



Fondamenti di Automatica 077II-9 CFU



Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Laurea Triennale in Ingegneria Informatica

[01.03.17 – 12.04.17], [20.04.17 – 30.05.17], recupero lezioni [31.05.17 - 03.06.17]

Orario Lezioni:	Martedì	10:30 – 13:30	F06
	Mercoledì	10:30 – 13:30	F08
	Giovedì	09:30 – 11:30	F08
Ricevimento	Martedì	15:00 – 18:00	

Docente

Mario Innocenti
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DII),
Università di Pisa
Tel. 050-2217319, email: mario.innocenti@unipi.it



Obiettivi Formativi



- **Obiettivi Formativi**

- Il corso si propone di fornire concetti di base per l'analisi ed il controllo di sistemi dinamici continui. Vengono presentate le tecniche principali per la valutazione della stabilità e delle proprietà strutturali. Viene affrontata la sintesi in frequenza di sistemi di controllo su applicazioni ingegneristiche di processi industriali. Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:
 - Rappresentare analiticamente una classe di processi dinamici naturali ed ingegneristici, che possano essere descritti da modelli basati su equazioni differenziali lineari.
 - Definire le linee di massima per il progetto di sistemi di controllo standard.
 - Usare metodologie progettuali basate sulla sistemistica e la valutazione analitica di processi dinamici.
 - Usare strumenti numerici e di calcolo quali Matlab e Simulink, come supporto all'analisi ed alla sintesi.

- **Collocazione Didattica**

- Il corso fa parte dell'insieme degli insegnamenti caratterizzanti per la Laurea in Ingegneria Informatica ed appartiene al settore scientifico disciplinare ministeriale SSD ING-INF/04: Automatica.

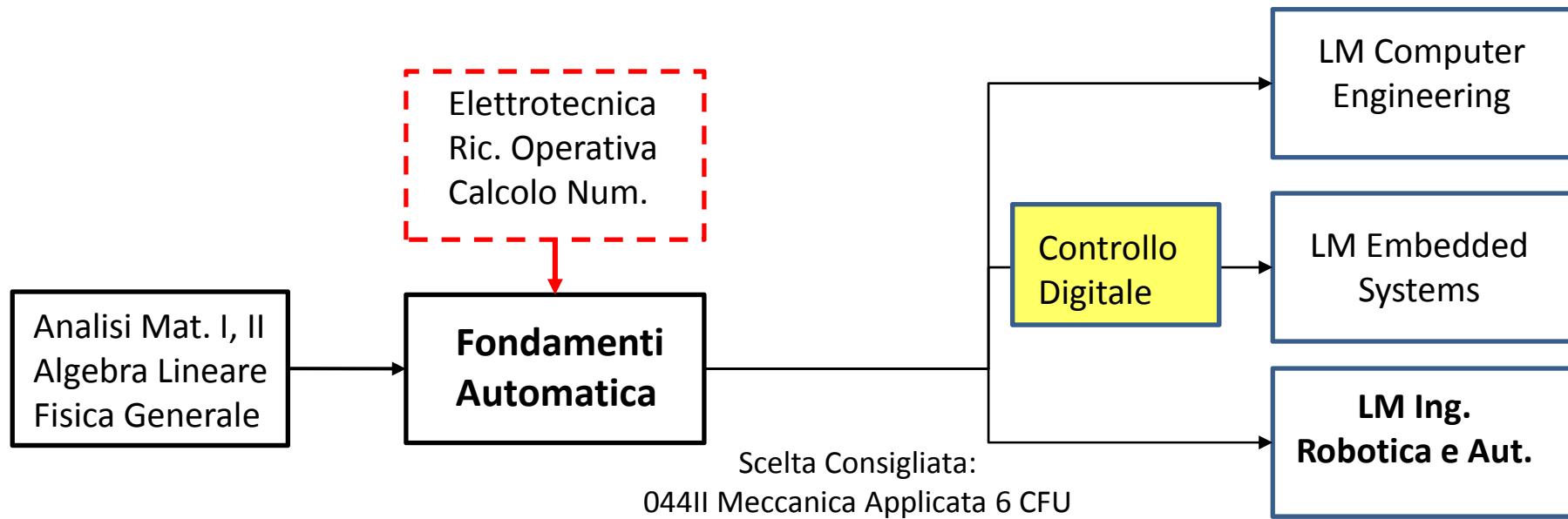


Prerequisiti e Percorso Formativo



- **Prerequisiti/Corequisiti**

- **Prerequisiti formali:** Fisica Generale I, Analisi Matematica II ed Algebra Lineare.
- **Corequisiti:** Elettrotecnica, Ricerca Operativa, Calcolo Numerico.
- **Requisiti concettuali:** Conoscenze sulle scienze di base, in particolare meccanica ed elettrica, conoscenze degli strumenti matematici necessari per il corso (calcolo differenziale, geometria, algebra lineare, matrici, numeri complessi, serie e metodi di integrazione di equazioni differenziali)





Laurea Triennale

Ingegneria dell'Informazione

- Informatica 9CFU
- Elettronica 6 CFU
- Telecom. 0 CFU
- Biomedica 6 CFU

Ingegneria Industriale

- Meccanica 6 CFU
- Chimica 0 CFU
- Aerospaz. 0 CFU
- Gestionale 9 CFU
- Energetica 6 CFU

Laurea Magistrale

Ingegneria dell'Informazione

- Computer Engineering 6 CFU
- Embedded Systems 6 CFU
- Robotica e Automazione 54 CFU

Ingegneria Industriale

- Aerospaziale 6 CFU
- Chimica 9 CFU
- Elettrica 6 CFU
- Meccanica 6 CFU



LM Ingegneria Robotica e dell'Automazione



Primo anno

- Teoria dei sistemi e del controllo (12 cfu)
- Probabilità e Processi Stocastici (6 cfu)
- Controllo dei Processi (12 cfu)
- Meccanica dei robot (6 cfu)
- Attività a scelta (6 cfu)

Secondo anno

- Controllo e identificazione dei sistemi incerti (12 cfu)
- Sistemi di guida e navigazione (6 cfu)
- Robotica (12 cfu)
- Attività a scelta (6 cfu)
- Attività a scelta (6 cfu)
- Prova finale (18 cfu)

GRUPPO A: Gruppo materie affini

- Sistemi Elettronici per Automazione e Robotica (6 cfu)
- Termofluidodinamica e macchine (6 cfu)
- Informatica e Sistemi in tempo reale (6 cfu)

GRUPPO B: Gruppo di materie caratterizzanti

- Laboratorio di Meccanica e Meccatronica (6 cfu)
- Dinamica dei veicoli (6 cfu)
- Sistemi subacquei (6 cfu)
- Controllo digitale (6 cfu)
- Robotica aerospaziale (6 cfu)



Informazioni sul Materiale Didattico



- **Testi e Riferimenti**

- Il materiale in programma è disponibile in una quantità molto ampia di testi sia italiani che stranieri di controlli automatici. Due testi di base sono i seguenti:
 - **[“Fondamenti di Controlli Automatici”](#), IV Edizione, P.Bolzern, R.Scattolini, N.Schiavoni, McGraw Hill, Milano. (Capitoli 1,2,3,4,5,6,7,10,11,12,13,14,15,16,20 Appendici)**
 - **[“Fondamenti di Sistemi dinamici”](#), S.Chiaverini, F.Caccavale, L.Villani, L.Sciavicco, McGraw Hill, Milano 2003. (Capitoli 1,2,3,4,5,appendici).**
- La lista seguente presenta testi aggiuntivi che sono disponibili in biblioteca d'Ateneo e che possono contenere informazioni complementari ed esercizi svolti e da svolgere.
 - K. Ogata: “Modern Control Engineering”, Prentice Hall, 1997. (Tutti i capitoli)
 - G Dutton, S. Thompson, B Barraclough: “The Art of Control Engineering” Addison Wesley, 1997. (I capitoli appropriati)
 - Dorf: “Modern Control Engineering”, Addison Wesley 1991 ed edizioni successive. (I capitoli appropriati).
 - **Lewis: A Mathematical Approach to Classical Control, [downloadable](#).**
 - **[Murray, Astrom: Feedback Systems, downloadable](#).**
 - **[WIKI Control Systems e Signals and Systems, downloadable](#).**
- Si assume che gli studenti abbiano accesso a MATLAB, per svolgere numericamente problemi ed esercizi.
[LICENZA MATLAB](#)

- Il materiale presentato a lezione va considerato come una traccia, da completarsi con lo studio nei testi di riferimento e può essere scaricato dal sito del docente:
<http://www.dsea.unipi.it/Members/innocentiw>. Il materiale è disponibile agli studenti del corso e non può essere riprodotto né usato a fini commerciali senza il consenso dell'autore.**
- Il materiale presentato a lezione fa riferimento a materiale disponibile da parte di altri autori, non vincolato a copyright. Si ringraziano i vari autori per la disponibilità ad uso didattico senza scopo di lucro.**



Informazioni sul Materiale Didattico



>> | innocentiw's Home
>> | Didattica-Materiale
>> | FONDAMENTI DI AUTOMATICA 077II - 9CFU
 >> | appunti-delle-lezioni

>> | ultime notizie

Altre notizie...

[Altre notizie...](#)

>> | cerca nel sito



cerca

>> | innocentiw's Home
>> | Didattica-Materiale
>> | FONDAMENTI DI AUTOMATICA 077II - 9CFU
 >> | materiale-aggiuntivo

>> | ultime notizie

Altre notizie...

[Altre notizie...](#)

>> | cerca nel sito



cerca

- [**Appunti delle lezioni. Set 1 \(A.A. 2015-2016\), uploaded 08/03/2016**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 15/03/2016 09:51
Introduzione al corso, obiettivi formativi e modalità di esame. Richiami di geometria, algebra lineare e soluzione di equazioni differenziali lineari. Classificazione dei sistemi lineari, linearizzazione, sviluppo in serie di Taylor
- [**Appunti delle lezioni. Set 2 \(A.A. 2015 - 2016\), uploaded 23/03/2016**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 11/04/2016 15:41
Modellistica dei sistemi dinamici, esempi di sistemi meccanici, elettrici, elettronici, biomedici, biologici e loro equivalenza in termini di modellazione analitica. Trasformata di Laplace, Funzione di Trasferimento, algebra a blocchi, rappresentazione nello spazio di stato, derivazione delle equazioni di stato da equazioni differenziali. Esempi di sistemi dinamici. Soluzione delle equazioni di stato, diagrammi analogici, matrice di transizione e suo calcolo, coordinate modali e modi naturali. Esempi di rappresentazione nello spazio di stato.
- [**Appunti delle lezioni. Set 3 \(A.A. 2015-2016\), first upload 07/04/2016**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 06/04/2016 16:50
Proprietà strutturali. Stabilità interna ed esterna, definizioni per sistemi nonlineari e sistemi lineari. Teoria della stabilità di Lyapunov, funzione di Lyapunov, forme quadratiche, equazione di Lyapunov e sua soluzione. Raggiungibilità, controllabilità ed osservabilità per sistemi lineari tempo invarianti: definizioni, teoremi costitutivi, test PBH. Realizzazioni, decomposizione di Kalman, sistemi interconnessi e cancellazioni. Risposta nel tempo. Risposta a regime, tipo di sistema, influenza degli integratori. Risposta transitoria specifiche della risposta transitoria per sistemi del secondo ordine. Sistemi di ordine superiore, approssimazione a poli dominanti.
- [**Appunti delle lezioni. Set 4 \(A.A. 2015-2016\), first upload 21/04/2016**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 21/04/2016 17:45
Risposta in frequenza. Definizioni, rappresentazioni grafiche ed asintotiche, parametri di progetto, banda passante, risonanza, relazione con le specifiche nel dominio del tempo. Casi particolari (presenza di ritardo in anello, sistemi instabili, sistemi a fase non minima, malcondizionamento). Risposta in frequenza. Definizioni, calcolo, rappresentazioni grafiche (Bode, Polare, Nichols), diagrammi asintotici. Banda passante, calcolo dei parametri di risposta temporale dalla risposta in frequenza. Casi particolari: ritardo nel tempo, sistemi a sfasamento non minimo, sistemi instabili. Luogo delle Radici diretto e inverso. Regole di costruzione. Esempi numerici di analisi e sintesi. Criterio di Nyquist, definizioni e tracciamento. Stabilità relativa: criterio di Bode, incertezze di anello, margini di stabilità, sistemi mal condizionati, effetto del ritardo di anello, curve a M e N costante, esempi applicativi.
- [**Appunti delle lezioni. Set 5 \(A.A. 2015-2016\), first upload 18/05/2016**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 18/05/2016 13:42
Sintesi in frequenza. Loop shaping, limitazioni sulla sintesi in frequenza, teoremi di Bode, effetto waterbed e sistemi a fase non minima, importanza della funzione di sensitività. Controllori standard: controllori PID, regola di sintesi, tuning automatico, esempi industriali; filtri e reti correttive. Applicazione dei controllori standard mediante il luogo delle radici ed il criterio di Nyquist. Controllore ad anelli successivi. Assegnamento poli: sintesi in frequenza con l'equazione diofantina; retroazione dello stato, presenza di integratori, retroazione statica dell'uscita, osservatore di Luenberger pieno e di ordine ridotto, funzione di trasferimento del compensatore dinamico. Luogo delle radici simmetrico, scelta della matrice di retroazione in base alla diseguaglianza di Kalman per sistemi SISO, margini di stabilità garantiti dalla diseguaglianza di Kalman.
- [**Esempi e Tutoriali**](#) — creato da [admin](#) — ultima modifica 17/05/2010 12:02
Il file contiene esempi ed articoli tutoriali sulle problematiche generali dei sistemi e del controllo, incluso alcuni aspetti storici.
- [**Appunti di Teoria dei Sistemi, Darren Dawson Clemson University, USA**](#) — creato da [admin](#) — ultima modifica 05/03/2014 10:16
Note dal corso "Linear State Space Systems" del Prof. D. Darren, Clemson University, Clemson, South Carolina
- [**Appunti di Fondamenti di Automatica, Massimo Canale \(POLITO\)**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 26/02/2013 10:21
Appunti delle lezioni relative al primo corso di Fondamenti di Automatica, presso il Politecnico di Torino (Teoria dei Sistemi)
- [**Controlli Automatici, Andrew Lewis, Queen's University, Ontario, Canada**](#) — creato da [admin](#) — ultima modifica 26/02/2013 10:29
Testo del Prof. Andrew Lewis, Dipartimento di Matematica e Statistica, Queen's University, Kingston Ontario, Canada
- [**Controlli Automatici, Richard Murray, CalTech, USA**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 26/02/2013 10:29
- [**Matlab Files**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 02/05/2011 18:26
Matlab files per tracciamento diagrammi di Bode (sistemi stabili) e del luogo delle radici
- [**Richard Murray \(CalTech\) Web Page**](#) — creato da [admin](#) — ultima modifica 26/02/2013 10:13
- [**UMich. Control Tutorial**](#) — creato da [admin](#) — ultima modifica 19/03/2013 09:46
Software web based per esercitazioni (richiede conoscenza di Matlab)
- [**WIKI CONTROL SYSTEMS**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 05/03/2014 10:19
Materiale di controlli da WIKI
- [**Esercizi svolti del Prof. Lanari**](#) — creato da [Mario Innocenti](#) — ultima modifica 05/03/2014 10:21



Informazioni sulla Verifica



- L'iscrizione all'esame avviene per via elettronica ([esami.unipi](#)).
- A causa dell'elevato numero di studenti, lo spostamento dell'esame a data diversa da quella stabilita nell'appello non è consentito (eccetto emergenze documentate e di natura medica).
- Gli appelli straordinari vengono offerti secondo le modalità definite dalla Scuola di Ingegneria
- L'esame prevede una prova orale che comprende anche la soluzione di esercizi numerici. La valutazione dell'esame è fatta in base alla verifica delle conoscenze acquisite, alle capacità di sintesi e della presentazione orale del materiale.
- L'esame viene verbalizzato indipendentemente dall'esito e deve essere sostenuto dopo aver superato gli esami relativi ai prerequisiti.
- Esercizi addizionali a quelli presentati a lezione disponibili in rete su siti italiani e stranieri.
- Lo studente è responsabile per l'intero programma del corso e per gli argomenti propedeutici necessari alla comprensione del programma del corso stesso.
- La frequenza alle lezioni non è obbligatoria, ma fortemente suggerita. Le lezioni frontali costituiscono una parte fondamentale nel percorso formativo, oltre a permettere allo studente di avere chiarimenti sui concetti presentati. Il docente si assume la responsabilità di verificare periodicamente il numero di studenti a lezione a fini puramente statistici come richiesto dal Consiglio di Corso di Studio.



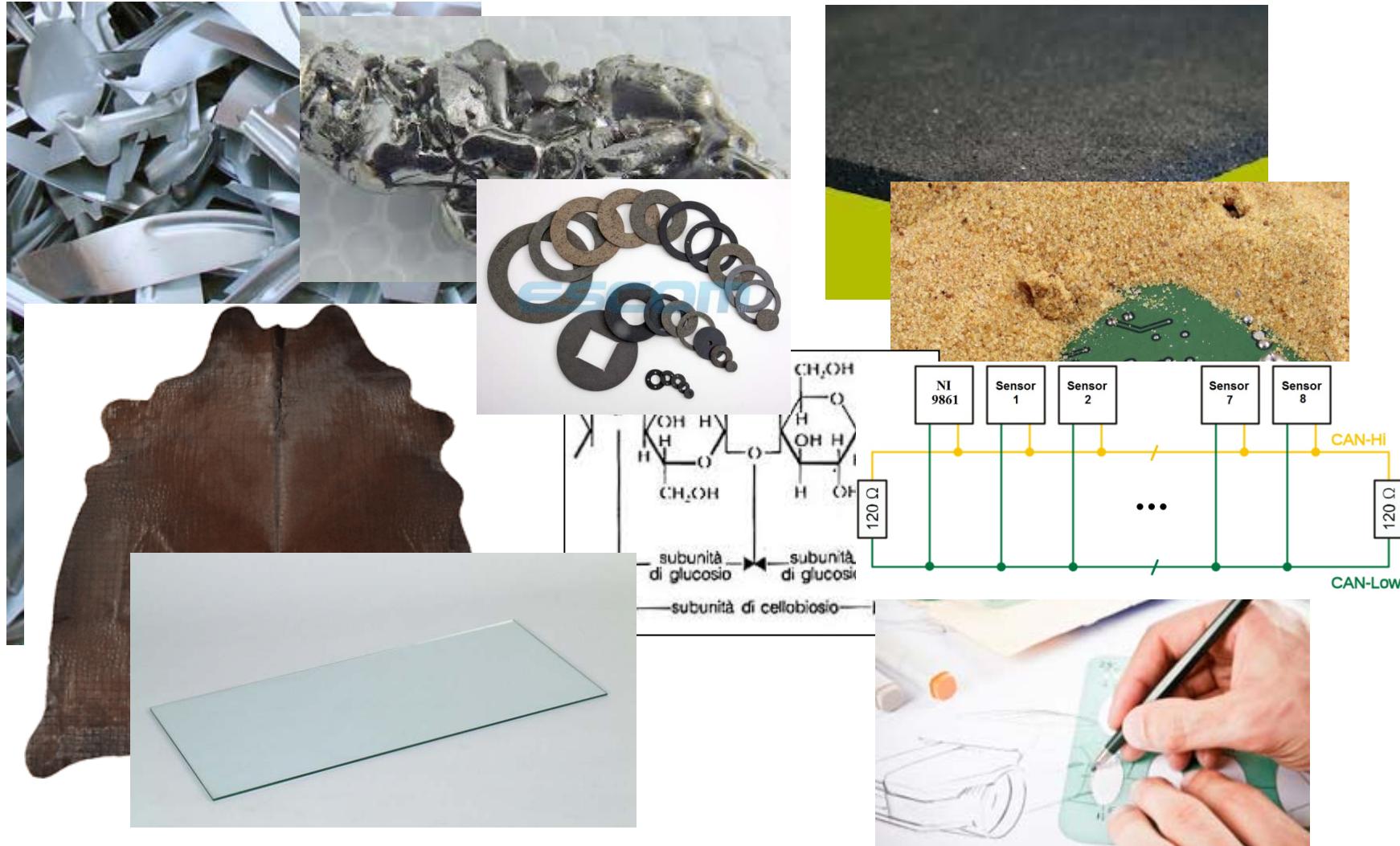
Concetti Principali



- **Concetti Base:** Il corso si basa sulla integrazione di 3 componenti fondamentali comuni in particolare all'ingegneria dell'automazione, ma riscontrabili in larga misura nelle altre aree dell'ingegneria, in fenomeni naturali, in macchine ed elementi artificiali e nel comportamento stesso di specie viventi ivi compresa quella umana (... a volte...).
 - **Sistema/Impianto:** L'oggetto di interesse. Macchinario, fenomeno naturale i quali sono descritti matematicamente con un'approssimazione tale da poter ricavarne gli elementi causali essenziali (Modellistica, Teoria dei Sistemi), producendo un **MODELLO** operativo.
 - **Controllo:** “Un controllore misura il comportamento di un sistema, lo paragona a valori desiderati, calcola eventuali azioni correttive basandosi su specifiche della risposta del sistema a ingressi esterni e forza il sistema a variare il proprio funzionamento nel modo desiderato”. (Controlli Automatici)
 - **Informazione/Implementazione:** Elementi che permettono al controllore di conoscere l'evoluzione del sistema e di intervenire con interfaccia e potenza appropriate (sensori, attuatori).
- **Struttura più comune di intervento di controllo**
 - **Feedback/Retroazione:**
 - Feedback è una procedura essenziale nei sistemi biologici, fisici, naturali ed artificiali. Il processo di retroazione gestisce come si cresce, come si risponde allo stress ed alle difficoltà e regola fattori quali la temperatura corporea, la pressione sanguigna, il livello di colesterolo. I meccanismi di feedback operano a tutti i livelli, dall'interazione delle proteine nelle cellule, ai macrosistemi ambientali complessi.
 - Feedback è una procedura fondamentale tutte le volte che macchinari, processi industriali, sistemi informatici complessi e distribuiti devono operare mantenendo dei requisiti di precisione, caratteristiche operative e stato nominale i quali possono variare a causa di fattori esterni, guasti, variazioni ambientali, ecc.



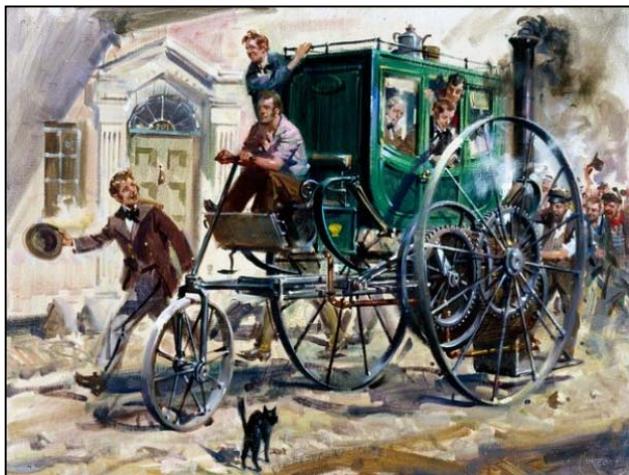
Motivazione (Esempio)





Motivazione (Esempio)

Prima..



Adesso

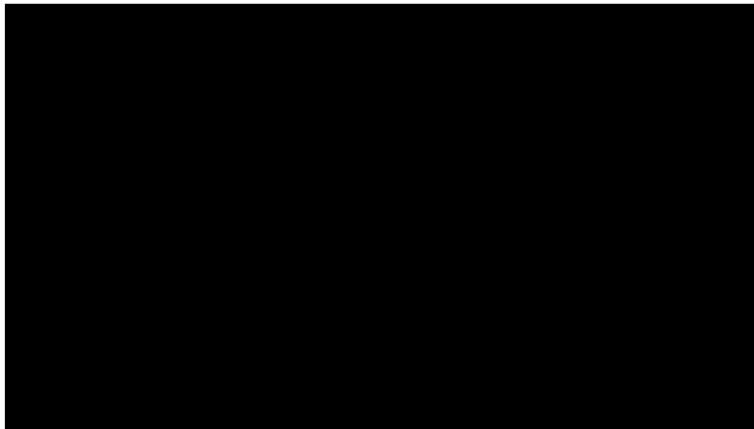


- **Fisica:** principi fondamentali di statica, dinamica, elettromagnetismo, ottica,...
- **Chimica:** combustione, proprietà materiali gassosi, liquidi, iniezione, calore,...
- **Ingegneria Meccanica:** materiali (carbonio, gomma, acciaio, titanio,...), motore, differenziale, cambio, ruote dentate, ammortizzatori, pompe,...
- **Ingegneria Aeronautica:** aerodinamica, fluidodinamica, effetto suolo,...
- **Ingegneria dell'Informazione:** schede, centraline di comando, processori, codifica, trasmissione segnali, acquisizione informazioni sullo stato, interfaccia uomo – macchina,...
- **Ingegneria Gestionale:** produzione, indagine di mercato, marketing, vendita, rapporto con l'utenza,...
- **Ingegneria Biomedica:** preparazione psico – fisica del pilota, training
- **Amministrazione:** regolamentazione componenti, soddisfacimento requisiti di emissione, qualifica conducente, ...



Motivazione (Esempio)

□ Domanda: **dove e come** interveniamo come esperti di Automatica?



Nuovo Incidente per la Google Car

Furgone passa col rosso e colpisce la fiancata destra dell'auto

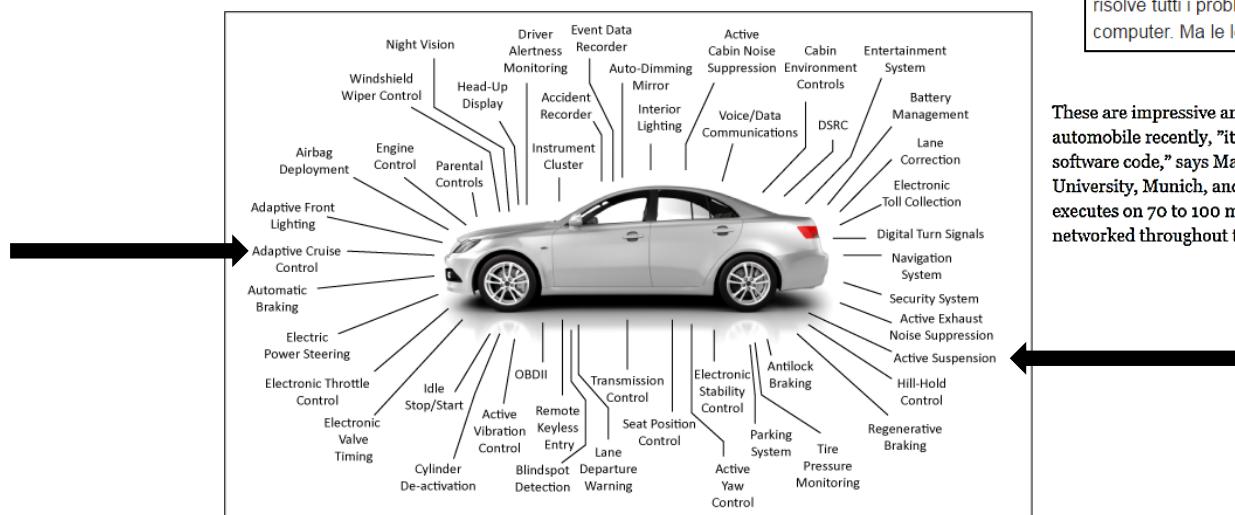


VisLab, start-up italiana comprata da
azienda Usa per 30 milioni di dollari

Vi aspettate resistenze?

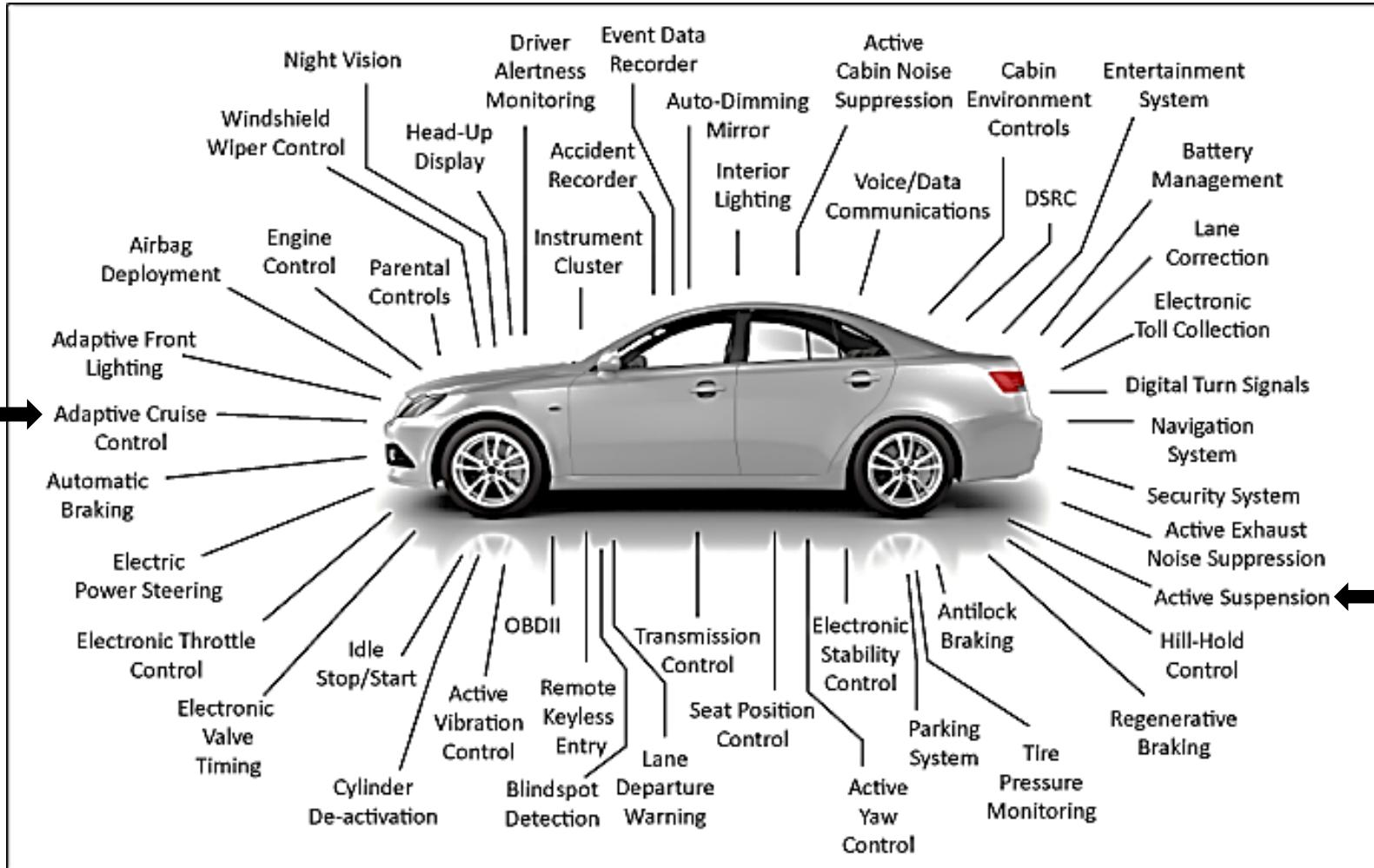
"Mi sembra che le persone si dividano in due gruppi. Quelli che non si fidano, e quelli convinti della totale sicurezza della tecnologia. Questi secondi sono anche più pericolosi, pensano che la guida autonoma sia una magia che risolve tutti i problemi, grazie alla velocità e alla precisione di calcolo dei computer. Ma le leggi della fisica vanno comunque rispettate".

These are impressive amounts of software, yet if you bought a premium-class automobile recently, "it probably contains close to 100 million lines of software code," says Manfred Broy, a professor of informatics at Technical University, Munich, and a leading expert on software in cars. All that software executes on 70 to 100 microprocessor-based electronic control units (ECUs) networked throughout the body of your car.





These are impressive amounts of software, yet if you bought a premium-class automobile recently, "it probably contains close to 100 million lines of software code," says Manfred Broy, a professor of informatics at Technical University, Munich, and a leading expert on software in cars. All that software executes on 70 to 100 microprocessor-based electronic control units (ECUs) networked throughout the body of your car.





Cruise Control - Automotive

OBIETTIVO 1:

Mantenere una velocità costante in presenza di variazioni della pendenza stradale
(STABILITA', EQUILIBRIO)



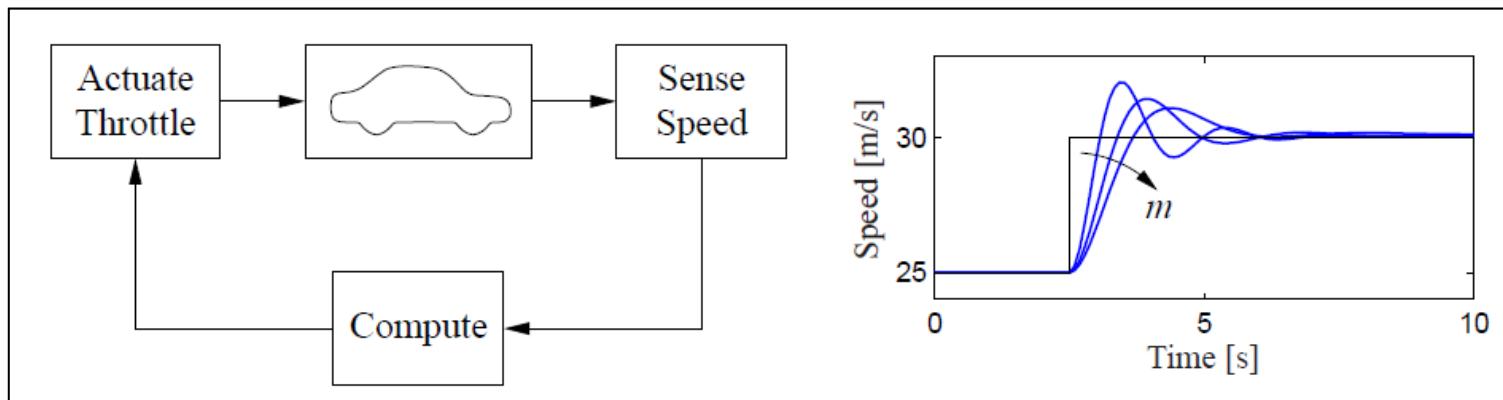
- Informazioni sulla velocità ad ogni istante, informazioni sulla velocità desiderata e, se possibile, informazioni sulla pendenza della strada
- Tempo necessario al recupero della velocità desiderata, come la velocità varia prima di tornare al valore desiderato
- Azionamento dell'acceleratore, ovvero gestione del numero di giri del motore per annullare la variazione di velocità (accelerazione e/o decelerazione)



Cruise Control - Automotive

OBIETTIVO 2:

Variazione di velocità (**INSEGUIMENTO DI UN COMANDO, TRACKING, PUNTO OPERATIVO**)

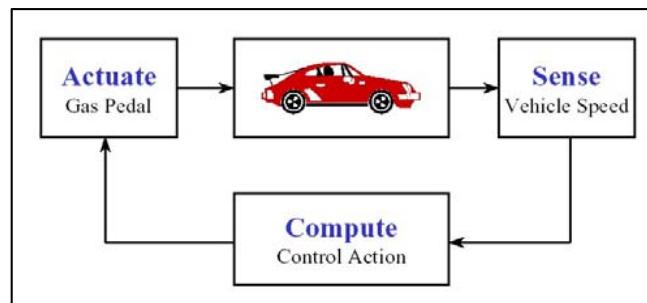


- Informazioni sulla velocità ad ogni istante, informazioni sulla velocità desiderata
- Tempo necessario per raggiungere la velocità desiderata, andamento della velocità nel transitorio (presenza o meno di oscillazioni)
- Azionamento dell'acceleratore, ovvero gestione del numero di giri del motore per fornire la necessaria accelerazione o decelerazione

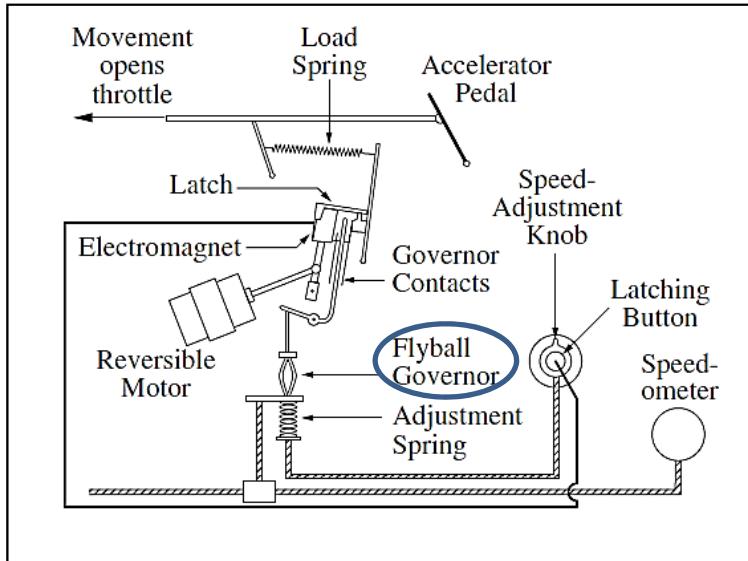


Cruise Control - Automotive

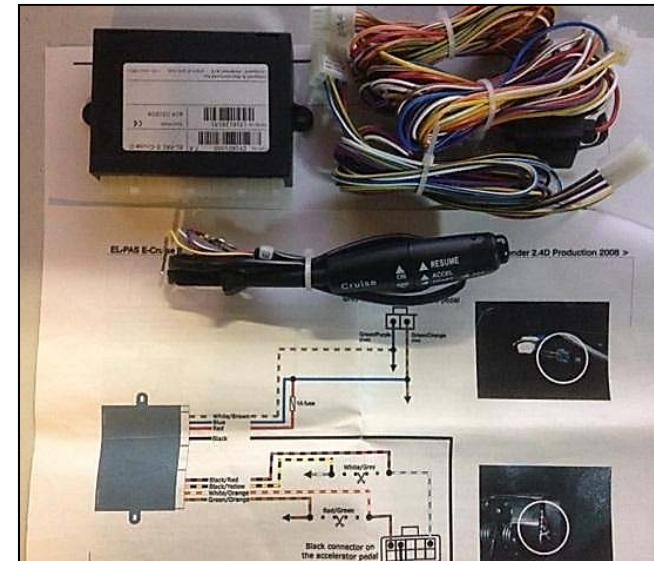
- Una volta **misurata** la velocità, **introdotto** il valore della velocità desiderata, si può azionare il meccanismo che serve ad **attuare** la **decisione** di come deve variare la velocità dal valore corrente al valore desiderato.



Chrysler – 1958 (FIAT ?..)



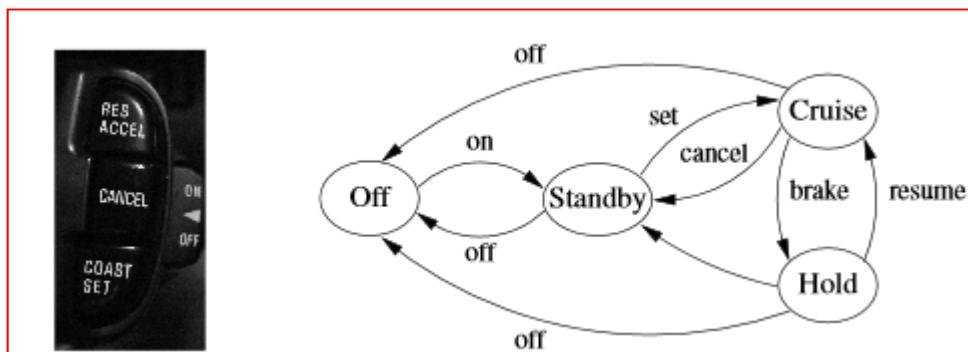
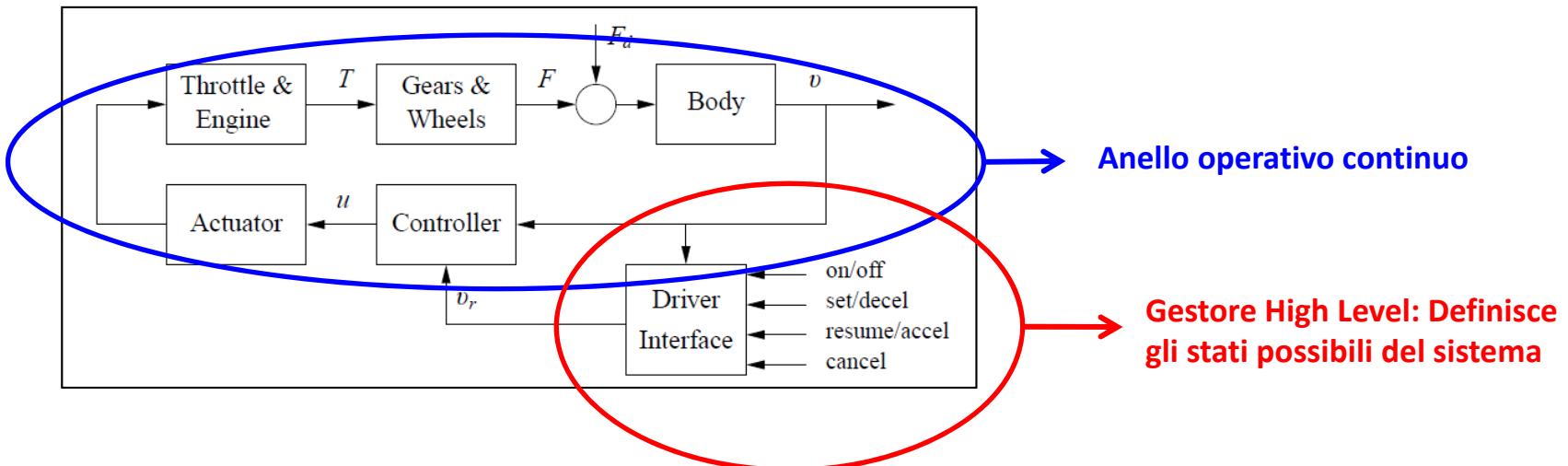
2016 - Online





Cruise Control - Automotive

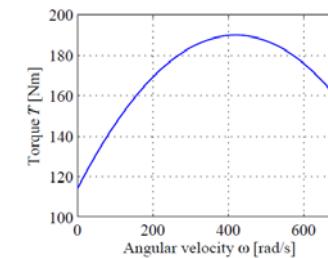
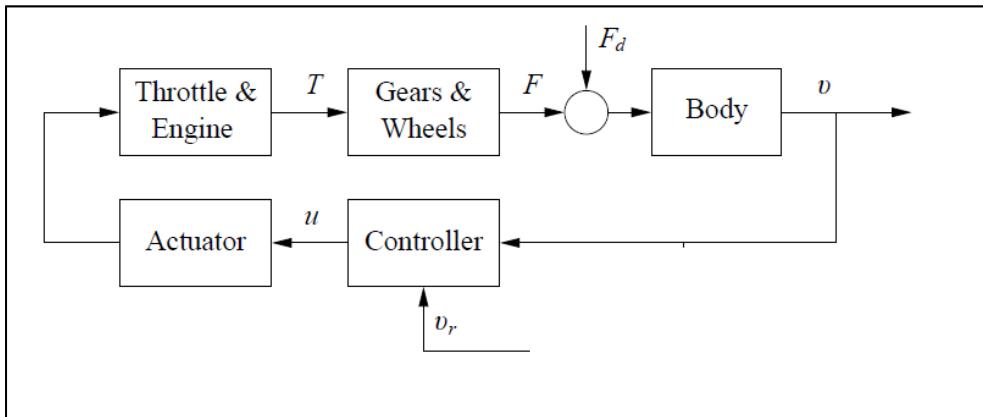
- Impostazione matematica del problema (tratto dal testo di Murray):



- Computational Intelligence
- Ricerca Operativa
- Teoria dei Grafi



Cruise Control - Automotive



1. Moto del veicolo

$$m \frac{dv}{dt} = F - F_d \quad \text{Forza motore} - \text{Somma Forze Disturbo (Gravità, attrito, Resistenza Aer.)}$$

2. Coppia motrice e forza motore

$$T(\omega) = T_m \left(1 - \beta \left(\frac{\omega}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right)$$

$T(\omega)$ Coppia motrice [T_m coppia max.]. T è funzione del sistema di iniezione, controllata dall'acceleratore ($0 < u < 1$) e dalla velocità angolare dell'albero motore ω .

$$\omega = \frac{n}{r} v =: \alpha_n v; (\alpha_i = 1, 2, 3, 4, \dots)$$

Velocità angolare motore funzione del rapporto di trasmissione e velocità tangenziale

$$F = \alpha_n u T(\alpha_n v)$$



Cruise Control - Automotive



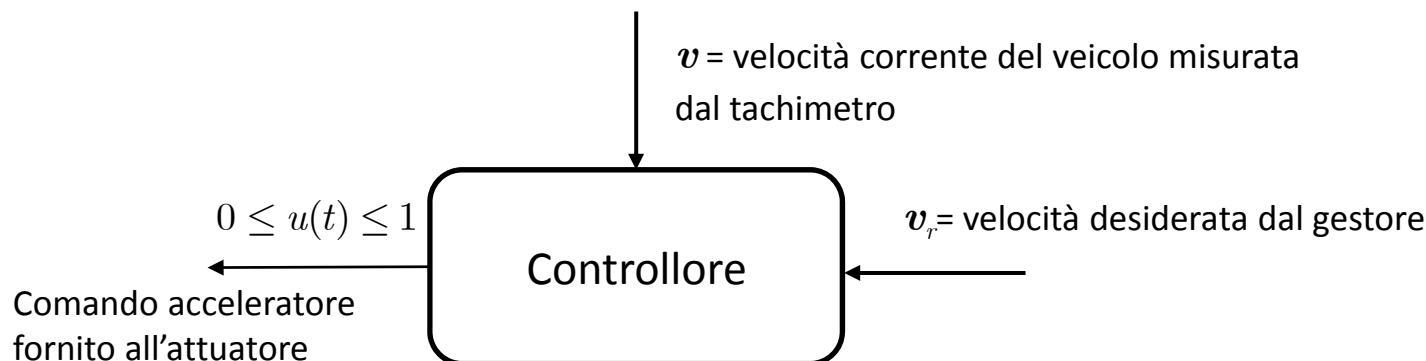
3. Forze di disturbo

$$F_d = mgC_r \operatorname{sgn}(v) + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 + mg \sin \theta$$

Forza di attrito, resistenza aerodinamica, gravità funzione della pendenza della strada

4. Sommario

$$m \frac{dv}{dt} = \alpha_n u T(\alpha_n v) - mgC_r \operatorname{sgn}(v) - \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 - mg \sin \theta$$





≈ 900 USD

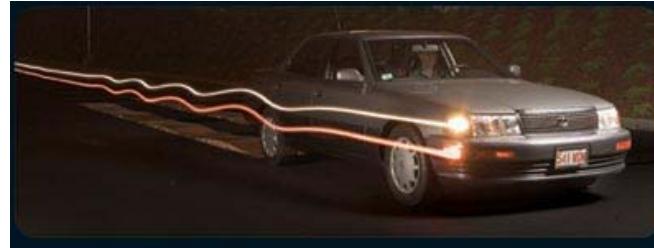




Controllo Attivo delle Sospensioni - Automotive

OBIETTIVO

Capacità di mantenere costante il livello del veicolo rispetto alla strada in maniera soddisfacente, fornendo comfort anche nell'affrontare imperfezioni nel manto stradale.



(REIEZIONE)

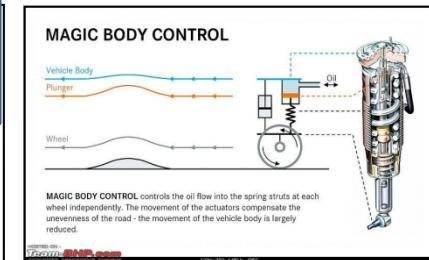
Quando si sconnesse la sospensione non dovrebbero esserci grandi cambiamenti dovrebbe tornare rapidamente.



≈ 900 USD



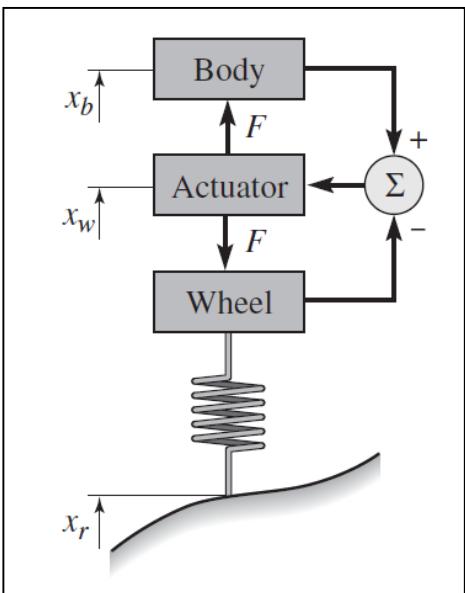
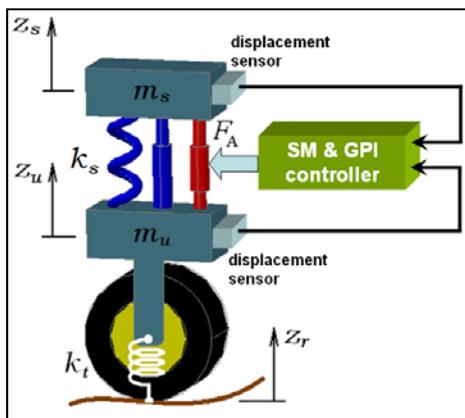
(STABILITÀ'): Teoricamente, il passeggero non dovrebbe essere soggetto ad alcun movimento verticale né rotatorio.





Controllo Attivo delle Sospensioni - Automotive

- Impostazione matematica del problema: Modello standard usato prende il nome di Quarter Car Model



- L'attuatore attivo addizionale esercita una forza F tra la ruota ed il corpo (1/4) della vettura in base alla distanza relativa tra corpo della vettura e centroide della ruota.

1. Movimento lineare (Legge di Newton)

$$\begin{cases} m_b \ddot{x}_b = F \\ m_w \ddot{x}_w = -F + k_t(x_r - x_w) \end{cases}$$

m_w = massa effettiva della ruota (incluso sospensione, freni, ecc.)

k_t = rigidezza pneumatico

$x_r(t)$ = disturbo dovuto al manto stradale

2. Forza totale di smorzamento (componente passiva lineare)

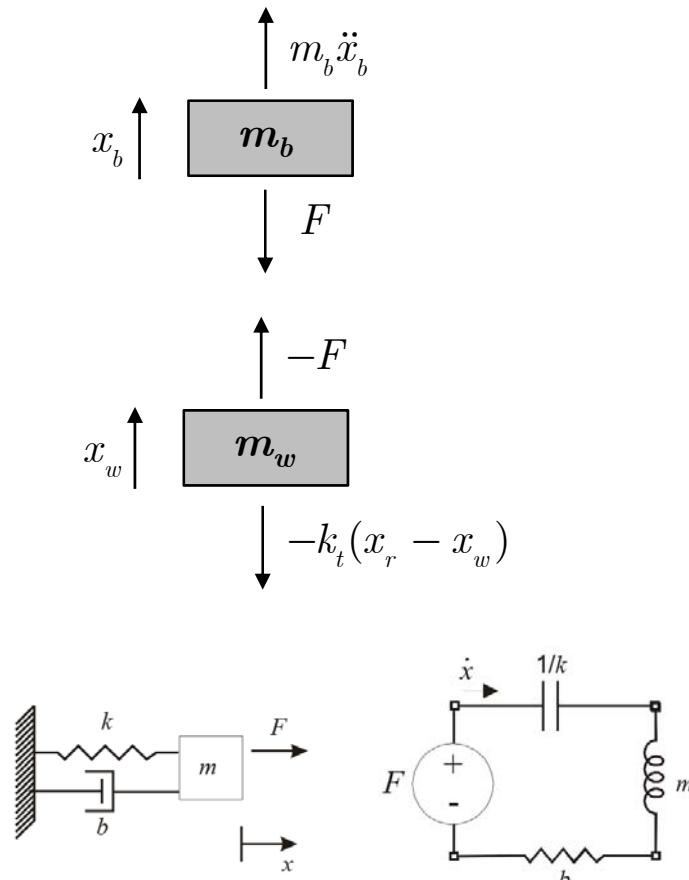
$$F = \mathbf{F}_P + \mathbf{F}_A$$

$$\mathbf{F}_P = k(x_w - x_b) + c(\dot{x}_w - \dot{x}_b)$$



Controllo Attivo delle Sospensioni - Automotive

3. Diagramma corpo libero



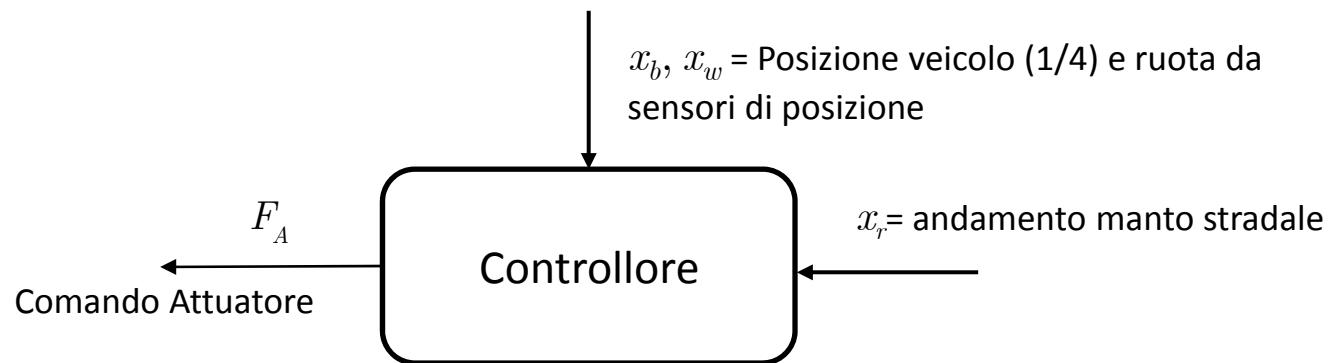
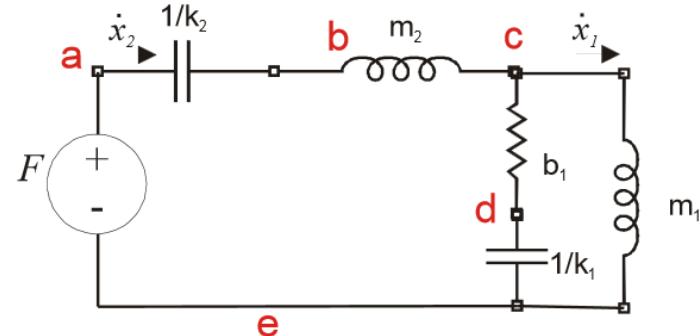
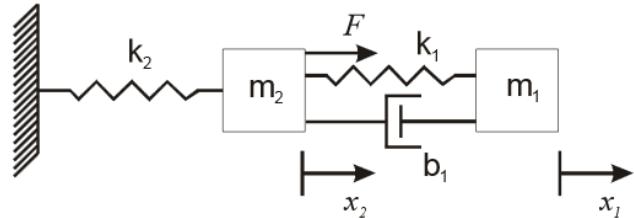
Key Concept: Analogous Quantities

Electrical Quantity	Mechanical Analog I (Force-Current)	Mechanical Analog II (Force Voltage)
Voltage, e	Velocity, v	Force, f
Current, i	Force, f	Velocity, v
Resistance, R	Lubricity, 1/B (Inverse friction)	Friction, B
Capacitance, C	Mass, M	Compliance, 1/K (Inverse spring constant)
Inductance, L	Compliance, 1/K (Inverse spring constant)	Mass, M
Transformer, N1:N2	Lever, L1:L2	Lever, L1:L2

Electrical Equation	Mech. Analogy I	Mech. Analogy II
$e = iR$	$v = \frac{f}{B}, B = \frac{1}{R}$	$f = vB, B = \frac{1}{R}$
$e = L \frac{di}{dt}$ $i = \frac{1}{L} \int e \cdot dt$	$v = \frac{1}{K} \frac{df}{dt}, K = \frac{1}{L}$ $f = K \int v \cdot dt = Kx$	$v = \frac{1}{M} \int f \cdot dt$ $f = M \frac{dv}{dt} = M \frac{d^2x}{dt^2}$
$e = \frac{1}{C} \int i \cdot dt$ $i = C \frac{de}{dt}$	$v = \frac{1}{M} \int f \cdot dt, M = C$ $f = M \frac{dv}{dt}$	$f = K \int v \cdot dt = Kx$ $v = \frac{1}{K} \frac{df}{dt}$



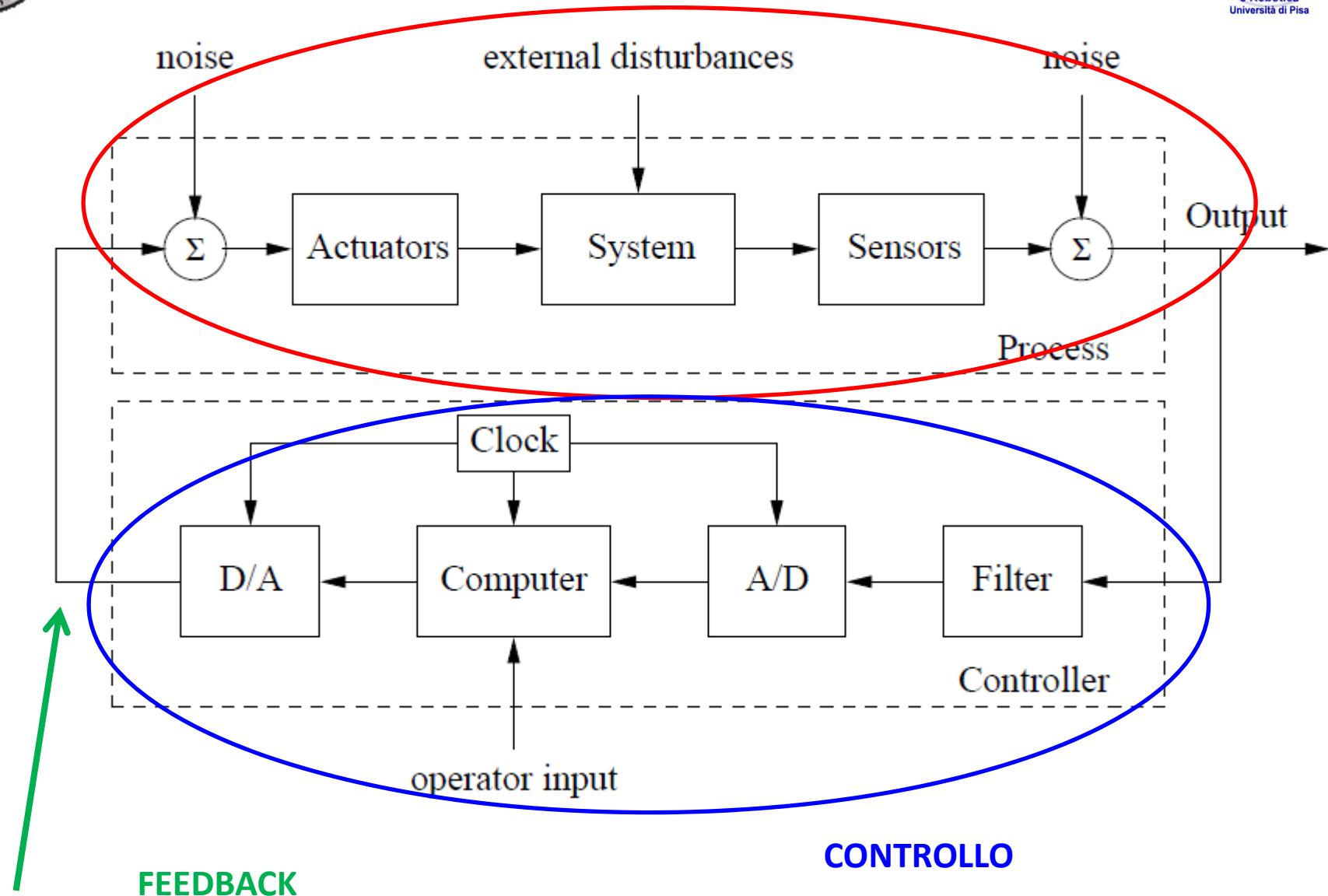
Controllo Attivo delle Sospensioni - Automotive





SISTEMA

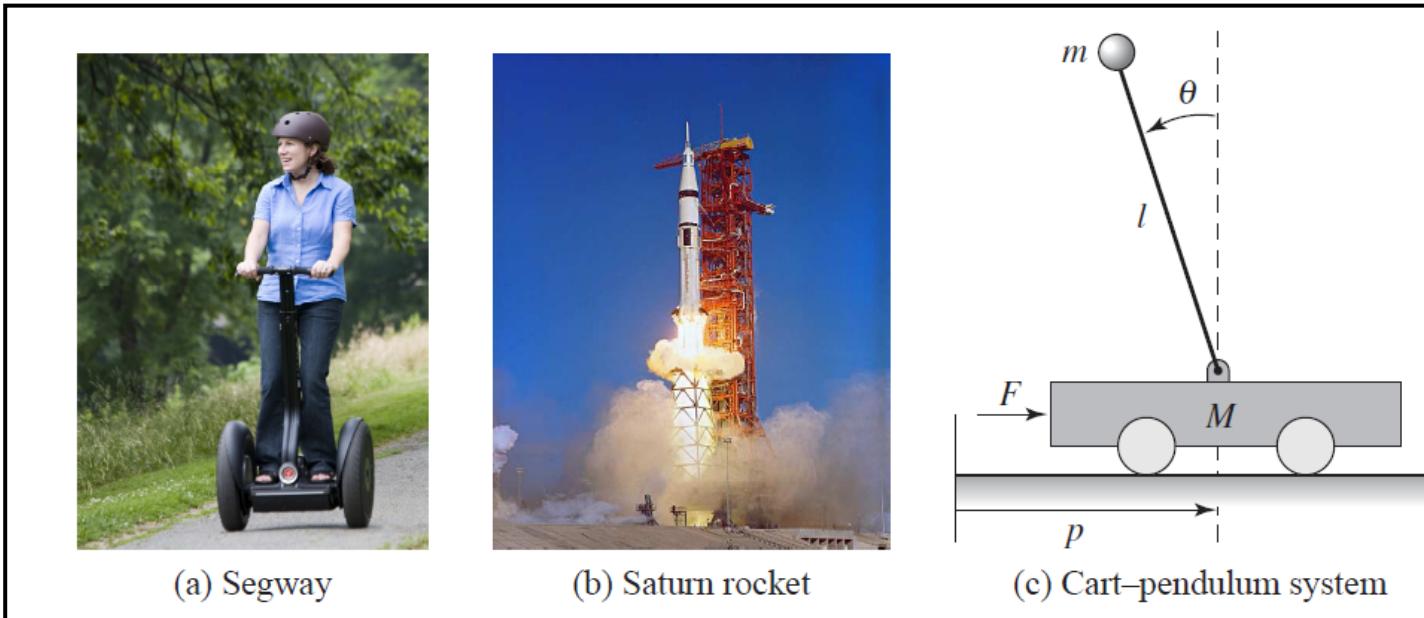
Concetti Principali





Esempi

□ Controllo del Pendolo Inverso Obiettivo: Stabilità-Equilibrio



$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + K(q) = B(q)u,$$

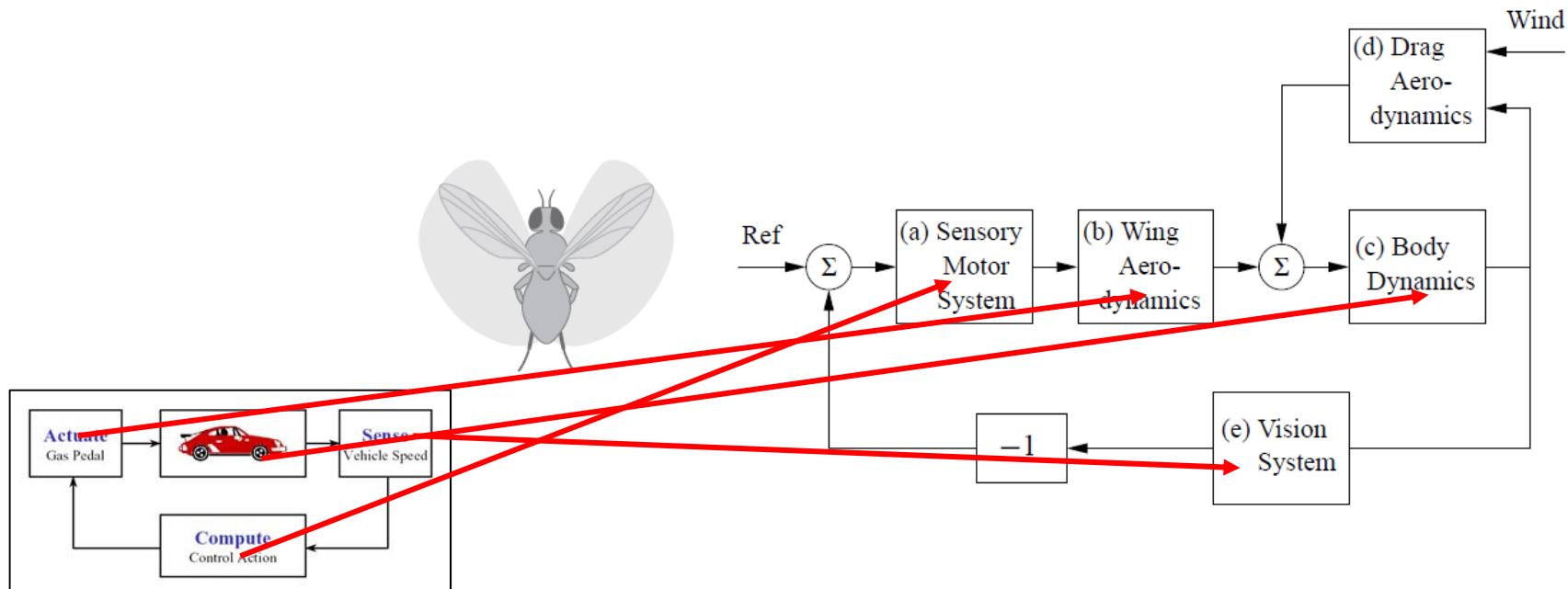
q = vettore di variabili che definiscono il moto in funzione del tempo

$$\begin{bmatrix} (M+m) & -ml \cos \theta \\ -ml \cos \theta & (J+ml^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{p} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c\dot{p} + ml \sin \theta \dot{\theta}^2 \\ \gamma \dot{\theta} - mgl \sin \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix}$$



Esempi

- Diagramma Sistemico del controllo di volo di un insetto

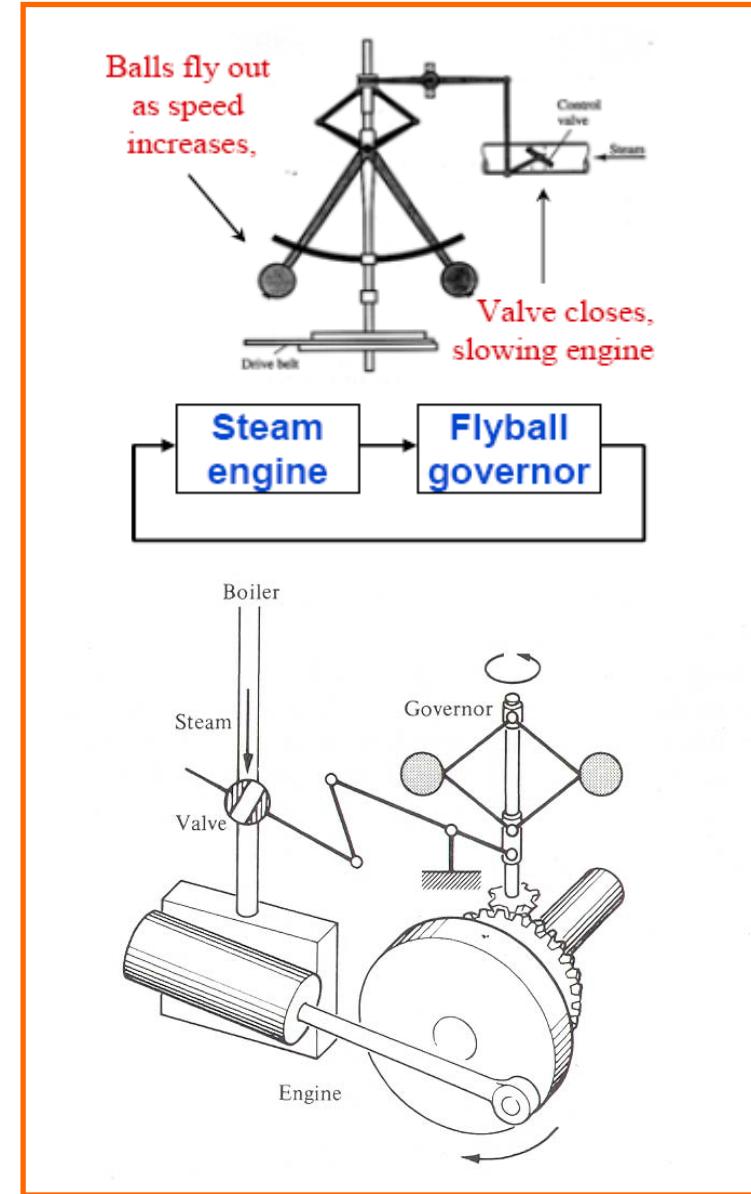


- La mosca usa una tecnica chiamata «Flusso Ottico» per il feedback di navigazione
- Il centraggio del campo visuale è ottenuto mediante l'attuazione motoria delle ali attraverso i muscoli
- Il sistema motorio è governato da un insieme connesso di circa 500.000 neuroni per il processo delle informazioni



Cenni Storici

- Esempi di “controllo” si possono trovare presso i Greci ed i Romani
 - Lampade ad olio
 - Livello regolatori ad acqua
 - Orologi ad acqua
 - Apertura porte con contrappesi
 - ...
- Rivoluzione Industriale 1769, Regolatore di Watt (Regolatore di Portata di Vapore)
 - Sistema meccanico di regolazione di un motore a vapore
 - Quando la velocità aumenta, le sfere si spostano verso l'alto, chiudendo la valvola che porta il vapore dal boiler al pistone

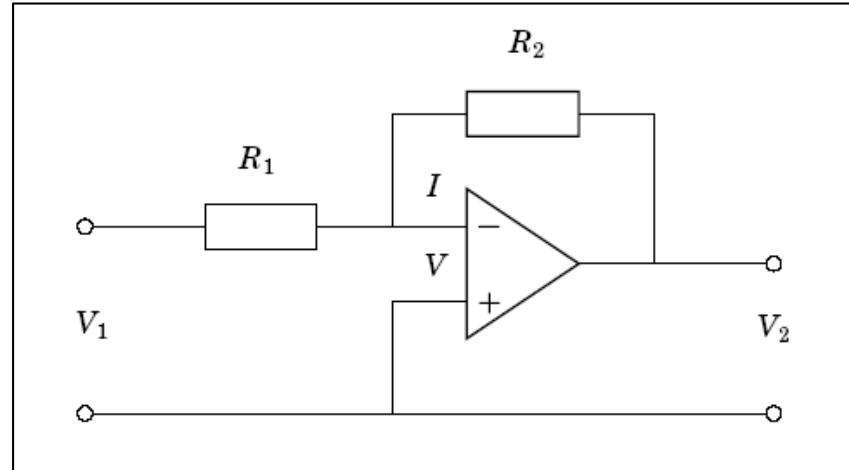




Cenni Storici

- **Amplificatore a retroazione negativa (1927 Black) (reiezione del disturbo)**

- Amplificazione per compensare l'attenuazione nelle linee telefoniche
- Riduzione di rumore e disturbi associati con la necessaria amplificazione del segnale
- Assumendo $I \sim 0$, vale la legge di Ohm e la corrente tra le resistenze è la stessa.
- Definendo il guadagno G (10^5 - 10^8), il rapporto di tensione vale V_2/V_1 ed è funzione essenzialmente delle resistenze R_1 ed R_2 .



$$\frac{V_1 - V}{R_1} = \frac{V - V_2}{R_2}$$

$$V_2 = -GV$$

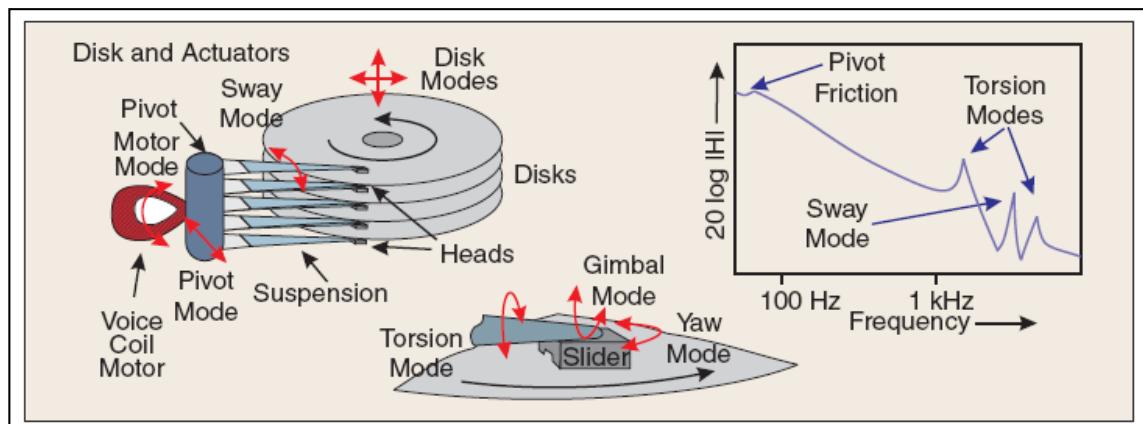
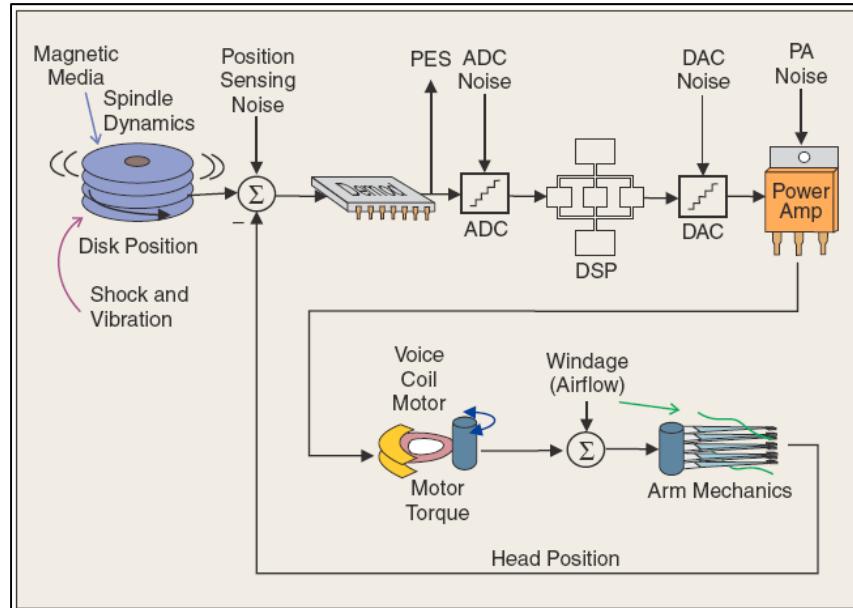
$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{G}(1 + \frac{R_2}{R_1})} \approx -\frac{R_2}{R_1}$$



Cenni Storici

- **1950 Controllo di un Disk Drive (precisione e reiezione del disturbo)**

- La posizione della testina rispetto alla traccia è letta direttamente dal disco.
- Mediante la tecnica di “Data sectoring” i dati e la posizione sono disposti spazialmente e poi convertiti in sequenza temporale in lettura.
- La posizione della testina è un segnale modulato nel dominio magnetico ed in seguito inserita nella legge di controllo.
- **La legge di controllo provvede a far inseguire la traccia e a muovere la testina da una traccia all'altra.**
- I problemi riguardano I disturbi causati da:
 - **moto della puntina,**
 - **l'aria sul disco,**
 - **il rumore di misura dell'errore,**
 - **I colpi,**
 - **Le vibrazioni**

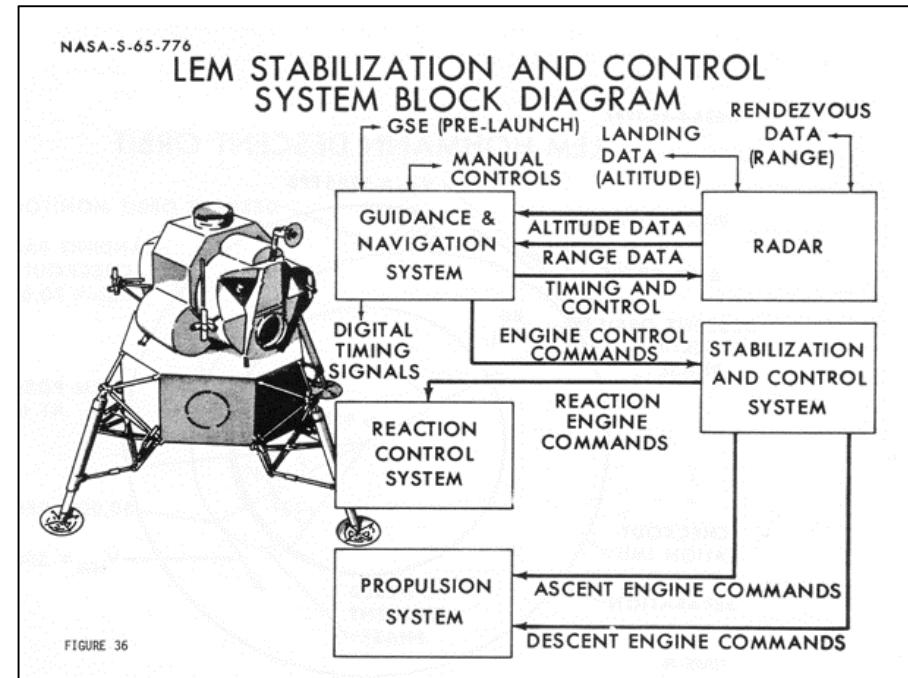
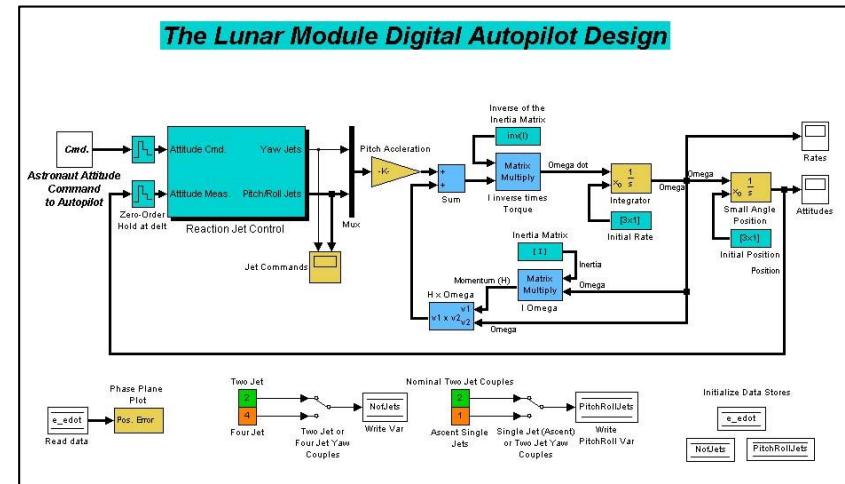
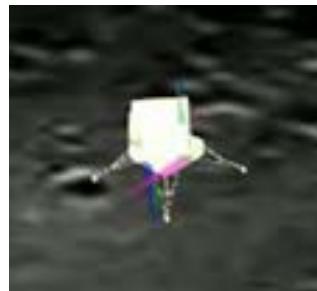
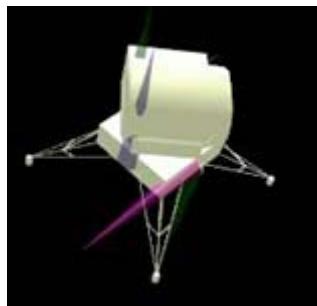




Cenni Storici

- 1969, Lunar Excursion Module (Precisione, inseguimento di traiettoria)

- Una delle molte applicazioni in campo aerospaziale

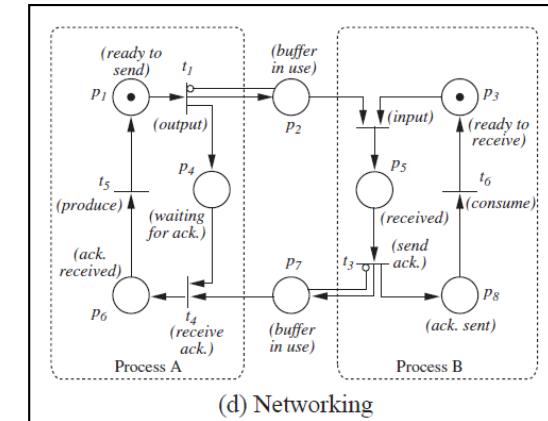
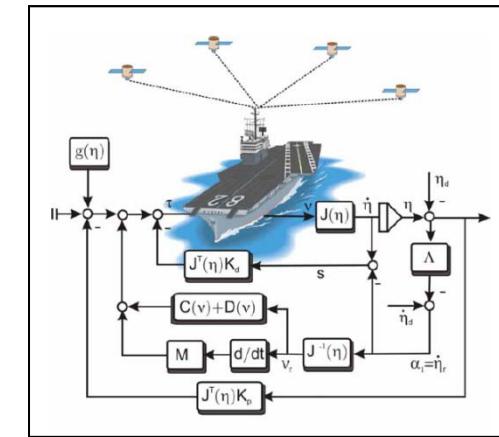




Applicazioni

□ Aerospace, Sistemi di Trasporto, Comunicazioni ed Energia

.. Aerospace and transportation encompasses a collection of critically important application areas where control is a key enabling technology. These application areas represent a significant part of the modern world's overall technological capability..



(d) Networking



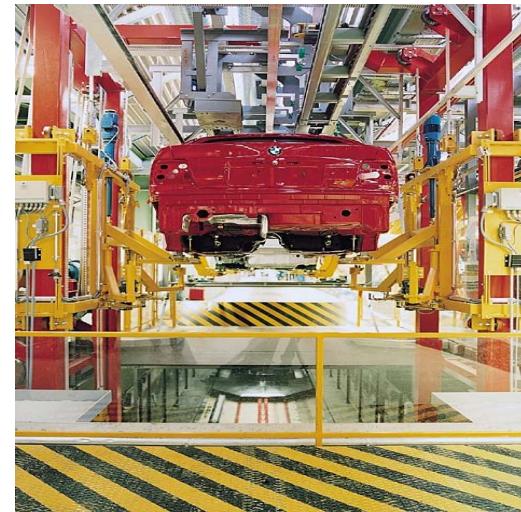
Applicazioni



□ Robotica

..Robotics and intelligent machines refer to a collection of applications involving the development of machines with humanlike behavior. Future applications will involve both increased autonomy and increased interaction with humans and with society.

Control is a central element in all of these applications and will be even more important as the next generation of intelligent machines is developed..

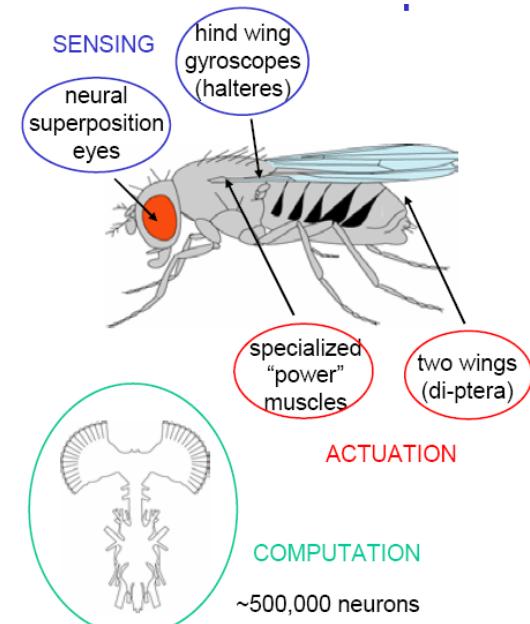
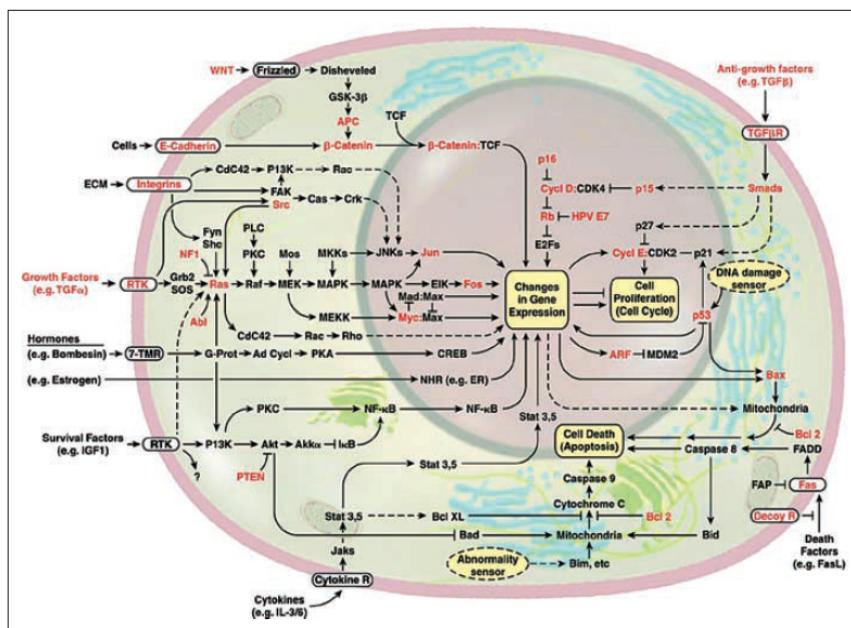




Applicazioni

□ Medicina, Biologia

..A major theme is the science of reverse (and eventually forward) engineering of biological control networks. A wide variety of biological phenomena provide a rich source of examples for control, including gene regulation and signal transduction; hormonal, immunological, and cardiovascular feedback mechanisms; muscular control and locomotion; active sensing, vision, and proprioception; attention and consciousness; and population dynamics and epidemics..



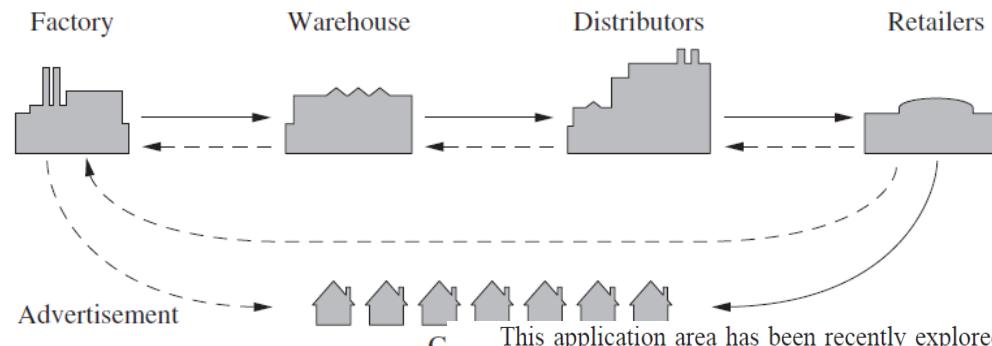


Applicazioni

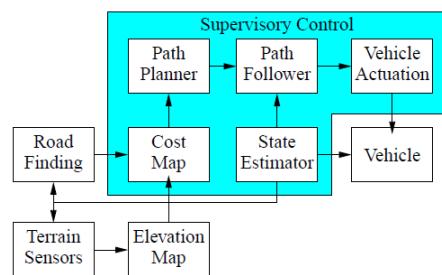


□ Automazione Industriale

Tipica struttura di una filiera Domanda – Offerta (tecniche di controllo basate su metodi di Ricerca Operativa)



A major trend in the use of feedback is its application in decision making (<http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>)

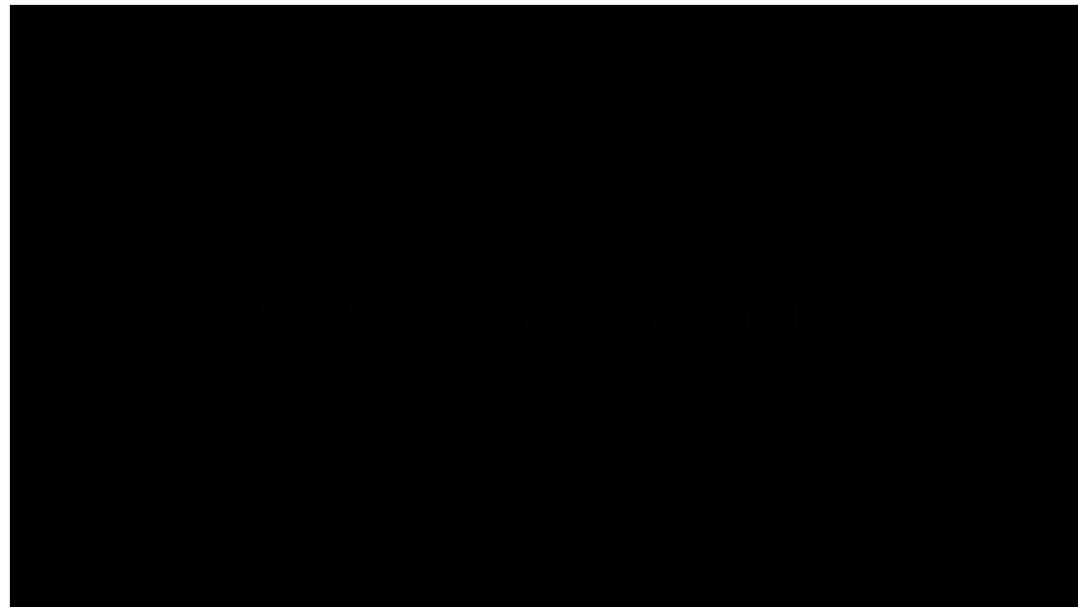
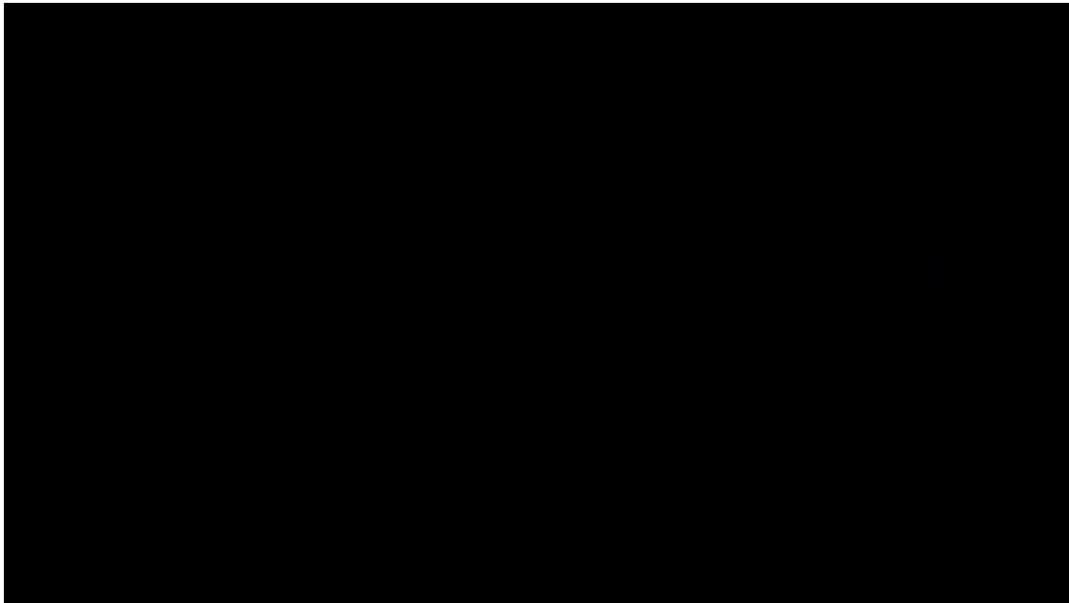


C This application area has been recently explored through the DARPA Grand Challenge, a series of competitions sponsored by the U.S. government to build vehicles that can autonomously drive themselves in desert and urban environments. Caltech competed in the 2005 and 2007 Grand Challenges using a modified Ford E-350 offroad van nicknamed "Alice." It was fully automated, including electronically controlled steering, throttle, brakes, transmission and ignition. Its sensing systems included multiple video cameras scanning at 10–30 Hz, several laser ranging units scanning at 10 Hz and an inertial navigation package capable of providing position and orientation estimates at 5 ms temporal resolution. Computational resources included 12 high-speed servers connected together through a 1-Gb/s Ethernet switch. The vehicle is shown in Figure 1.15, along with a block diagram of its control architecture.

The software and hardware infrastructure that was developed enabled the vehicle to traverse long distances at substantial speeds. In testing, Alice drove itself more than 500 km in the Mojave Desert of California, with the ability to follow dirt roads and trails (if present) and avoid obstacles along the path. Speeds of more than 50 km/h were obtained in the fully autonomous mode. Substantial tuning of the algorithms was done during desert testing, in part because of the lack of systems-level design tools for systems of this level of complexity.

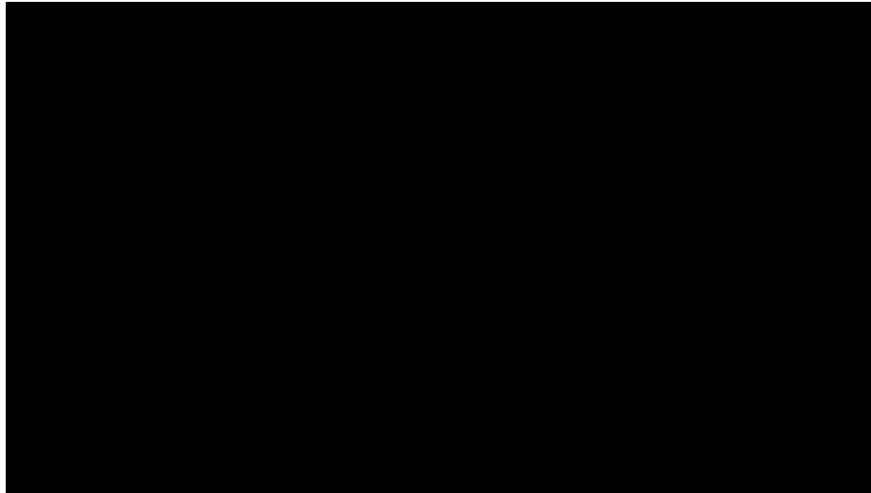


Applicazioni





Applicazioni



[Brian Douglas Introduction Lecture](#)





Cosa è la Teoria del Controllo?

- L'insieme di principi e metodi usati per il progetto di sistemi d'ingegneria che mantengano prestazioni desiderate e che si adattino automaticamente al variare dell'ambiente in cui operano ed alla presenza di guasti o perdite parziali di operatività



Programma del Corso



- **Descrizione di massima del Programma**

- L'attività frontale prevede l'approfondimento della maggior parte degli argomenti del programma del corso ed indica i riferimenti necessari per lo studio complementare autonomo. Le lezioni e le esercitazioni sono integrate.
 - **Richiami:**
 - Richiami di geometria, algebra lineare, algebra delle matrici, numeri complessi ed equazioni differenziali lineari.
 - **Introduzione ai sistemi dinamici:**
 - Modelli di sistemi dinamici tempo-continui. Descrizioni ingresso/uscita, operatore di ritardo e di integrazione. Calcolo operazionale: la trasformata di Laplace. Metodi di anti-trasformazione. Funzione di Trasferimento, algebra a blocchi, sistemi in retroazione. Rappresentazione ingresso/stato/uscita, rappresentazione in variabili di stato e loro soluzione.
 - **Proprietà strutturali, risposta temporale ed armonica:**
 - Sistemi composti. Controllabilità e osservabilità. Forme canoniche di controllo e di osservazione. Stabilità secondo Lyapunov. Criteri di stabilità per sistemi lineari. Criterio di Routh-Hurwitz. Risposta transitoria e a regime, poli dominanti. Risposta armonica per sistemi tempo-continui. Diagrammi di Bode, di Nyquist e di Nichols.



Programma del Corso



- **Elementi di Analisi dei sistemi di controllo:**
- Azioni di controllo: ciclo aperto e ciclo chiuso, in avanti e in retroazione. Prestazioni generali di un sistema di controllo. Luogo delle radici. Principio del modello interno. Curve M-N. Struttura generale del controllore. Problematiche di sensitività alla variazione dei parametri e di robustezza ad incertezze di modello.
- **Tecniche di sintesi del controllore I:**
- Specifiche generali di progetto (Stabilità, prestazioni e reiezione del disturbo). Sintesi dei sistemi di controllo nel dominio del tempo e della frequenza. Rappresentazioni grafiche, criterio di stabilità di Nyquist, trasformazione da ciclo aperto a ciclo chiuso. Regolatori standard e regole di Ziegler-Nichols. Reti correttive. Sistemi con ritardo. Sintesi per tentativi, metodo analitico.
- **Tecniche di sintesi del controllore II:**
- Sintesi nello spazio degli stati. Sintesi diretta con assegnazione dei poli ed osservatore dello stato. Equazione diofantina. Regolazione con Set-Point. Osservatori dello stato.



Programma del Corso

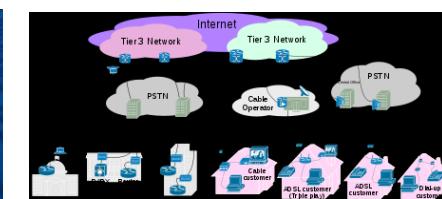


- **Strumenti Matematici e Definizioni**
- **Modellistica dei Sistemi Dinamici**

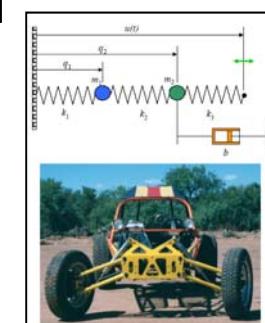
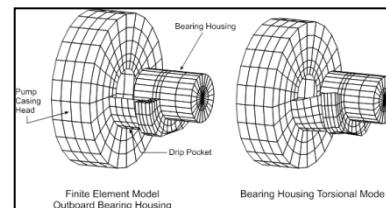
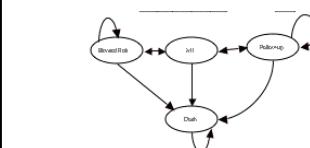
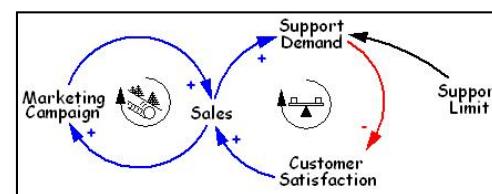
- Calcolo differenziale lineare
- Elementi di Geometria ed Algebra Lineare
- Matrici e Numeri Complessi
- Trasformata di Laplace
- Diagrammi di Flusso e a Blocchi

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y(t) &= Ce^{At}x(0) + \int_{\tau=0}^t Ce^{A(t-\tau)}Bu(\tau)d\tau + Du(t)\end{aligned}$$

- Legami Causa - Effetto
- Approssimazioni
- Astrazioni
- Elementi comuni a Processi diversi



- Definizione di Sistema, Processo
- Componenti del Processo
- Segnali di trasmissione delle informazioni



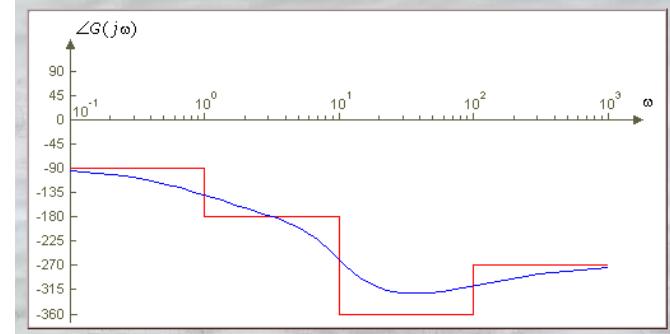
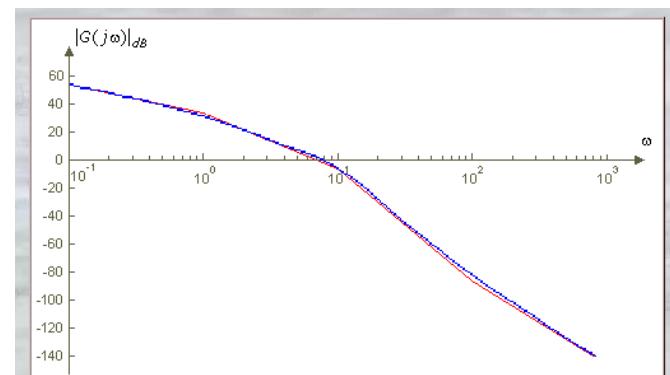
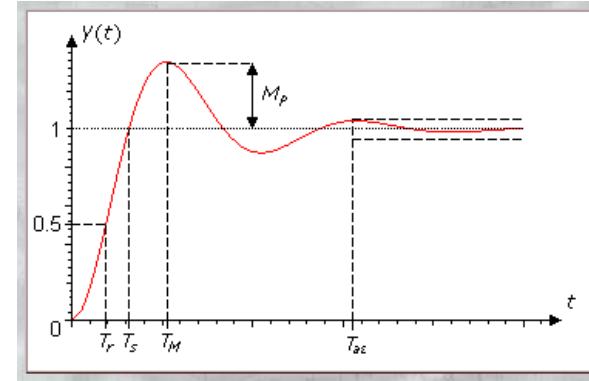
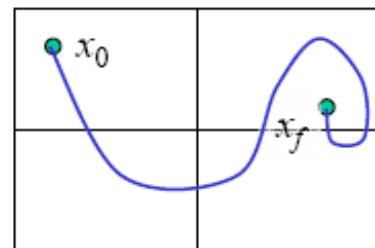
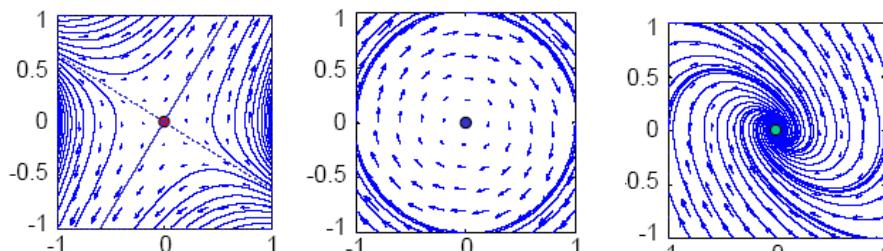


Programma del Corso



• Analisi di Sistema

- Caratteristiche di Stabilità
- Controllabilità ed Osservabilità
- Risposta Temporale
- Risposta in Frequenza



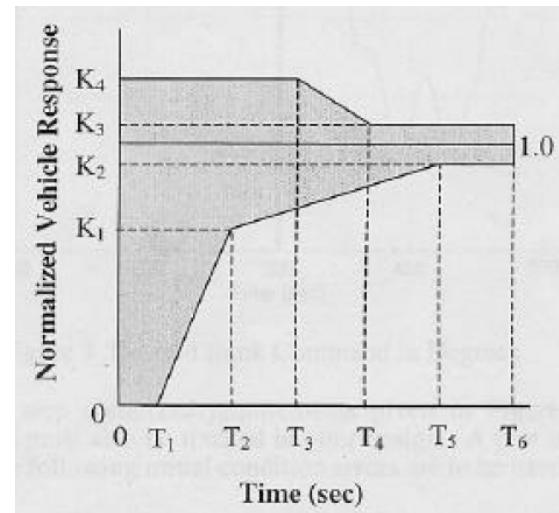
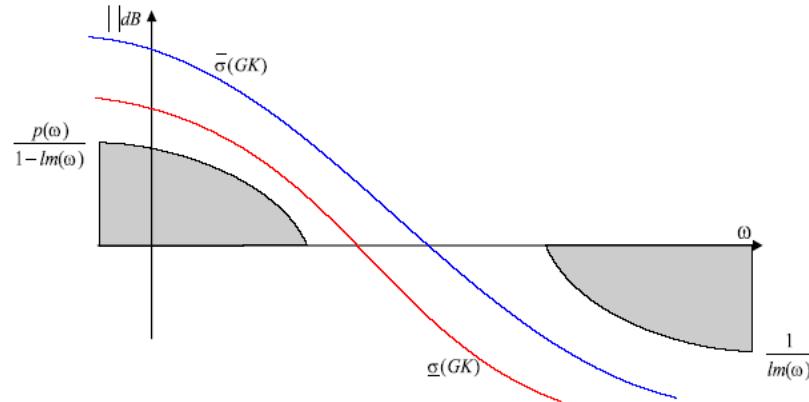


Programma del Corso

- **Specifiche e Struttura di un Sistema di Controllo**

- Stabilità
- Precisione della Risposta
- Errore rispetto alle Specifiche
- Attenuazione dei Disturbi
- Banda Passante
- Insensitività a Errori di Modello e Rumore nei Componenti

$$K(s) = L\{k(t)\} = K_0 \frac{\prod_i (s + z_i)}{s^r \prod_j (s + p_j)}$$



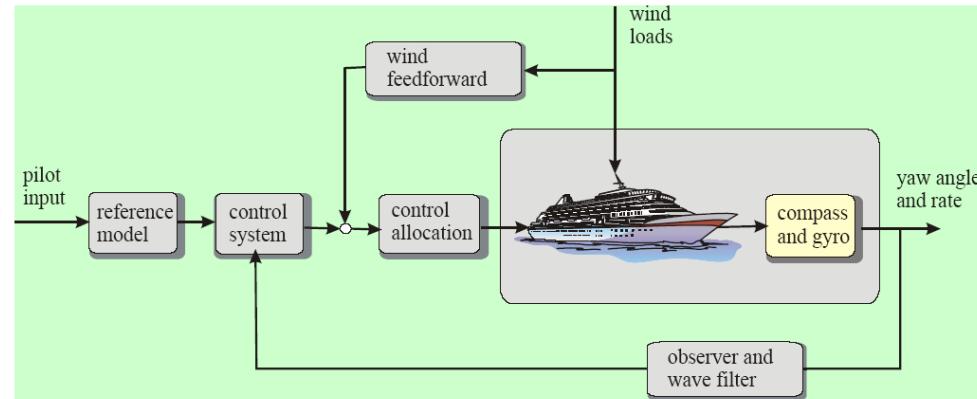


Programma del Corso

• Analisi e Sintesi

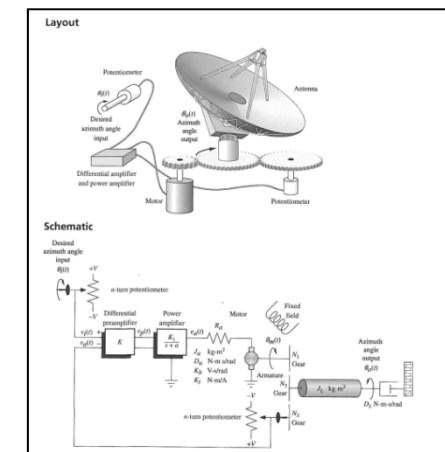
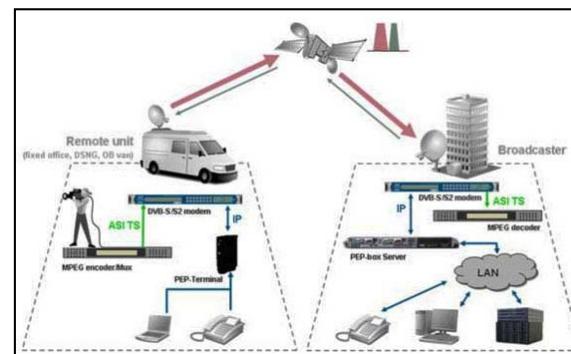
– Strumenti di Analisi e di Sintesi

- Criterio di Routh
- Luogo delle Radici
- Risposta nel Tempo
- Risposta in Frequenza
- Criterio di Nyquist



– Strutture Standard

- Controllori PID
- Reti Correttive
- Filtri PB, PA, ...
- Controllore Statico
- Osservatore





Riferimenti

- Capitolo 1 Testo di Bolzern
- Capitolo 1 testo di Murray



Introduzione

Richiami

Modellistica

Descrizione

Prop. Strut.

Analisi 1

Analisi 2

Sintesi Prelim.

Contr. Avanzati

Con. Standard