

Name	Guidance, Navigation and Control Laboratory
Acronym	GNCLab
Responsible	Giancarmine Fasano and Roberto Opromolla
Group	Impianti e Sistemi Aerospaziali
Location	Via Claudio 21
Links	
s/w	
h/w	Cameras, scanning (both repetitive and non-repetitive) and scannerless LIDAR, 6-dof robotic arm, Optitrack motion tracking system, 3D printer, drones, FMCW radar, mesa radar, autopilots, on-board computers.

Aims

Le attività di ricerca del GNCLab si concentrano sulla progettazione, sviluppo, prototipazione e validazione, sia numerica che sperimentale, di soluzioni innovative per aumentare l'autonomia dei veicoli aerospaziali, operando sia nel settore spaziale che in quello aeronautico.



Ricerca in ambito spazio

In ambito spaziale, il laboratorio si occupa dello sviluppo di tecniche avanzate di **guida, navigazione e controllo (GNC)** per abilitare le **missioni autonome del futuro**, con particolare attenzione a **formation flying, on-orbit servicing (OOS), active debris removal (ADR)** ed **esplorazione planetaria**.

La nostra ricerca copre un ampio spettro di tecnologie abilitanti per l'autonomia, con attività chiave tra cui:

- **Modellazione del moto relativo e progettazione delle traiettorie** per sistemi satellitari distribuiti e operazioni di prossimità chaser-target, dalla fase di avvicinamento a lungo raggio fino al rendezvous a corto raggio.
- **Architetture di controllo centralizzate e decentralizzate** per formazioni satellitari, con l'obiettivo di aumentare la resilienza e la coordinazione nei sistemi spaziali distribuiti.
- **Stima della posa e dei parametri di moto relativo** per la navigazione relativa rispetto a target spaziali cooperativi o non cooperativi, affrontando l'intera pipeline di elaborazione: dall'analisi dei dati grezzi (immagini monoculari, stereo, nuvole di punti) fino a schemi avanzati di filtraggio.
- **Determinazione e controllo dell'assetto del veicolo spaziale**, con particolare attenzione alla navigazione stellare, inclusi rilevamento, identificazione delle stelle e stima robusta dell'assetto, utilizzando camere convenzionali e non convenzionali (es. panoramiche).
- **Schemi integrati di guida e controllo** per il rendezvous autonomo con oggetti spaziali stabilizzati o in rotazione (resident space objects – RSOs), a supporto di missioni future di servizio, ispezione e rimozione dei detriti. L'enfasi è posta su architetture sia disaccoppiate che accoppiate roto-traslazionali.
- **Selezione del sito di atterraggio basata sulla visione** per l'esplorazione planetaria, utilizzando elaborazione di immagini e nuvole di punti per generare mappe di pericolo e supportare l'atterraggio autonomo su corpi celesti.

Per supportare lo sviluppo e la validazione di queste tecnologie, il **GNCLab** ha maturato una forte esperienza nella creazione di **simulatori ad alta fedeltà** di scenari operativi, tra cui:

- Un **propagatore numerico** che simula dinamiche orbitali e rotazionali accoppiate, considerando perturbazioni chiave come resistenza atmosferica, pressione della radiazione solare, effetti di terzi corpi e non sfericità del corpo primario.
- **Simulatori di sensori elettro-ottici** sviluppati in MATLAB per prototipazione rapida (es. simulatori LIDAR custom), e l'uso di piattaforme avanzate di rendering come Blender e Unreal Engine per generare dataset sintetici fotorealistici per l'addestramento e la validazione degli algoritmi.
- **Simulatori di attuatori spaziali**, come dispositivi giroscopici e thruster per il controllo d'assetto (Reaction Control Thrusters).

Inoltre, il laboratorio ha acquisito una solida esperienza nella realizzazione di **strutture di test in scala per la validazione sperimentale** di tecniche GNC autonome, con competenze in calibrazione dei sensori, integrazione dei sistemi e **esperimenti hardware-in-the-loop**.

Piattaforme aeree e mobilità urbana

Per quanto riguarda le **piattaforme aeree**, il **GNCLab** sviluppa soluzioni innovative per aumentare l'autonomia dei **droni (UAV)**, con particolare attenzione alle applicazioni di **Urban Air Mobility (UAM)** e **Advanced Air Mobility (AAM)**. I principali ambiti di ricerca includono:

- **Navigazione autonoma in ambienti con segnale GNSS degradato o assente.** Garantire capacità autonome di localizzazione è essenziale per permettere ai droni di volare in ambienti urbani dove il segnale GNSS è parzialmente o totalmente occluso. A tal fine, sono state sviluppate:
 - Soluzioni di navigazione **indipendenti dal GNSS** utilizzando **sensori esterocezionali** (camera, LiDAR e radar) e **unità inerziali (IMU)** ad alta precisione;
 - **Tecniche di navigazione cooperativa** che sfruttano la raccolta e condivisione di informazioni tra veicoli in condizioni di segnale GNSS non nominale;
 - **Monitoraggio cooperativo dell'integrità** delle misure GNSS per rilevare anomalie nel segnale ricevuto.
- **Atterraggio autonomo e percezione.** Sviluppo di tecniche di percezione e localizzazione relativa per garantire un atterraggio accurato, utilizzando camere e radar per rilevare marker posizionati sui pad di atterraggio.
- **Pianificazione della traiettoria e navigazione cooperativa:** lo scopo è definire la geometria ottimale della formazione di veicoli per migliorare la soluzione di navigazione dell'intero sciame.
- **Pianificazione della traiettoria per applicazioni UAM.** Sviluppo di soluzioni centralizzate per l'organizzazione del traffico e la pianificazione delle traiettorie in scenari ad alta densità. Sono state progettate **traiettorie strategiche multi-vincolo e multi-obiettivo**, integrate con strategie di **deconfliction pre-volo**, e un **pianificatore tattico** che attivato in volo in caso di eventi imprevisti che compromettano la sicurezza della traiettoria.
- Le attività di **Sense and Avoid** sono orientate allo sviluppo di soluzioni a bordo per il rilevamento e tracciamento di altri veicoli aerei, testate su dati sperimentali relativi a droni ad ala fissa e rotante.
- **Sorveglianza da terra:** consiste nel dispiegamento di una **rete di nodi a terra** (dotati di camere e radar) per il monitoraggio del traffico UAV in ambienti urbani. Le attività riguardano sia lo sviluppo di algoritmi innovativi di rilevamento e tracciamento, sia l'ottimizzazione della rete di sensori.
- **Ispezione di infrastrutture e ricostruzione 3D:** comprende la raccolta e analisi di dati acquisiti tramite droni dotati di suite multi-sensore (LiDAR e camera), operanti in aree con scarsa copertura GNSS (es. ponti e gallerie).

Per valutare l'affidabilità dei sistemi sviluppati, il **GNCLab** adotta un **approccio in due fasi**, che include test in simulazione e test sperimentali.

Il simulatore sviluppato nel laboratorio include:

- Modelli realistici di traiettoria UAV (ad ala fissa e rotante);
- Modelli realistici dell'ambiente urbano (elevazione del terreno, edifici);
- Simulatore di misure propriocettive (IMU);
- Simulatore GNSS in grado di stimare la copertura del segnale in ambiente urbano, incluse ostruzioni e fenomeni di multipath;
- Simulazione ad alta fedeltà dei sensori esterocezionali (camera e LiDAR).

L'hardware a supporto delle attività sperimentali consiste in

- Una **flotta di oltre 15 UAV** di varie tipologie, dimensioni e capacità di carico, personalizzabili per ogni esperimento. Ogni drone è dotato di **computer a bordo** per la raccolta dei dati;
- Una vasta gamma di sensori (camera, LiDAR, radar, IMU, GNSS con accesso ai dati raw), installabili sia sui droni che a terra per test modulabili e scalabili;
- **Capacità di prototipazione rapida** tramite stampante 3D.

Grazie a queste competenze, il **GNCLab** si posiziona all'**avanguardia nella ricerca sull'autonomia, la sicurezza e la flessibilità operativa** delle **missioni spaziali di nuova generazione** e delle applicazioni **UAM/AAM**.