



Fondamenti di Automatica

Alberto Leva

Introduzione al corso

a.a. 2019/2020



Premesse

- Contesto del corso:
 - Facoltà di Ingegneria Industriale e dell'Informazione,
 - Corso di Laurea in Ingegneria Informatica.
- Contenuto di questa introduzione:
 - informazioni generali sul corso;
 - alcuni concetti preliminari;
 - prerequisiti, motivazione e collocamento del corso nel contesto degli studi di Ingegneria Informatica.

Informazioni generali



Informazioni generali

Docente:

Alberto Leva

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria

Studio 234 (Edificio 20, 2° piano)

Tel. 02 2399 3410

E-mail alberto.leva@polimi.it

Orario di ricevimento:

giovedì dalle 13.30 alle 15.30,
in altri orari previo appuntamento.



Informazioni generali

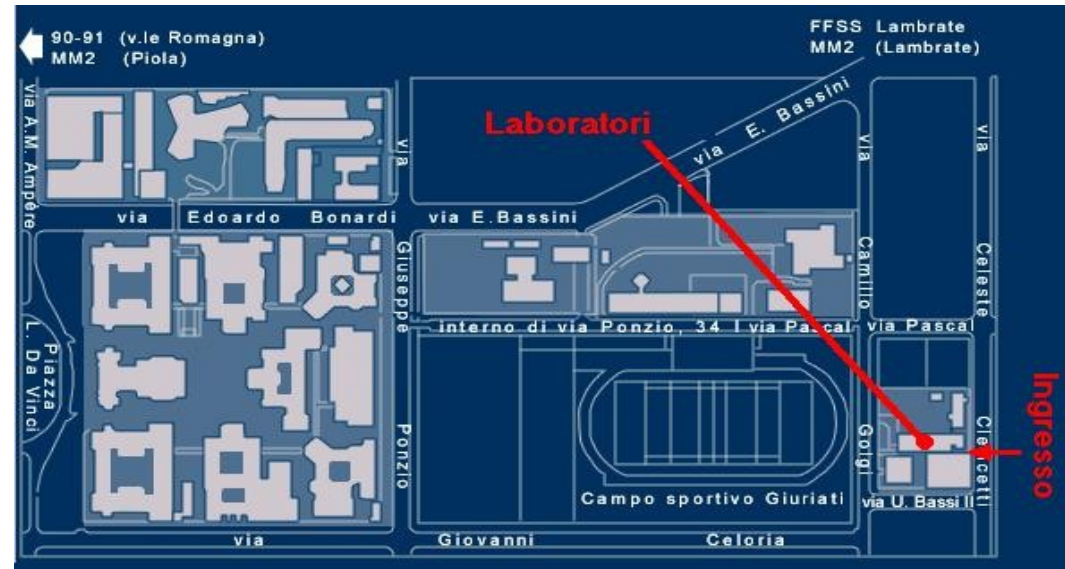
- Composizione del corso:
 - 60 ore di lezione (in aula),
 - 35 ore di esercitazione (in aula),
 - 6 ore di laboratorio.
- Orario delle lezioni e delle esercitazioni:

• Lunedì	09.15-12.15	26.16 (L.26.16)
• Mercoledì	09.15-12.15	502
• Giovedì	09.15-11.15	B21
- La distribuzione L/E varia (si veda il piano indicativo sulla pagina del corso).



Informazioni generali

- Attività di laboratorio:
 - ha per oggetto l'effettuazione di semplici ma complete esperienze su un sistema fisico (relative al controllo di temperatura);
 - consta di 2 sedute di 3 ore ciascuna (il calendario è disponibile sul sito del corso);
 - si effettua nei laboratori di via Golgi/Clericetti.





Informazioni generali

- Lezioni ed esercitazioni saranno svolte con PC, tavoletta grafica e proiettore.
- In laboratorio si useranno delle slide, disponibili in formato pdf sul sito del corso.
- Note importanti:
 - le slide sono state concepite perché gli studenti le stampino e se le portino in laboratorio dato che il loro scopo è di aiutare a seguire, evitando di affannarsi a copiare (con potenziali errori) e permettendo di prendere i propri appunti con calma a integrazione di quanto stampato;
 - le slide non sono una dispensa, né tantomeno sostituiscono i testi.
- La stessa cosa vale peraltro per gli appunti:
 - se volete acquisire la capacità di restare aggiornati per la vostra vita professionale **DOVETE ABITUARVI A STUDIARE SUI LIBRI.**



Informazioni generali

- Testo del corso:

Bolzern, Scattolini, Schiavoni

“Fondamenti di controlli automatici”, Ed. McGraw-Hill.

- Eserciziari:

Leva, Maggio

“Esercizi di Fondamenti di Automatica”, Ed. Esculapio;

Papadopoulos, Prandini

“Fondamenti di automatica – esercizi”, Ed. McGraw-Hill;

Bolzern

“Elementi di automatica - esercizi”, Ed. Masson.

- Sul sito del corso è disponibile una raccolta di esercizi (svolti e non) in numero più che adeguato: **NON S'IMPARA UNA MATERIA FACENDO ESERCIZI, BISOGNA STUDIARE I CONCETTI.**



Informazioni generali

● Modalità d'esame:

- non vi sono prove in itinere;
- sono previsti cinque appelli d'esame nei periodi stabiliti dalla Scuola;
- ulteriori dettagli saranno forniti più avanti.



Risorse didattiche

- Sito web del corso:

- è accessibile dalla home page del docente, il cui URL è

<https://home.deib.polimi.it/leva>

- contiene tutto il materiale a disposizione degli studenti e in particolare
 - queste slide;
 - il link a Scilab, software usato per calcolo, analisi e simulazione di sistemi dinamici;
 - il link a (wx)Maxima, software di calcolo simbolico (e molto altro);
 - il link a OpenModelica, ambiente object-oriented per la modellazione e la simulazione dinamica;
 - link a laboratori e applicazioni didattiche remote.

Concetti preliminari



Concetti preliminari

- Una possibile definizione di Automatica:

l'Automatica è l'insieme degli strumenti **matematici** e **ingegneristici** necessari per la specifica, il progetto e la gestione di sistemi di controllo automatici.

- In sintesi, l'Automatica è quindi la disciplina che si occupa dei **problemi di controllo**.

- Domande:

- Cos'è un problema di controllo?
- Dove s'incontrano i problemi di controllo?
- Cosa serve per risolverli? Ovvero: com'è fatto un **sistema di controllo**? Cosa serve per progettarne uno?
- Cosa aggiunge la conoscenza dell'Automatica alla cultura di un **ingegnere** (informatico)? Ovvero: per quale ragione a Ingegneria (Informatica) si studia l'Automatica?



Concetti preliminari (domande)

● Cos'è un problema di controllo?

- Si ha un problema di controllo ogni volta che si vuole imporre ad un sistema "fisico" un comportamento desiderato,
- ovvero ogni volta che si vuole imporre a variabili associate a quel sistema un andamento desiderato.
- Come si vede, la definizione di problema di controllo è molto generale: in essa ricadono problemi molto diversi tra loro (almeno in apparenza).
- Vediamo un esempio, *a puro scopo d'illustrazione*.



Cos'è un problema di controllo?

- Elenchiamo molto in sintesi alcuni dei problemi di controllo presenti nei moderni autoveicoli:
 - controllo dell'iniezione,
 - controllo del minimo,
 - controllo delle emissioni,
 - servosterzo,
 - controllo della trazione,
 - stabilizzazione della dinamica (ESP),
 - sospensioni attive,
 - climatizzazione.
- Sono evidentemente problemi molto diversi: c'è della meccanica, dell'aerodinamica, della chimica, della termodinamica e altro ancora.
- Sembra proprio che non abbiano nulla in comune, e quindi che per affrontarli occorranzi insiemi di competenze a intersezione nulla o quasi.



Cos'è un problema di controllo?

- Proviamo invece a chiederci proprio se c'è tra essi qualcosa in comune:
- scopriremo allora che i loro “ingredienti” sono gli stessi, e precisamente
 - un sistema fisico dato (almeno in parte, nel senso che a volte “per metterci il controllo bisogna modificare o aggiungere dei pezzi”),
 - una o più variabili da controllare,
 - una o più variabili sulle quali agire per influenzare il sistema,
 - una specifica dell'andamento desiderato delle variabili da controllare.



Cos'è un problema di controllo?

• Verifichiamo quest'affermazione.

• Consideriamo il climatizzatore:

- il sistema da controllare è l'insieme dei fenomeni termici nella cabina;
- le variabili da controllare sono la temperatura e l'umidità in essa;
- le variabili su cui agire sono i comandi di uno o più riscaldatori, refrigeratori e ventole;
- l'andamento desiderato delle variabili da controllare è quello impostato dai passeggeri (di solito costante).

• Consideriamo ora il servosterzo:

- il sistema da controllare è l'insieme dei fenomeni meccanici che determinano l'orientamento delle ruote sterzanti;
- la variabile da controllare è l'angolo di sterzata delle ruote stesse;
- la variabile sulla quale agire è il comando di un servomeccanismo idraulico;
- l'andamento desiderato della variabile da controllare è quello impostato dal pilota girando il volante.



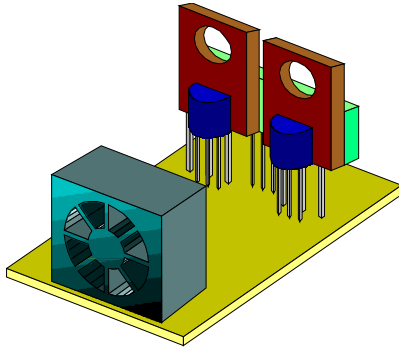
Osservazioni

- La definizione di problema di controllo, e quindi di Automatica, è molto generale!
- Infatti, studiando la disciplina, s’impara che problemi molto diversi tra loro possono essere affrontati con gli stessi metodi mediante una appropriata formulazione matematica.
- Non a caso, l’Automatica è quasi dappertutto (c’è chi la definisce “the hidden technology”).
- Esercizio divertente (e utile): provate a contare i sistemi di controllo che vi circondano...



Breve demo

- Vediamo per intanto, in simulazione, il problema che affronterete in laboratorio.





Concetti preliminari (domande)

● Dove s'incontrano i problemi di controllo?

- Quasi ovunque:
 - nell'industria,
 - in campo civile,
 - nei servizi,
 - nei trasporti,
 - nell'intrattenimento,
 - nei “computing systems” (OS, WSN, HPC, cloud, fog, edge...)
 - e non solo (tra un po' vedremo altri esempi molto notevoli).
- In sintesi, s'incontrano dovunque si faccia ingegneria (anche “dell'informazione”).



Osservazioni

- L'Automatica fa da complemento a qualunque conoscenza più o meno “specialistica” e la contestualizza in una visione unitaria e sistemica dei problemi.
- Alla fine del corso
 - sarete voi stessi stupiti di quanti problemi apparentemente diversi si possano affrontare, almeno in astratto, con gli stessi strumenti, e soprattutto
 - avrete capito che la parte “astratta” è spesso la più importante.
- Le tecnologie passano, i principi matematici restano!



Concetti preliminari (domande)

● Com'è fatto un sistema di controllo?

● Tipicamente consiste di

- strumentazione per misurare le variabili da controllare (**trasduttori**),
- strumentazione per agire sulle variabili di controllo (**attuatori**),
- uno o più regolatori (di solito programmi eseguiti da un calcolatore) che comandano gli attuatori in base alle misure, ovvero realizzano una **legge di controllo**.



Osservazioni

- Un “controllista” deve sapersi occupare in modo coordinato di varie cose:
 - strumentazione (trasduttori e attuatori),
 - hardware (il calcolatore),
 - software (l’implementazione delle leggi di controllo),
 - progetto e messa in opera delle leggi di controllo - **l’intelligenza è qui.**
- Noi ci occuperemo soprattutto dell’ultimo aspetto, ovvero del progetto, ma ovunque possibile (questo è pur sempre un corso di base...) faremo dei collegamenti agli altri.
- Terremo anche presente (compatibilmente col tempo a disposizione) che saper descrivere, simulare e prevedere il comportamento dei sistemi non serve soltanto a controllarli.
- **L'Automatica è una scienza multidisciplinare!**

Prerequisiti, motivazione e collocamento del corso



Prerequisiti, motivazione e collocamento (domande)

● Cosa serve per creare un sistema di controllo?

● La capacità di progettarlo

- dal punto di vista fisico (apparati, macchinari,...) che non è oggetto di questo corso ma appunto di quelli di “tecnologia”
- e dal punto di vista della legge di controllo (senza la quale il resto - “la potenza”, si potrebbe dire - è inutile), cosa per cui questo corso fornisce gli strumenti fondamentali.

● Reformuliamo quindi la domanda: cosa serve per progettare una legge di controllo?



Prerequisiti, motivazione e collocamento (domande)

- **Cosa serve per progettare una legge di controllo?**
- Tre cose fondamentali:
 - un **modello del sistema**, ovvero una descrizione matematica del legame tra variabili di controllo e variabili da controllare;
 - un **modello dell'andamento delle variabili in gioco** (v. di controllo, v. da controllare, andamento desiderato delle v. da controllare);
 - un insieme di **metodi di progetto** per ottenere la legge di controllo da tali modelli.
- Perché tutto funzioni, poi, modelli e metodi devono adottare un formalismo consistente e generale. Quindi, ci servono
 - strumenti matematici per descrivere il comportamento dei **sistemi** e per descrivere i **segnali**, cioè l'andamento nel tempo delle variabili in gioco, ma soprattutto
 - una **teoria dei sistemi e del controllo**.



Prerequisiti, motivazione e collocamento (domande)

- E' complesso progettare una legge di controllo?
 - A volte no e per questo alcuni nemmeno conoscono l'Automatica, ma l'ingegnere è formato per i casi difficili.
 - A volte sì, e quelle volte non se ne viene a capo se non conoscendo l'Automatica.
 - Le ragioni fondamentali sono due:
 - anzitutto, il modello non potrà mai descrivere il sistema in modo perfetto, ovvero vi sarà sempre **incertezza**;
 - inoltre, sul sistema non agiscono solo le variabili di controllo; quindi, vi saranno sempre dei **disturbi**.
- L'Automatica insegna quindi che in qualsiasi progetto c'è sempre qualcosa d'imprevisto e/o non del tutto noto:
- **l'ingegnere deve sapere che non può dominare tutto** e che con questo fatto deve convivere.



Conseguenze

- Da quanto detto discende la struttura del corso, quindi rivediamola in breve:
 - la prima parte è dedicata alla matematica dei segnali e dei sistemi (fino a metà corso circa);
 - la seconda parte tratta l'analisi e il progetto di semplici sistemi di controllo;
 - il laboratorio ha per oggetto l'effettuazione di un esperimento di controllo molto semplice ma completo.
- Ne discendono anche i prerequisiti per il corso:
 - nozioni di analisi e algebra (acquisite nei corsi di base e che servono subito),
 - basi minime di fisica (vedi sopra) perché almeno qualche modello elementare dovremo scriverlo,
 - nozioni di segnali (che si useranno tra un po').

**Che relazione c'è oggi
tra Informatica e Automatica
viste da ingegneri?**



Ovvero, perché qui si studia l'Automatica?

- Alcune affermazioni già fatte:
 - l'Automatica è quasi dappertutto (c'è chi la definisce “the hidden technology”);
 - le tecnologie passano, i principi matematici restano;
 - l'Automatica è una scienza multidisciplinare;
 - l'ingegnere deve sapere che non può dominare tutto.
- Riflettendo, possiamo dire che nel vostro curriculum da **Ingegneri** informatici c'è (almeno) un corso di Automatica per due ordini di ragioni:
 - professionale, ovvero inerente alle *nozioni* possedute dalla figura che si vuol formare;
 - culturale, ovvero inerente al *modo di pensare* che si vuol promuovere nella figura da formare.



Perché qui si studia l'Automatica?

- Ragioni di tipo professionale:

- meno del 5% dei microprocessori esistenti sta in un oggetto che comunemente si chiama “calcolatore”;
- non c'è oggi dispositivo complesso che non contenga sistemi “embedded”, in larga parte dedicati a compiti di controllo;
- esistono sistemi operativi e linguaggi dedicati al controllo, il che è lavoro per ingegneri informatici esperti di automatica.

- Ragioni di tipo culturale:

- l'Automatica aiuta a “mettere insieme” le varie discipline dell'Ingegneria e a usarle in modo sinergico per capire come le cose funzionano e come farle funzionare come si vuole;
- l'Automatica induce la formazione di una “mente sistemica”.

- Fino a circa quindici anni fa le ragioni sarebbero sostanzialmente finite qui. Oggi invece c'è di più: vediamo.



Informatica e Automatica

- Un esempio “storico” tratto da IEEE Control Systems Magazine (<http://ieeecss.org/publication/ieee-control-systems-magazine>), per la precisione dal numero di Giugno 2003:

Trends in Software and Control

By Ricardo Sanz and Karl-Erik Årzén

Researchers in the computers and control field are becoming increasingly aware of the need for an integrated scientific and technological perspective on the role that computers play in control systems and that control can play in computer systems. This need is evidenced by recent advances in areas such as embedded systems, plantwide control systems, robotics, and middleware. Control engineers must master com-

Una giustapposizione di termini tutt'altro che casuale!

Researchers in the computers and control field are becoming increasingly aware of the need for an integrated scientific and technological perspective on **the role that computers play in control systems and that control can play in computer systems**. This need is evidenced by recent advances in areas such as embedded systems, plantwide control systems, robotics, and middleware.



Informatica e Automatica

- Altri esempi, sempre da IEEE Control Systems Magazine:

By Orhan Cagri Imer, Sonia Compans, Tamer Başar, and R. Srikant

Available Bit Rate Congestion Control in ATM Networks

Developing Explicit Rate Control Algorithms

ATM (asynchronous transfer mode) is the underlying technology enabling B-ISDN (broadband integrated digital network). B-ISDN was introduced as the successor to narrowband ISDN after the latter fell short of meeting the high demand for bandwidth required by emerging applications such as real-time video and high definition TV (HDTV). B-ISDN envisions the transmission of fixed-size packets (cells) over digital virtual circuits at rates exceeding 150 Mb/s.



Feedback Performance Control in Software Services

Using a Control-Theoretic Approach to Achieve Quality of Service Guarantees

By P.R. Kumar

New Technological Vistas for Systems and Control:

The Example of Wireless Networks



sustained investigation of great interest in the emerging field of information technol-

Annotate questo termine: ne parleremo a lungo...



Informatica e Automatica

● Morale:

- non soltanto l'Informatica serve per implementare le soluzioni dei problemi di controllo (e simulazione, e previsione...)
- ma oggi il progetto stesso dei sistemi informatici (ad alto livello) fa ampio uso dei concetti e dei metodi dell'Automatica;
- per “fare gli informatici da ingegneri” non si può quindi prescindere dall'Automatica;
- la ricerca è attiva su questo da anni
- ed è quindi tempo che la didattica la segua,
- fornendo agli allievi ingegneri informatici le necessarie competenze sulla teoria dei sistemi e del controllo
- che saranno per loro il “valore aggiunto” per affrontare qualunque progetto (anche “informatico” *tout court*) con una mentalità al passo coi tempi.
- In questo corso gettiamo le fondamenta per un tale iter culturale.



Didattica e ricerca (esempi)

Alcuni lavori scientifici pubblicati su riviste o a congressi internazionali; in evidenza gli studenti (o ex studenti) **graduate** o **PhD** co-autori

- A. Leva, **M. Maggio**, "Feedback Process Scheduling with Simple Discrete-time Control Structures", IET Control Theory & Applications **4**(11), 2010, 2331-2342.
- A. Leva, **S. Negro**, **A.V. Papadopoulos**, "PI/PID Autotuning with Contextual Model Parametrisation", Journal of Process Control **20**(4), 2010, 452-463.
- **M. Bonvini**, A. Leva, **E. Zavaglio**, "Object-oriented Quasi-3D Sub-zonal Airflow Models for Energy-related System-level Building Simulation", Simulation Modelling Practice and Theory **22**(3), 2012, 1-12.
- **M. Maggio**, **F. Terraneo**, A. Leva, "Task Scheduling: a Control-theoretical Viewpoint for a General and Flexible Solution", ACM Transactions on Embedded Computing Systems **13**(4), 2014, Article 76.
- **F. Terraneo**, **L. Rinaldi**, **M. Maggio**, **A.V. Papadopoulos**, A. Leva, "FLOPSYNC-2: Sub-microsecond, Sub-μA Clock Synchronisation for Wireless Sensor Networks", Proc. 35th IEEE Real-Time Systems Symposium, Roma 2014.
- A. Leva, **F. Terraneo**, **L. Rinaldi**, **A.V. Papadopoulos**, **M. Maggio**, "High-precision Low-power Wireless Nodes Synchronization via Decentralized Control", IEEE Transactions on Control Systems Technology **24**(4), 2016, 1279-1293.
- L. Baresi, S. Guinea, A. Leva, **G. Quattrocchi**, "A Discrete-Time Feedback Controller for Containerized Cloud Applications", Proc. 24th ACM SIGSOFT International Symposium on the Foundations of Software Engineering, Seattle 2016.
- A. Leva, **A.V. Papadopoulos**, "Modelling and Control of Big Data Frameworks", Proc. 20th IFAC World Congress, Toulouse 2017.
- **F. Terraneo**, **F. Riccardi**, A. Leva, "Jitter-compensated VHT and its Application to WSN Clock Synchronization", Proc. 38th IEEE Real-Time Systems Symposium, Paris 2017.
- A. Leva, **F. Terraneo**, **I. Giacomello**, W. Fornaciari, "Event-based Power/performance-aware Thermal Management for High-density Microprocessors", IEEE Transactions on Control Systems Technology **26**(2), 2018, 535-550.
- A. Leva, **S. Seva**, **A.V. Papadopoulos**, "Progress Rate Control for Computer Applications", Proc. ECC 2018, Limassol 2018.
- **F. Terraneo**, **P. Polidori**, A. Leva, W. Fornaciari, "TDMH-MAC: Real-time and Multi-hop in the Same Wireless MAC", Proc. 39th IEEE Real-Time Systems Symposium, Nashville 2018.
- S. Seva, **C.E. Lukaschewsky**, W. Fornaciari, A. Leva "A Low Energy FPGA Platform for Real-time Event-based Control", Proc. NG-RES Workshop on Next Generation Real-Time Embedded Systems, Bologna 2020.



Conclusioni

- Lo studio dell'Automatica completa le conoscenze di un ingegnere informatico e ne aumenta la capacità di affrontare qualunque problema in modo sistematico.
- L'Automatica è uno dei campi in cui l'informatica trova applicazioni di grande valore.
- I concetti dell'Automatica sono cruciali per un approccio avanzato al progetto dei sistemi informatici.
- Il corso di Fondamenti di Automatica è concepito per fornire a tutti le competenze minime, e a chi desidera approfondire l'argomento le basi necessarie, sia metodologiche che pratiche.

Ripareremo di tutte queste cose alla fine del corso.