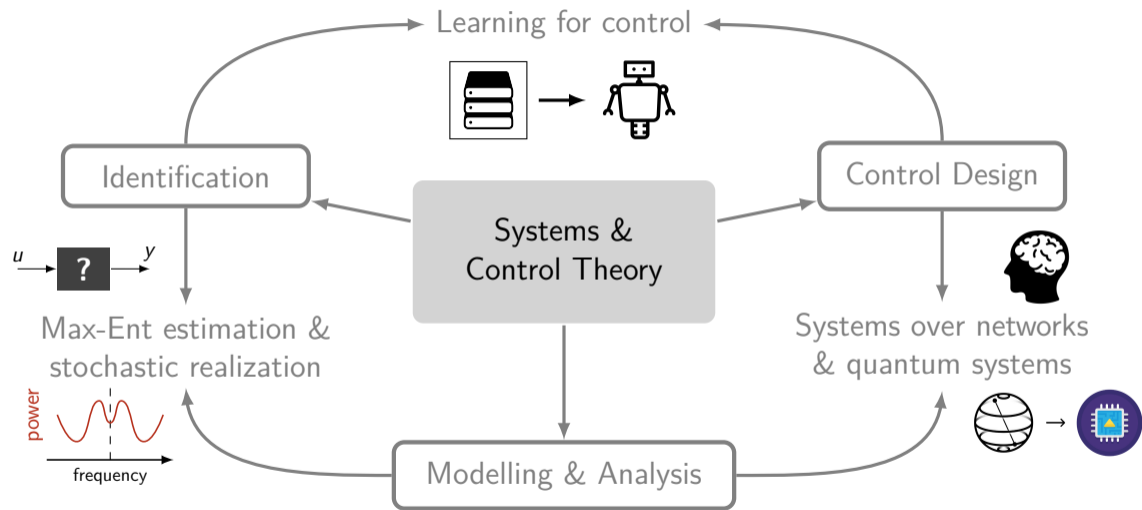
Systems &  
Control Theory



## Il docente: ricerca



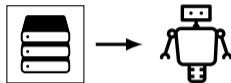
## Il docente: ricerca



# Il docente: ricerca

Benchmarking reinforcement learning techniques\*

Learning for control



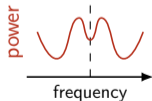
Identification

Control Design

Systems & Control Theory

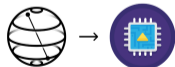


Max-Ent estimation & stochastic realization



Nonparametric network identification\*

Systems over networks & quantum systems



Modelling & Analysis

\*Possibili argomenti di tesi

Network controllability and complexity\*

# Il docente: ricerca



# Introduzione al corso ☕

▷ Chi sono e cosa faccio?

▷ Chi siete e cosa fate?

▷ Cos'è la Teoria dei Sistemi e a cosa serve?

▷ Cosa si impara in questo corso?

▷ Com'è l'esame? (E come fare a passarlo?)

# Un veloce sondaggio

# Un veloce sondaggio

Mentimeter ([www.menti.com](http://www.menti.com))

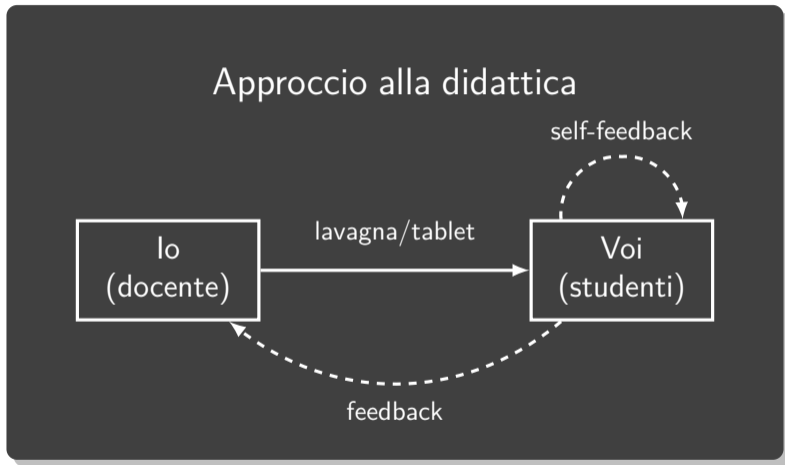
# Un veloce sondaggio

## Approccio alla didattica





# Un veloce sondaggio



# Introduzione al corso ☕

▷ Chi sono e cosa faccio?

▷ Chi siete e cosa fate?

▷ Cos'è la Teoria dei Sistemi e a cosa serve?

▷ Cosa si impara in questo corso?

▷ Com'è l'esame? (E come fare a passarlo?)

# Sistema

“Nell’ambito scientifico, qualsiasi oggetto di studio che, pur essendo costituito da diversi elementi reciprocamente interconnessi e interagenti tra loro o con l’ambiente esterno, reagisce o **evolve** come un tutto, con proprie **leggi generali**.” [Treccani]

# Sistema

“Nell’ambito scientifico, qualsiasi oggetto di studio che, pur essendo costituito da diversi elementi reciprocamente interconnessi e interagenti tra loro o con l’ambiente esterno, reagisce o **evolve** come un tutto, con proprie **leggi generali**.” [Treccani]

↓  
**dinamica**

↓  
**matematica**

# Sistema

“Nell’ambito scientifico, qualsiasi oggetto di studio che, pur essendo costituito da diversi elementi reciprocamente interconnessi e interagenti tra loro o con l’ambiente esterno, reagisce o **evolve** come un tutto, con proprie **leggi generali**.” [Treccani]

↓  
**dinamica**

↓  
**matematica**

## Teoria (Matematica) dei Sistemi (Dinamici)

Analisi e controllo di **sistemi dinamici** descritti da **modelli matematici**.

# Sistema

“Nell’ambito scientifico, qualsiasi oggetto di studio che, pur essendo costituito da diversi elementi reciprocamente interconnessi e interagenti tra loro o con l’ambiente esterno, reagisce o **evolve** come un tutto, con proprie **leggi generali**.” [Treccani]

↓  
**dinamica**

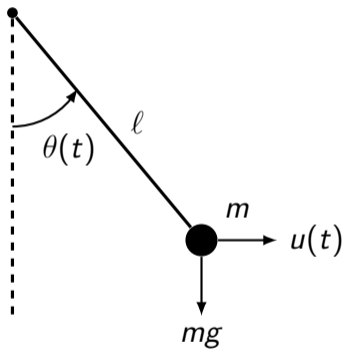
↓  
**matematica**

## Teoria (Matematica) dei Sistemi (Dinamici)

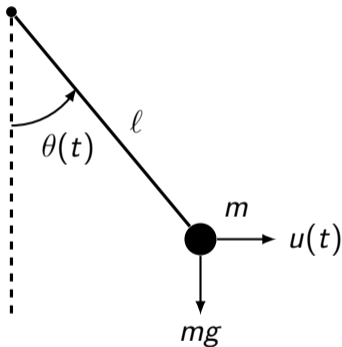
Analisi e controllo di **sistemi dinamici** descritti da **modelli matematici**.

**Sistema = Modello Matematico**

# Esempio: Pendolo



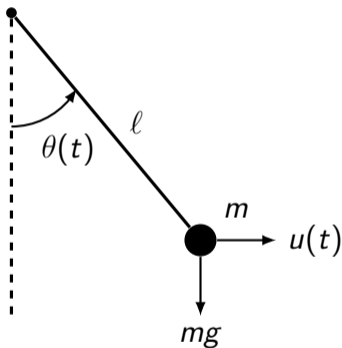
## Esempio: Pendolo



$$m\ell \ddot{\theta}(t) = -mg \sin \theta(t) + u(t) \cos \theta(t)$$



## Esempio: Pendolo



$$m\ell \ddot{\theta}(t) = -mg \sin \theta(t) + u(t) \cos \theta(t)$$

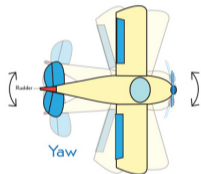
- Per  $u \equiv 0$  quali sono gli equilibri ( $\ddot{\theta} = 0$ )?
- Come si comporta il sistema vicino agli equilibri?
- Come scegliere  $u(t)$  per avere un equilibrio in  $\bar{\theta}$ ?

# Esempio (più complesso): Velivolo



$\theta_1$  = angolo rollio

$\alpha_1$  = incl. alettone



$\theta_2$  = angolo imbardata

$\alpha_2$  = incl. timone



$\theta_3$  = angolo beccheggio

$\alpha_3$  = incl. equilibratore

[Image credits: howthingsfly.si.edu]

$x$  = vettore posizione centro di massa

$u$  = vettore di spinta propulsiva

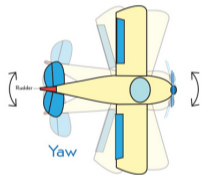
$F$  = vettore delle forze aerodinamiche

$M$  = vettore dei momenti aerodinamici

# Esempio (più complesso): Velivolo



$\theta_1$  = angolo rollio  
 $\alpha_1$  = incl. alettone



$\theta_2$  = angolo imbardata  
 $\alpha_2$  = incl. timone



$\theta_3$  = angolo beccheggio  
 $\alpha_3$  = incl. equilibratore

[Image credits: howthingsfly.si.edu]

$x$  = vettore posizione centro di massa

$u$  = vettore di spinta propulsiva

$F$  = vettore delle forze aerodinamiche

$M$  = vettore dei momenti aerodinamici

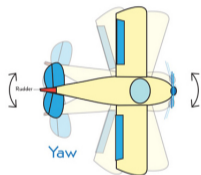
$$\begin{aligned}\ddot{x} &= f_1(x, \dot{x}, \theta, \dot{\theta}, \alpha, u, F) \\ \ddot{\theta} &= f_2(\theta, \dot{\theta}, \alpha, u, M)\end{aligned}$$

# Esempio (più complesso): Velivolo



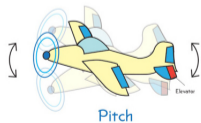
$\theta_1 =$  angolo rollio

$\alpha_1 =$  incl. alettone



$\theta_2 =$  angolo imbardata

$\alpha_2 =$  incl. timone



$\theta_3 =$  angolo beccheggio

$\alpha_3 =$  incl. equilibratore

[Image credits: howthingsfly.si.edu]

$x$  = vettore posizione centro di massa

$u$  = vettore di spinta propulsiva

$F$  = vettore delle forze aerodinamiche

$M$  = vettore dei momenti aerodinamici

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= f_1(x, \dot{x}, \theta, \dot{\theta}, \alpha, u, F) \\ \ddot{\theta} &= f_2(\theta, \dot{\theta}, \alpha, u, M)\end{aligned}$$

- Per  $u$  costante e  $\alpha = 0$  quando si ha moto rettilineo uniforme ( $\ddot{x} = 0, \dot{\theta} = 0$ )?
- Con moto rettilineo uniforme come scegliere  $\alpha$  per mantenere il volo "stabile"?

# Perché dovrei studiare la Teoria dei Sistemi?



Capire come “manipolare” il sistema al fine di raggiungere un obiettivo

# Perché dovrei studiare la Teoria dei Sistemi?



Capire come “manipolare” il sistema al fine di raggiungere un obiettivo

Fare esperimenti!

Usare un **modello!**

# Perché dovrei studiare la Teoria dei Sistemi?



Capire come “manipolare” il sistema al fine di raggiungere un obiettivo

Fare esperimenti!

Usare un **modello**!

- *Costoso*
- *Spesso pericoloso*
- *A volte impossibile!*

# Perché dovrei studiare la Teoria dei Sistemi?



Capire come “manipolare” il sistema al fine di raggiungere un obiettivo

Fare esperimenti!

- *Costoso*
- *Spesso pericoloso*
- *A volte impossibile!*

Usare un **modello!**

- *Simulare* il sistema
- *Analizzare* il sistema
- *Controllo automatico!*

*costo nullo e  
nessun rischio!*



# Perché dovrei studiare la Teoria dei Sistemi?



“All models are wrong,  
but some are useful.”

*George Box*

- Costo
- Spesso *pericoloso*
- A volte *impossibile!*

- *Analizzare* il sistema
- *Controllo automatico!*

*costo nullo e  
nessun rischio!*

# Introduzione al corso ☕

▷ Chi sono e cosa faccio?

▷ Chi siete e cosa fate?

▷ Cos'è la Teoria dei Sistemi e a cosa serve?

▷ Cosa si impara in questo corso?

▷ Com'è l'esame? (E come fare a passarlo?)

# Contenuti didattici & obiettivi del corso

- Modelli di stato lineari/non-lineari a tempo continuo/discreto
- Richiami e approfondimenti di algebra lineare
- Soluzioni di sistemi lineari e analisi modale

Modelli di stato  
e analisi modale

# Contenuti didattici & obiettivi del corso

- Modelli di stato lineari/non-lineari a tempo continuo/discreto
- Richiami e approfondimenti di algebra lineare
- Soluzioni di sistemi lineari e analisi modale

- Punti di equilibrio, linearizzazione, definizione di stabilità
- Stabilità di sistemi lineari autonomi
- Stabilità di sistemi non-lineari autonomi

Modelli di stato  
e analisi modale

Stabilità

# Contenuti didattici & obiettivi del corso

- Modelli di stato lineari/non-lineari a tempo continuo/discreto
- Richiami e approfondimenti di algebra lineare
- Soluzioni di sistemi lineari e analisi modale

Modelli di stato  
e analisi modale

- Punti di equilibrio, linearizzazione, definizione di stabilità
- Stabilità di sistemi lineari autonomi
- Stabilità di sistemi non-lineari autonomi

Stabilità

- Raggiungibilità e controllabilità di sistemi lineari
- Controllo in retroazione e allocazione autovalori
- Osservabilità e ricostruibilità di sistemi lineari
- Osservatori di stato e sintesi del regolatore

Analisi e controllo

# Contenuti didattici & obiettivi del corso

- Modelli di stato lineari/non-lineari a tempo continuo/discreto
- Richiami e approfondimenti di algebra lineare
- Soluzioni di sistemi lineari e analisi modale

- Punti di equilibrio, linearizzazione, definizione di stabilità
- Stabilità di sistemi lineari autonomi
- Stabilità di sistemi non-lineari autonomi

- Raggiungibilità e controllabilità di sistemi lineari
- **Controllo in retroazione e allocazione autovalori**
- Osservabilità e ricostruibilità di sistemi lineari
- **Osservatori di stato e sintesi del regolatore**

Modellare  
e  
analizzare  
un sistema  
al fine di  
**controllarlo!**

# Testo di riferimento

M. Bisiacco, S. Braghetto  
“**Teoria dei sistemi dinamici**”  
Società Editrice Esculapio,  
Seconda Ed., 2010.



## Testo di riferimento

M. Bisiacco, S. Braghetto  
**“Teoria dei sistemi dinamici”**  
Società Editrice Esculapio,  
Seconda Ed., 2010.

## Testo per consultazione

E. Fornasini  
**“Appunti di teoria dei sistemi”**  
Ed. Libreria Progetto, 2013.





## Obiettivi didattici (più in generale)

- Sviluppare un approccio analitico alla formulazione/risoluzione di problemi pratici
- Fornire strumenti matematici e computazionali propedeutici al percorso di studi
- Stimolare la curiosità verso l'Automatica, temi di ricerca attuali e applicazioni
- Fornire adeguata preparazione per la seconda parte del corso

# Introduzione al corso ☕

▷ Chi sono e cosa faccio?

▷ Chi siete e cosa fate?

▷ Cos'è la Teoria dei Sistemi e a cosa serve?

▷ Cosa si impara in questo corso?

▷ Com'è l'esame? (E come fare a passarlo?)

# Modalità d'esame

- Esame scritto con 3 esercizi e 1 domanda di teoria
- Durata 2 h 30 min
- Voto Finale =  $(\text{Voto Mod. A} + \text{Voto Mod. B})/2$  (1/2 punto ↑ ↑)
- **Non** sono ammessi appunti, formulari, libri, etc. OK calcolatrici (**non** programmabili)
- Durante le lezioni verranno svolti esercizi “simil-esame”
- Verranno resi disponibili (via moodle) temi d'esame passati ed esercizi aggiuntivi

# Come passare l'esame (...e vivere felici)

- Venire a lezione!
- Stare al passo con gli argomenti affrontati a lezione
- Capire la teoria/logica e non focalizzarsi solo sugli esercizi
- Essere organizzati, curiosi, e un po' testardi!

# Come passare l'esame (...e vivere felici)

- Venire a lezione!
- Stare al passo con gli argomenti affrontati a lezione
- Capire la teoria/logica e non focalizzarsi solo sugli esercizi
- Essere organizzati, curiosi, e un po' testardi!
- ***Venire a lezione!***

# Teoria dei Sistemi e Controllo Ottimo e Adattativo (C. I.)

## Teoria dei Sistemi (Mod. A)

Docente: Giacomo Baggio

Lez. 1: Introduzione al Corso

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccatronica

A.A. 2019-2020

✉ [baggio@dei.unipd.it](mailto:baggio@dei.unipd.it)

🌐 [baggiogi.github.io](https://github.com/baggiogi)