

Introduzione al Corso di Dinamica e Controllo dei Velivoli

*CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA
DELL'AUTOMAZIONE E ROBOTICA*

Prof. Massimiliano Mattei

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

Università di Napoli Federico II

massimiliano.mattei@unina.it

10 settembre 2021

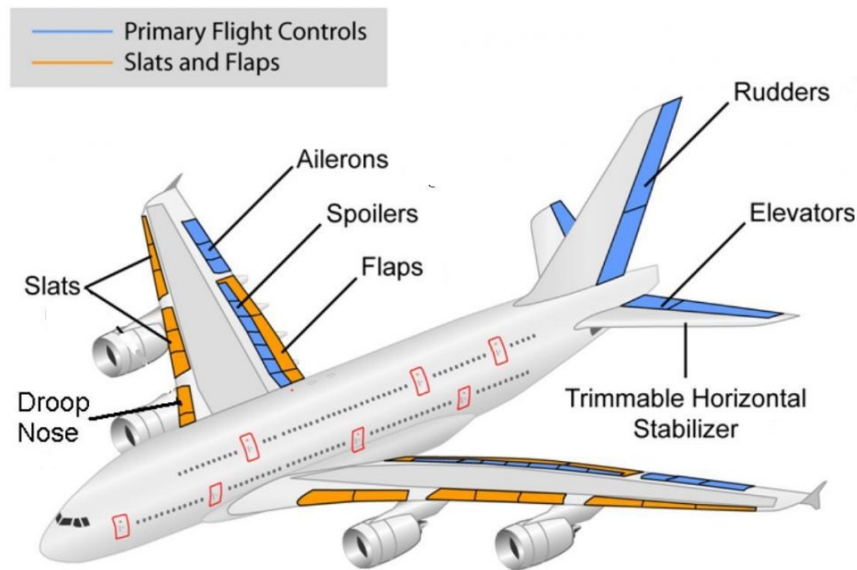
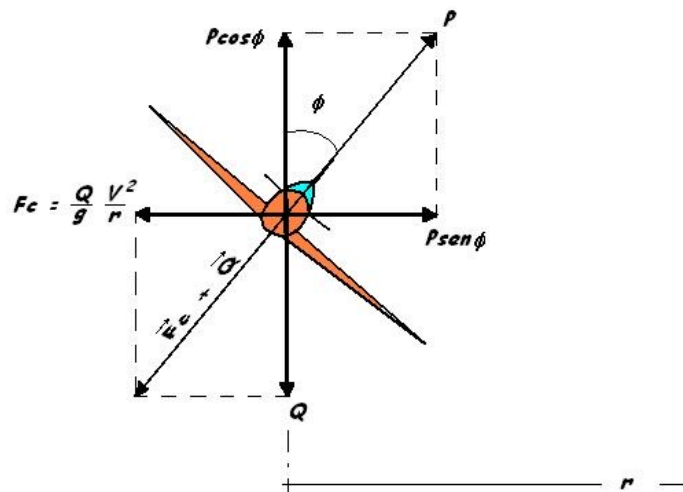
Obiettivi della presentazione

1. Illustrazione dei contenuti del corso e dell'organizzazione della didattica
2. Valenza degli argomenti nell'ambito dei percorsi formativi dell'Automazione e Robotica, ma anche degli altri percorsi nei settori dell'Ingegneria Elettrica e dell'Informazione
3. Panoramica sui possibili approfondimenti che possono partire dalle competenze acquisite nel corso

CONTENUTI E ORGANIZZAZIONE DEL CORSO 1/4

Parte I

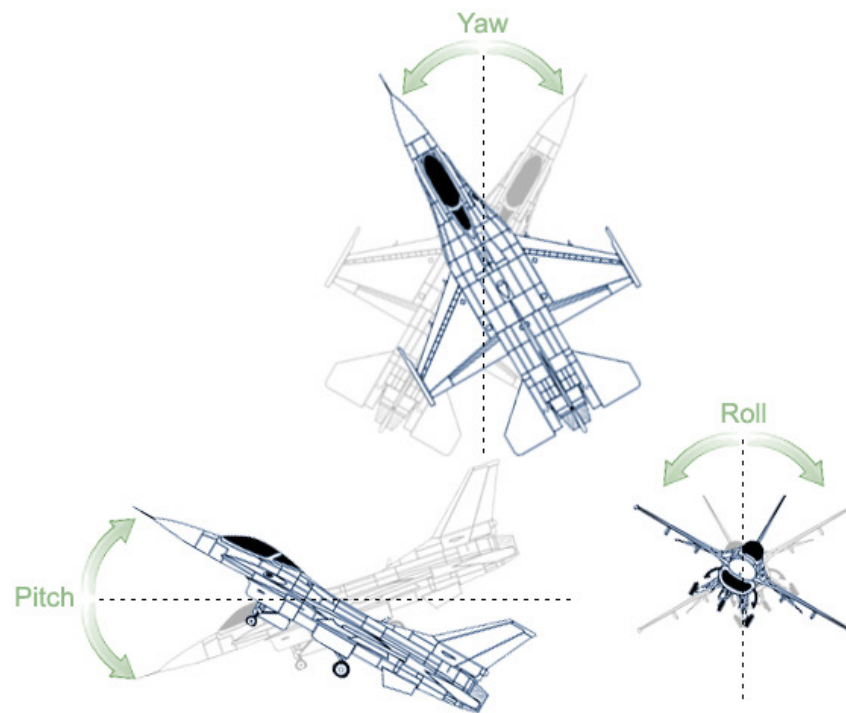
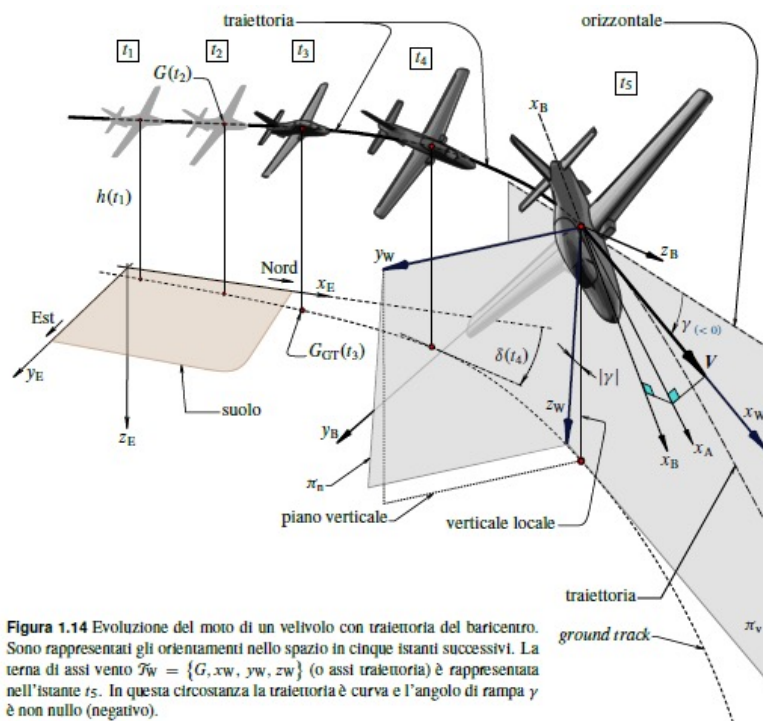
Introduzione ai principi di funzionamento dei moderni velivoli con particolare riferimento alla manovrabilità e al controllo - Modello di atmosfera standard - Moto rettilineo, uniforme, simmetrico, orizzontale - Volo in discesa e volo librato - Volo in salita – Quota di tangenza - Fattore di carico e diagramma di manovra - La virata - La richiamata



CONTENUTI E ORGANIZZAZIONE DEL CORSO 2/4

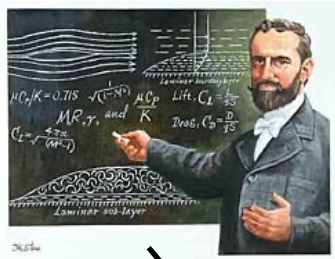
Parte II

Cenni alla stabilità statica longitudinale e latero-direzionale -
Equazioni generali del moto del velivolo - Derivate di stabilità –
Modello linearizzato della dinamica e modi caratteristici longitudinali
e latero-direzionali - Qualità di volo

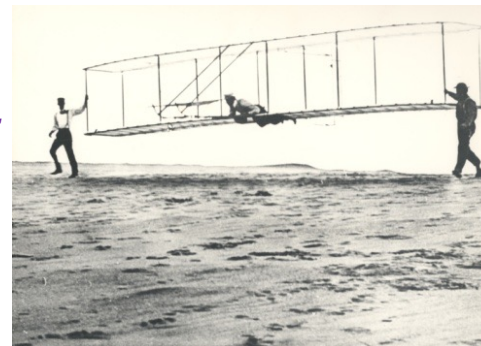


Ciclo di progettazione di un controllore Model Based

Leggi Fisiche



Esperimenti



Equazioni

Parametri

Modello Matematico

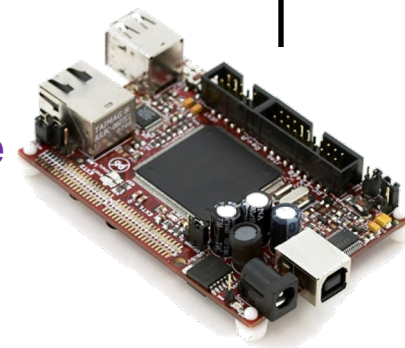
Soluzione del
problema di controllo

Verifica in Simulazione



Test volo

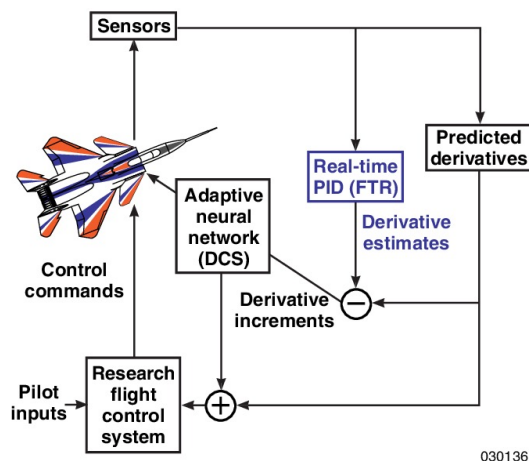
Prototipazione



CONTENUTI E ORGANIZZAZIONE DEL CORSO 3/4

Parte III

Specifiche richieste a un sistema di controllo di volo – Sistemi di aumento della stabilità – Sistemi di aumento della controllabilità – Autopiloti – Tecniche di controllo ottimo per la progettazione di algoritmi di controllo del volo – Assegnamento dei poli e dell'autostruttura – Tecniche di Controllo Nonlineare - Il problema della navigazione - Stima dello stato e filtraggio alla Kalman – Il problema della guida – Simulazione dinamica in ambiente Matlab-Simulink



030136

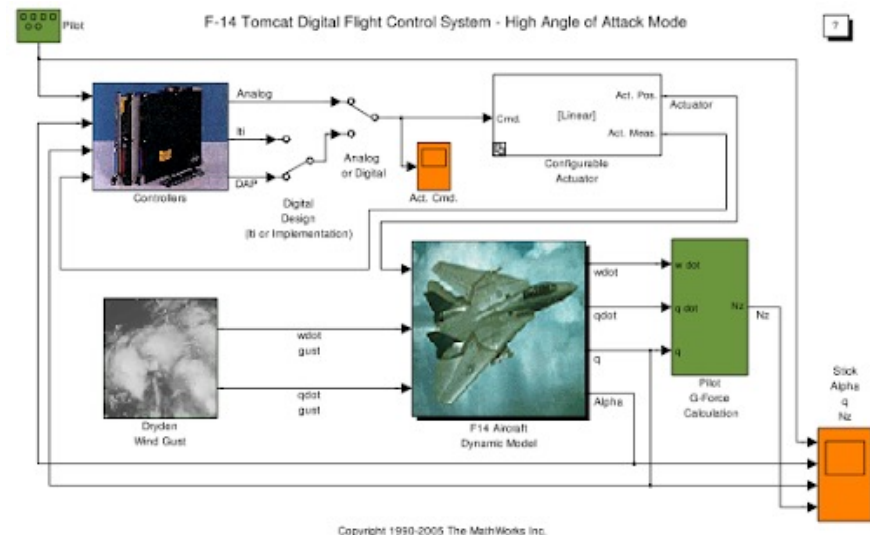


CONTENUTI E ORGANIZZAZIONE DEL CORSO 4/4

Il corso consiste in una parte teorica + una parte esercitativa sviluppata in ambiente Matlab/Simulink

Lo svolgimento dell'esame prevede

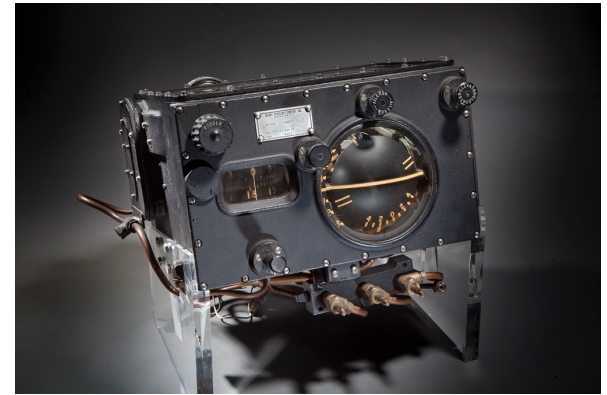
- Due domande sulla parte di modellistica e specifiche del controllo
- La discussione di un elaborato sul controllo di un velivolo





Un po' di Storia

- 1903 Fratelli Wright
- 1911 Teoria delle piccole perturbazioni (Bryan)
- 1912 Sperry Gyro su Curtiss flying boat
- 1914 Sperry Aeroplane Stabilizer
- 1933 Sperry Autopilot su Wiley Post per un giro del mondo in 8 giorni
- Anni 30' – sviluppo del controllo classico (Nyquist-Bode)
- WWII (39-45) sviluppo di tecnologie radar e di servomeccanismi
- I velivoli si spostano a quote e velocità più elevate → maggiori variazioni nella dinamica
- 1947 US air force C-53 fa un volo transatlantico completamente automatico (incluso decollo e atterraggio)
- 1948 root-locus (Evans)
- 1947 Supersonic flight
- 1949 Fenomeni di accoppiamento inerziale sull'X-1A



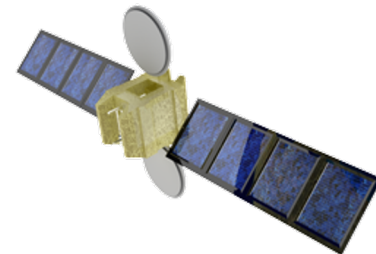
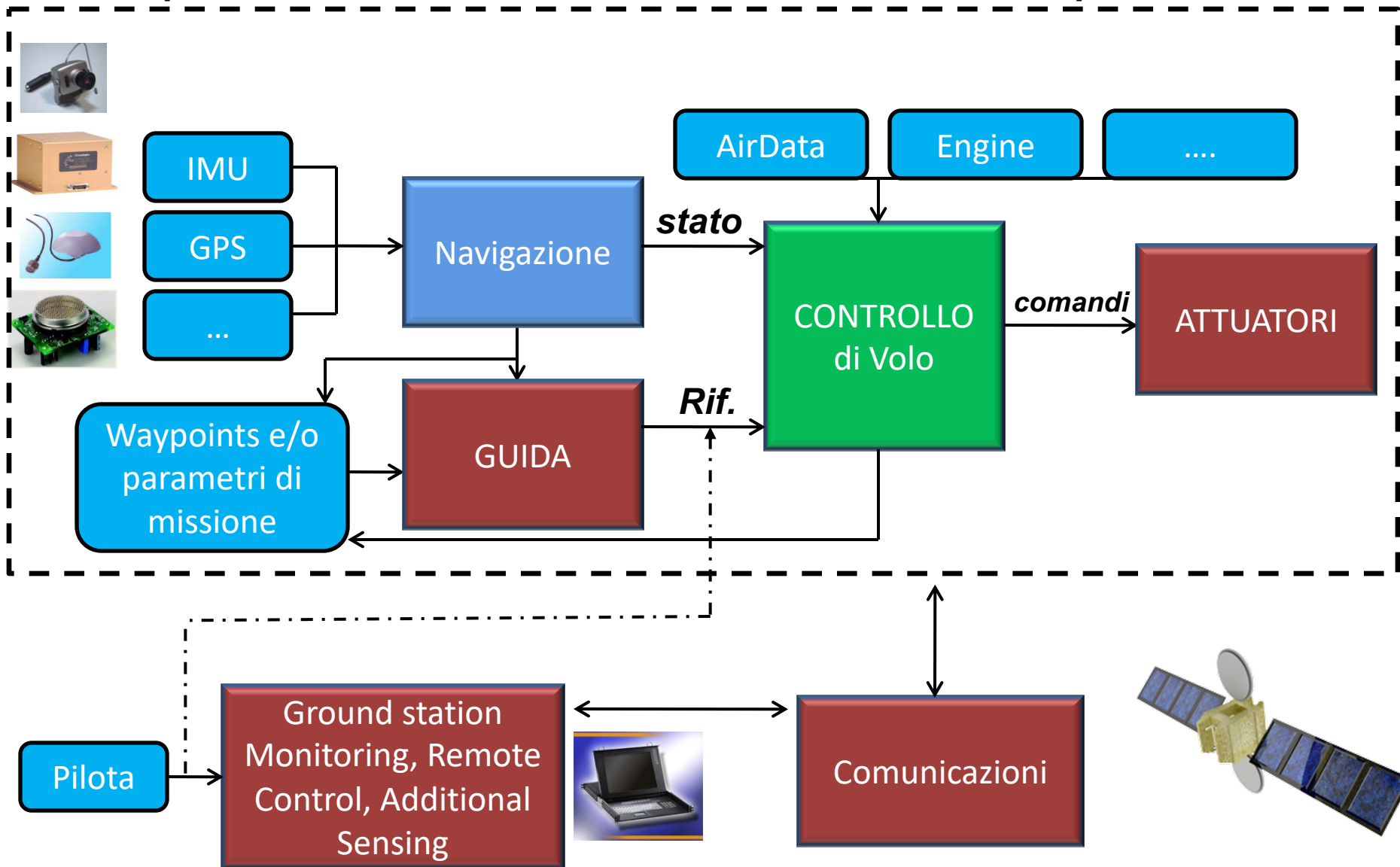
Un po' di Storia

- 1953 Incidente F100
- Handling Qualities e Stability Augmentation Systems
- 1949 Primo Jet moderno da trasporto: Comet de Havilland
- 1959 X-15 Rocket plane – n. Mach 6 in altissima atmosfera
- 1970 Simulatori di volo
- F-16 «relaxed stability» e «fly by wire»
- 1980 Incremento del numero di superfici aerodinamiche AFTI-F16
- 1981 Space Shuttle
- Dagli anni 80: controllo ottimo, controllo nonlineare e adattativo
- Dagli anni 2000: era dei velivoli unmanned





Esempio di Architettura del Sistema di Controllo di un semplice UAS



Sensori/Attuatori di bordo

**IMU (Accelerometri,
Giroscopi, Magnetometro)**



GPS



**Altri sensori dedicati
Radar, Infrarossi, LIDAR, ...**

AirData Sensors



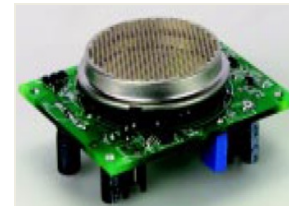
Laser



Visione

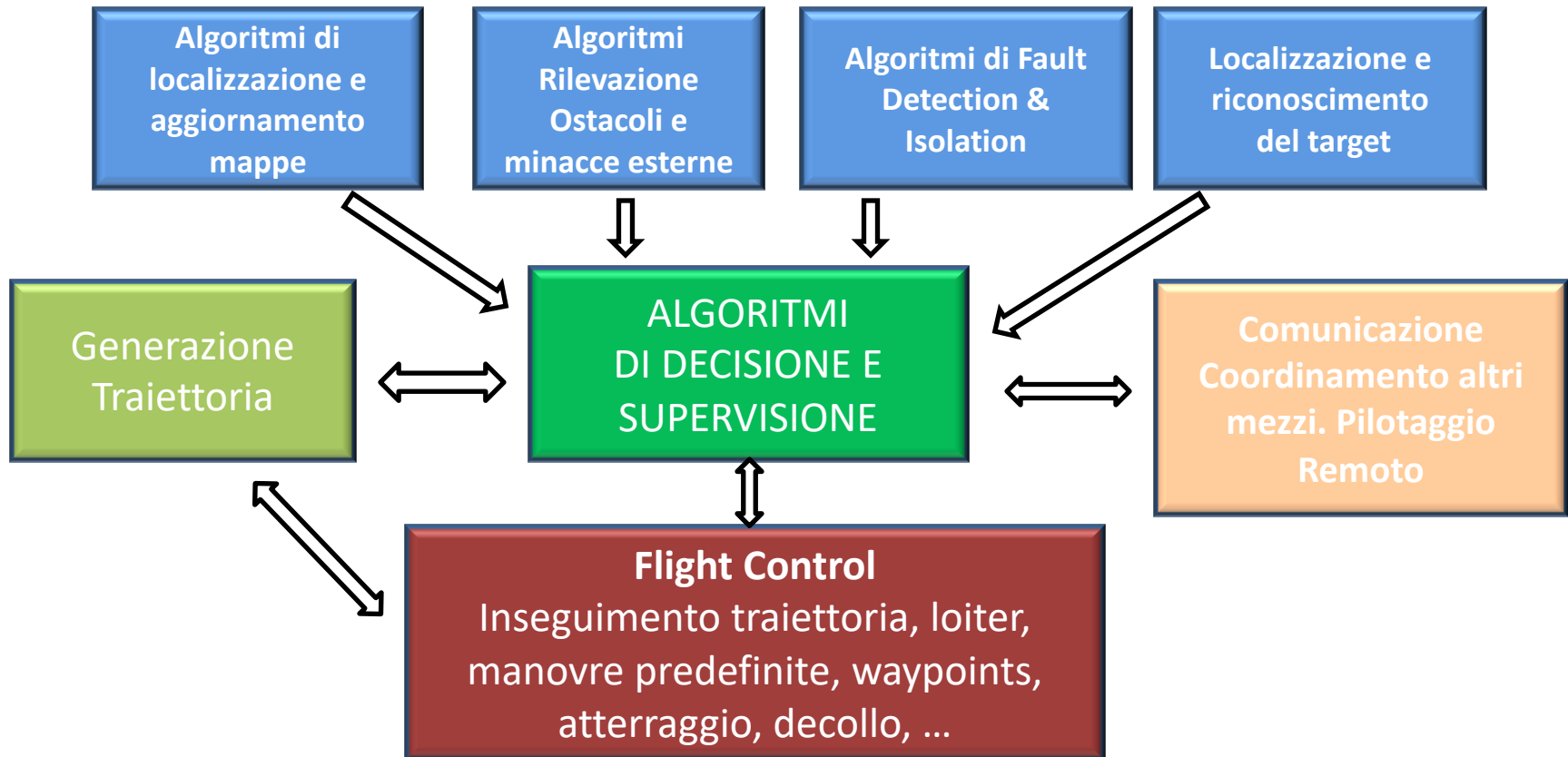


**Sonar altimetri
/ prossimità**



Attuatori elettrici rotativi e lineari

Architettura funzionale per far fronte alle missioni con più elevato livello di autonomia

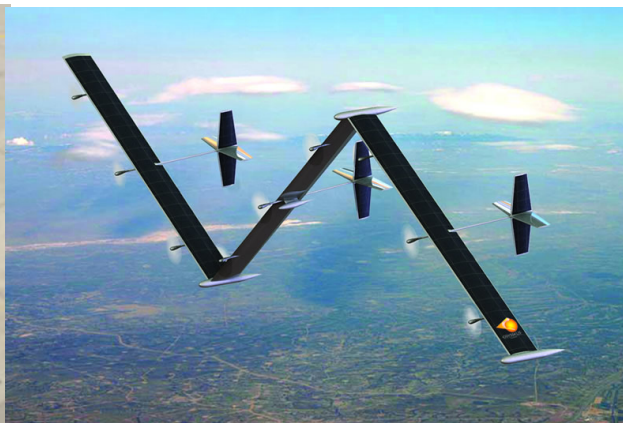


Funzionalità di base – Flight Control

Capacità di inseguire traiettorie, waypoints, mantenere la quota, atterraggio e decollo, hovering, loiter

Elementi che determinano la complessità del problema di controllo di volo

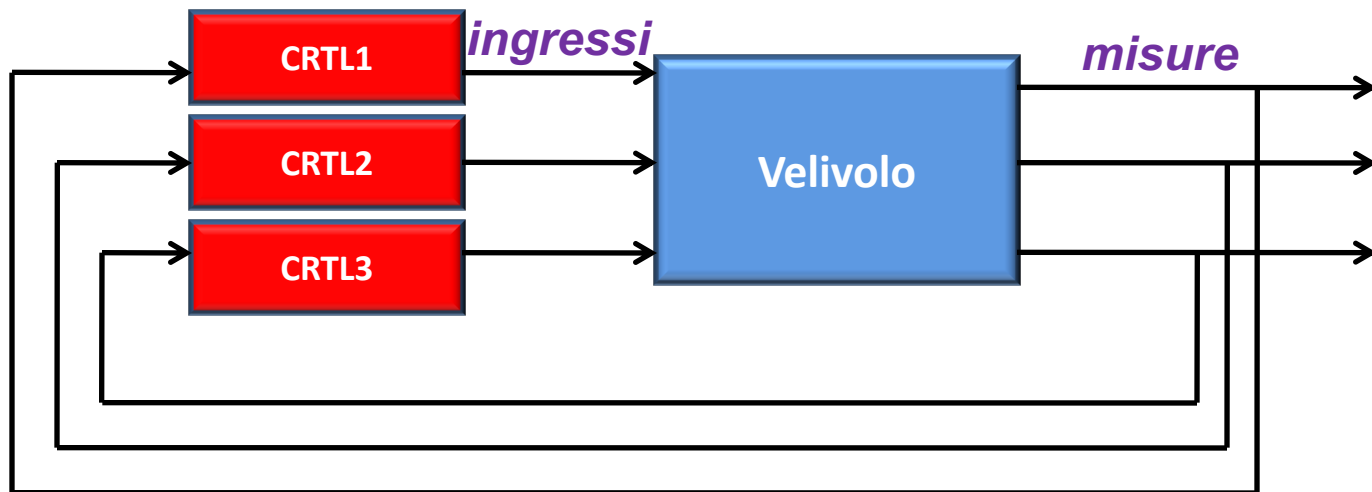
- Dinamica del velivolo (nonlinearità, elementi flessibili, numero e tipologia di attuatori, ...)
- Sensibilità ai disturbi atmosferici
- Caratteristiche della misura
- Tempi di risposta richiesti in relazione alla potenza di calcolo di bordo



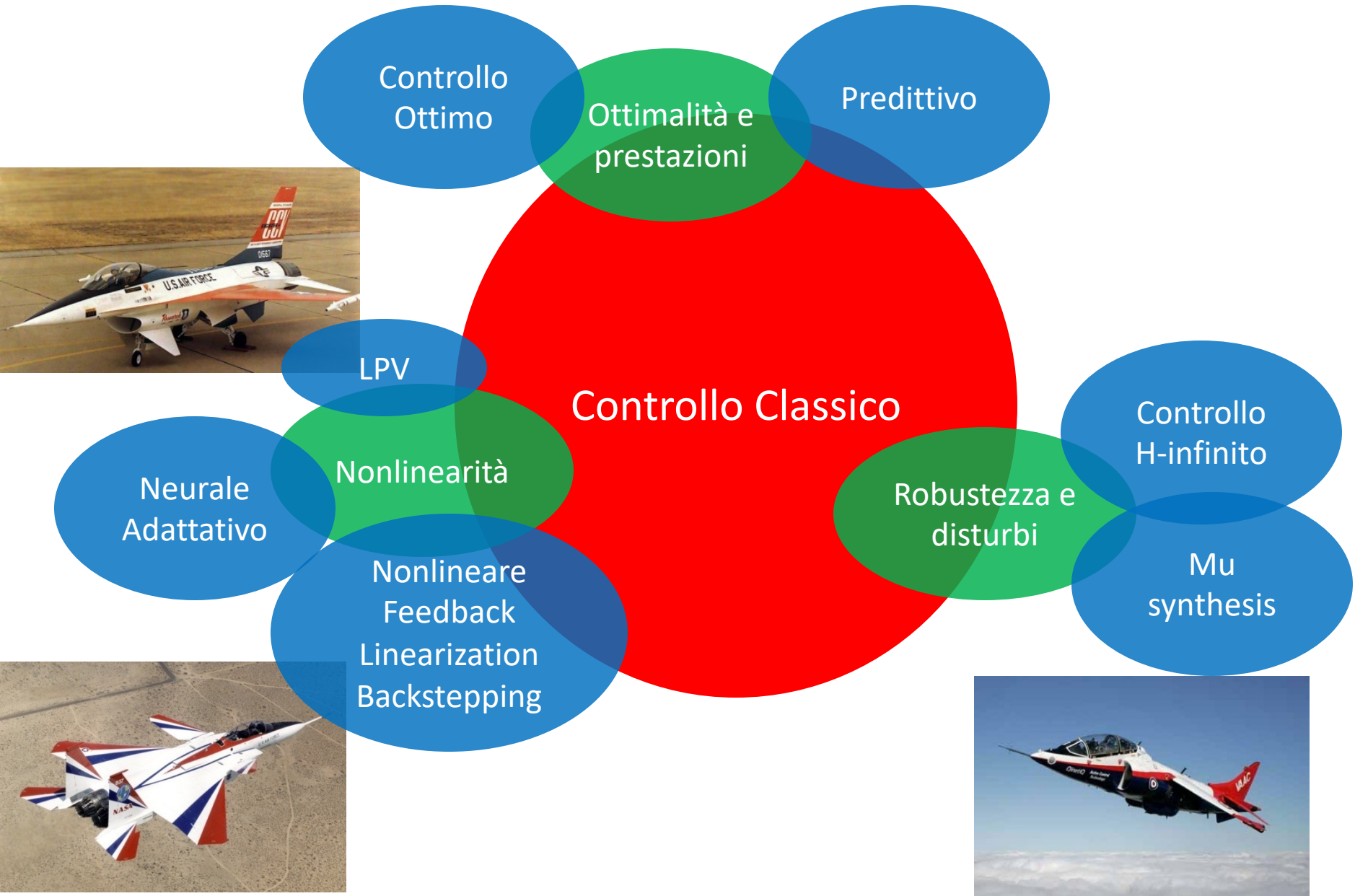
Funzionalità di base – Flight Control – Approcci metodologici

Controllo Classico

- ☺ Semplicità di progettazione e di implementazione
- ☹ Necessita di disaccoppiamento e scheduling
- ☹ Difficoltà di portare in conto in fase di progetto ottimalità, robustezza, reiezione ai disturbi



Funzionalità di base – Flight Control – Possibili approcci



Funzionalità di base – Stima dello stato / Osservatore

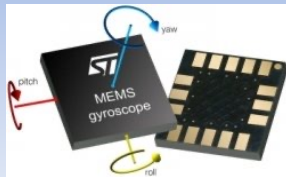
Determinazione di posizione, assetto e velocità a partire da misure di sensori eterogenei per

- grandezza misurata;
- rumore di misura;
- frequenza di acquisizione;
- continuità del segnale e possibile fault di sensore

Pitot



Giroscopi



Accelerometri



Magnetometro



GPS



Velocità Relativa
(bassa frequenza,
disturbo di processo
rumore atmosferico)

Velocità Angolare
(alta frequenza,
Rumore di misura, bias)

Accel lineare
(alta frequenza,
Rumore di misura, bias)

Direzione
(bassa frequenza,
Rumore di misura,
bias)

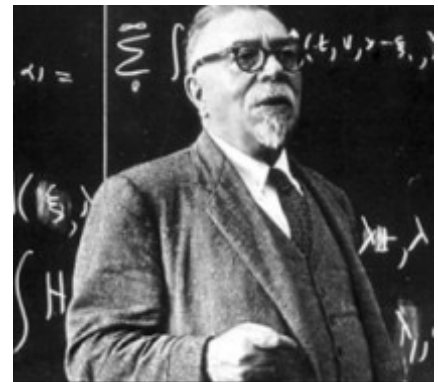
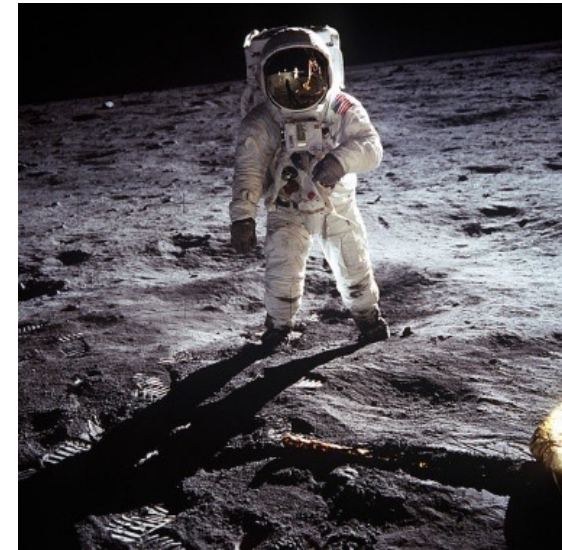
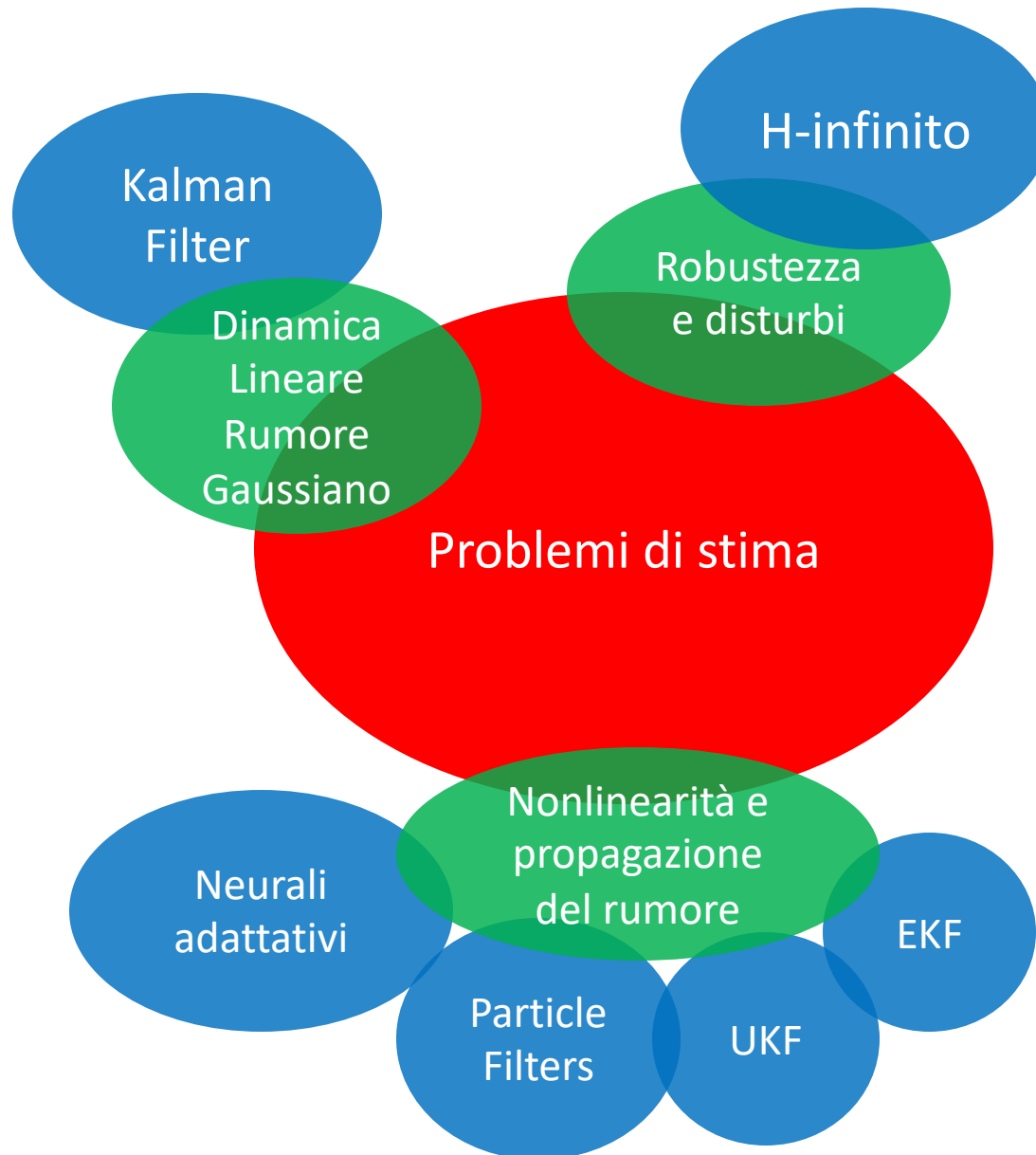
Posizione Assoluta
(bassa frequenza,
Rumore di misura,
Segnale non continuo)

Stimatore dello Stato



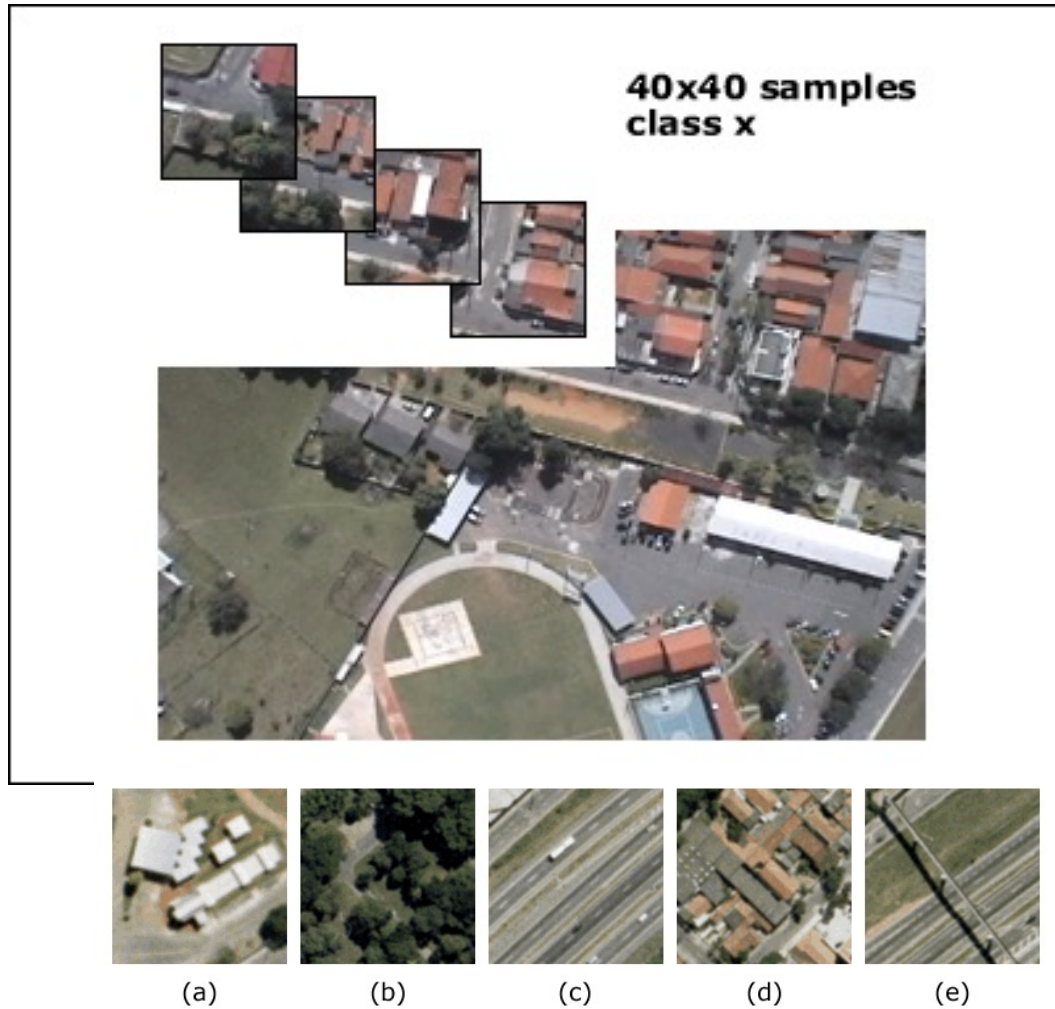
Stima posizione, assetto, velocità

Funzionalità di base – Stima dello stato – Possibili approcci



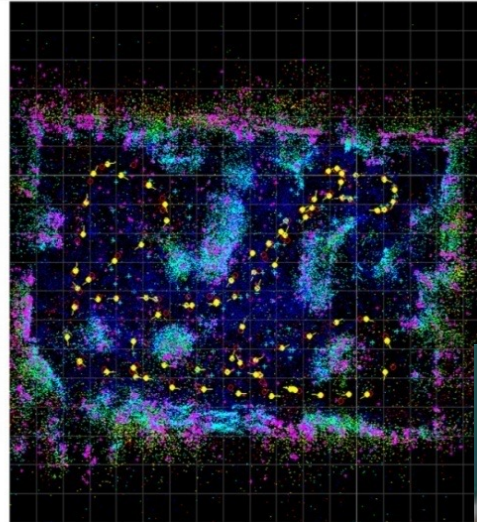
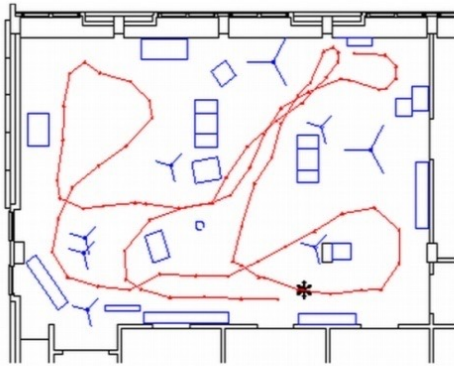
Algoritmi di stima per la localizzazione del velivolo

Markers o Model Matching per la determinazione della posizione relativa



Problemi di modellizzazione 3D e realtà virtuale.

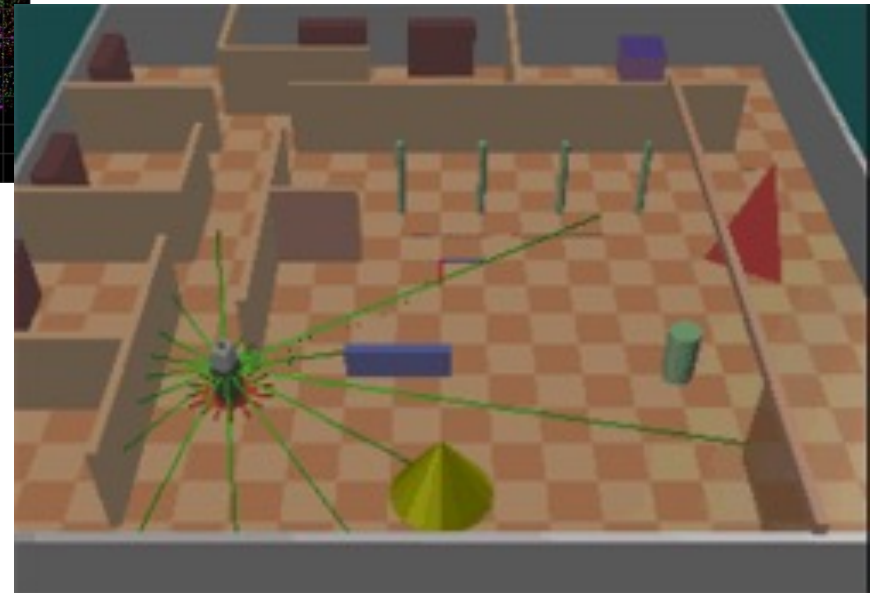
SLAM – determinazione simultanea di mappa e posizione



Esplosione del numero di variabili da stimare

Nonlinearità e variabilità delle caratteristiche del rumore

Algoritmi ad hoc basati su soluzioni Euristiche

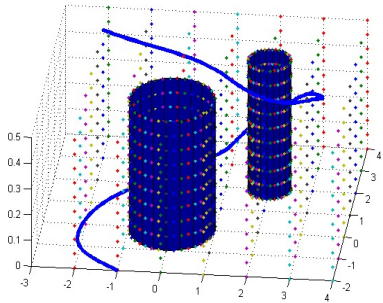
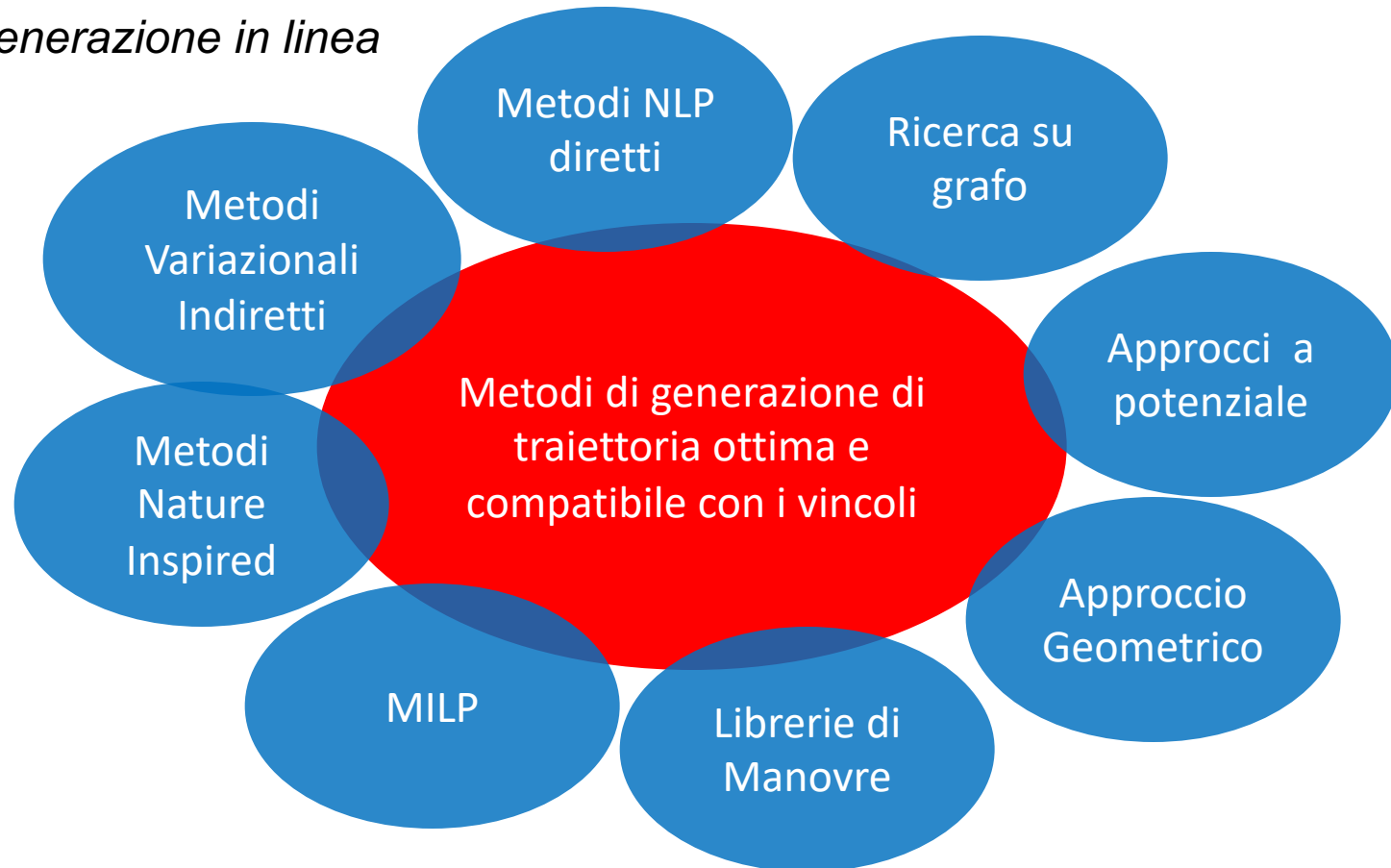


Generazione traiettorie

Necessità di spostarsi da un punto all'altro con **traiettorie** che siano

- **ottimali**: rispetto al tempo, al consumo, alla lunghezza, ...
- **compatibili con i vincoli**: presenza di **ostacoli**, altri vincoli dipendenti dalla **dinamica** del velivolo (raggio di curvatura, accelerazioni, etc.)

Problema della rigenerazione in linea



Flight Control – Oltre lo standard



Manovre aggressive

Configurazioni convertiplano



Manovre di elevata precisione (refuelling)



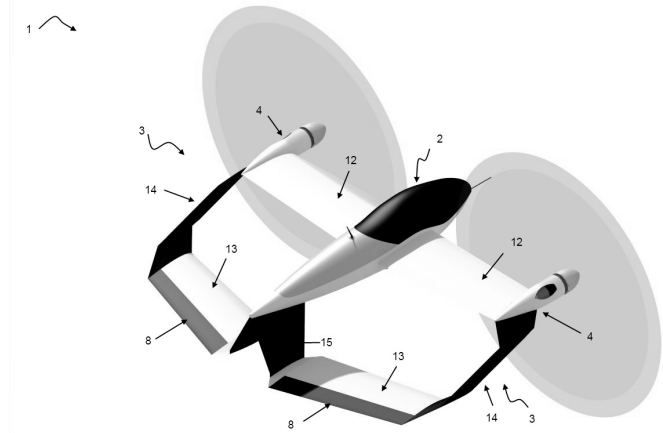
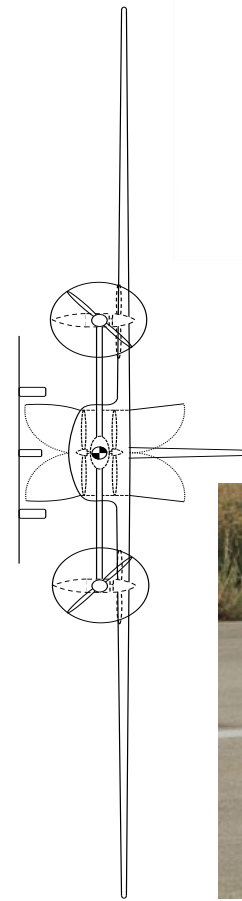
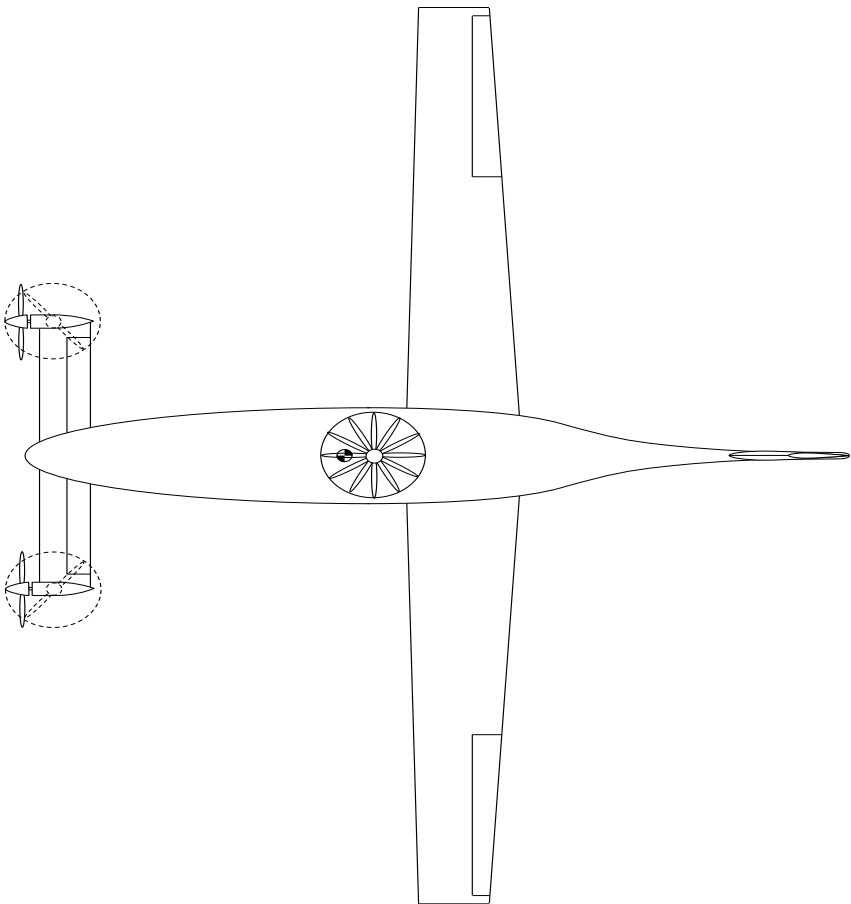
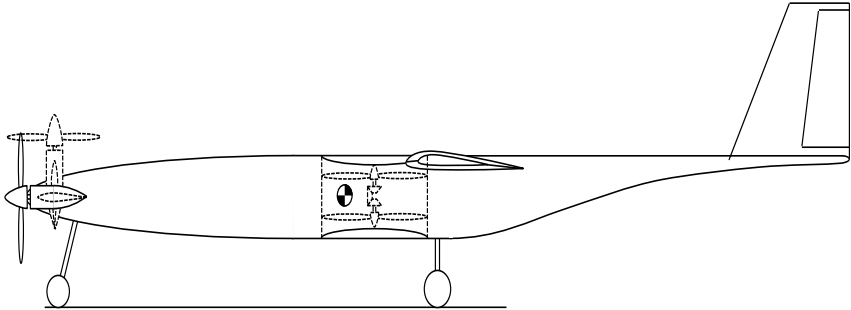
Problematiche dell'ala rotante



Controllo – oltre lo standard – configurazioni alternative



Controllo – oltre lo standard – configurazioni alternative



Flight Control – Oltre lo standard

Interazione tra modi flessibili e dinamica del volo



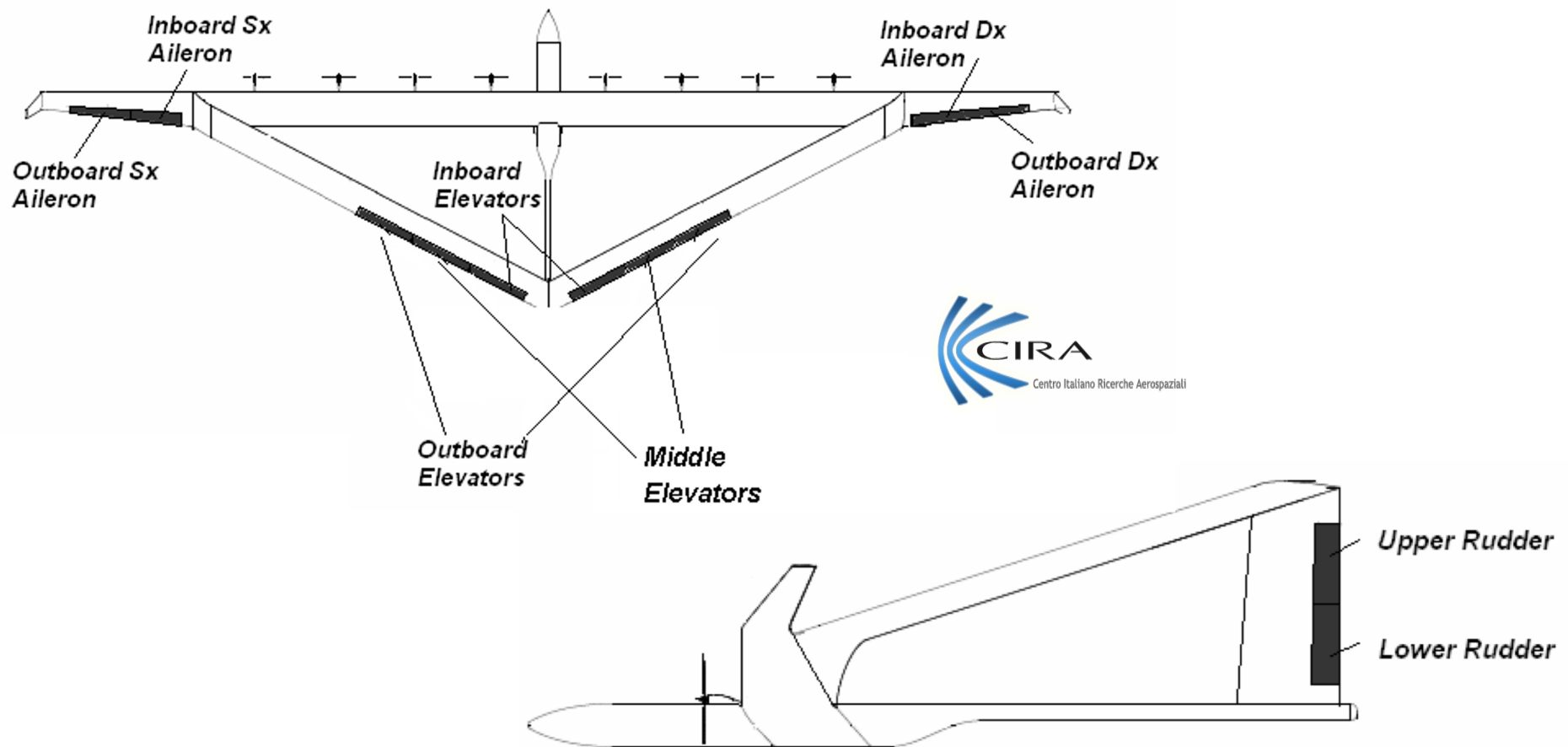
Sensori e attuatori multipli



Control allocation – distribuzione ottimale del controllo

Possibili strumenti:

- *Controllori schedulati*
- *Ottimizzazione in linea*



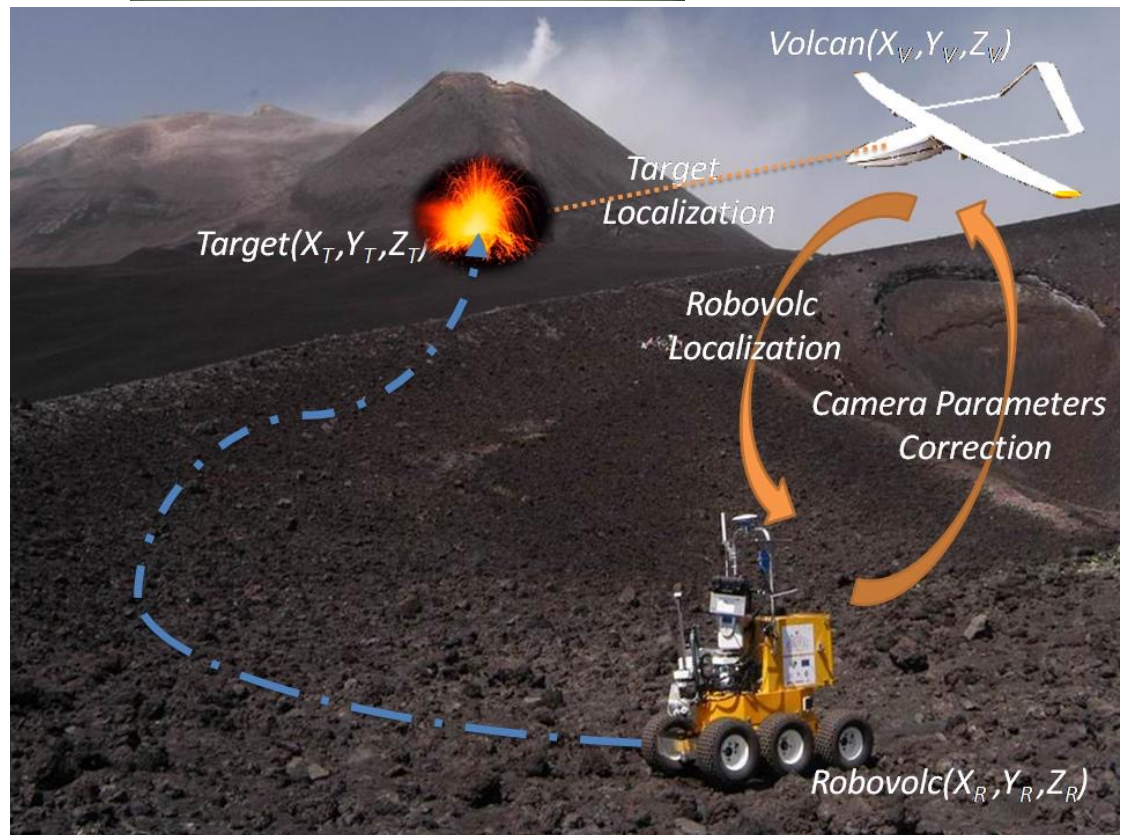
Cooperazione tra UAV e UAV, UAV e Robot

Problematiche attuali

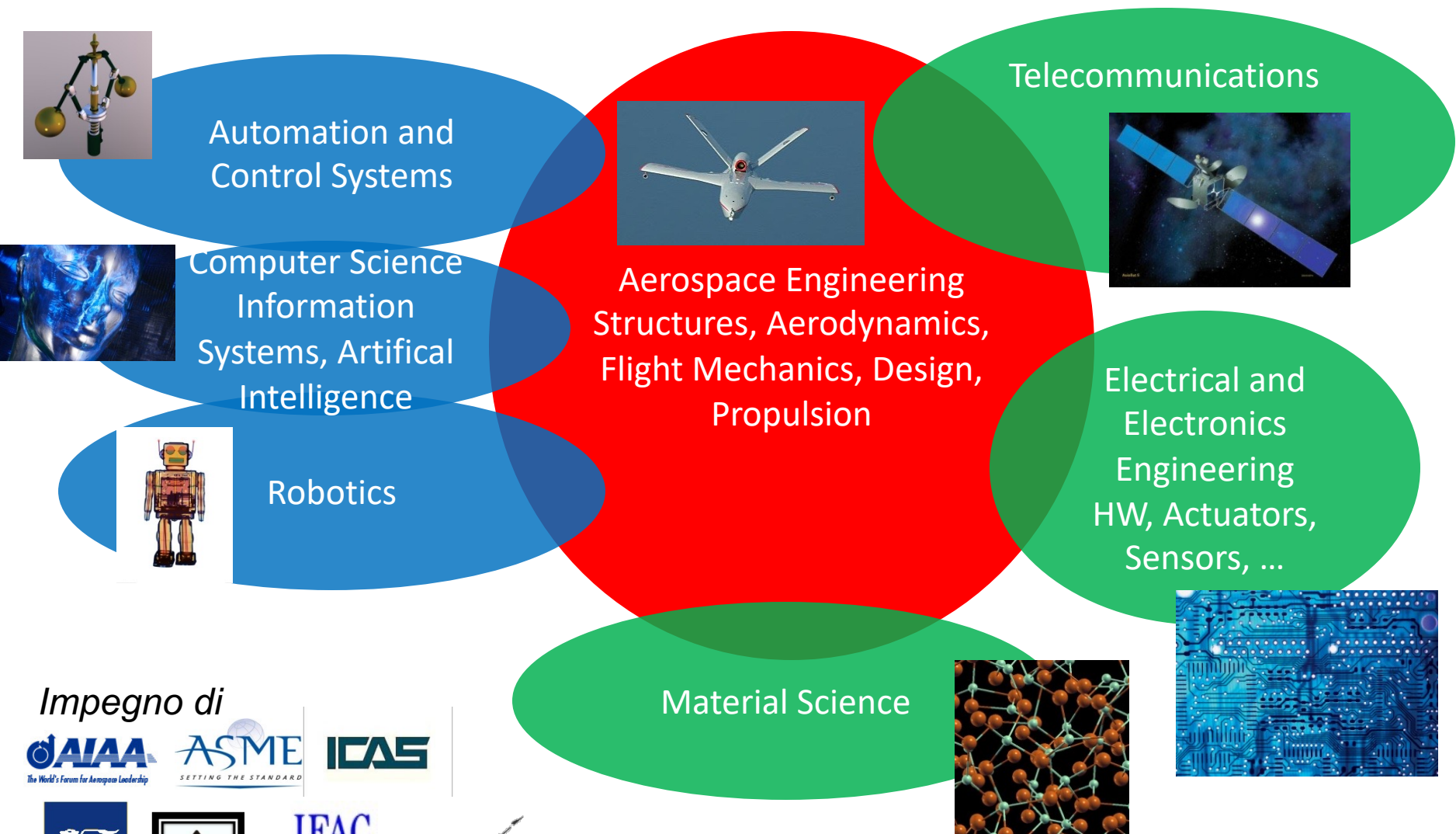
- Task management
- Controllo del moto della squadra
- Comunicazioni
- Riconfigurabilità
- Architetture distribuite

Missioni tipiche di squadre

- Difesa e security
- sorveglianza di aree a rischio
- telecomunicazioni
- ...



Panoramica della Ricerca negli UAS – Categorie ISI



Impegno di



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Introduzione al Corso di Dinamica e Controllo dei Velivoli

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE E ROBOTICA

Prof. Massimiliano Mattei

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

Università di Napoli Federico II

massimiliano.mattei@unina.it

Napoli 10 settembre 2021