

Applicazioni dell'automatica

Speaker: Alessandro Giuseppi
Corso di Controlli Automatici
giuseppi@diag.uniroma1.it



Perché Automatica?



Il DIAG è dedicato al suo fondatore, il Professor **Antonio Ruberti**, storico Rettore della Sapienza e Professore di **Controlli Automatici e Teoria dei Sistemi**, di cui è considerato tra i padri della materia.

L'Automatica è la **Tecnologia Nascosta per Eccellenza**

- I principi e le tecniche dell'Automatica sono **pervasivi**, efficaci e quasi sempre **indispensabili** nello sviluppo di **tutte le altre tecnologie**.
- L'industria moderna sta vedendo un'integrazione sempre più capillare ed avanzata dell'automazione
- Non esiste settore industriale che non utilizzi procedure riconducibili alla Teoria del Controllo



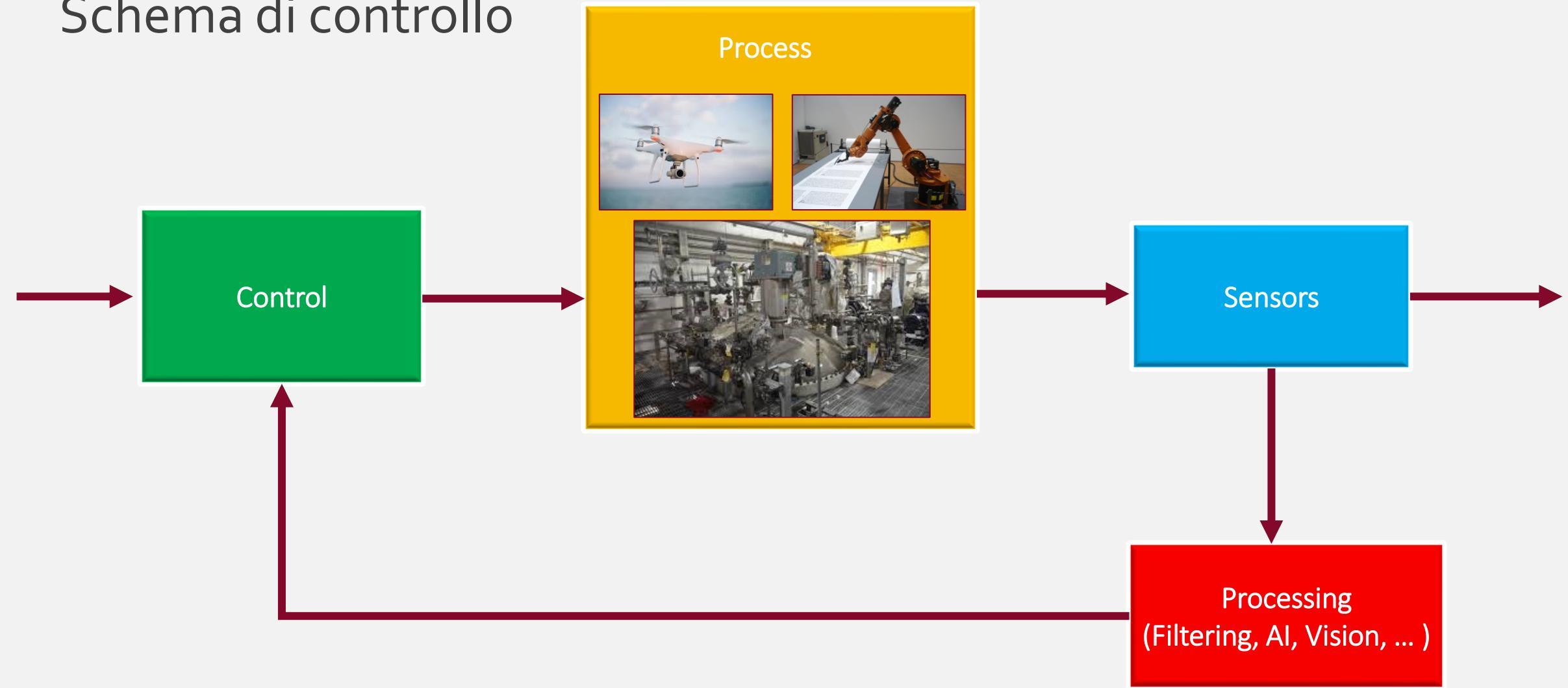
Alcuni dei settori in cui l'Automazione è presente

Non dobbiamo immaginare l'automazione come qualcosa che esiste solo all'interno delle fabbriche

- Automotive e Guida Autonoma
- Settore Energetico, Fonti Rinnovabili
- Settore Spaziale, Satellitare
- Telecomunicazioni (5G)
- Settore Navale ed Aereo
- Stabilizzazione Video
- Mercati Finanziari
- Cyber-Security



Schema di controllo



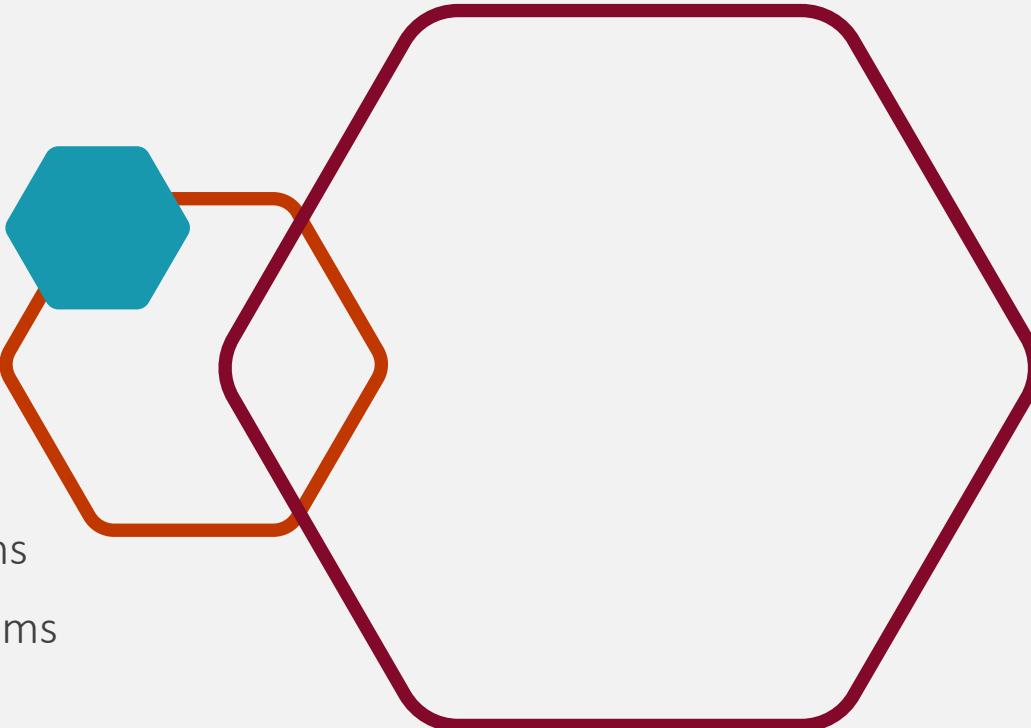
Atlas – Boston Dynamics





Scaletta presentazione

- Sistemi Cyber Fisici
- Smart Homes and Smart Heating Systems
- Il Progetto ATENA
 - Dynamic Network Reconfiguration
 - Risk Aware Virtual Power Plant
 - Black start
- Aerospace control
 - Life Support System
 - Risk Aware Virtual Power Plant
 - Robust and Fault Tolerant Control
- Model-Free Control in Telecommunication Systems
- Model-Based Control in Telecommunication Systems
- Biomedical Systems
- Deep Neural Networks in Control Systems



Cos'è un Sistema Cyber-Fisico?

E perché è importante controllarlo?

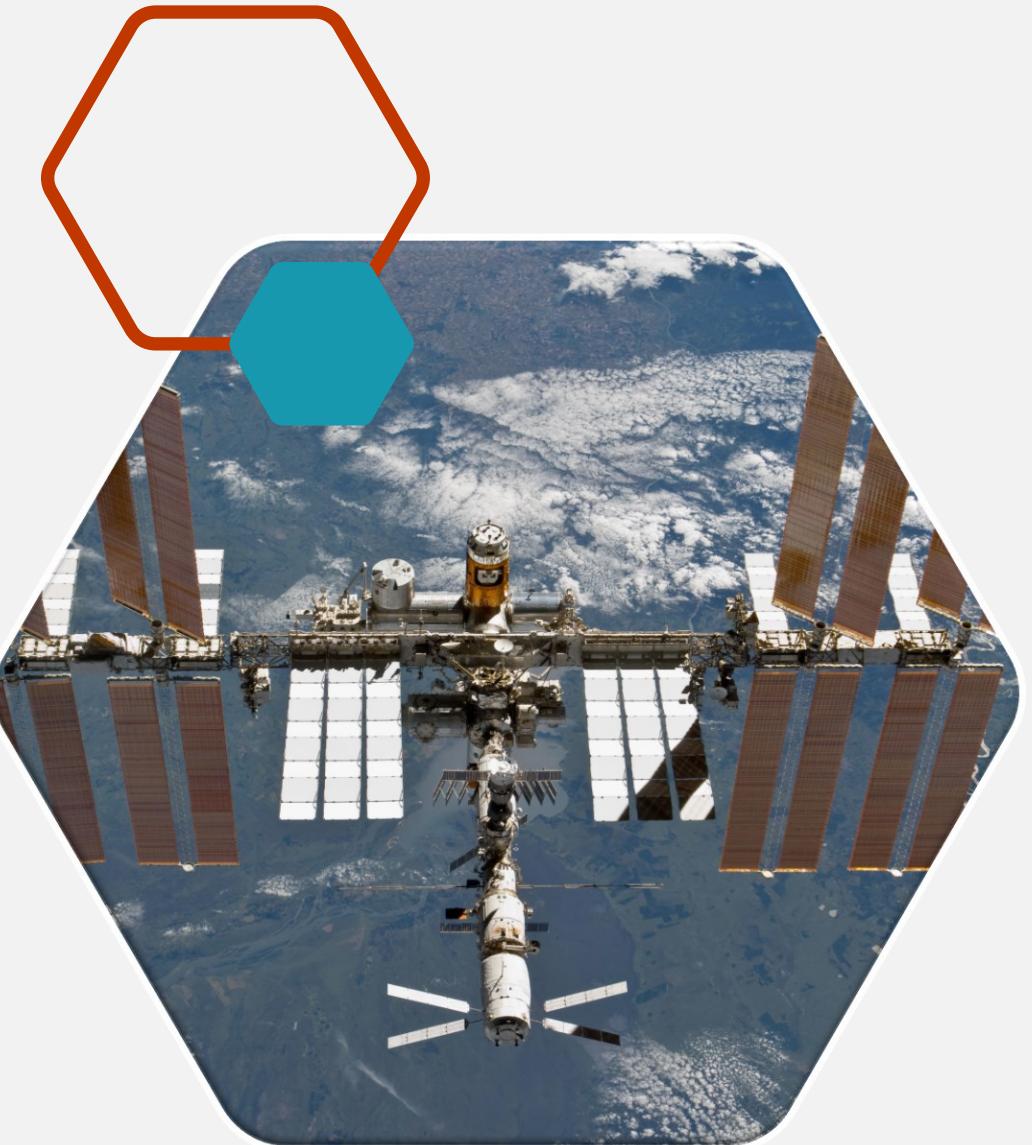
I sistemi Cyber-Fisici sono tutti i sistemi in cui c'è una forte interazione tra un processo fisico ed un sistema informatico.

Sono caratterizzati dalle tre C:

- Calcolo
- Comunicazione
- Controllo

Gli esempi più diffusi sono le smart-grids, i droni, i sistemi di trasporto intelligenti, i satelliti ed i robot impiegati nelle fabbriche intelligenti.

Il controllo di tali sistemi ha due obiettivi: l'**efficienza** e la **sicurezza** nell'esercizio.



Smart Home

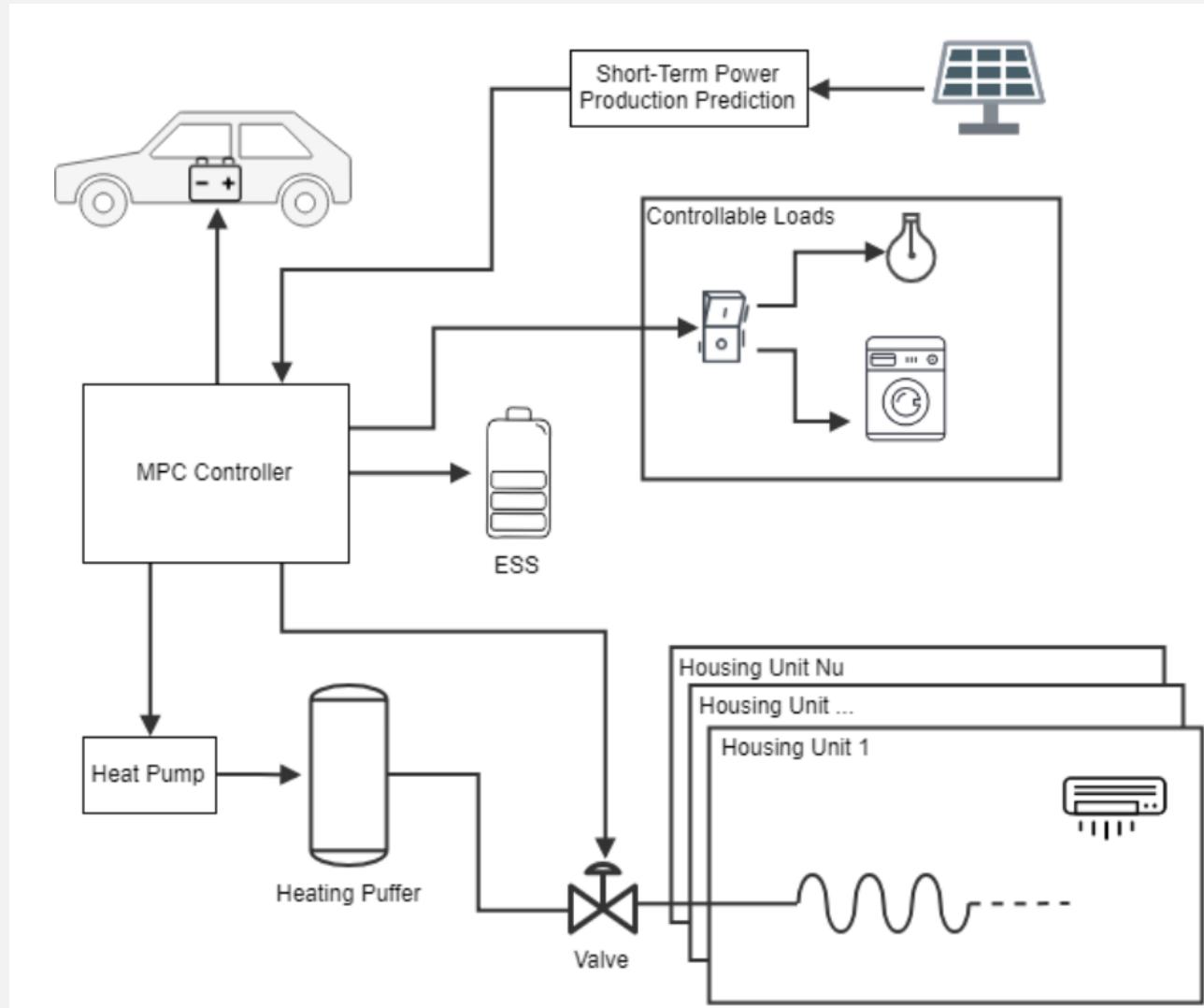
Pianificazione ottima dell'impiego elettrodomestici e riscaldamento

Obiettivo

- Ridurre la bolletta
- Utilizzare quanta più energia fotovoltaica possibile
- Soddisfare tutte le richieste utente elettriche e di comfort termico (carica auto, temperatura, uso elettrodomestici, ...)

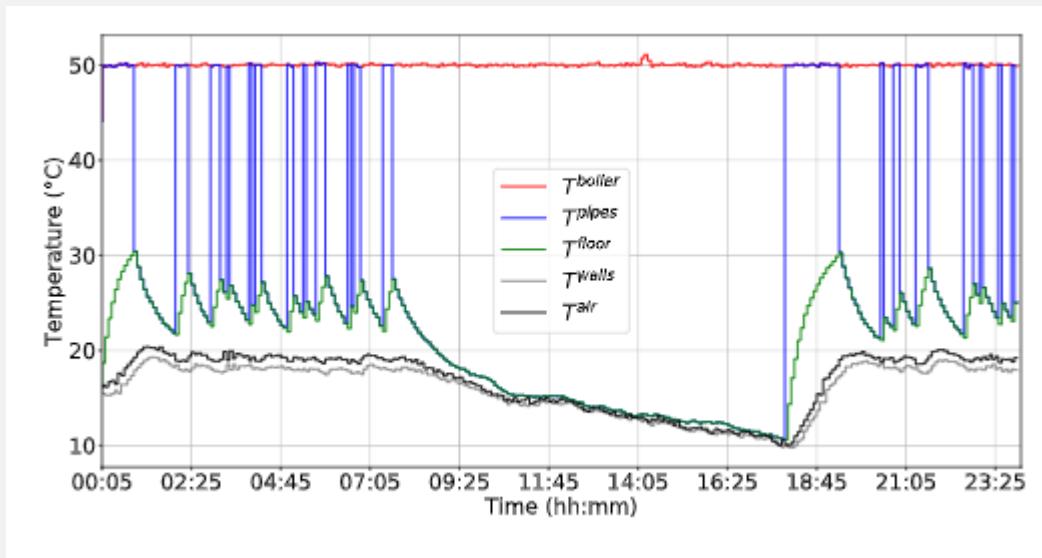


Smart Home

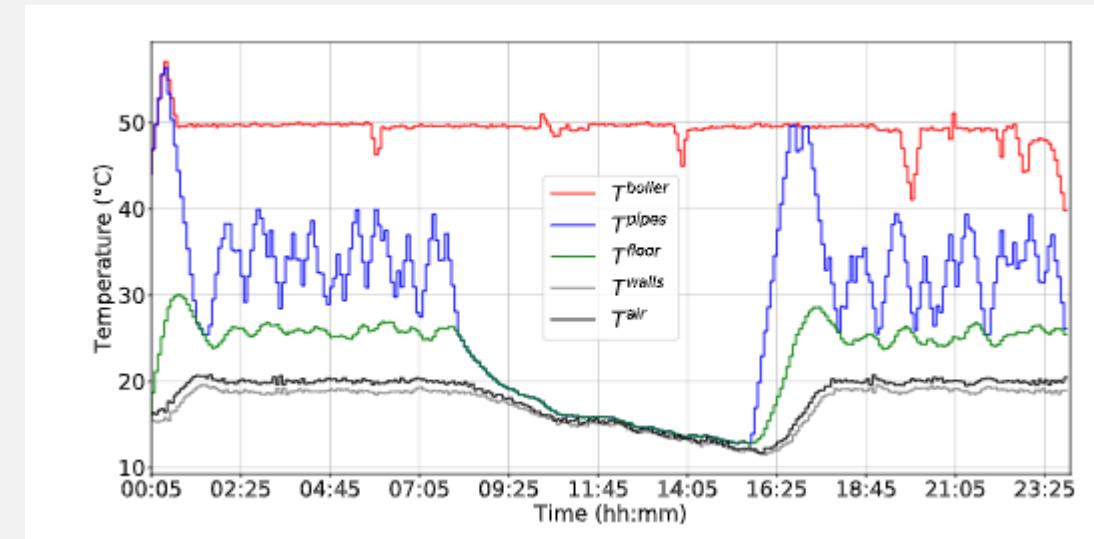


Profilo Temperatura

Controllo a soglia

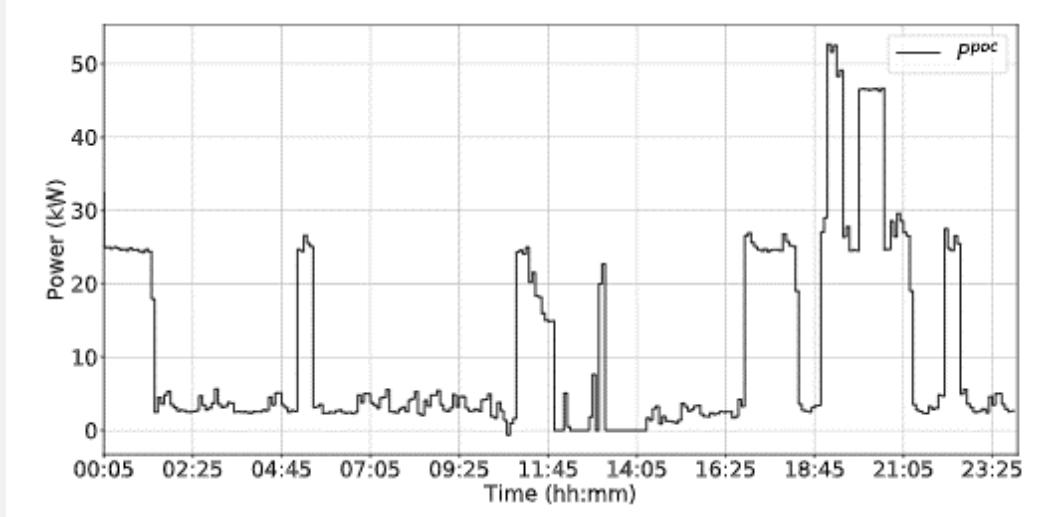


MPC termico + elettrico

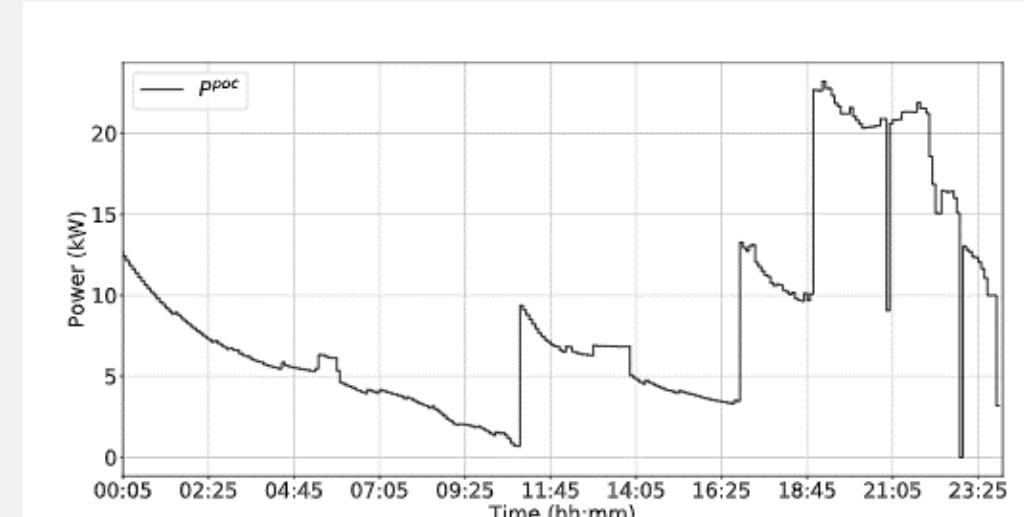


Power flow con la rete

Controllo a soglia



MPC termico + elettrico



Power flow con la rete

Controllo a soglia

TABLE I
KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPIs) OF SIMULATION 1 (BASELINE SCENARIO).

$avg(err_{Tair})$	$std(err_{Tair})$	$std(P^{poc})$	$\int P^{poc}$	$max(P^{poc})$
1.4 °C	1.9 °C	12.34 kW	248.17 kWh	52.64 kW

MPC termico + elettrico

TABLE III
KPIs OF SIMULATION 3 (FULL CONTROL).

$avg(err_{Tair})$	$std(err_{Tair})$	$std(P^{poc})$	$\int P^{poc}$	$max(P^{poc})$	Peak Reduction	Saving
0.36 °C	0.7 °C	6.25 kW	205.9 kWh	23.2 kW	-55,93%	-19,35%

Versione preliminare:

Martirano, L., Habib, E., Giuseppi, A., & Di Giorgio, A. (2018, September). Nearly Zero Energy Building Model Predictive Control for efficient heating. In 2018 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS) (pp. 1-6). IEEE.

Versione finale under peer review



ATENA

<https://www.atena-h2020.eu>

Il Controllo per la Sicurezza

Efficienza e Sicurezza

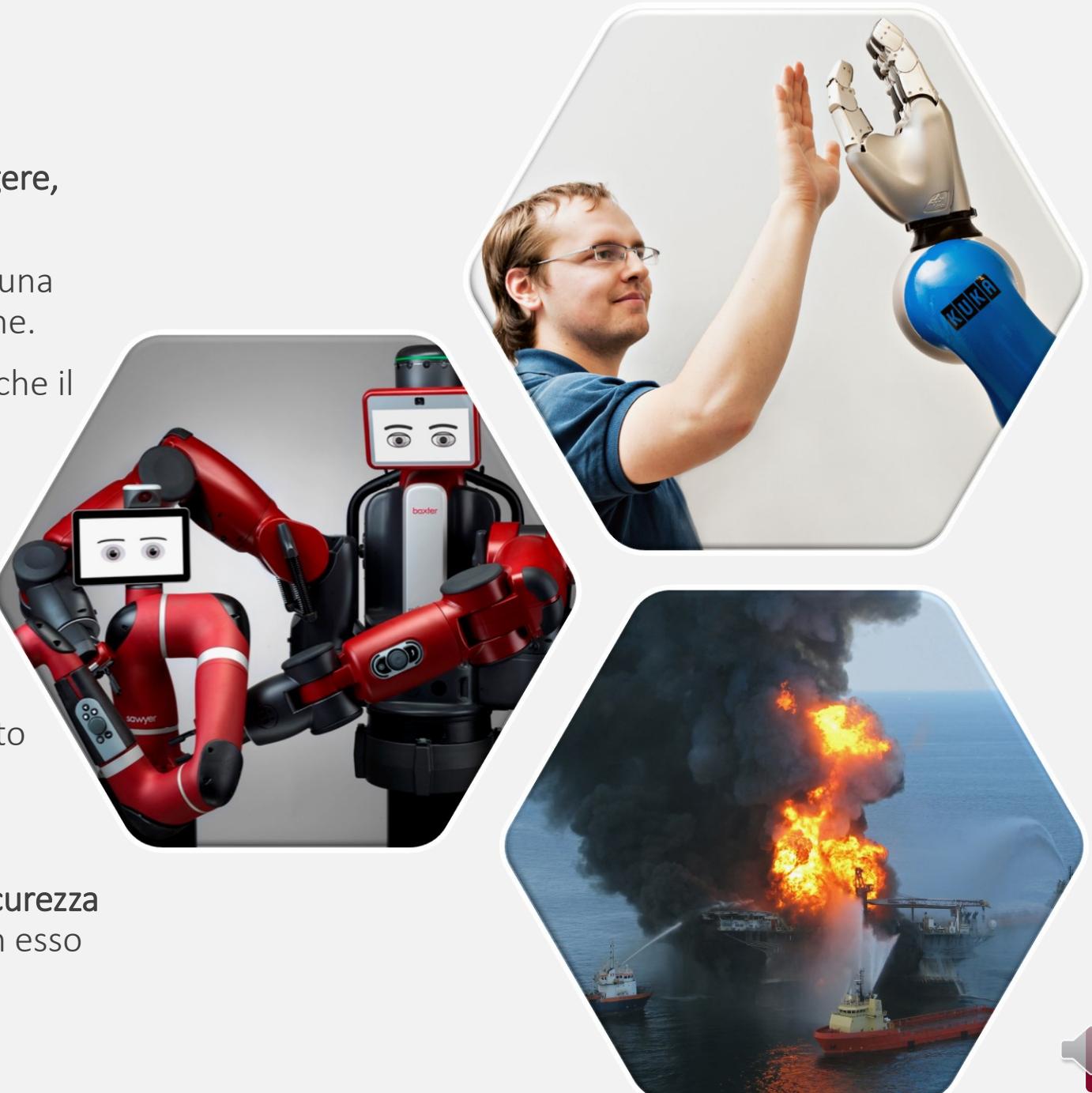
Ogni sistema controllato ha un **obiettivo da raggiungere**, come ad esempio portare energia elettrica ad un'abitazione, assemblare un prodotto, sintetizzare una medicina, pilotare un aereo o riscaldare un'abitazione.

Qualsiasi sistema di controllo è progettato in modo che il sistema raggiunga questo obiettivo.

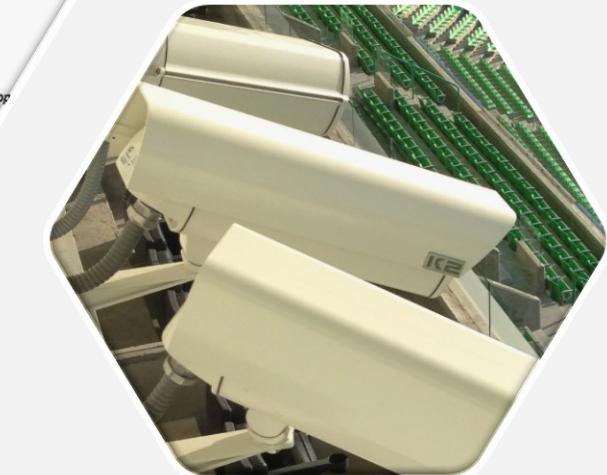
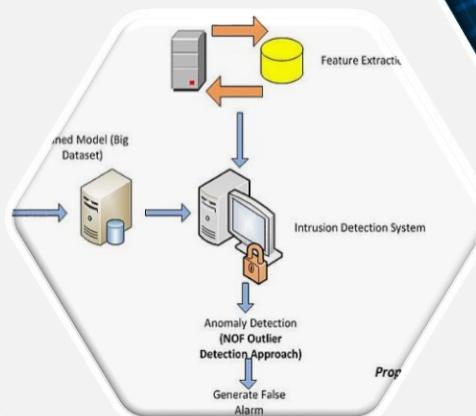
Un **buon** sistema di controllo è progettato in modo che l'obiettivo sia raggiunto in maniera **efficiente**, ovvero spendendo il minimo possibile e riducendo il tempo richiesto.

Non è però sufficiente garantire l'efficienza, in quanto operare dei sistemi cyber-fisici comporta **dei rischi**.

È quindi di fondamentale importanza garantire la **sicurezza** del sistema, e di tutti gli attori che interagiscono con esso (umani, ambiente, altri sistemi cyber-fisici...).



Security vs Safety



ATENA

Un Progetto Europeo H2020

Il focus del progetto ATENA sono le Infrastrutture Critiche (rete elettrica, idrica e gas).

È uno dei numerosi progetti in cui lavorano ricercatori del DIAG, collaborando con varie altre università ed aziende.

Il gruppo del DIAG si occupa principalmente del controllo di tali infrastrutture al fine di garantire la resilienza del servizio.

Essendo un progetto Horizon 2020 ci lavorano numerosissimi partner da tutta Europa (e non solo).



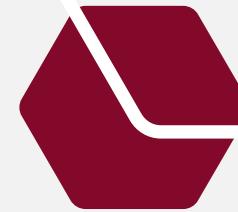
Riconfigurazione Dinamica della Rete di Distribuzione

Efficienza e Sicurezza nella rete a media tensione tramite l'utilizzo di storage elettrici e interruttori telecontrollati

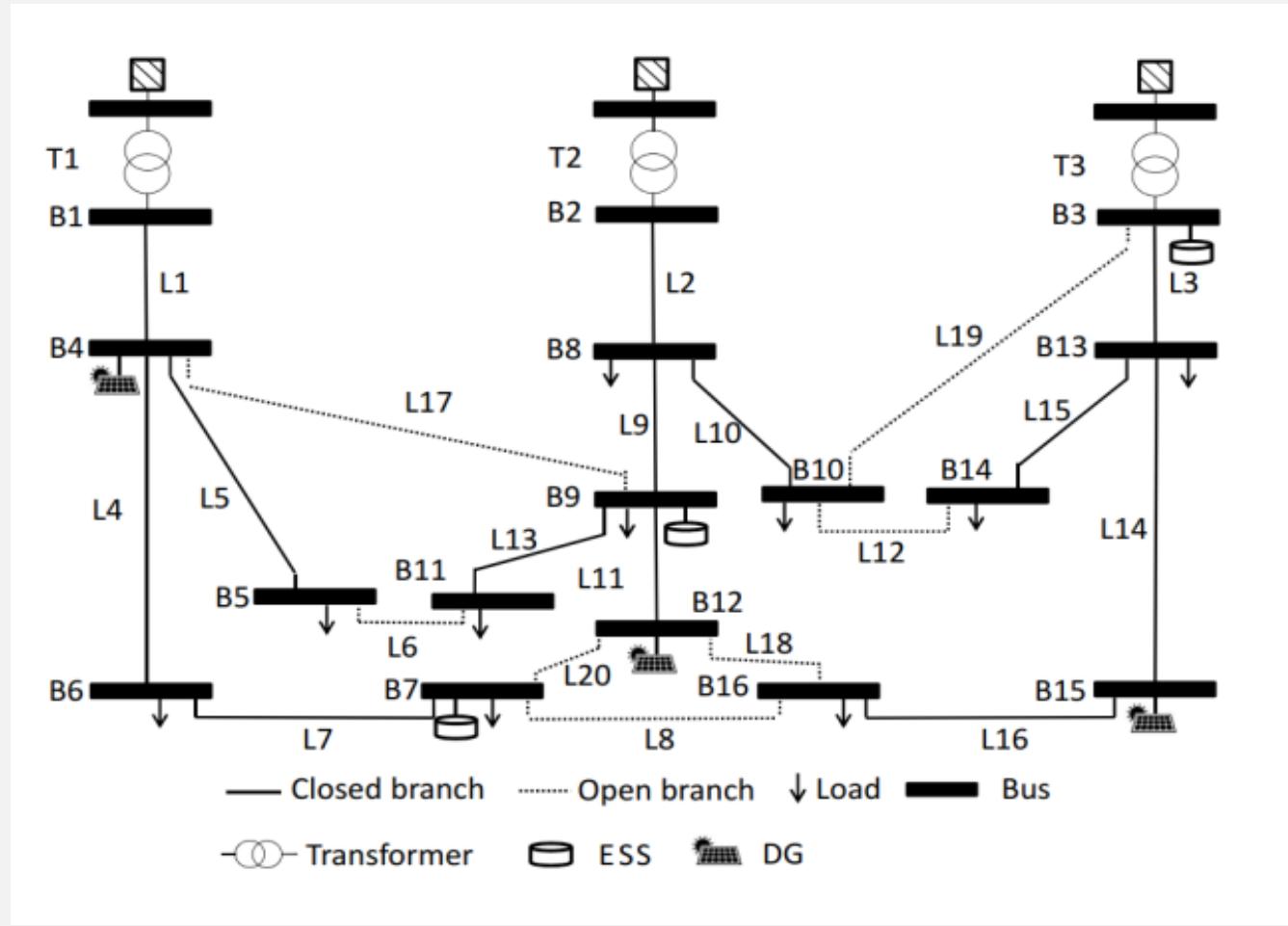
Obiettivo

Riconfigurare la rete di distribuzione (media tensione) ogni 15 minuti per:

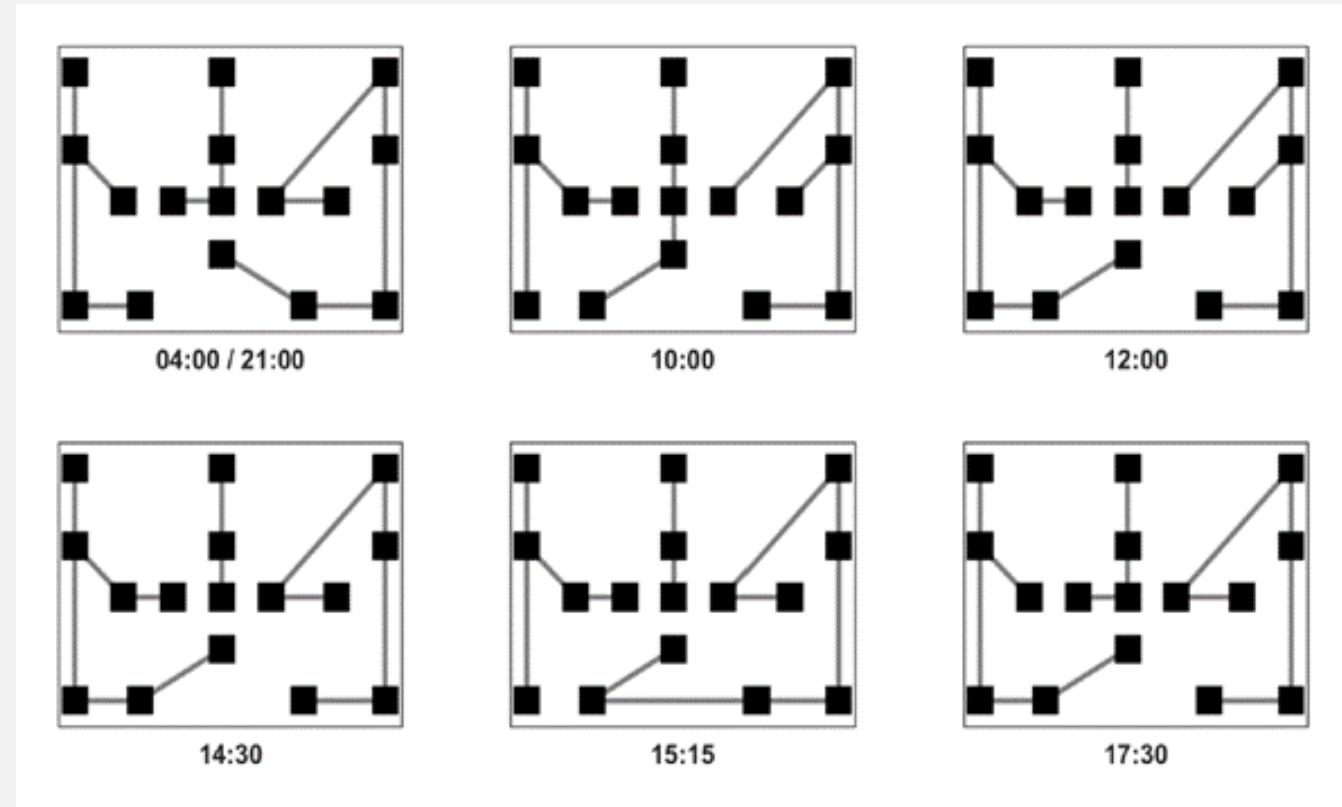
- Massimizzare l'uso delle rinnovabili
- Ridurre il rischio di guasto
- Minimizzare le perdite



Dynamic Network Reconfiguration

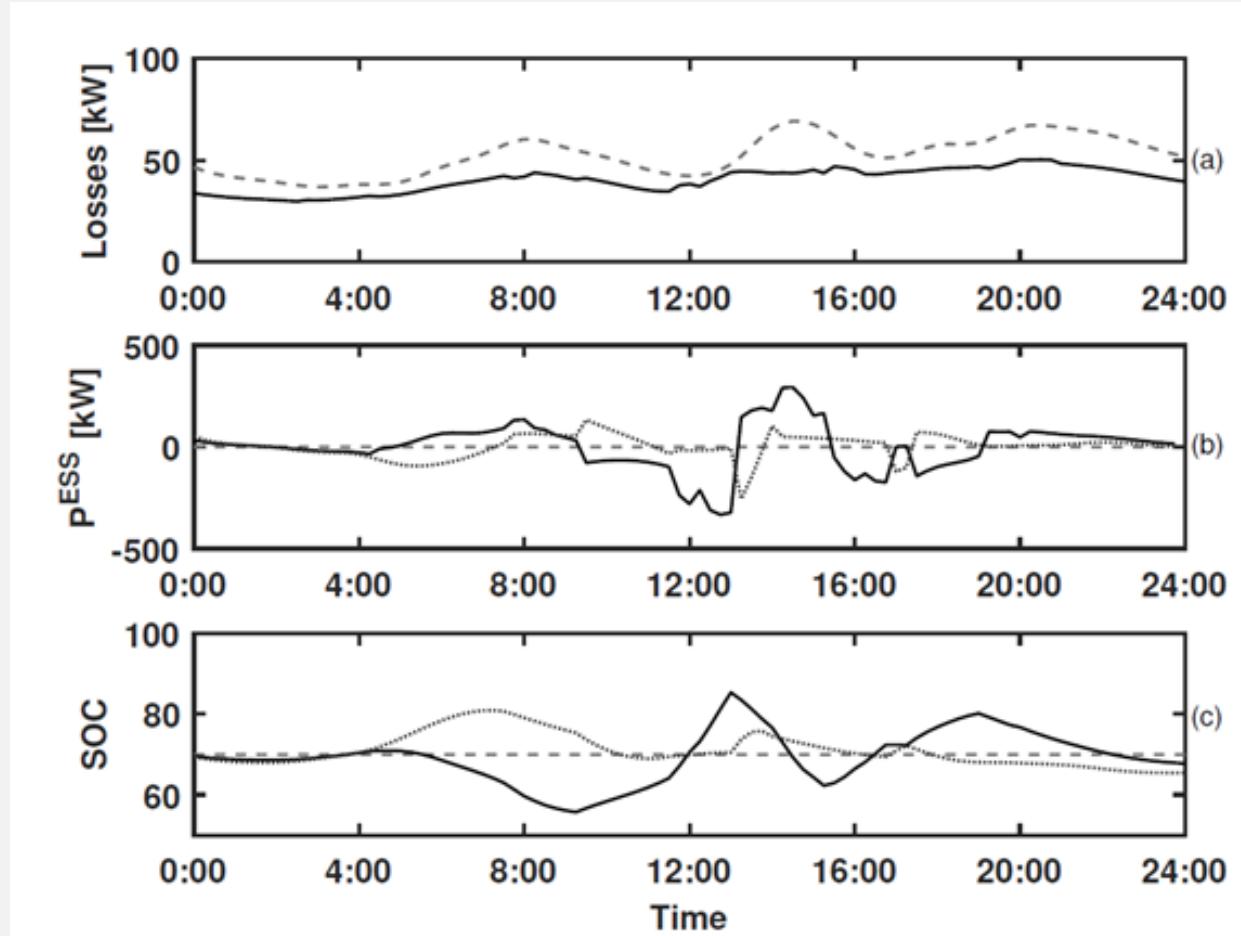


Dynamic Network Reconfiguration



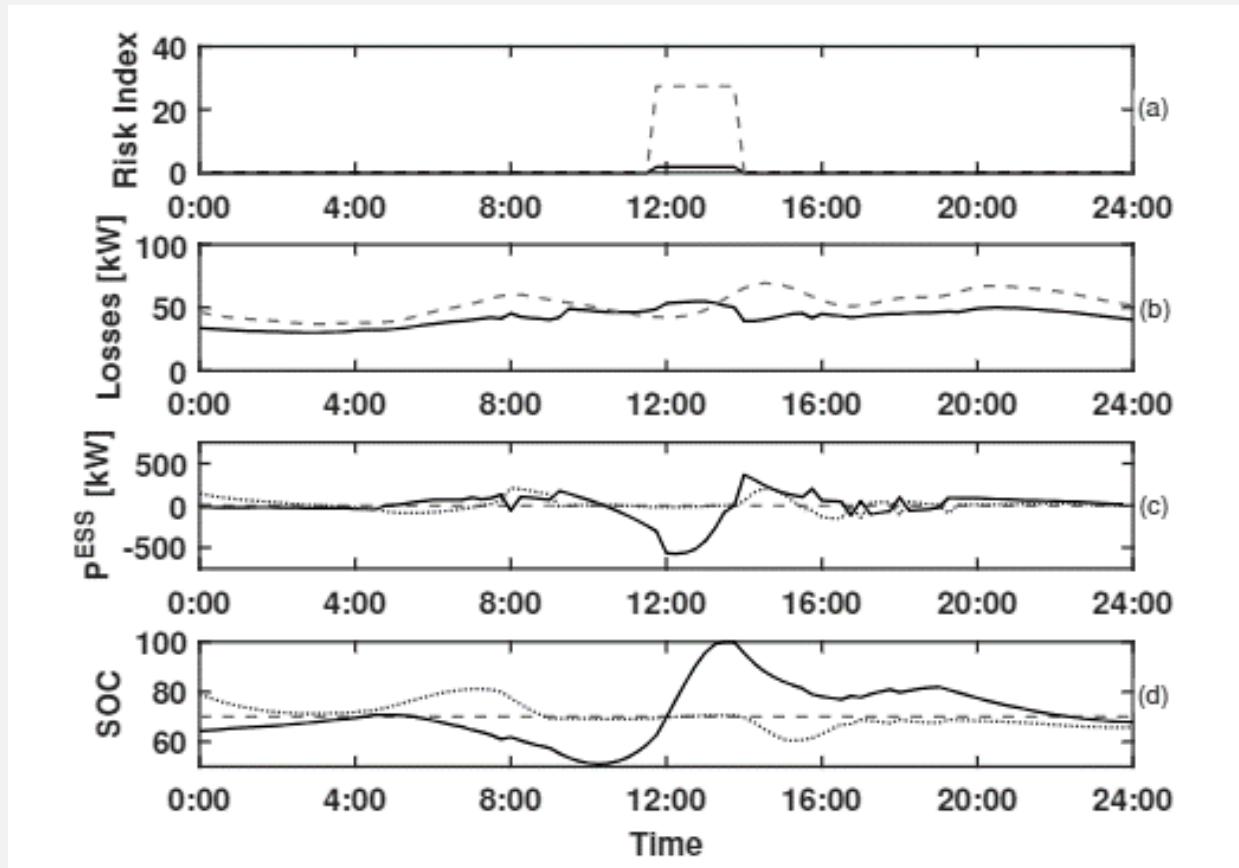
Dynamic Network Reconfiguration

Effetto sulle perdite di rete



Dynamic Network Reconfiguration

Mitigazione del rischio

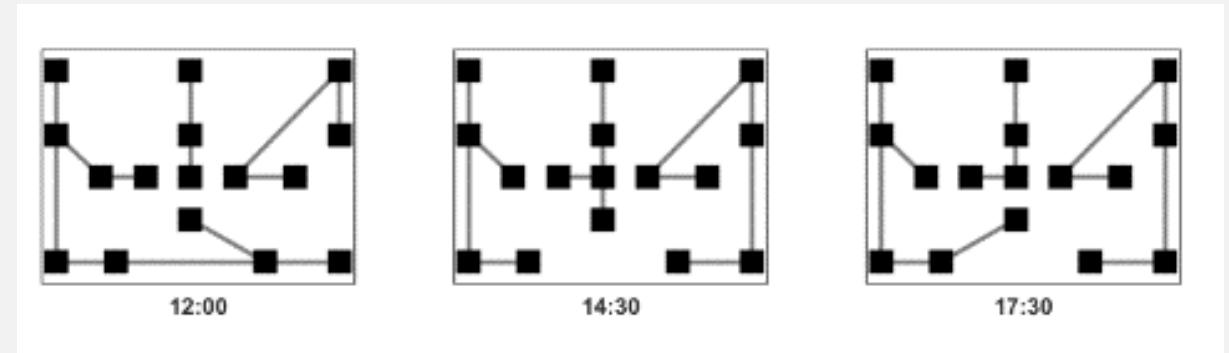
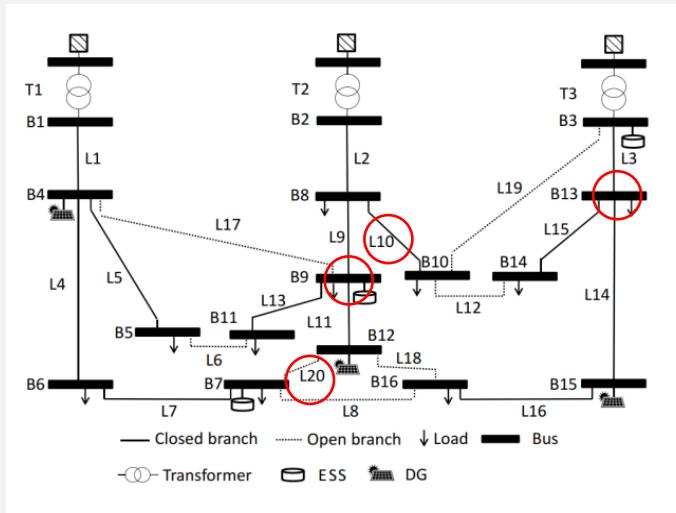


Dynamic Network Reconfiguration

Mitigazione del rischio

Table I
SIMULATION 2 - PREDICTED COMPONENTS RISK LEVELS

Components	Risk Level	Start time	End Time
Lines 10, 20	0.2; 0.2	10:45	14:45
Buses 9, 13	0.9; 0.8	11:45	13:45



Versione finale under peer review

Virtual Power Plant per la rete di Trasmissione

Efficienza e Sicurezza nella rete ad alta tensione tramite l'utilizzo di turbine eoliche e storage elettrici

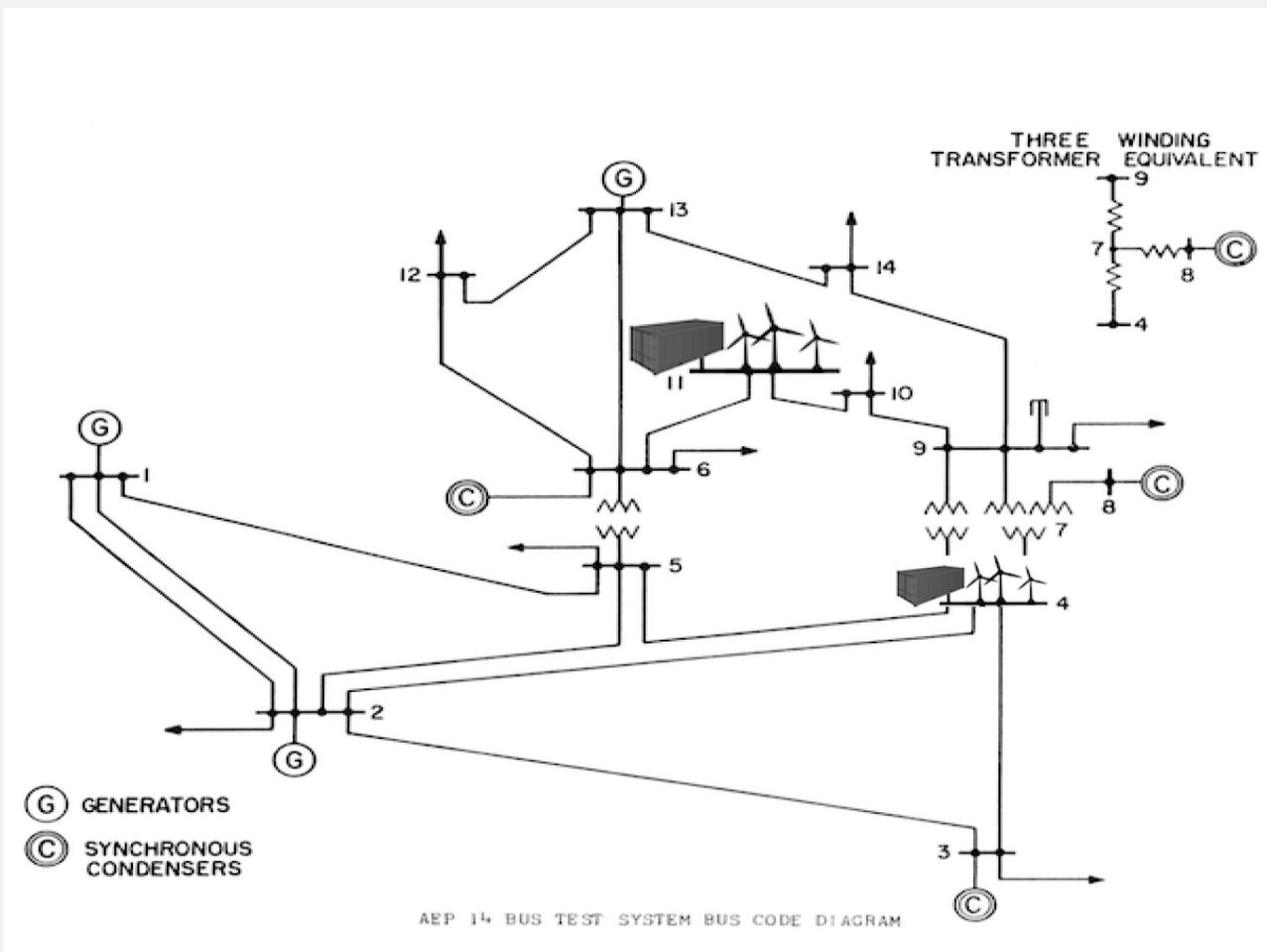
Obiettivo

Utilizzo di fonti rinnovabili e storage elettrici per:

- Ridurre al minimo l'impiego di generatori inquinanti (e costosi) per coprire la deviazione dall'ideale punto di mercato
- Rispondere a situazioni di emergenza
- Sfruttare al meglio l'eolico

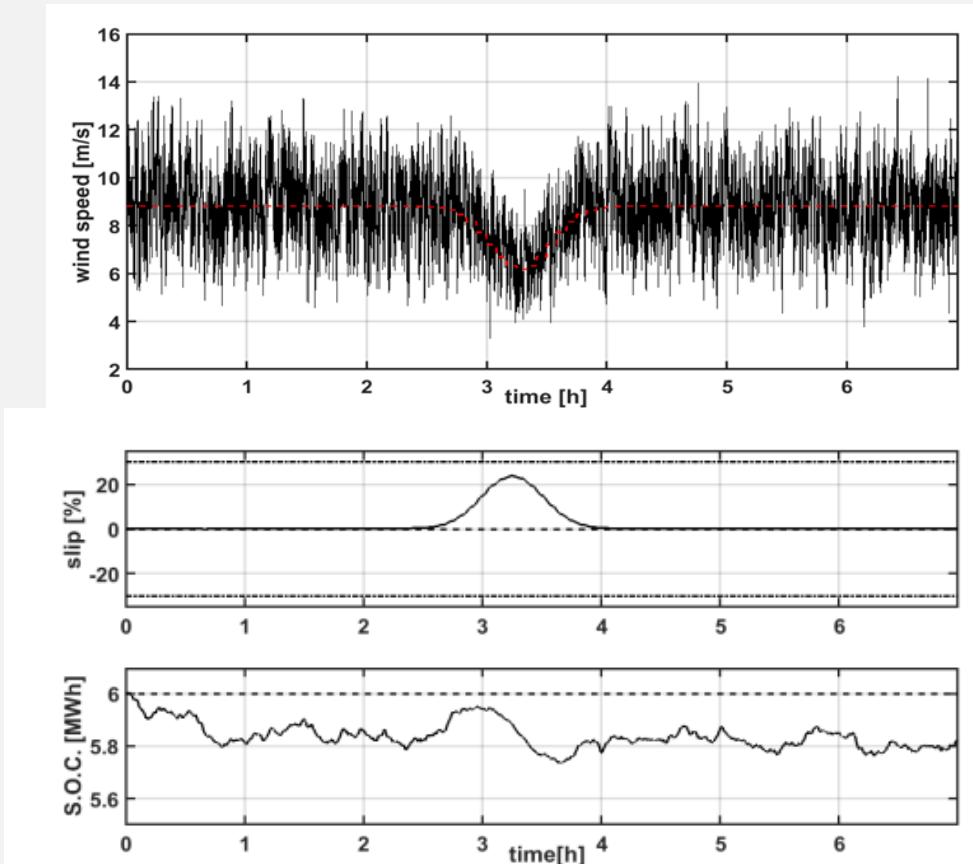


Virtual Power Plant per la rete di Trasmissione



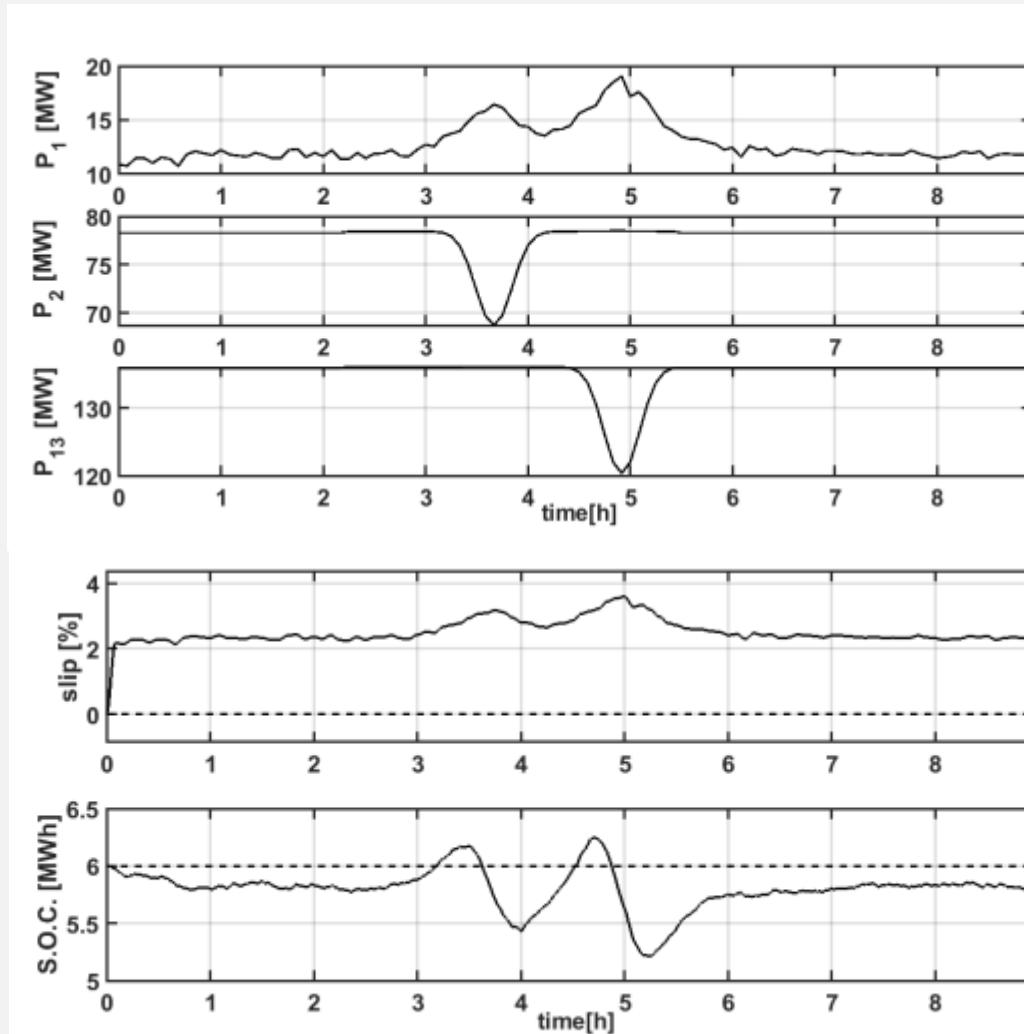
Virtual Power Plant per la rete di Trasmissione

Effetto calo di vento



Virtual Power Plant per la rete di Trasmissione

Effetto cyber attacco



Giuseppi, A., Germanà, R., & Di Giorgio, A. (2018, June). Risk adverse virtual power plant control in unsecure power systems. In *2018 26th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)* (pp. 1-9). IEEE.

Black-Start

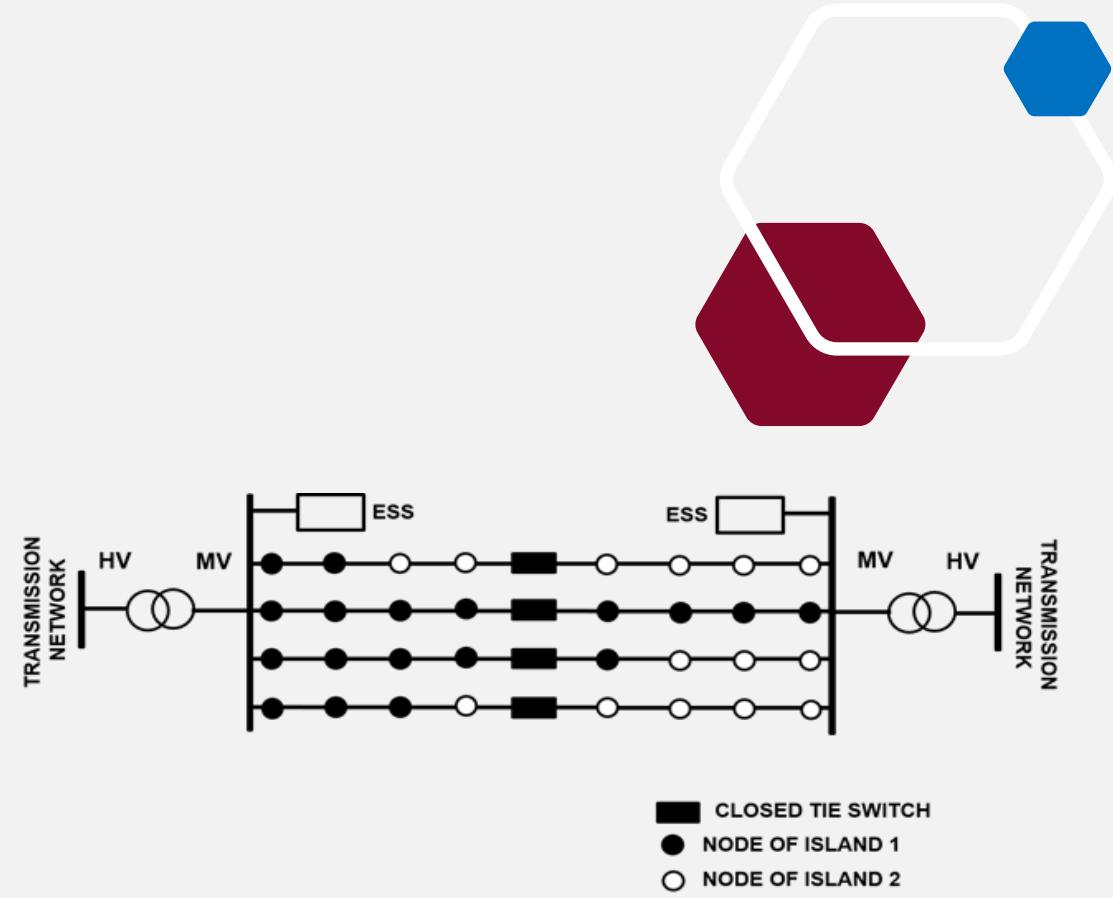
Ripresa da Black-Out sfruttando la generazione distribuita

Obiettivo

Trovare un ordine di riconnessione ottimo delle cabine elettriche per:

- Portare energia a sistemi critici (ospedali, impianti idrici, antenne telefoniche, ...)
- Evitare black-out completi (black-out Sud Italia del 2003)
- Facilitare la riconnessione alla rete ad alta tensione

Sfruttando le fonti rinnovabili distribuite e dispositivi di emergenza come batterie (eventualmente anche domestiche o di flotte di EV).



Di Giorgio, A., Giuseppi, A., Liberati, F., & Pietrabissa, A. (2017, July). Controlled electricity distribution network black start with energy storage system support. In *2017 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)* (pp. 781-786). IEEE.

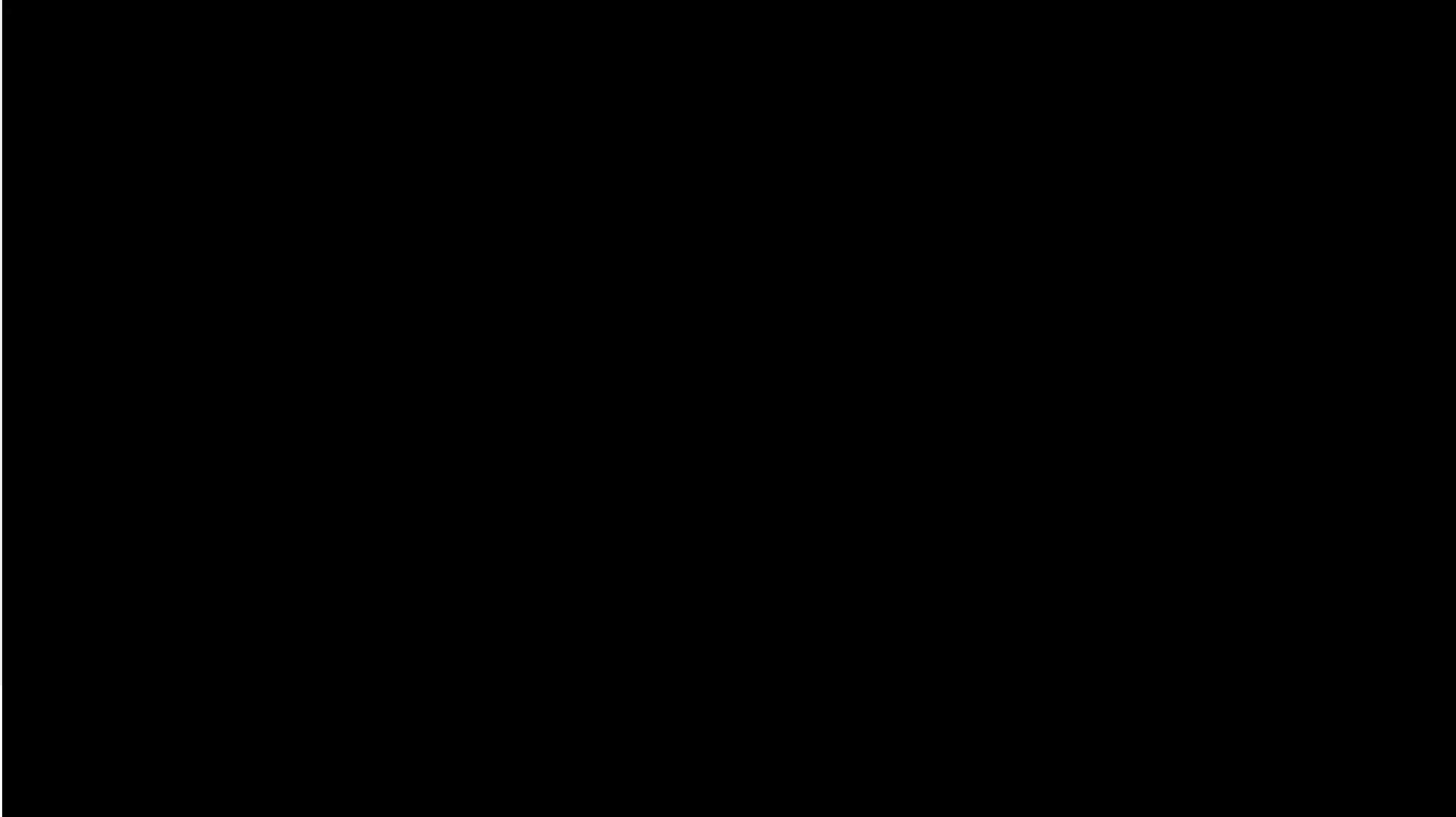


In collaboration with Thales Alenia Space Italia

Il Controllo nell'Aereospazio



Reactions Wheels – l'attuatore per il controllo d'assetto



From: https://www.youtube.com/watch?v=_UnAryf8r5Q



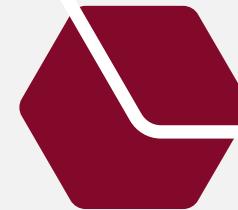
Sistema di Supporto Satellitare

Progettazione di un piccolo satellite di supporto in grado di estendere la vita operativa e supportare un altro satellite

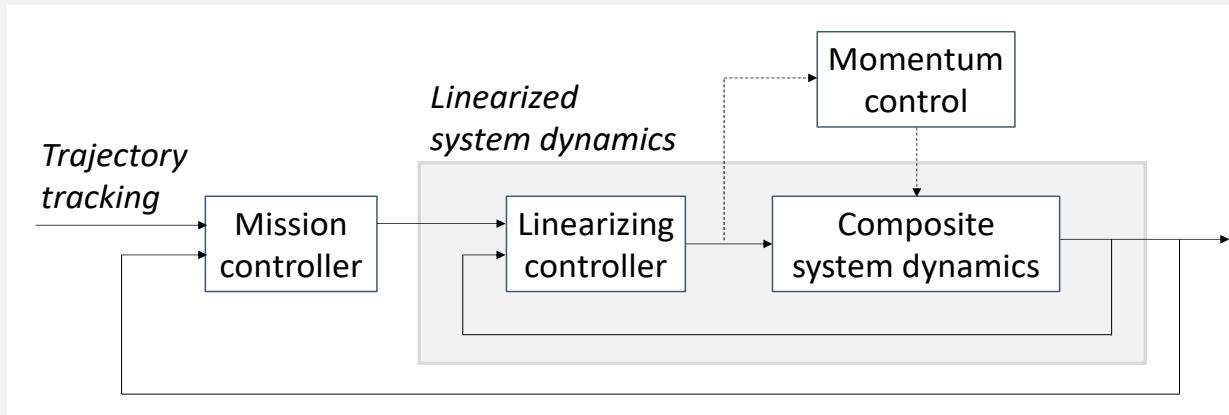
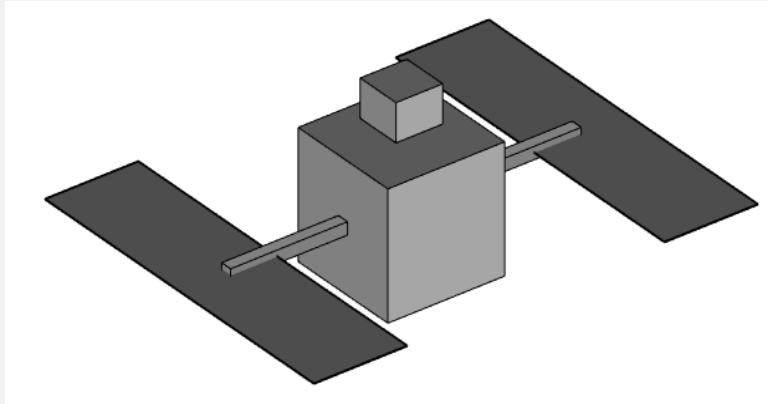
$$\begin{cases} \dot{\xi} = \mathbf{A}\xi + \mathbf{B}\nu \\ \dot{\eta} = z(\xi, \eta) \\ y = \mathbf{C}\xi \end{cases}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0], \mathbf{A} = \text{diag}(\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3), \mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, i = 1, 2, 3,$$

$$u_{req} = \Delta(J^{Tot}, q)^{-1} [\nu - a(q, L_w + L_{wn}, \omega, J^{Tot})]$$



Sistema di Supporto Satellitare



Sistema di Supporto Satellitare

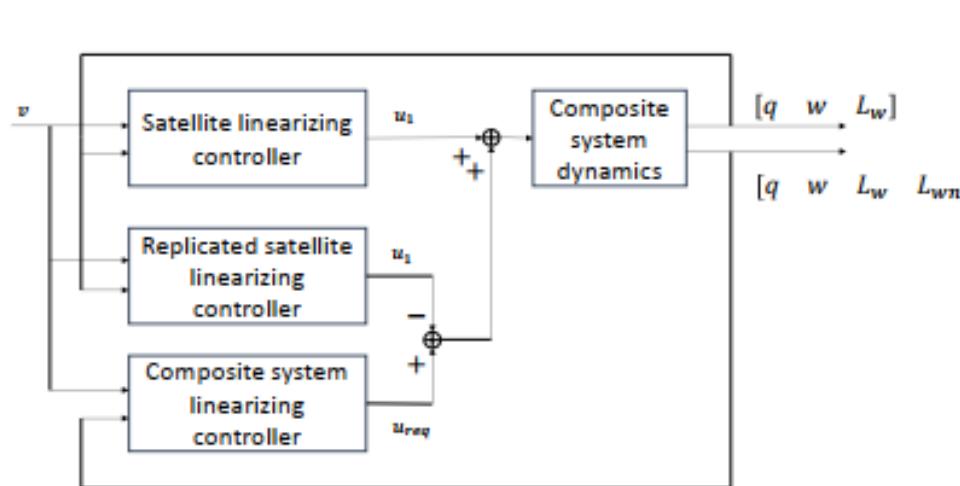


Figure 3 Feedback-linearizing controller

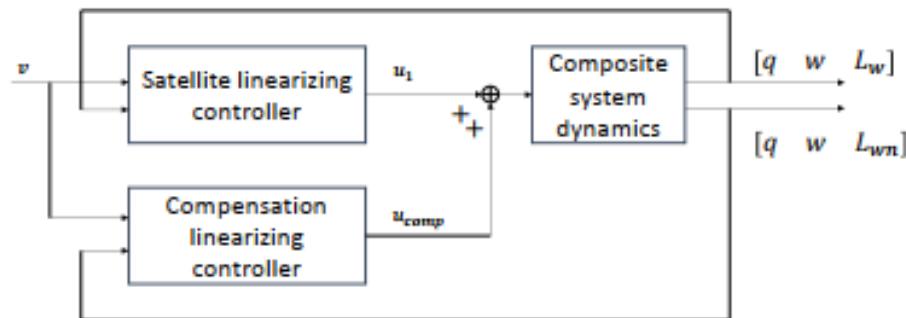


Figure 4. Feedback-linearizing compensation controller

Sistema di Supporto Satellitare

Open loop vs closed loop

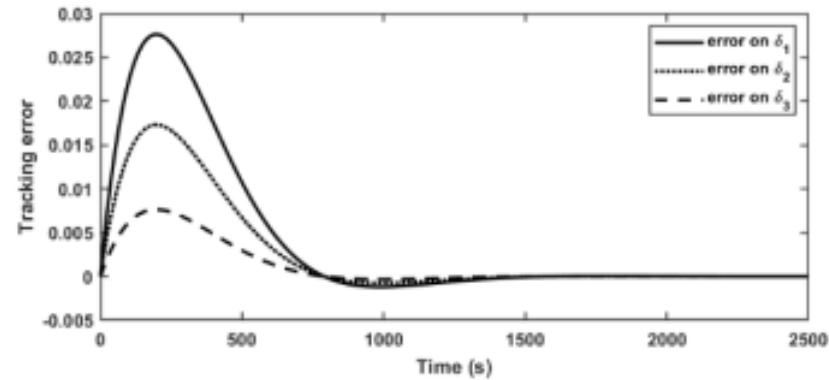
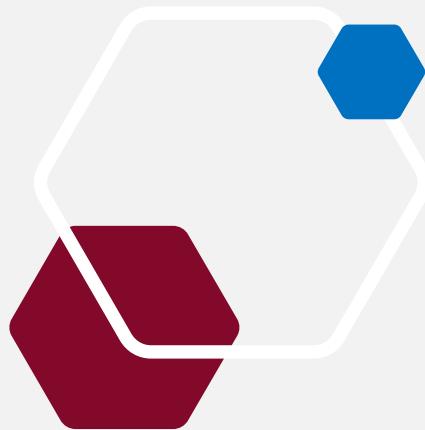


Figure 6 Tracking error evolution, LQR case

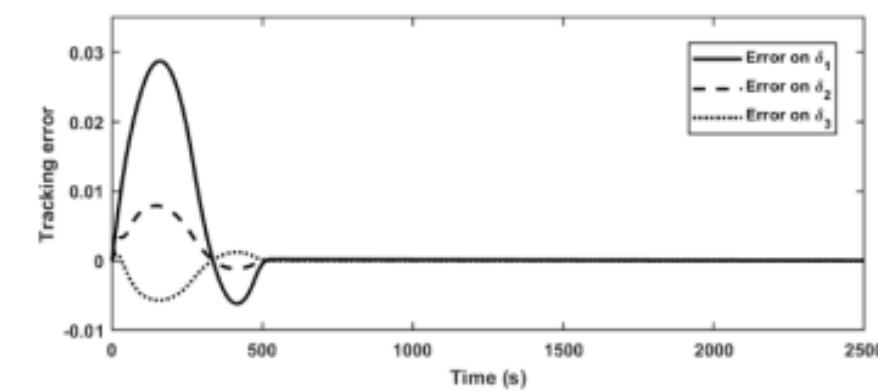
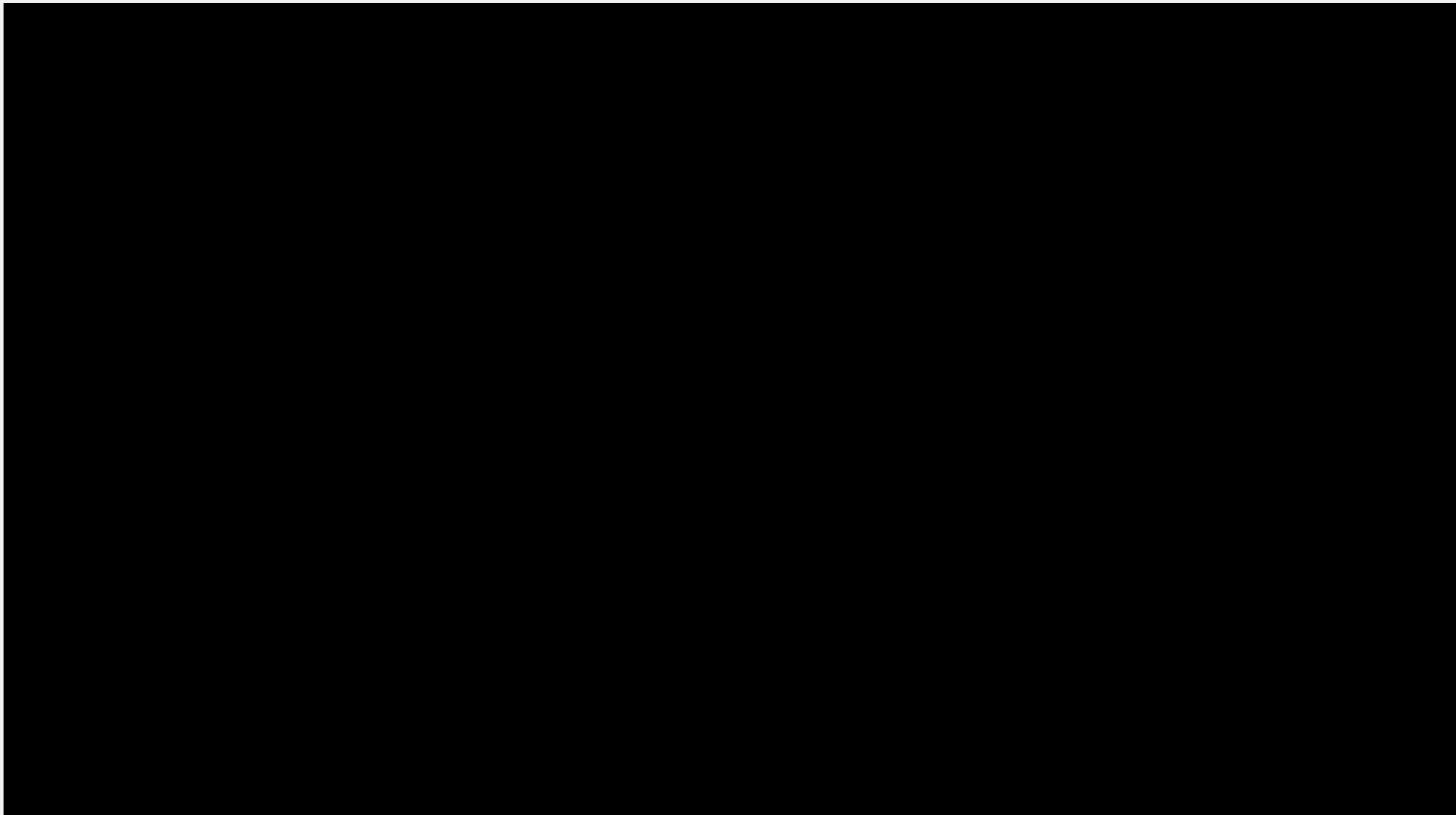


Figure 10 Tracking error evolution, MPC case



Giuseppi, A., Pietrabissa, A., Cilione, S., & Galvagni, L. (2019). Feedback linearization-based satellite attitude control with a life-support device without communications. *Control Engineering Practice*, 90, 221-230.

Satellite Rendezvous



https://www.youtube.com/watch?v=h__b2XRtL6A



Controllo Robusto per l'Assetto Satellitare

«Robusto», ovvero in grado di funzionare anche in presenza di guasti, deformazioni o disturbi

$$\begin{cases} \dot{q} = \frac{1}{2} [\omega \otimes] q \\ \dot{\omega} = J^{-1}[\tau^{ext} + L_\tau \tau^w - \omega \times (J_B \omega)] \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = T(x) = \begin{bmatrix} q_1 \\ \mathcal{L}_f h_1 \\ q_2 \\ \mathcal{L}_f h_2 \\ q_3 \\ \mathcal{L}_f h_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \frac{1}{2}(\omega_x q_4 + \omega_z q_2 - \omega_y q_3) \\ q_2 \\ \frac{1}{2}(\omega_y q_4 - \omega_z q_1 + \omega_x q_3) \\ q_3 \\ \frac{1}{2}(\omega_z q_4 + \omega_y q_1 - \omega_x q_2) \\ q_4 \end{bmatrix}$$

Profili di assetto e controllo

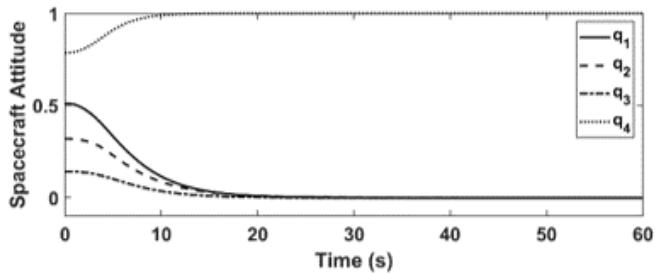


Figure 2 Spacecraft attitude over time, 1st simulation

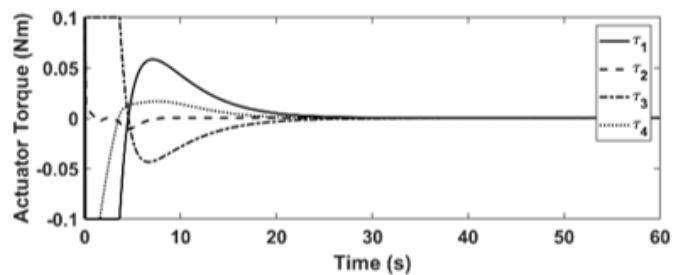


Figure 4 Control torques over time, 1st simulation

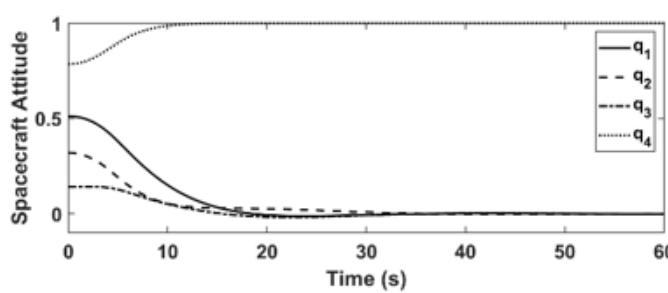


Figure 8 Spacecraft attitude over time, 2nd simulation

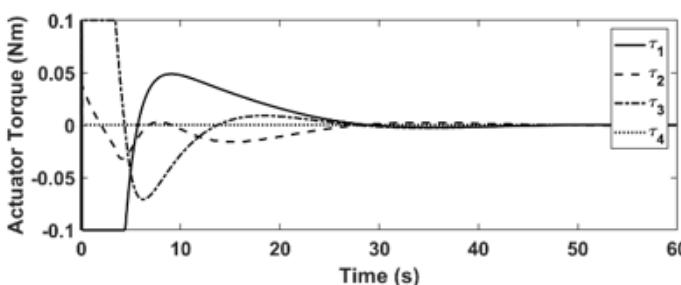


Figure 9 Control torques over time, 2nd simulation

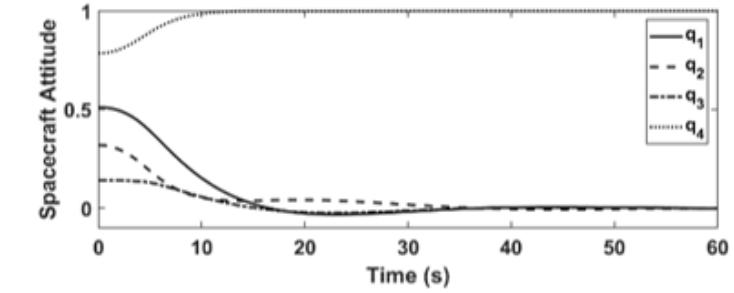


Figure 10 Spacecraft attitude over time, 3rd simulation

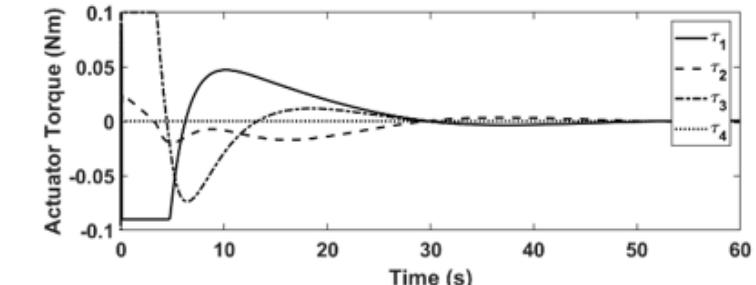


Figure 11 Control torques over time, 3rd simulation

Nessun guasto



Un guasto

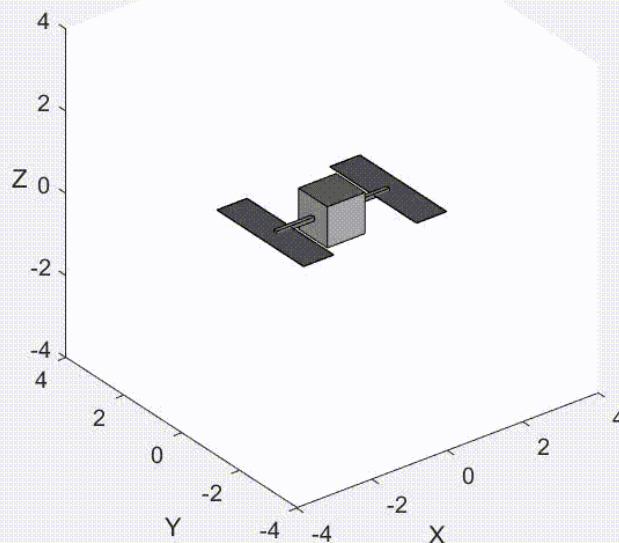


Guasti generalizzati

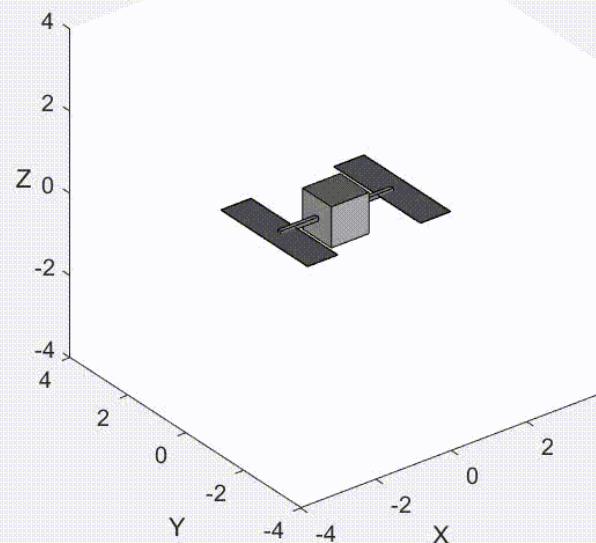
Effetti del controllo Robusto

Esempi di resilienza nei cyber-physical systems

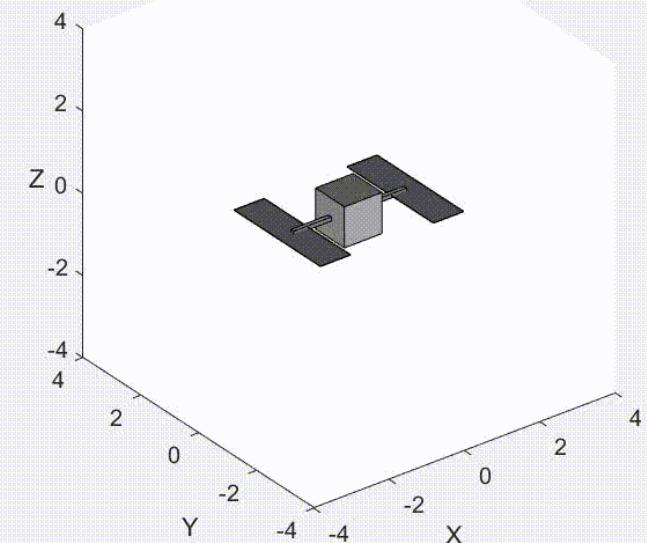
Nessun guasto



Un guasto



Guasti generalizzati



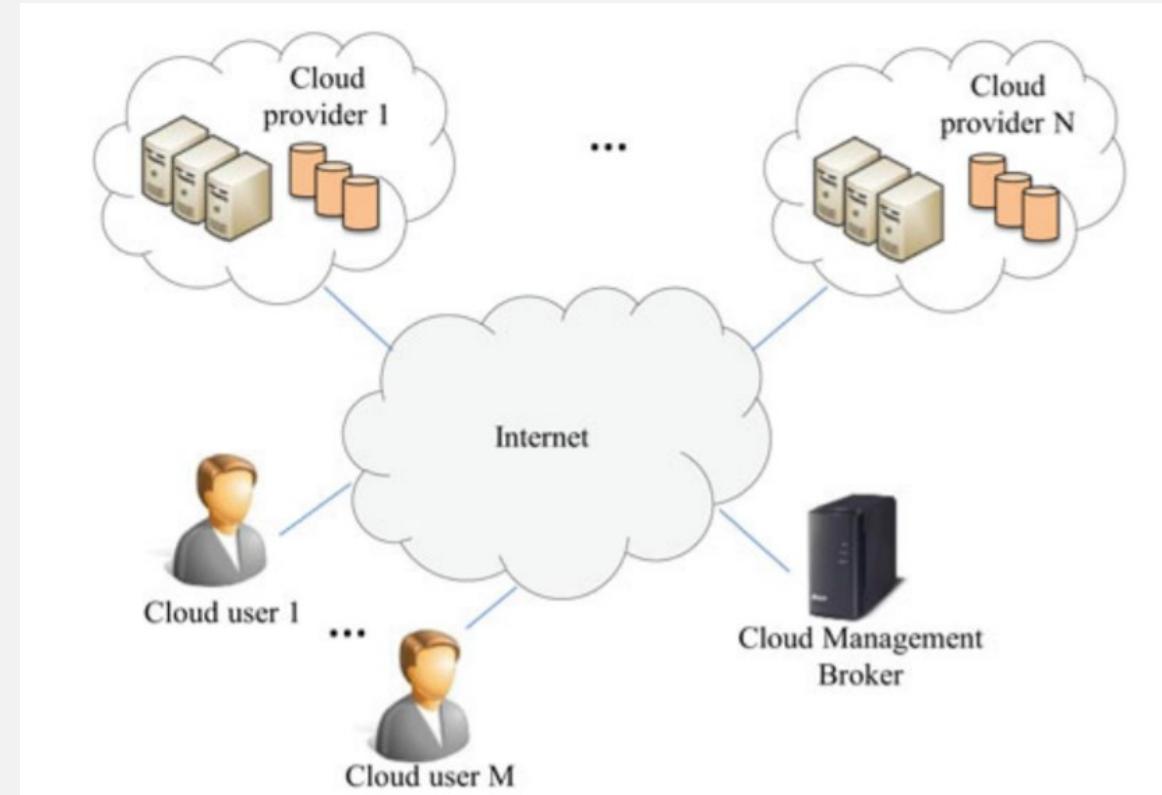
Versione finale under peer review

Model free control: Telecommunication Systems

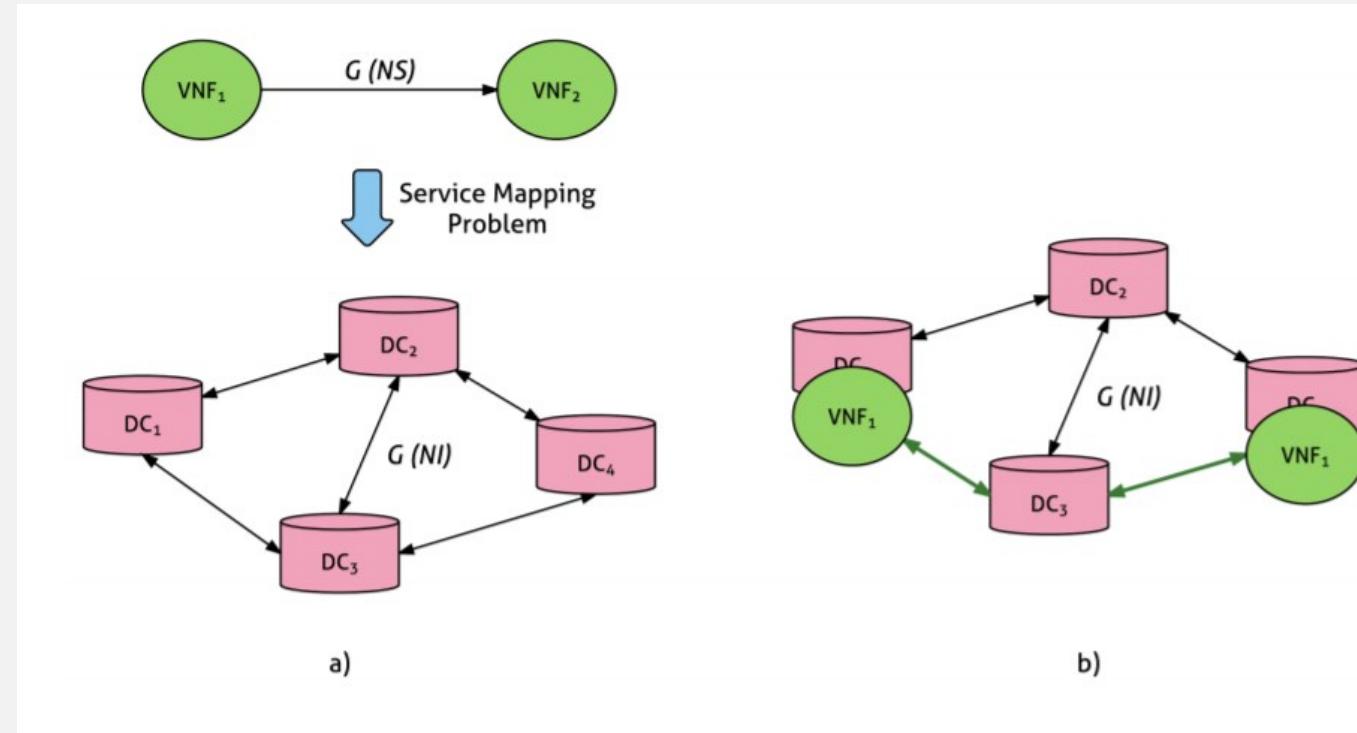
Virtual network functions and resource management

- Gestire in maniera ottima le risorse cloud
- Sodisfare i requisiti di servizio
- Sviluppo algoritmo di controllo «model-free»

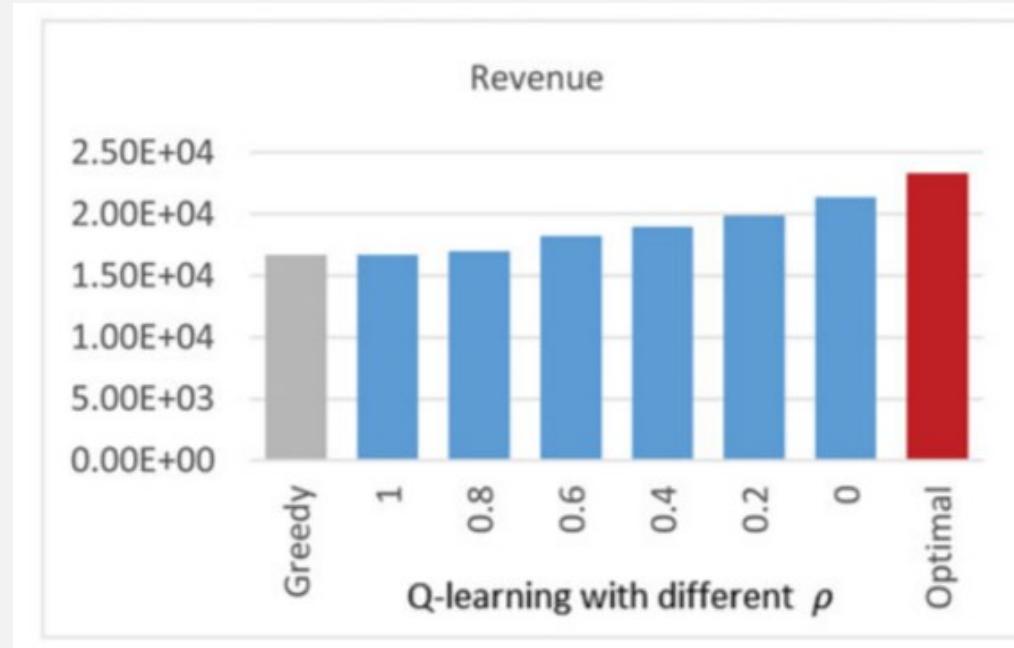
$$Q(s(t), a(t)) \leftarrow Q(s(t), a(t)) + \alpha(t) [r(s(t), a(t), s(t+1)) + \gamma \max_{a \in A(s(t+1))} Q(s(t+1), a) - Q(s(t), a(t))], \quad (4)$$



Service Mapping Problem



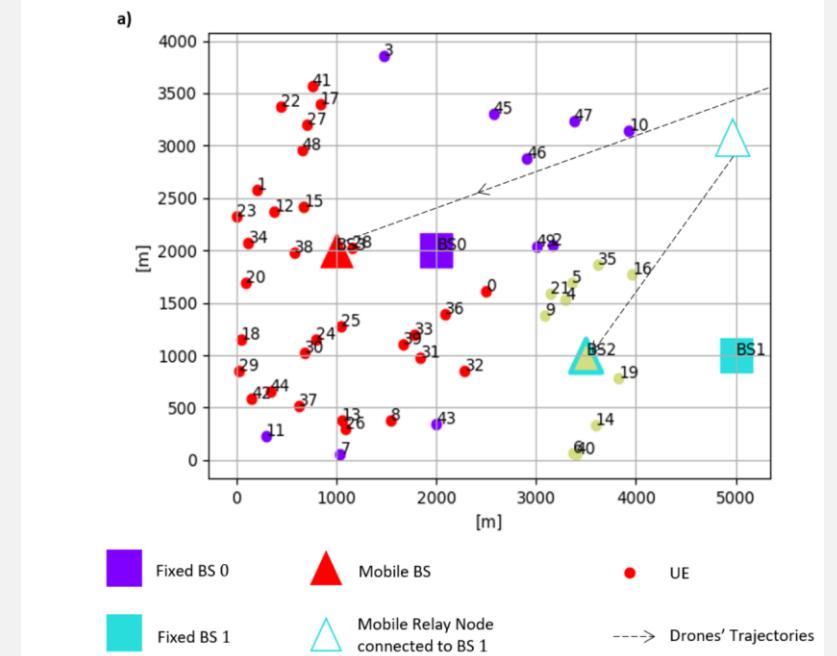
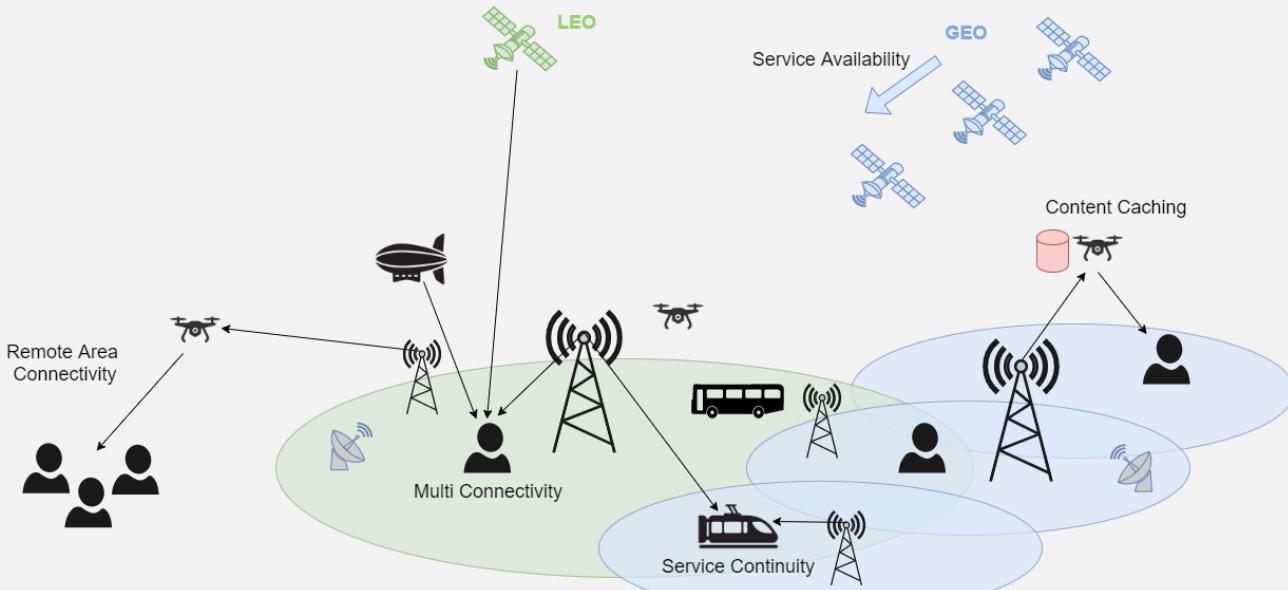
Performance Comparison



Pietrabissa, A., Delli Priscoli, F. , Di Giorgio, A., Giuseppi, A., Panfili, M., & Suraci, V. (2017). An approximate dynamic programming approach to resource management in multi-cloud scenarios. *International Journal of Control*, 90(3), 492-503.

Liberati, F., Giuseppi, A., ... & Delli Priscoli, F. (2017). Stochastic and exact methods for service mapping in virtualized network infrastructures. *International Journal of Network Management*, 27(6), e1985.

Multi connectivity – Progetto Europa/Korea 5G-ALLSTAR



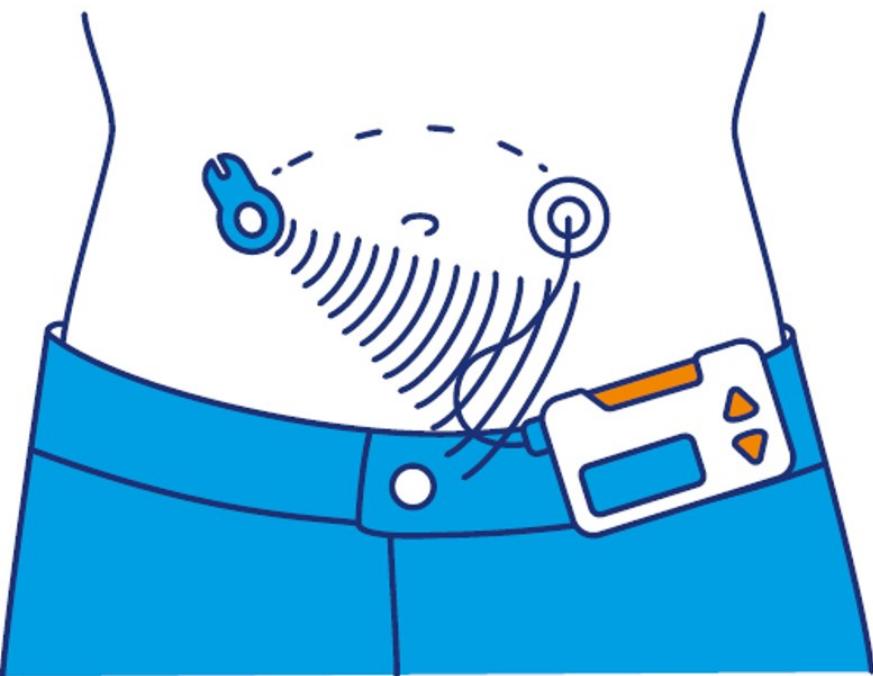
Controllo insulina in pancreas artificiale

Controlli nell' e-Health

- Dosaggio automatico di insulina tramite «pancreas artificiale»
- Utilizzo sensori di tasso glicemico
- Modello estremamente complesso: approcci model free?



Cobelli et al., Artificial Pancreas: Past, Present, Future



<https://www.diabetes.org.uk/research/research-round-up/research-spotlight/research-spotlight-the-artificial-pancreas>

Deep Neural Network for Diabetes

E.M. Aiello, G. Lisanti, L. Magni et al.

Engineering Applications of Artificial Intelligence 87 (2020) 103255

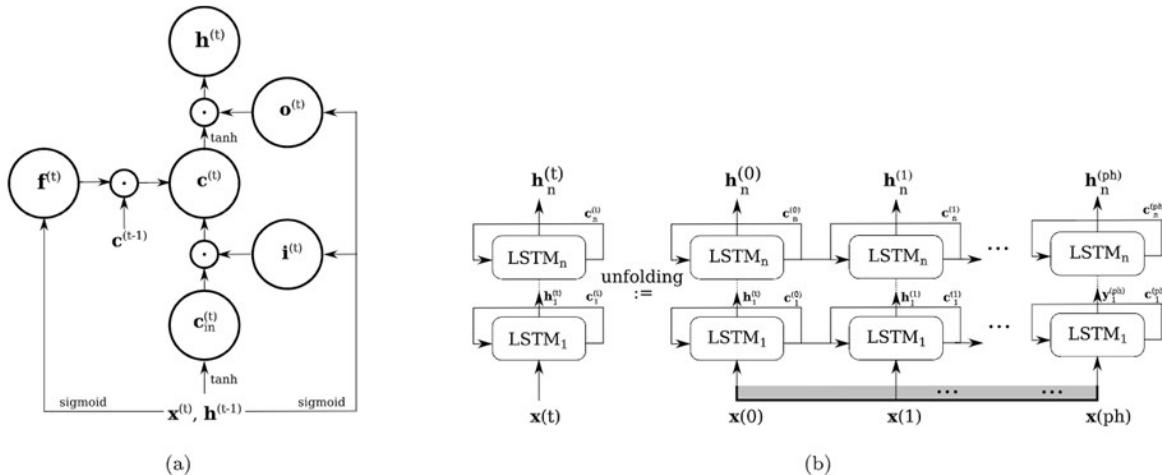


Fig. 1. (a) The basic structure of an LSTM cell. For each arrow pointing to a circle, an addition is performed. Dots represent vector/matrix multiplications. (b) Temporal unfolding and data flow on n stacked LSTM cells.

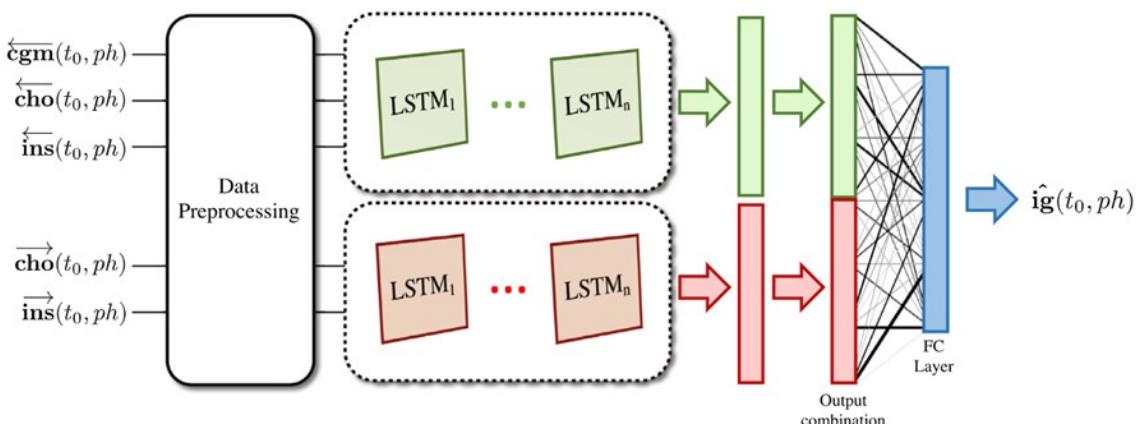
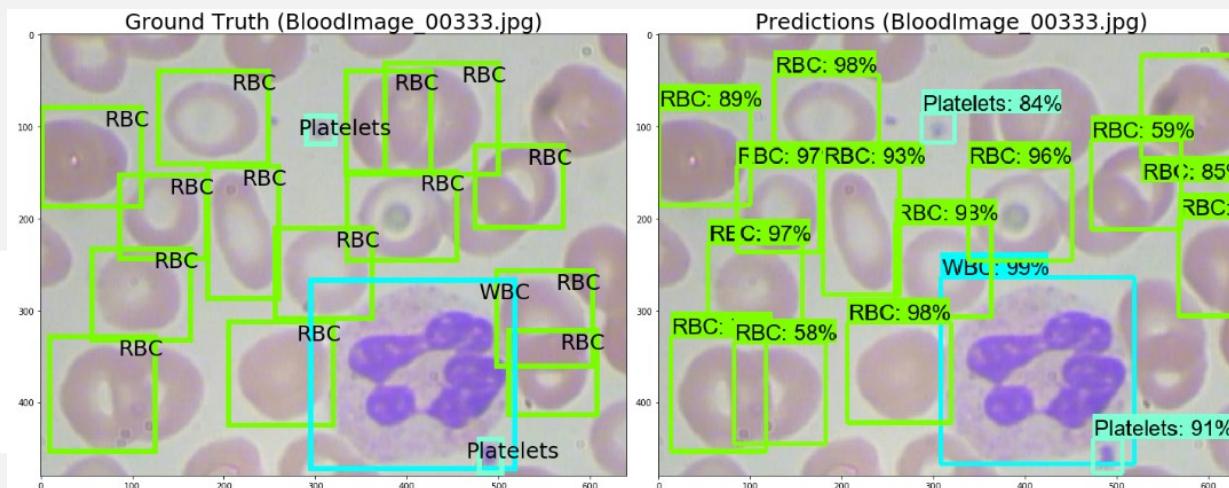
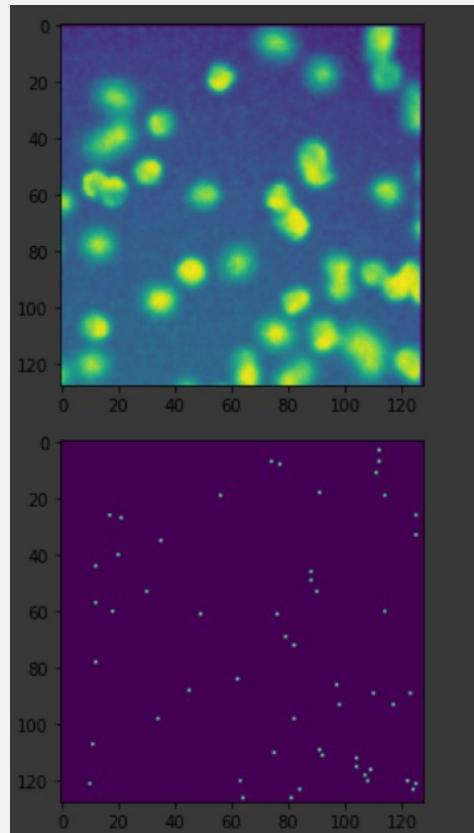
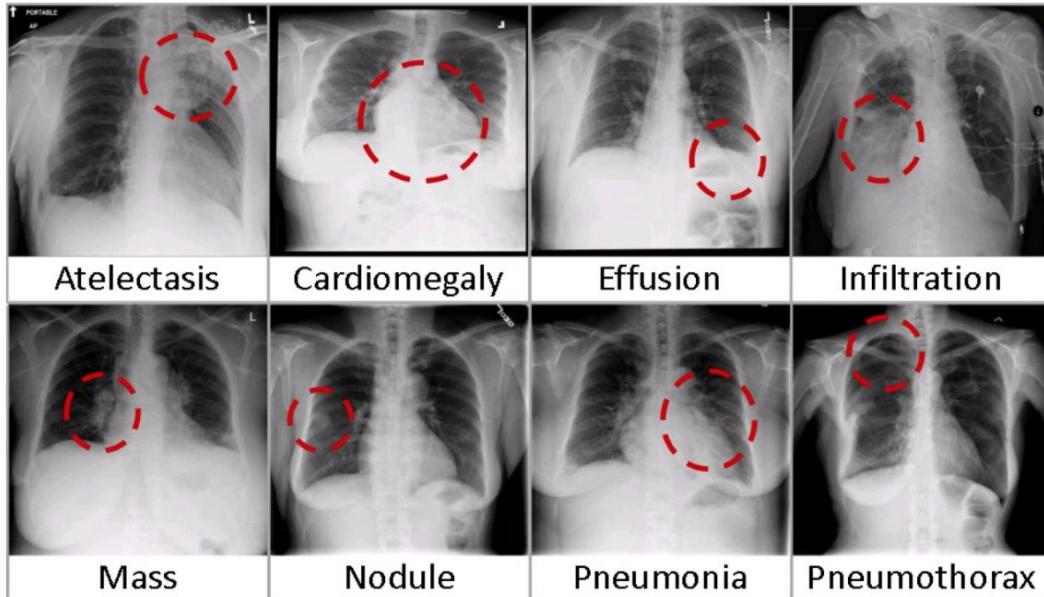


Fig. 2. Deep Glucose Forecasting (DGF) architecture. The input is split into two sets: past observations and estimated future inputs. Both branches are processed by n -stacked LSTM cells with dimension d . The output of the branches is concatenated into a final Fully Connected (FC) layer.

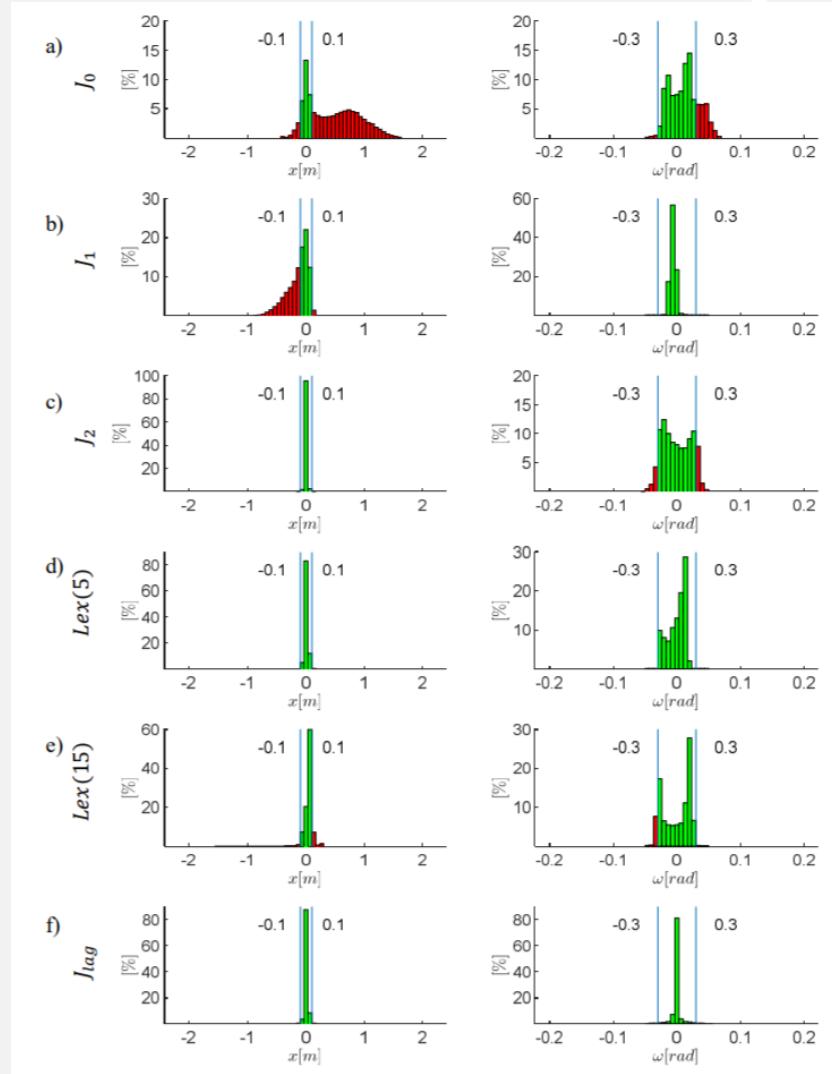
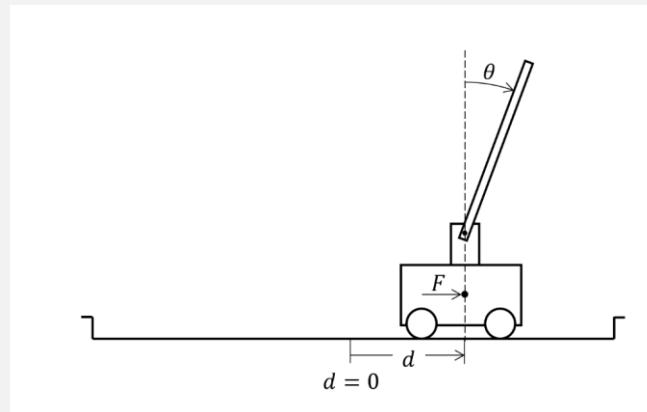
Deep Neural Network for Medicine

B. Eight visual examples of common thorax diseases



Deep Neural Network for Control Systems

- Recentemente in grado di essere applicate a problemi di controllo tradizionali
- Utili in assenza di modelli
- Nuova frontiera che combina AI e Teoria del Controllo





Grazie

• Alessandro Giuseppi

✉ giuseppi@diag.uniroma1.it

Laboratorio di Controllo delle Reti

🔗 <http://www.diag.uniroma1.it/~automatica/>

