



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

*L'Automatica: opportunità e sfide
per uno sviluppo sostenibile e sicuro*

Alberto Isidori

26 Ottobre 2010



Le radici dell'Automatica sono indubbiamente illustri: sin dall'inizio si è nutrita del contributo rigoroso di grandi fisici-matematici e della creatività di grandi ingegneri. Tra i grandi fisici del secolo XIX, **James C. Maxwell:**

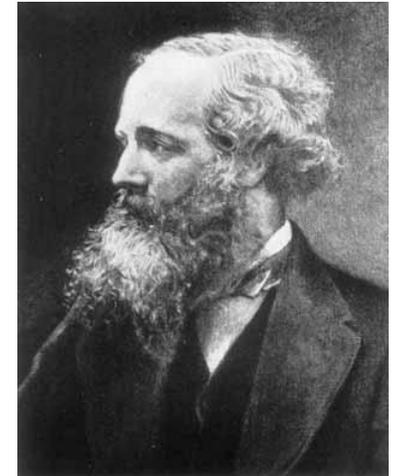
ON GOVERNORS

J.C. MAXWELL

From the Proceedings of the Royal Society, No. 100, 1868.

A GOVERNOR is a part of a machine by means of which the velocity of the machine is kept nearly uniform, notwithstanding variations in the driving-power or the resistance.

Most governors depend on the centrifugal force of a piece connected with a shaft of the machine. When the velocity increases, this force increases, and either increases the pressure of the piece against a surface or moves the piece, and so acts on a break or a valve.

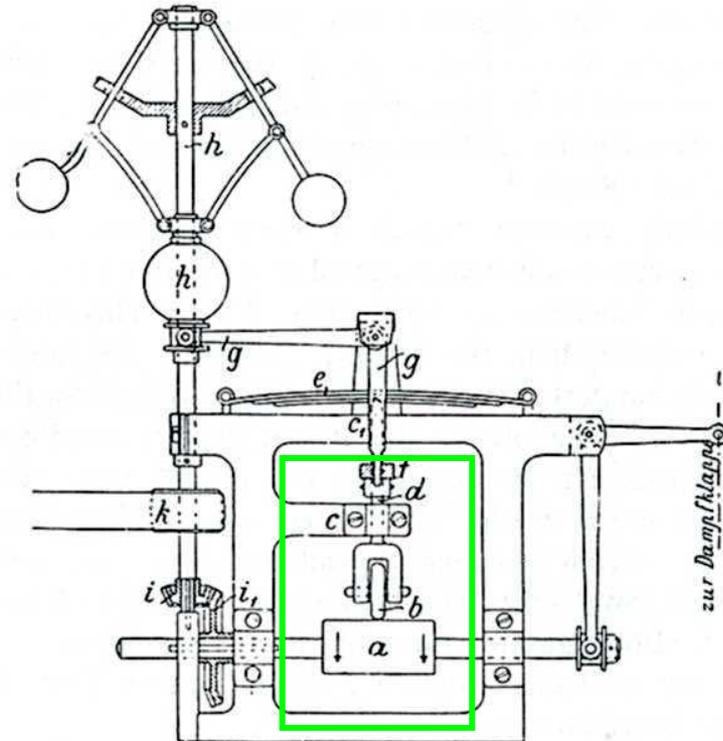


Questa memoria presenta il primo rigoroso studio formale della stabilità del regolatore di Watt e si può considerare come il primo contributo alla cosiddetta **Teoria del Controllo**.



Ricercando le radici ...

Tra i grandi ingegneri del XIX, **Werner von Siemens**, che nel 1882 brevetta un regolatore centrifugo in cui l'azione integrale viene per la prima volta **deliberatamente** introdotta, per azzerare l'errore in condizioni di equilibrio. Il movimento del collare del viene integrato mediante integratore meccanico a “**ruota-e-cilindro**”.





Le prime applicazioni alla guida automatica risalgono agli inizi del secolo XX. Nel 1922 Nicholas Minorsky introduce il controllo PID nel progetto di autopiloti.

Il controllore di Minorsky venne sperimentato con successo sulla USS *New Mexico*. Tuttavia, l'apparato venne poi rimosso in quanto *“il personale di bordo si opponeva strenuamente alla guida automatica”*.

Nel 1947, un C-53 effettuò la prima trasvolata atlantica autopilotata, compresi decollo e atterraggio.



DIRECTIONAL STABILITY OF AUTOMATICALLY STEERED BODIES.

BY N. MINORSKY.

I. INTRODUCTION.

The problem of directional stability of automatically steered ships is gradually becoming of increasingly greater importance for various reasons.

The possibility of obtaining more accurate steering by automatic means than can be accomplished by manual control with its inherent limitations due to the low sensitiveness of the human eye in detecting slow angular motions, fatigue, etc., becomes of greater importance with the increase in size of ships and cost of fuel.

For merchant ships an accurate and reliable automatic steering device becomes a real money saving proposition, largely justifying its use.

On battleships, by its use the absence or reduction of yawing in action means a better efficiency in gunfire, increased maneuvering speed and also a greater cruising radius.

In the case of airships, especially for long distance trips, directional stability is also of importance because the behavior of direction indicating instruments is then more satisfactory which leads to a still better stabilization, so that the certainty and safety of aeronavigation is thereby increased to an additionally greater degree.



... altre radici, in comune con la scienza e l'ingegneria delle telecomunicazioni:

The Bell System Technical Journal



Nyquist

Regeneration Theory

By H. NYQUIST

Regeneration or feed-back is of considerable importance in many applications of vacuum tubes. The most obvious example is that of vacuum tube oscillators, where the feed-back is carried beyond the singing point. Another application is the 21-circuit test of balance, in which the current due to the unbalance between two impedances is fed back, the gain being increased until singing occurs. Still other applications are cases where portions of the output current of amplifiers are fed back to the input either unintentionally or by design. For the purpose of investigating the stability of such devices they may be looked on as amplifiers whose output is connected to the input through a transducer. This paper deals with the theory of stability of such systems.

PRELIMINARY DISCUSSION

WHEN the output of an amplifier is connected to the input through a transducer the resulting combination may be either stable or unstable. The circuit will be said to be stable when an impressed small disturbance, which itself dies out, results in a response which dies out.

Relations Between Attenuation and Phase in Feedback Amplifier Design

By H. W. BODE

INTRODUCTION

THE engineer who embarks upon the design of a feedback amplifier must be a creature of mixed emotions. On the one hand, he can rejoice in the improvements in the characteristics of the structure which feedback promises to secure him.¹ On the other hand, he knows that unless he can finally adjust the phase and attenuation characteristics around the feedback loop so the amplifier will not spontaneously burst into uncontrollable singing, none of these advantages can actually be realized. The emotional situation is much like that of an impecunious young man who has impetuously invited the lady of his heart to see a play, unmindful, for the moment, of the limitations of the \$2.65 in his pockets. The rapturous comments of the girl on the way to the theater would be very pleasant if they were not shadowed by his private speculation about the cost of the tickets.

In many designs, particularly those requiring only moderate amounts of feedback, the boggy of instability turns out not to be serious after all.



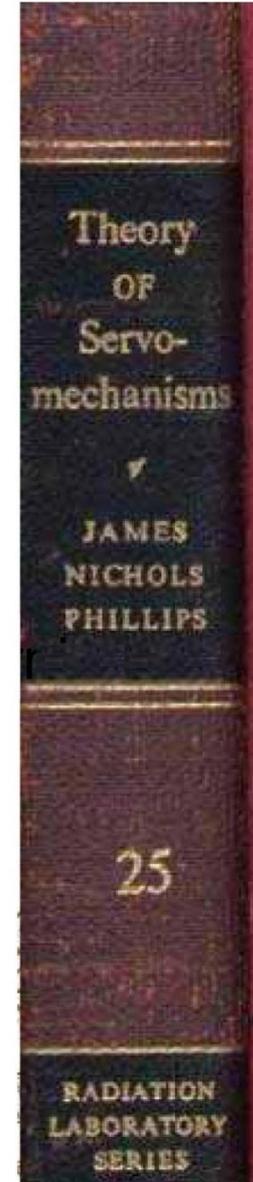
Bode



Una nuova disciplina emerge ...

La percezione che l'Automatica stava prendendo la forma di una disciplina autonoma, nell'ambito dell'ingegneria, si manifestò subito dopo la fine della seconda guerra mondiale, durante la quale le applicazioni alla movimentazione dei radar e dei pezzi di artiglieria avevano conosciuto uno sviluppo notevole e determinante.

La **potenza** della **retroazione**:
Apparati accurati da componenti imprecisi
L'effetto di disturbi viene attenuato
Variabili di interesse possono essere regolate
Comportamenti prefissati possono essere imposti





SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Una nuova disciplina emerge ...

Hubert M. James

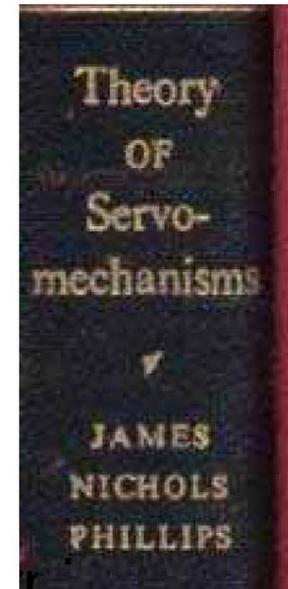
Professore di Fisica, Purdue University

Nathaniel B. Nichols

Direttore di Ricerca, Taylor Instruments Companies

Ralph S. Phillips

Professore Ass. di Matematica, University of Southern California



Due considerazioni:

- ❑ anche le Scienze di Ingegneria non possono non nutrirsi di *Teoria*
- ❑ l'Automatica si afferma come una disciplina trasversale, all'incrocio di Fisica, Ingegneria e Matematica.



La Seconda Fase (1960-2000)

All'inizio degli anni sessanta, due nuove forze trainanti provocano un enorme balzo in avanti:

- ❑ La corsa allo spazio
- ❑ L'avvento dei calcolatori digitali.
- ❑ I principi del controllo ottimo (**Pontryagin** in Unione Sovietica, **Bellman** negli Stati Uniti) si rivelano ingredienti indispensabili nella soluzione del problema dell'atterraggio morbido sulla luna e nella realizzazione di voli spaziali con esseri umani a bordo.
- ❑ Il controllo integrato mediante elaboratori digitali, introdotto nel 1959 dalla **Texaco** in un processo di raffinazione, per la regolazione e il coordinamento di livelli e riferimenti, diviene rapidamente la tecnica standard per il controllo di processi industriali.



L'età dell'oro delle **metodologie**:

- ❑ Le equazioni di stato si affiancano ai modelli ingresso-uscita. Un passo importante, che prelude a:
 - lo studio di modelli non-lineari
 - il progetto integrato controllore/processo

- ❑ Una rapida crescita di sotto-specialità:
 - identificazione
 - controllo ottimo
 - controllo stocastico
 - controllo adattativo
 - controllo robusto

Le applicazioni invadono tutti i settori dell'Ingegneria



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

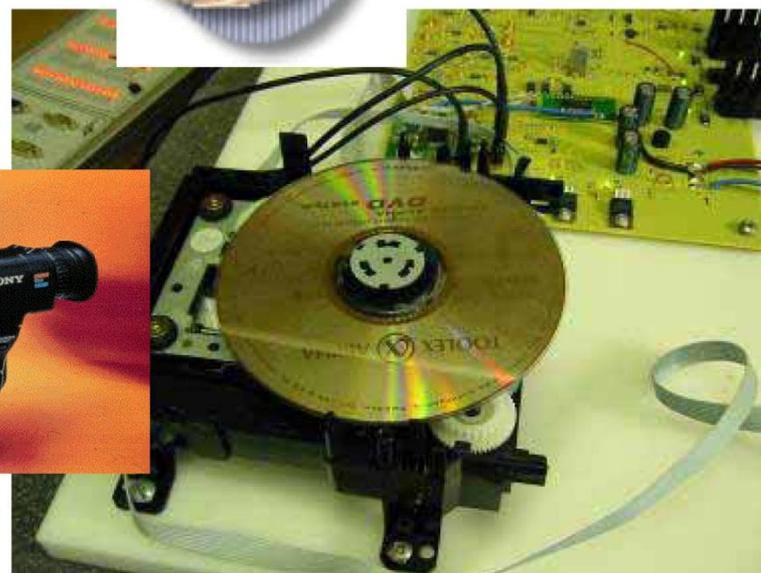
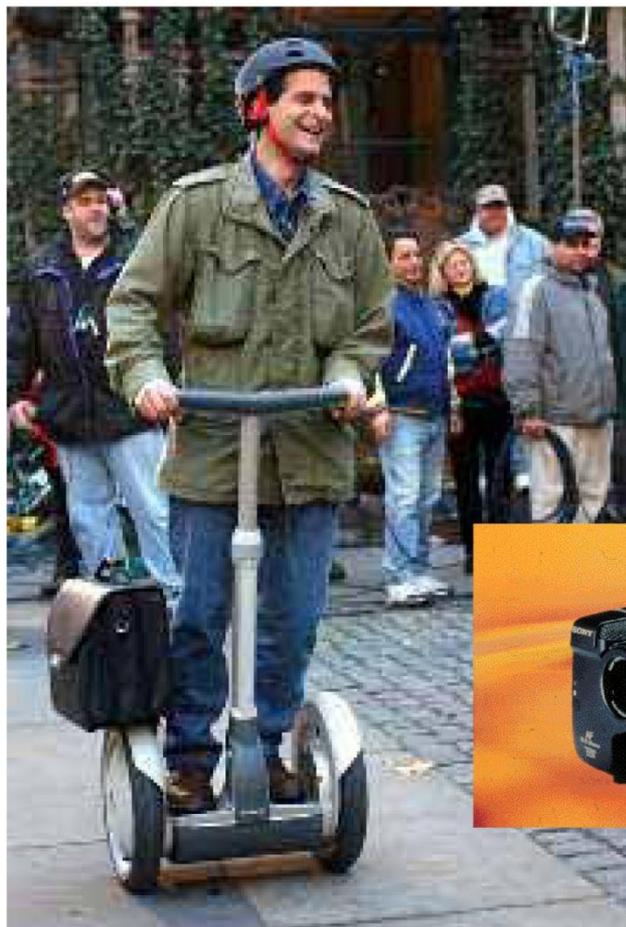
Il Controllo è ovunque ...





SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

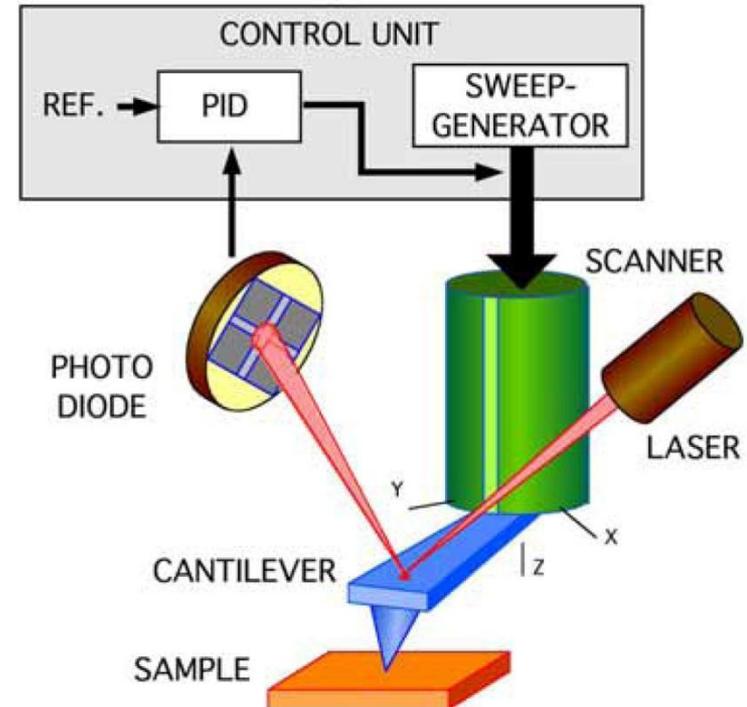
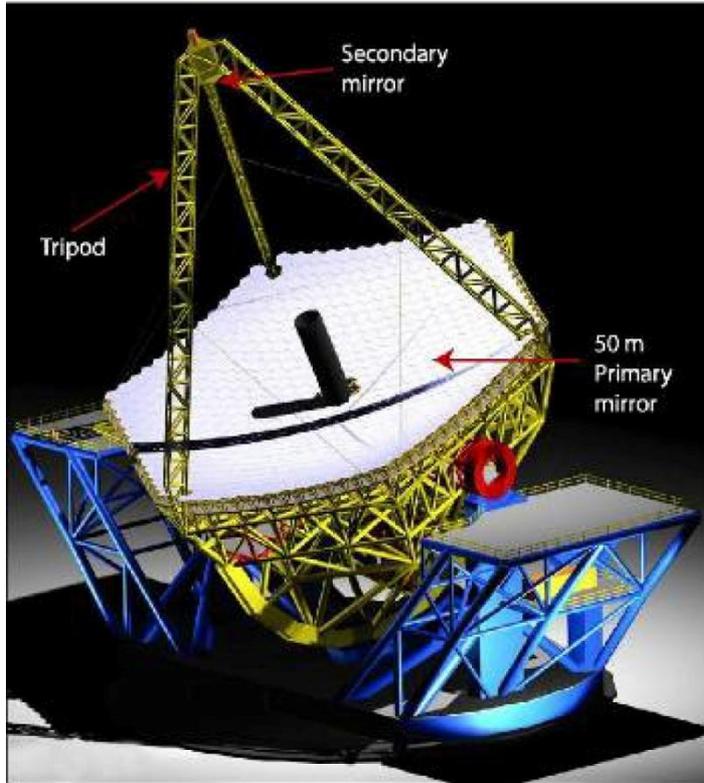
Il Controllo è ovunque ...



Da: K.J.Astrom, *The Future of Control*, 2009



Il Controllo è ovunque ...





Il Controllo è ovunque ...

Una riflessione:

- I principi e le tecniche dell'Automatica sono pervasivi
- sono efficaci e quasi sempre indispensabili nello sviluppo di tutte le altre tecnologie
- però l'Automatica è sconosciuta al grande pubblico
- quando addirittura non viene confusa con altre discipline.
- L'Automatica è la **Tecnologia Nascosta**, per eccellenza.
- Come tale, facile bersaglio di operazioni di “semplificazione”.

Perche ?

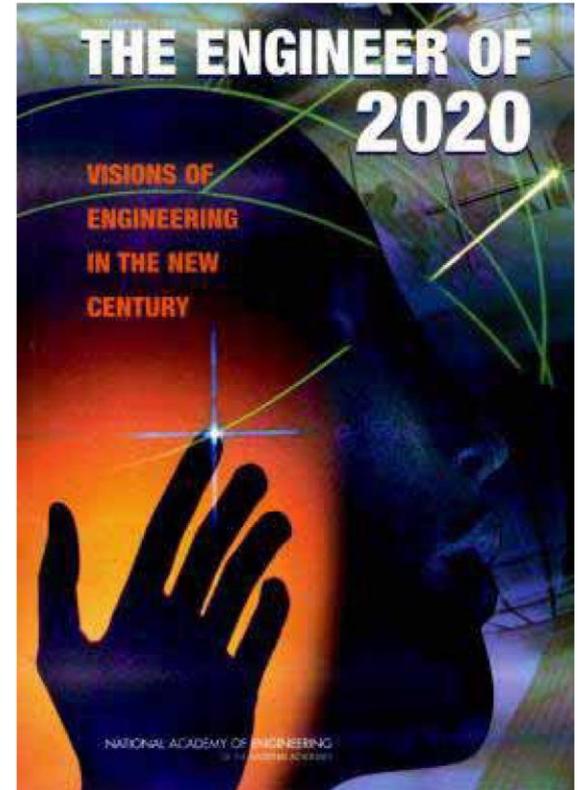
- E' piu facile descrivere gli apparati che le idee.



L'Automatica e le sfide del presente

La percezione che le risorse sono limitate, l'incertezza dei mercati finanziari, l'enorme divario di sviluppo tra nazioni, contribuiscono alla consapevolezza che il modello di sviluppo seguito sino a oggi nel mondo cambierà.

In un mondo di risorse limitate, l'Automatica può svolgere un ruolo determinante nel rispondere alle sfide del presente.



“In the past steady increases in knowledge has spawned new microdisciplines within engineering. However, contemporary challenges – from biomedical devices to complex manufacturing designs to large systems of networked devices – increasingly require a systems perspective.” (NAE)



Nuove forze trainanti:

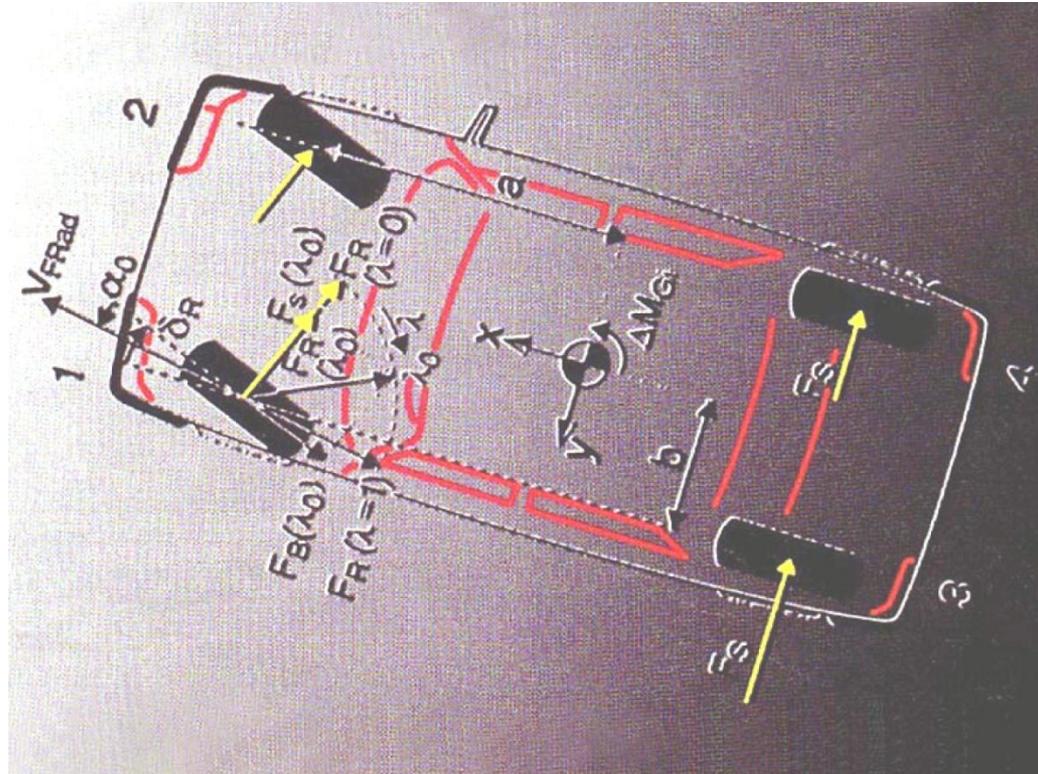
- Integrazione, nel progetto, di processo, controllo e elaborazione
- Ricchezza di attuatori e sensori
- Necessità di auto-diagnosi e auto-riconfigurabilità
- Distribuzione spaziale di grandi sistemi, integrati da reti di trasmissione dati.

Nuove opportunità:

- Sicurezza nei trasporti individuali
- Risparmio di energia e materie prime
- Energia da fonti rinnovabili
- Robotica
- Biologia e Medicina
- Fisica



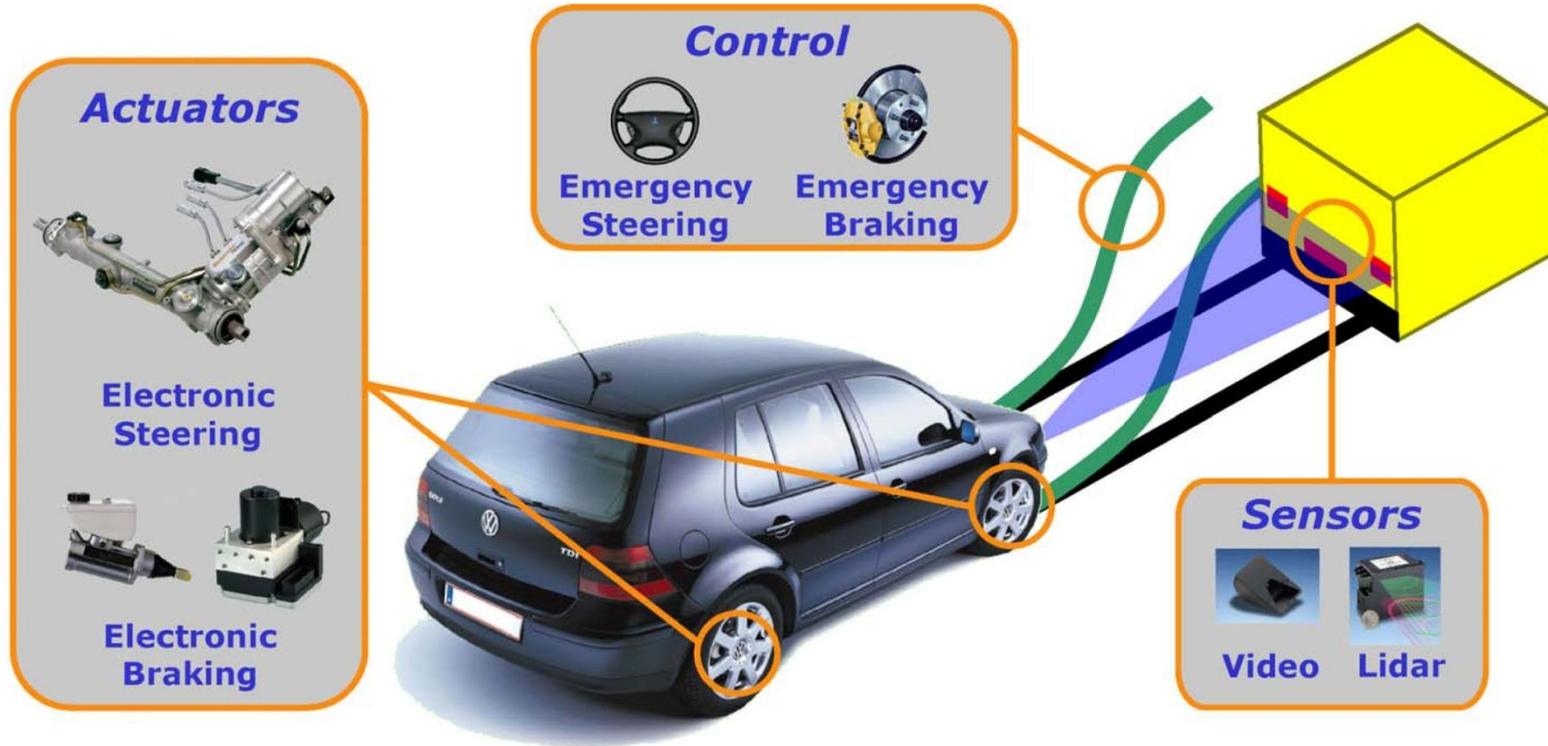
Sicurezza nella guida



ESP (“*Electronic Stability Program*”): in tutta l’Unione Europea, il 40% delle nuove autovetture sono equipaggiate con un sistema ESP (il 93% in Svezia nel 2007)



Sicurezza nella guida



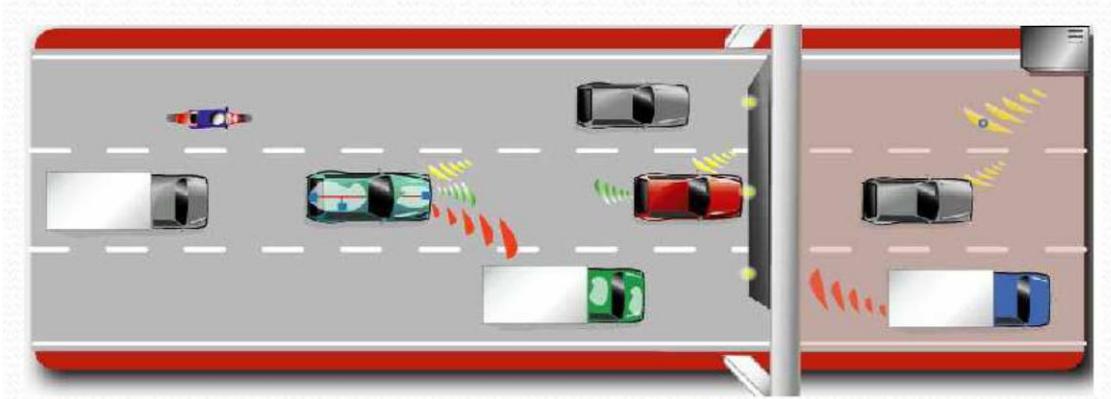
In Cooperation with 

Protezione automatica da collisione



Sicurezza nel traffico

Negli seconda metà degli anni novanta, lo stato della California ha sperimentato con successo (progetto *PATH*) metodi automatici per la guida “a plotoni” (gruppi di 10-20 veicoli che viaggiano in autostrada alla stessa velocità, a distanza ravvicinata controllata automaticamente) ai fini sia di una più efficiente occupazione della sede stradale sia di una maggiore sicurezza.



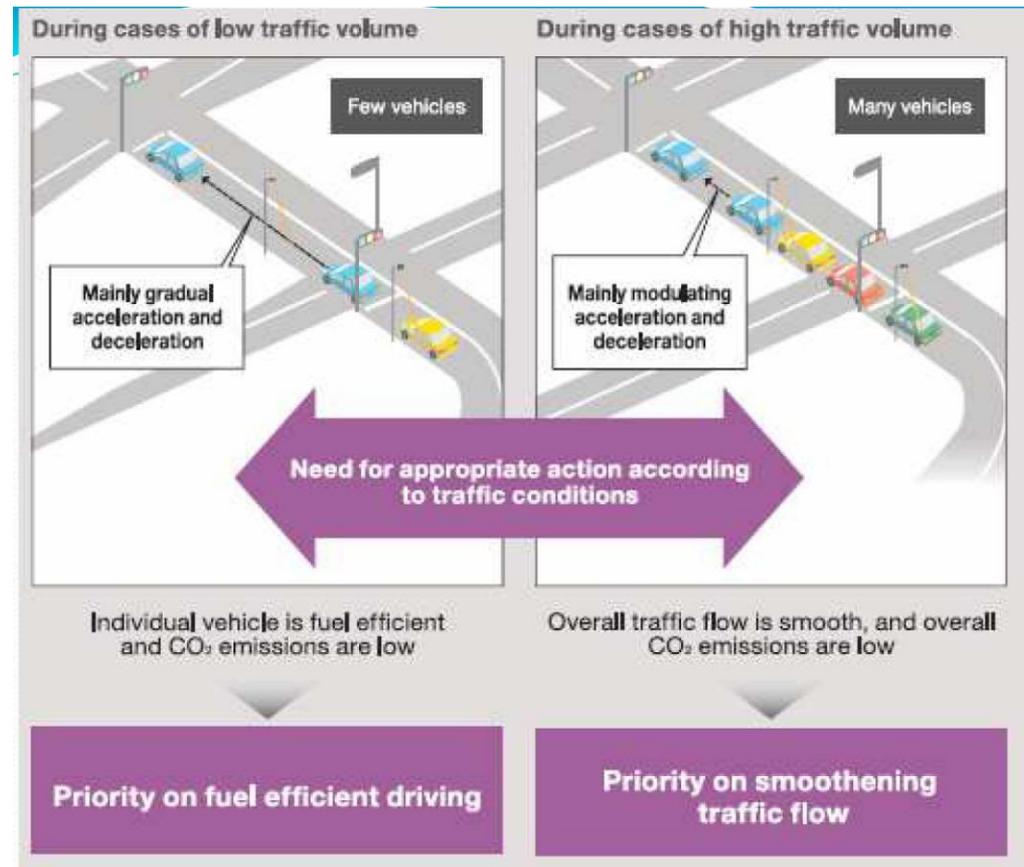
I metodi in questione richiedono che il conducente affidi completa autorità di guida al sistema automatico: come tale, occorrerà del tempo prima che vengano accettati.



Sicurezza nel traffico

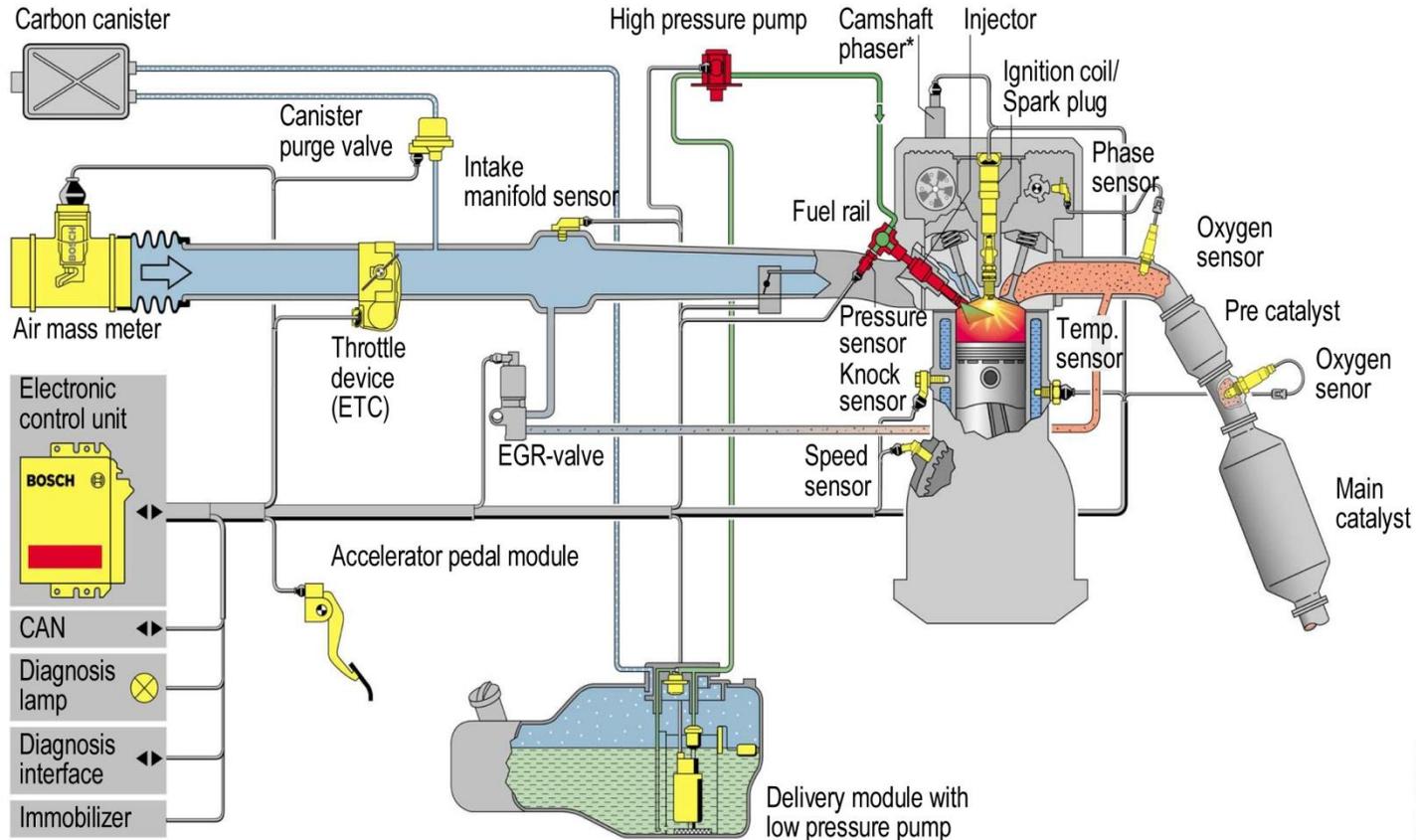
Il controllo del traffico come sistema a controllo gerarchico:

- ❑ gestione del flusso di traffico
- ❑ comunicazioni tra infrastruttura e veicoli
- ❑ comunicazioni da veicolo a veicolo
- ❑ controllo del veicolo





Controllo della combustione



Camshaft phaser:
intake and/or
exhaust phasing

■ Bosch components specifically for DI

Engine control system: 15 – 25 sensors, 8 -12 control inputs,



Autopiloti in condizioni estreme



Atterraggio morbido su nave che rolla e beccheggia in mare in tempesta.

Non è pensabile che il moto di rollio e beccheggio venga inseguito manualmente dal pilota.

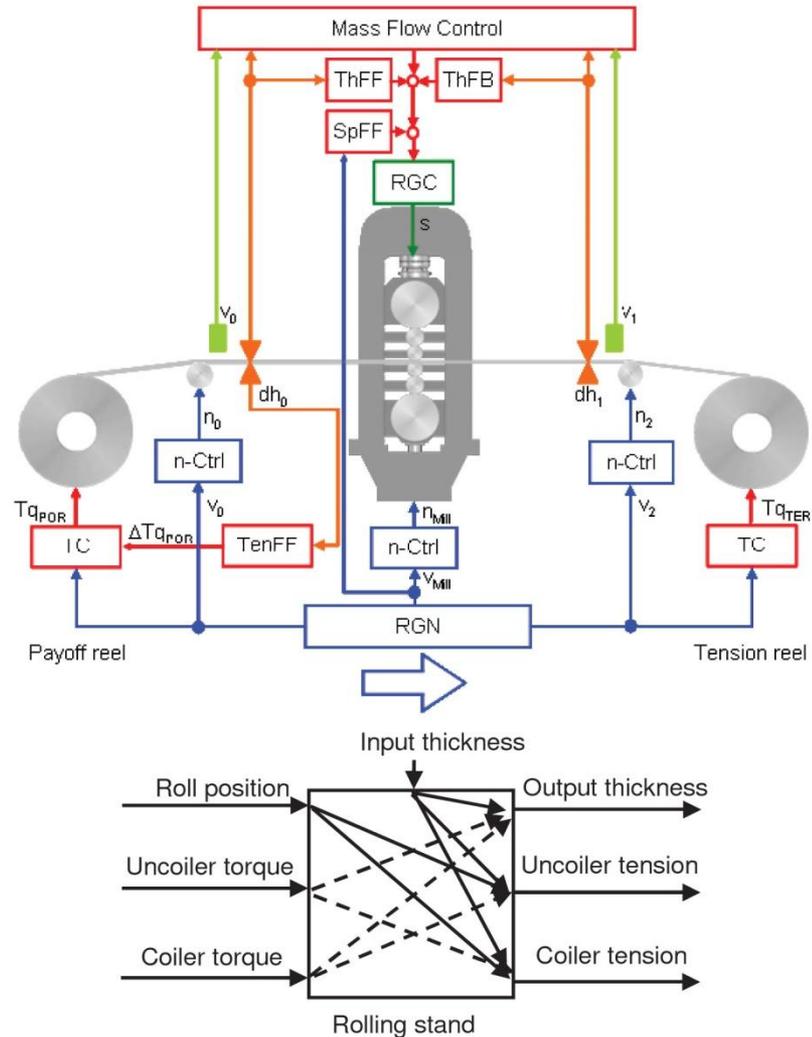
Nuovi compiti per un autopilota: inseguire un movimento composto da oscillazioni di frequenza e ampiezze incognite



Migliore produttività

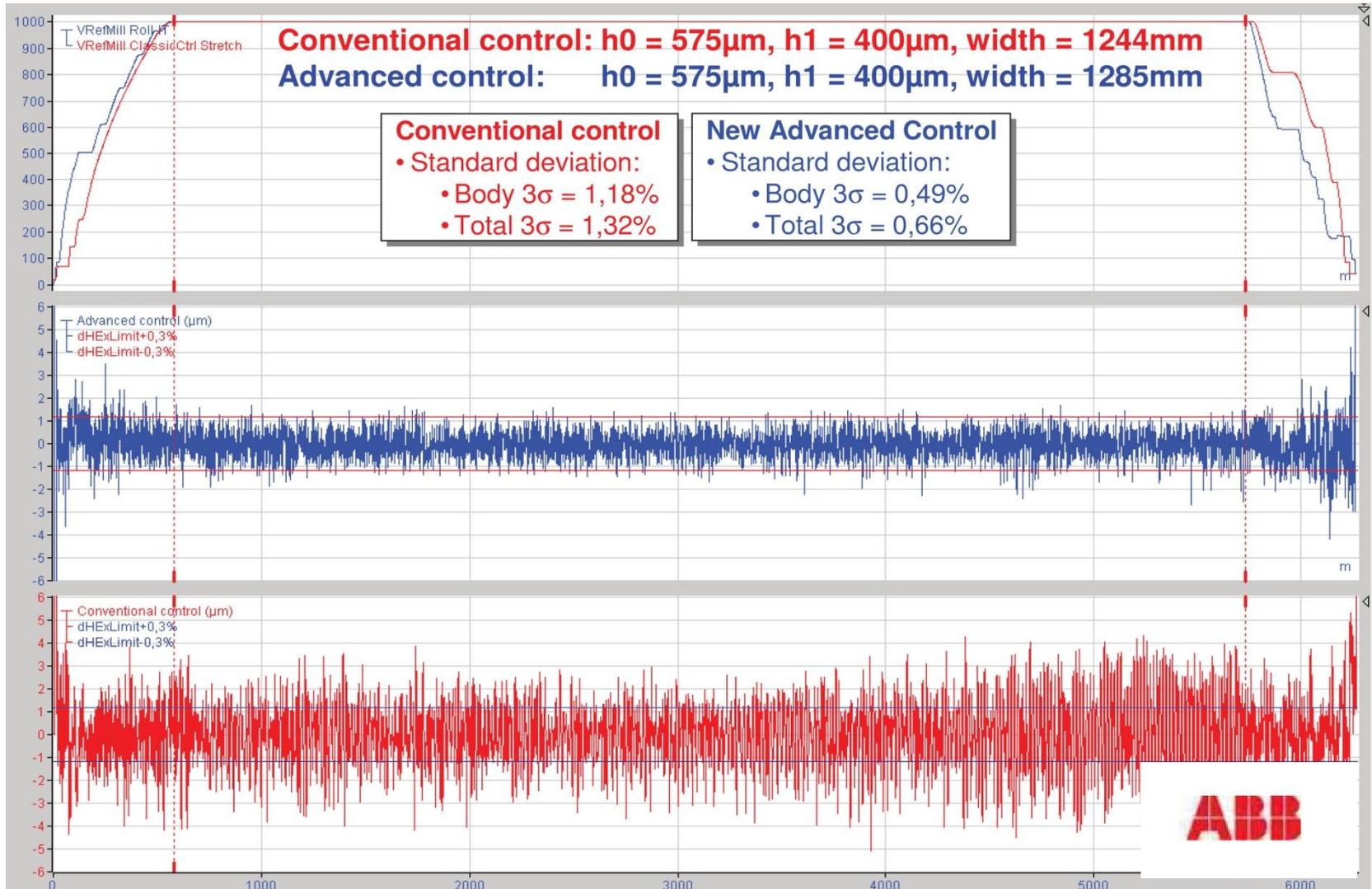
Tecniche simili, di controllo nonlineare, possono essere usate per la compensazione automatica di disturbi periodici in un processo di laminazione a freddo (eccentricità).

L'ACM (Austrian Center of Mechatronics) ha realizzato un processo pilota nel quale queste tecniche verranno sperimentate





Migliore produttività





Migliore produttività

I metodi del controllo **nonlineare** e nel controllo **predittivo** hanno contribuito a sostanziali riduzioni di costo e miglioramenti di qualità nei processi di raffinazione, distillazione, ecc.

Process Control

BASF
The Chemical Company

Quality Control for Improved Energy Efficiency

- APC reduces quality variance
- APC allows operation close to quality limits
- Operation possible with lower temperature and less energy

Potential Applications

- Large variety of continuous and batch plants

savings 50 TEUR/a

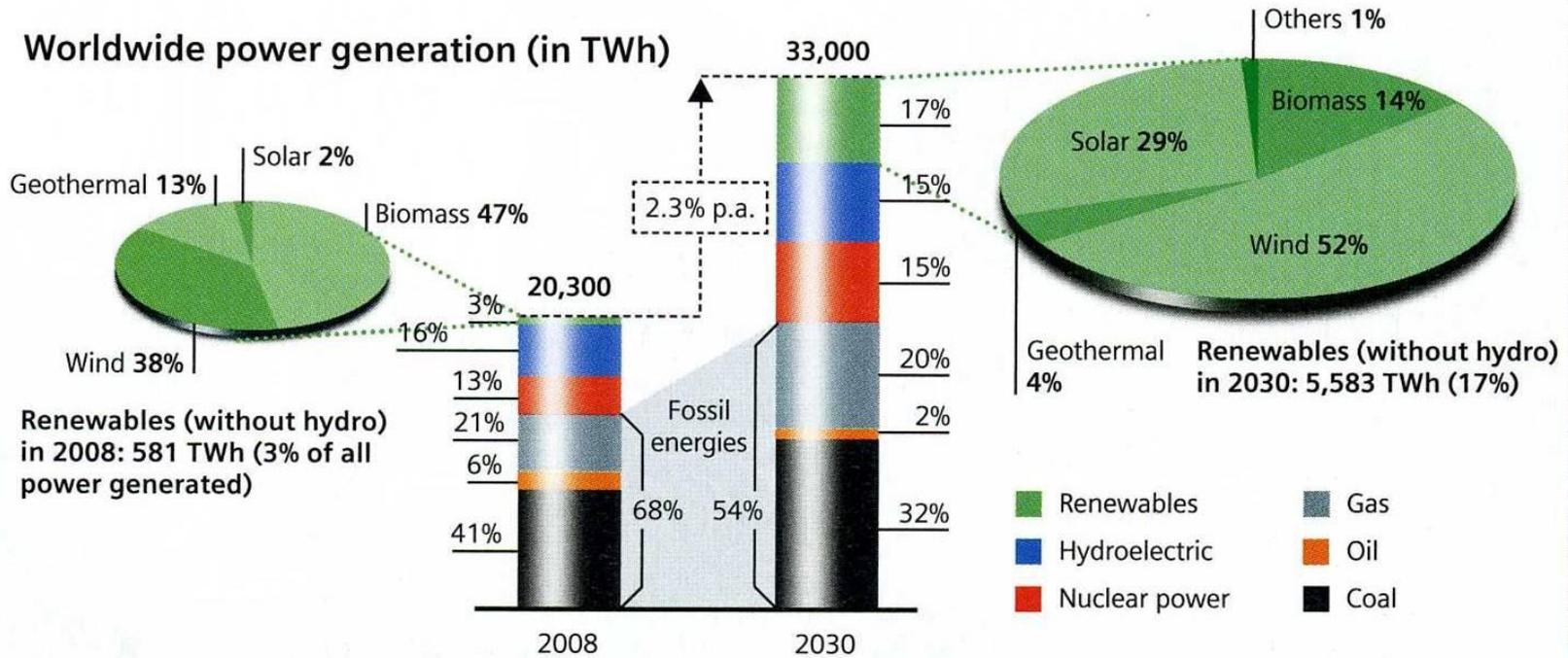
TC
Technical Community



Energia da fonti rinnovabili

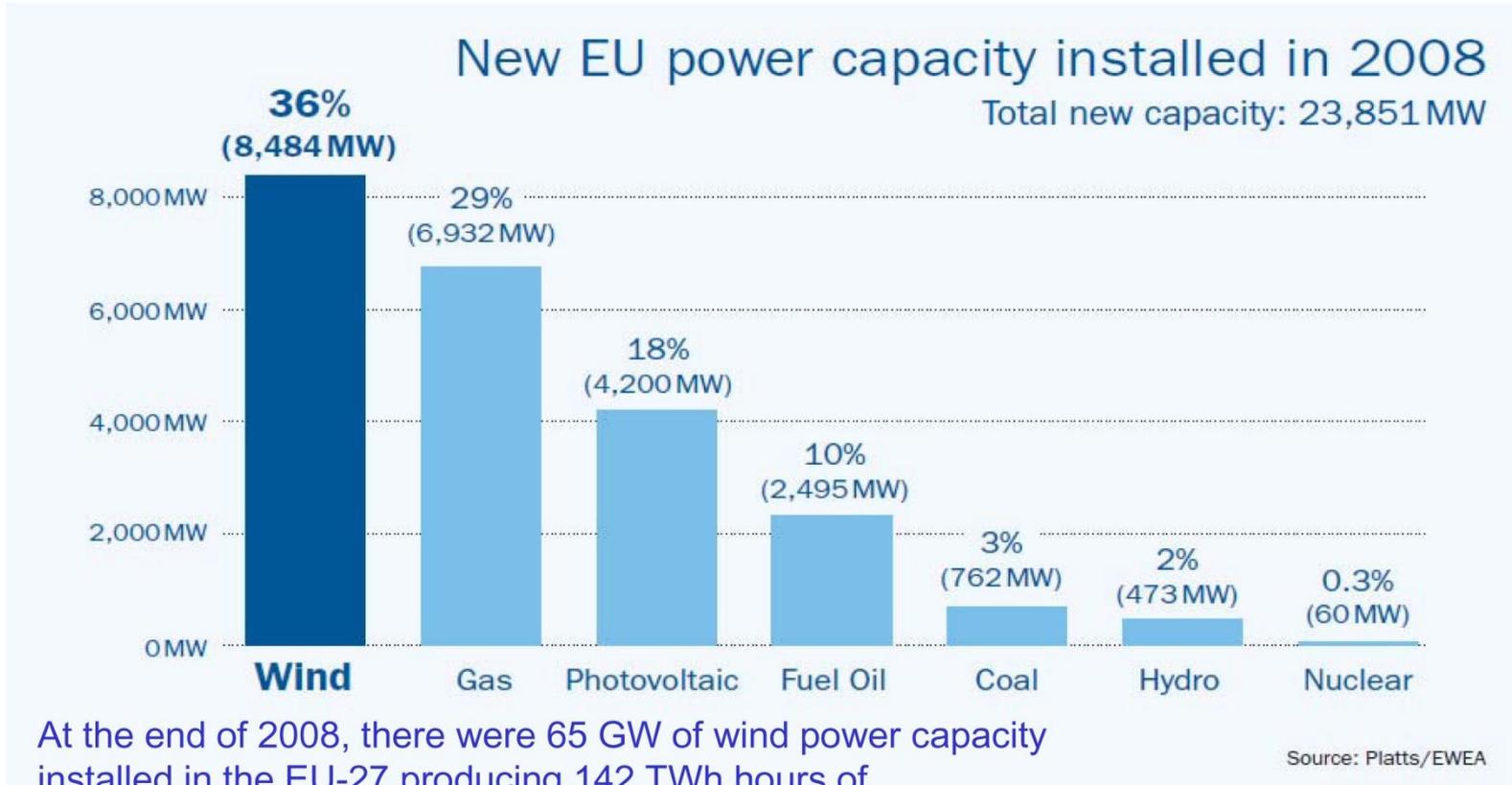
How Renewables will Grow 2008-2030

Worldwide power generation (in TWh)





Energia da fonti rinnovabili



At the end of 2008, there were 65 GW of wind power capacity installed in the EU-27 producing 142 TWh hours of electricity

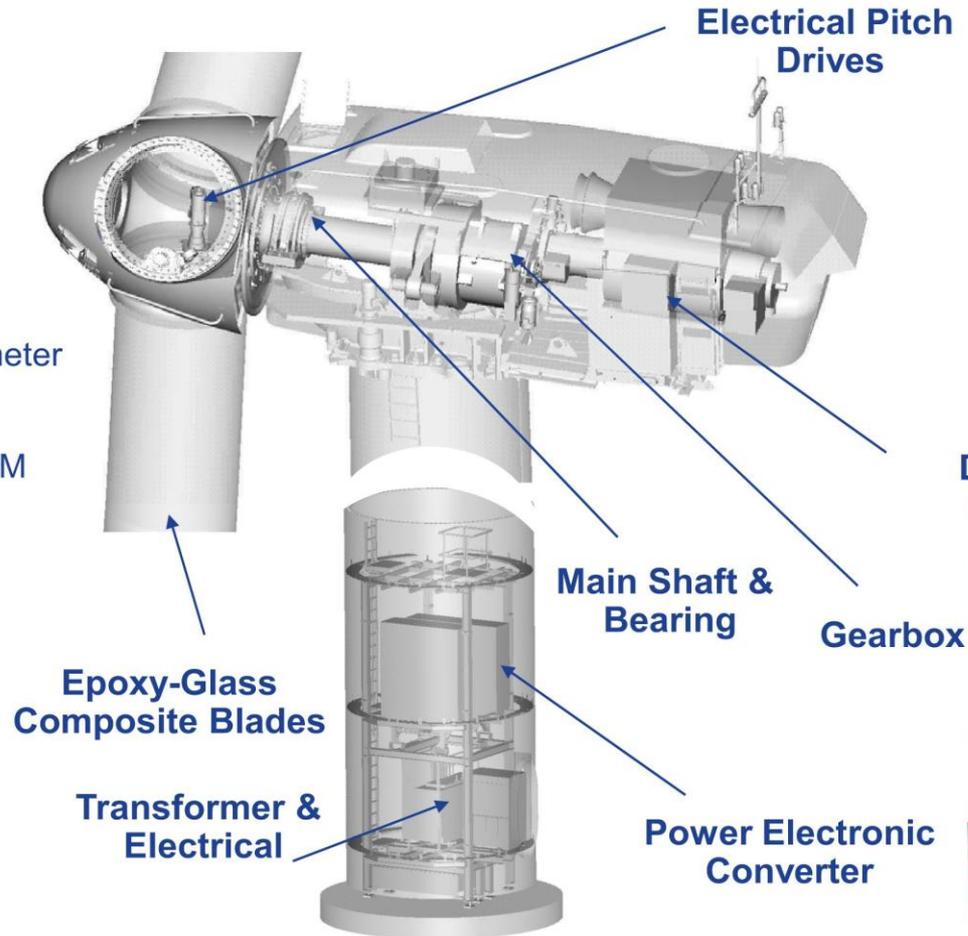
Source: Platts/EWEA



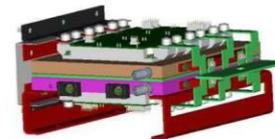
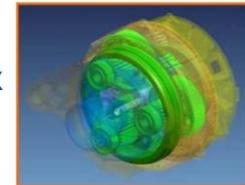
Wind Turbine Controls

GE 1.5 MW

- 77 M Rotor Diameter
- 50-100 M Tower
- Speed 10-20 RPM
- Variable Pitch



Doubly-Fed Generator





Energia da fonti rinnovabili

Un'analisi del Dipartimento US dell'Energia, General Electric, MIT del 2006 stima che le **risorse** di energia eolica **offshore** disponibili sulle coste Atlantica e Pacifica degli Stati Uniti superino l'intera produzione attuale di energia elettrica degli US.





Energia da fonti rinnovabili

Una torre alta 100m che supporti una turbina eolica da 5 MW non è visibile se a più di 35 Km dalla costa.

A questa distanza, i venti sono più forti e più regolari.

Profondità superiori a varie centinaia di metri rendono impossibile ancorare le strutture al fondo.

La nuova frontiera: generazione di energia eolica offshore da torri galleggianti





Energia da fonti rinnovabili

Una torre sperimentale offshore da 2.3MW è stata inaugurata nel Settembre 2009 di quest'anno in Norvegia.



Nuove sfide per il controllo:
stabilizzazione attiva della torre in acque agitate,
coordinamento del funzionamento delle varie torri che compongono il campo di generatori eolici.

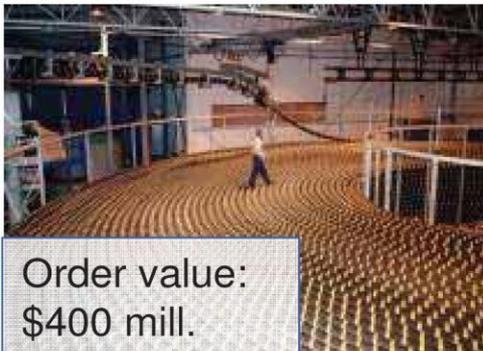
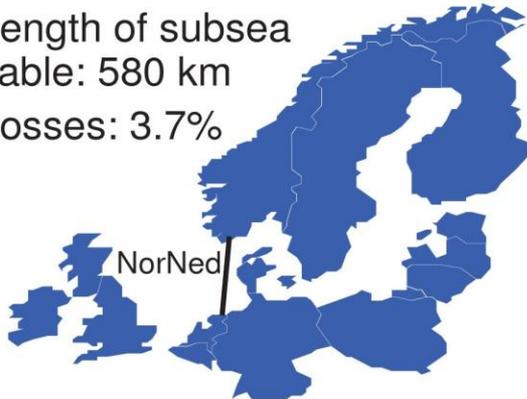


Energia da fonti rinnovabili

HVDCT (es. 800,000 V) per la trasmissione di energia elettrica su cavi sottomarini conveniente già per distanze superiori a 60 km.

HVDC Norway to Netherlands link

- Commissioned: 2008
- Power rating: 700 MW
- Length of subsea cable: 580 km
- Losses: 3.7%



Order value:
\$400 mill.

HVDC Light offshore wind park, Germany

- Commissioning: end-2009
- Power rating: 400 MW
- Length of subsea cable: 130 km, underground cable: 70 km
- Lowers CO₂ emissions by ~1.5 mill t/yr by replacing fossil-fuel generation



Order value:
\$440 mill.

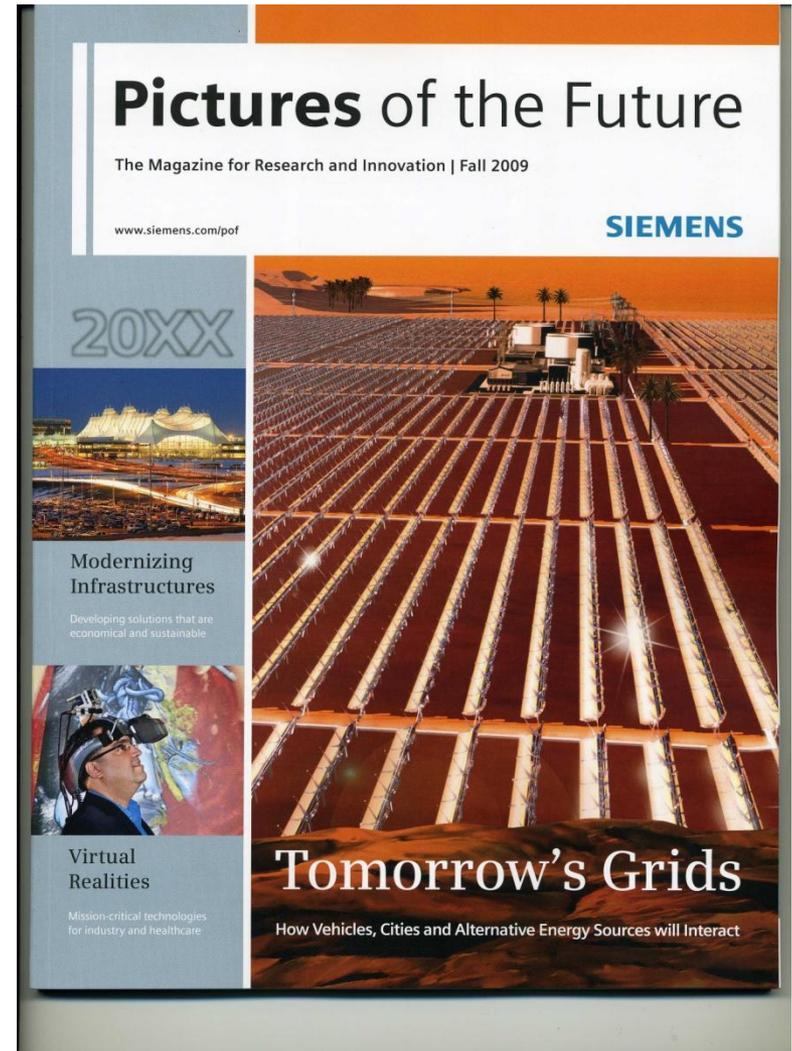
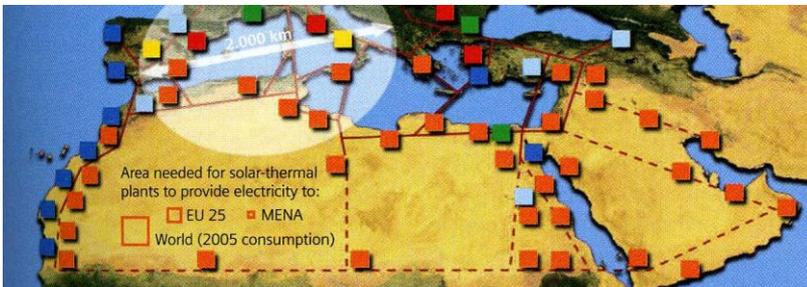


Energia da fonti rinnovabili

Conversione DC/AC di potenza
(es 5000 MW): tiristori **controllati**
mediante luce laser.



Energia solare





The Smart Grid

Una rete di generazione e distribuzione non piú centralizzata.

Ricca di informazione e controllo.

Integra energia generata in aree geografiche vaste.

Integra energia generata da fonti tradizionali e da fonti rinnovabili.

Integra consumatori (che possono orientare le scelte a seconda dei costi) e produttori (che possono orientare la produzione a seconda della domanda).

Consente scambi di potenza bidirezionali.

Una **rete di sistemi di controllo**, decentralizzata, altamente distribuita.

Obiettivi: compensare la variabilità della generazione (molto alta nel caso di fonti rinnovabili) e della domanda di consumo.

Obiettivi: ottimizzare i costi e migliorare l'ambiente.

L'**Automatica** è la tecnologia che renderà possibile realizzare il concetto di **Smart Grid**.



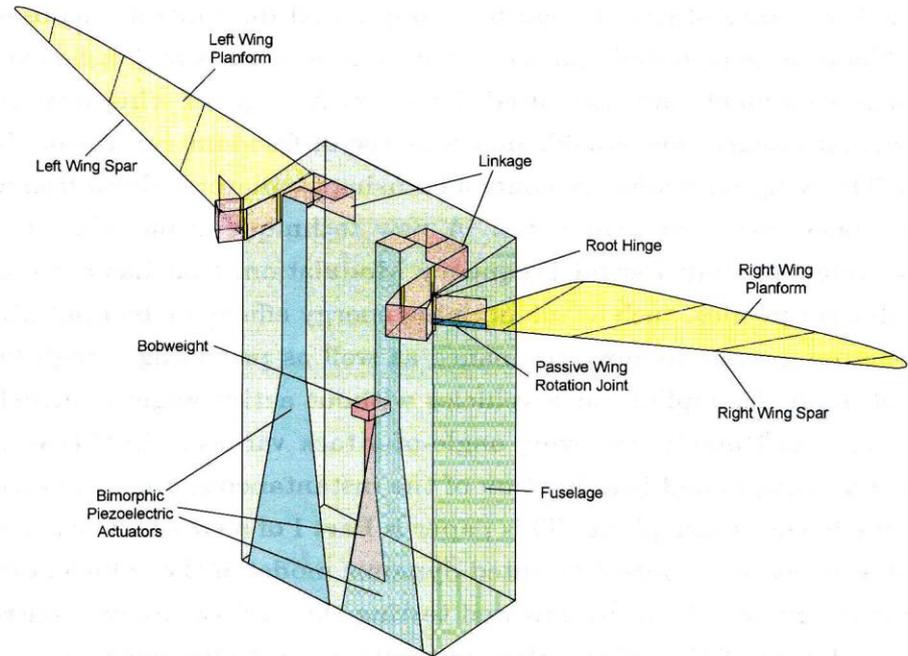
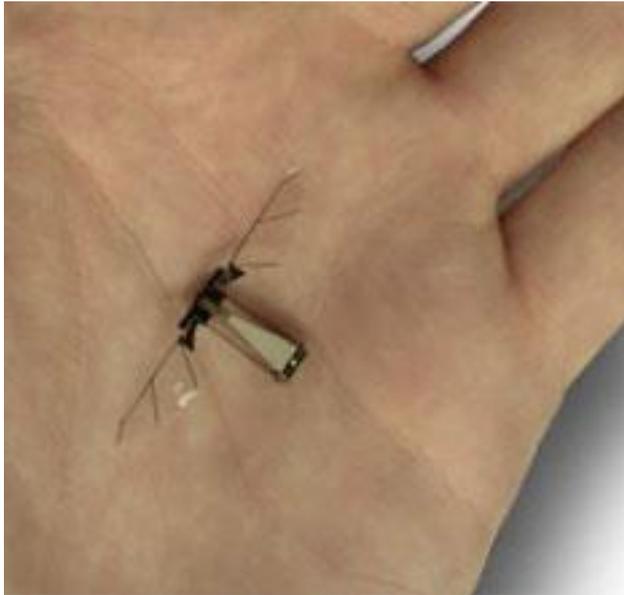
Smart Grid and Controls...today and tomorrow





Il Robofly

Nel 2006, il primo decollo di un micro-robot della dimensione di un insetto, **ad ala battente**, sviluppato alla Harvard University. Il sogno di Leonardo si avvera.

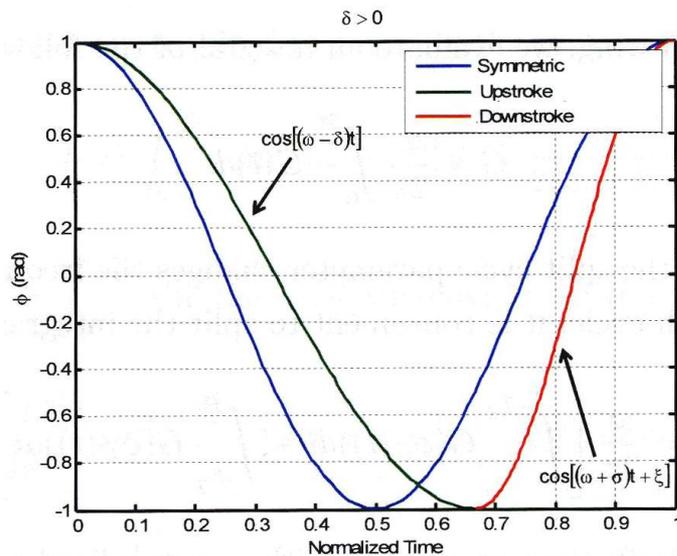




Il Robofly

Robofly è attuato da una coppia di attuatori piezoelettrici che controllano l'angolo di rotazione del sostegno dell'ala rispetto all'asse del corpo.

L'ala ruota passivamente rispetto al sostegno e dunque l'angolo di attacco è funzione della velocità di rotazione del sostegno



La sfida per il controllo:
sagomare la forma d'onda
con cui vengono mossi i
sostegni delle ali
in modo da ottenere I 6 gradi
di liberta, come in un
elicottero.

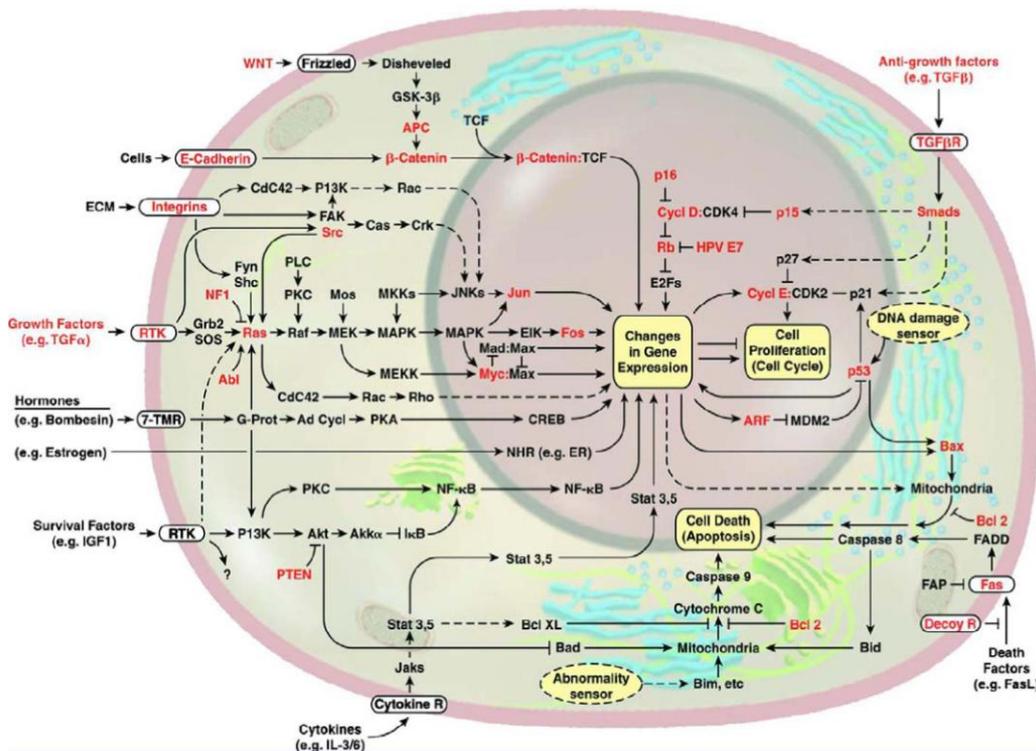


Modellistica e terapeutica

Esempio: modellistica, nelle cellule tumorali, dei flussi di informazione (Hananan-Weinber) responsabili di crescita, differenziazione e apoptosi. Recettori, proteine enzimatiche e loro ruolo nelle reazioni catalitiche.

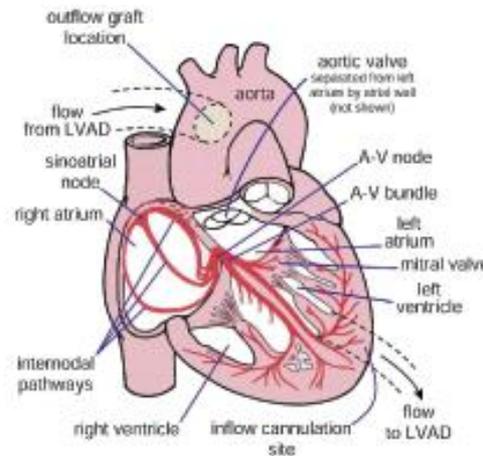
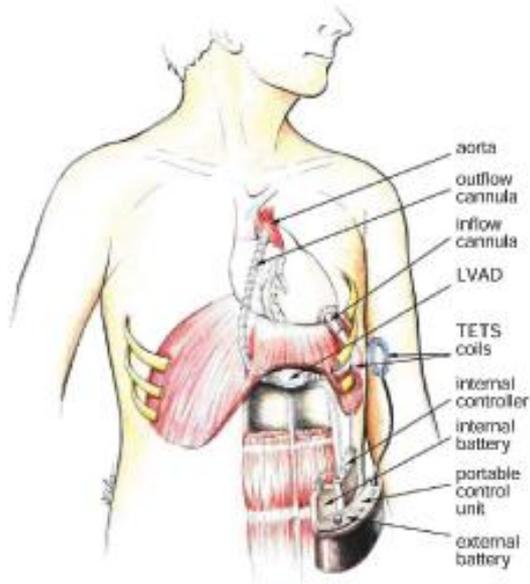
Altro esempio: analisi del funzionamento degli oscillatori biologici accoppiati allo scopo di correggere disordini nel ritmo circadiano che influenzano negativamente il sonno, le funzioni fisiologiche e quelle cognitive.

La modellistica dei fenomeni di sincronizzazione di oscillatori biologici è un settore interdisciplinare in espansione per biologi, chimici, fisici, matematici e controllisti => modelli stocastici caratterizzati da equazioni nonlineari a derivate parziali





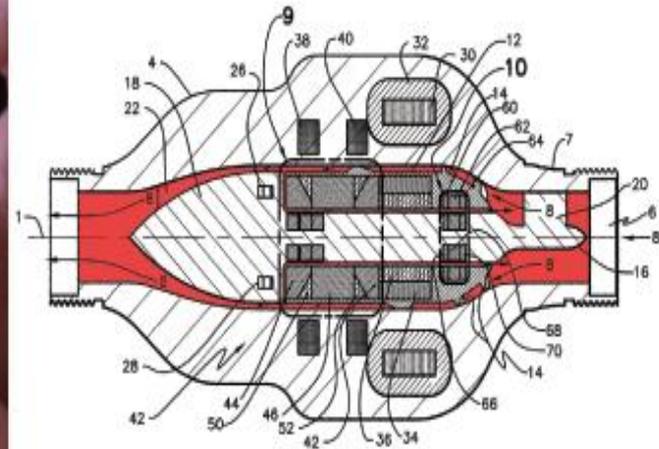
Protesica



LVAD (Left Ventricular Assist Devices) cooperano con il cuore naturale nel pompare il sangue

Pompe rotative a levitazione magnetica controllate a retroazione

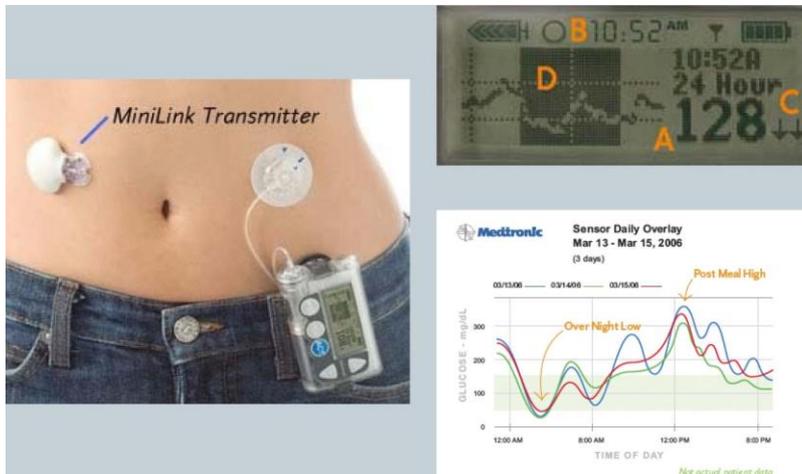
35.000 impianti/anno previsti
(250000 pacemakera/a)





Ricercatori alla UCSB hanno recentemente dimostrato che un **pancreas artificiale automatizzato (APS)** può efficacemente mantenere costante il livello di glucosio nel sangue in un paziente affetto da diabete di tipo 1.

Il sistema automatico (a retroazione) monitorizza in modo continuo il livello del glucosio e provvede a rilasciare automaticamente insulina. La capacità di assorbire disturbi dovuti a cause esogene è stata provata clinicamente con successo,



NATURE | Vol 453 | 8 May 2008

Drug firm turns spotlight on basic systems biology

The pharmaceutical company Pfizer has launched a three-year, US\$14-million systems-biology consortium to improve the understanding of diabetes and obesity.

In the new Pfizer programme, researchers at the University of California, Santa Barbara, the California Institute of Technology in Pasadena, the Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, the University of Massachusetts, and biotechnology company Entelos based in Foster City, California, will examine the regulatory mechanisms involved in insulin signalling in fat cells.



“Control of quantum-mechanical systems”

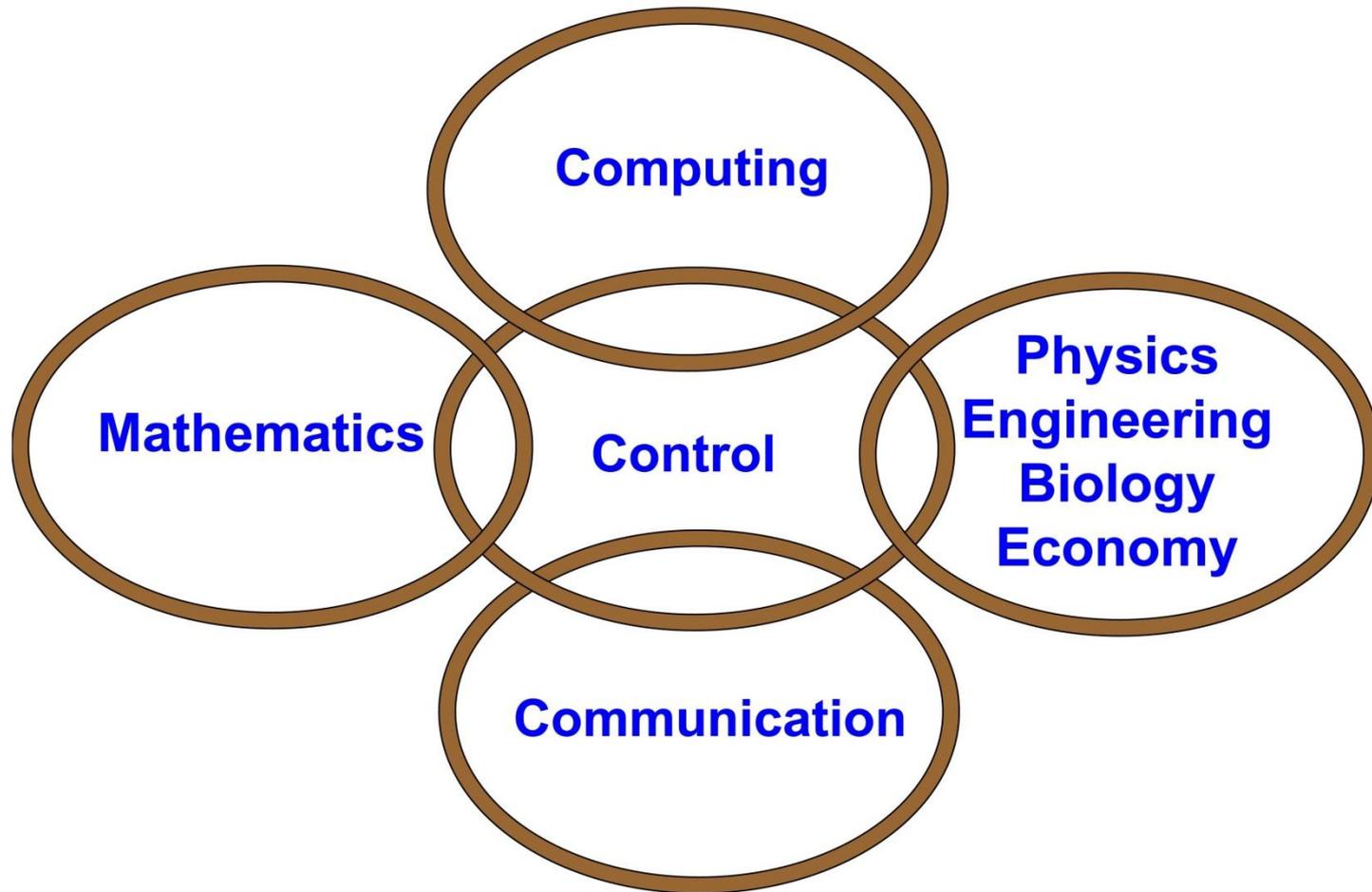
Negli anni '70 e '80, la geometria differenziale (algebre di Lie) si rivelò uno strumento efficace per analizzare il controllo di sistemi nonlineari

Oggi, gli stessi metodi geometrico-differenziali vengono utilizzati per la sintesi di leggi (sequenze di impulsi) di controllo per sistemi modellati da equazioni di Schroedinger
Le tecniche vengono applicate alla compensazione della dispersione nella **spettroscopia NMR**.

Il problema nuovo di controllo è quello di controllare un **insieme di sistemi** usando uno stesso ingresso



Il Pentafoglio

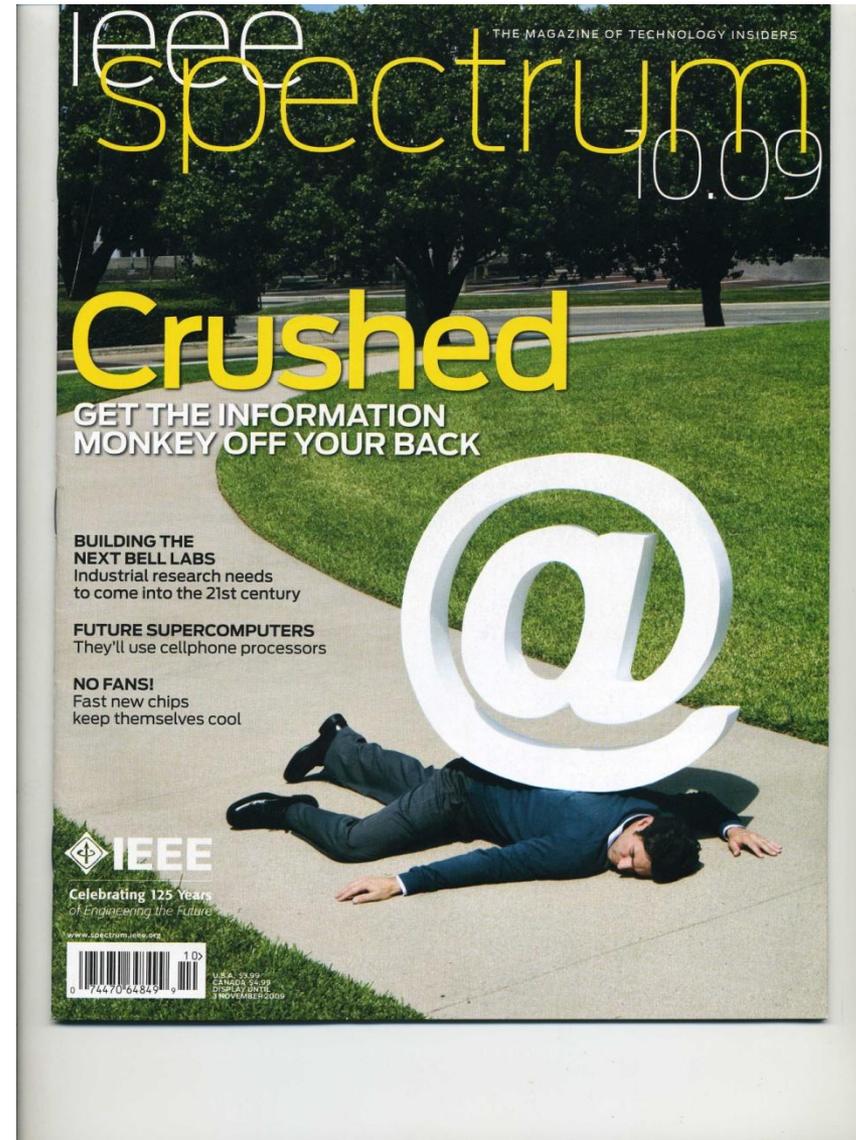




Il Pentafoglio

- La Facoltà dell'Ingegneria dell'Informazione può prosperare solo se queste 5 foglie si sviluppano in modo equilibrato
- evitando tentazioni egemoniche
- respingendo derive unilaterali

Don't get crushed !





L'Automatica in Italia

Situazioni locali di sofferenza, sulle cui responsabilità non è il caso di soffermarsi in questa sede, sono fortunatamente casi isolati in un quadro nazionale nel quale l'Automatica si presenta al contempo consistente e di alto livello.



Associazione alla
quale aderiscono più
di 300.000
professionisti
nel mondo

- solo 100 studiosi in Italia sono stati insigniti del prestigioso titolo di IEEE Fellow
- di questi, ben 15 afferiscono al sottosettore disciplinare Automatica (**Control Systems Society**)
- nonostante che i sottosectori disciplinari dell'IEEE (le Societies) siano in tutto 37



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Il 2010 Anno d'Oro

Nel 2010, le Presidenze dei due massimi organismi scientifici internazionali che raggruppano studiosi e professionisti di Automatica sono ricoperte da due Italiani.

Italiana è la presidenza della CSS nel 2010
Prof. Roberto Tempo, CNR (Torino),



International Federation of Automatic Control

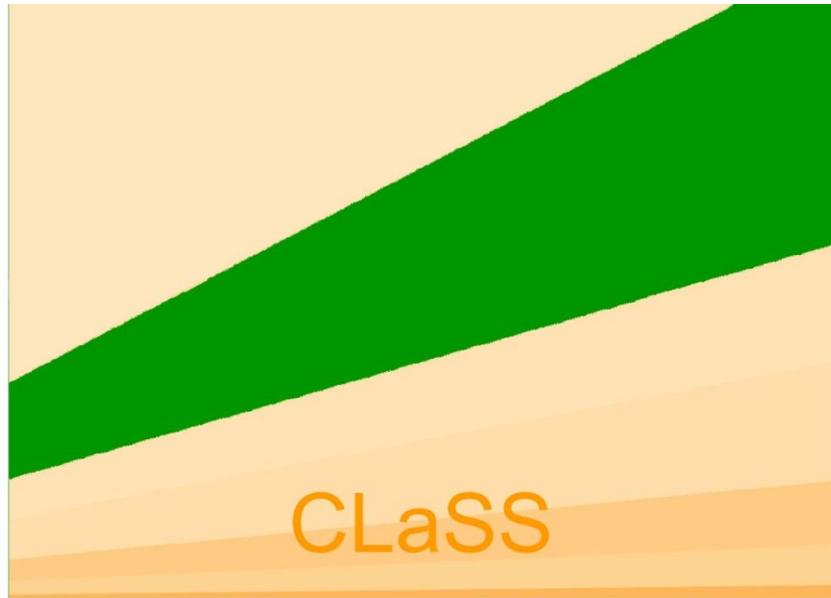
Italiana è la Presidenza dell'IFAC
nel triennio 2008-2011.

Il 18° Congresso Mondiale IFAC si
terrà a Milano nel Settembre 2011.





Le nuove generazioni



Portfolio of
**Control of Large-Scale
Systems**
FP7 Projects

DG INFSO

G3 Embedded Systems and Control

FP7 Projects **Control of Large-Scale Systems**

AEOLUS (224548) - Distributed Control of Large-Scale Offshore Wind Farms

CHAT (224428) - Control of Heterogeneous Automation Systems: Technologies for scalability, reconfigurability and security

CON4COORD (223844) - Control for Coordination of Distributed Systems

DISC (224498) - Distributed Supervisory Control of Large Plants

FeedNetBack (223866) - Co-design for networked control systems

HD-MPC (223854) - Hierarchical and Distributed Model Predictive Control of Large-Scale Systems

MULTIFORM (224249) - Integrated Multi-formalism Tool Support for the Design of Networked Embedded Control Systems

PRODI (224233) - Power plants Robustification based On fault Detection

WIDE (224168) - Decentralized and Wireless Control of Large-Scale Systems



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Le nuove generazioni

CHAT (224428) - Control of Heterogeneous Automation Systems: Technologies for scalability, reconfigurability and security.

Antonio Bicchi (cl 1960) Univ. di Pisa



DISC (224498) - Distributed Supervisory Control of Large Plants.

Alessandro Giua (cl 1964) Univ. di Cagliari





SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Le nuove generazioni

WIDE (224168) - Decentralized and Wireless Control of Large-Scale Systems.

Alberto Bemporad (cl 1970) Univ. di Siena



AIRobots (248669) - Innovative aerial service robots for remote inspections by contact.

Lorenzo Marconi (cl 1970) Univ. di Bologna





Esportiamo anche ...

Nel 2002, l'assemblea di tutti i docenti del settore disciplinare Automatica elesse una commissione per la valutazione del **merito scientifico** (in vista dei giudizi di idoneità).

Tra le altre cose, la Commissione decise di attribuire un "premio" al miglior Professore Associato e al migliore Ricercatore.

I premi vennero attribuiti a:

Alessandro Astolfi (cl 1969, da Roma)

David Angeli (cl 1970, da Firenze)



Entrambi i premiati sono ora Professori all'Imperial College di Londra



Conclusioni

L'Automatica è la **Tecnologia Abilitante** in molti settori nei quali le nazioni tecnologicamente avanzate effettuano investimenti strategici

Energia da fonti rinnovabili

Trasporti, individuali e collettivi, sicuri

Risparmio di energia e materie prime

Robotica avanzata

Bio-Ingegneria

La qualità della ricerca accademica in Automatica in Italia è di altissimo livello.

Le opportunità ci sono, l'offerta formativa è eccellente, occorre solo il coraggio di accettare la sfida.