

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA IN  
INGEGNERIA AEROSPAZIALE

TESI DI LAUREA

# Raccolta e analisi dei dati di volo per un velivolo a controllo remoto

*Relatore:*  
PROF. FRANCESCO PICANO

*Laureando:*  
EMANUELE CASON  
1219779

Anno Accademico 2022/2023

# Introduzione

Nell'ambito del progetto LiftUp del Dipartimento di Ingegneria Industriale, per la partecipazione all'Air Cargo Challenge 2022, è stato progettato e costruito un velivolo a controllo remoto, candidato poi dal nostro team alla competizione. Tutto il processo di progettazione e realizzazione del drone, di seguito denominato UAS (Unmanned Aerial System), secondo la nomenclatura adottata dal legislatore europeo, si è basato sul regolamento di gara, e in particolare sui requisiti di sistema e sui criteri di attribuzione del punteggio. Di tali criteri, la porzione più rilevante è stata dedicata dalla giuria alle prestazioni in volo dell'aeromobile.

Ne è nata la necessità di disporre di un sistema di registrazione e trasmissione dei dati di volo dei sensori, con molteplici importanti finalità, tra cui:

- Valutare le prestazioni durante il collaudo.
- Individuare le migliori condizioni di manovra.
- Prevedere i punteggi conseguenti alle singole esercitazioni di preparazione svolte nei mesi precedenti alla gara.
- Verificare l'accettabilità delle approssimazioni, delle relazioni analitiche e dei processi iterativi adottati durante i processi di dimensionamento e design preliminare del velivolo.

A seguito di varie valutazioni sulla possibilità di acquistare sistemi di telemetria già pronti all'uso, si è optato per progettare, sviluppare e integrare un modulo specifico da zero, al fine di avere maggiore controllo sulle caratteristiche, migliore consapevolezza del suo funzionamento e maggiore margine di intervento (ad esempio reiterandone il design per ridurre la massa, ottimizzando la trasmissione e la visualizzazione dei dati, *eccetera*) in base alle necessità emergenti, anche nell'ottica di disporre di un sistema comodo da implementare nei velivoli che verranno sviluppati in futuro.

Anche in termini di costi tale scelta risulta molto vantaggiosa: un sistema pre-fabbricato infatti richiede l'acquisto di sensori e componenti aggiuntivi compatibili, spesso limitando la scelta ad un marchio unico e con protocolli non open-source. Al contrario, nel sistema progettato è stato possibile considerare un trade-off per ogni componente e sensore, scegliendo quello più

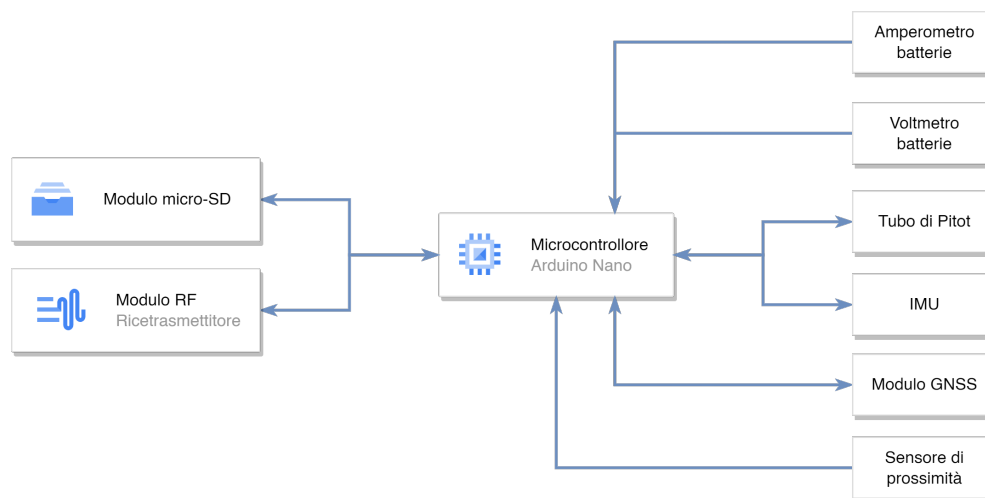
conveniente in termini di prezzo e prestazioni, anche affidandosi a produttori diversi.

## Struttura del sistema di telemetria

In linea generale, il sistema è stato articolato in due nodi. Uno installato a bordo del velivolo e l'altro complementare, parte di una stazione di terra.

### Dispositivo lato velivolo

Il dispositivo a bordo del velivolo è stato progettato con un'architettura centralizzata, programmato con un firmware appositamente creato. Il microcontrollore, nello specifico Arduino Nano, interroga tutti i sensori installati e per mezzo di un modulo dotato di slot micro-SD ne memorizza i valori in un file creato appositamente sulla scheda inserita. Simultaneamente, gli stessi dati vengono trasmessi a terra per mezzo di un componente rice-trasmettitore alla frequenza di 2.4 GHz. Lo stesso componente, riceve eventuali comandi (ad esempio per avviare la registrazione dei dati, o per calibrare la IMU) dalla stazione di terra, e li inoltra al microcontrollore perché vengano eseguiti.



Un'altra caratteristica del sistema, derivante dall'architettura scelta, è la sua modularità. L'intero sistema infatti, può essere rapidamente adattato per raccogliere e trasmettere a terra i dati di un insieme variabile di sensori connessi. Questo aspetto ha avuto particolare utilità nelle prime fasi del

collaudo, durante le quali, viste le scadenze ravvicinate, è stato necessario implementare rapidamente una prima versione del sistema di telemetria, anche a patto di disporre dei dati di un numero ridotto di sensori connessi.

## **Modulo GNSS**

Il modulo ricevitore GNSS <sup>1</sup> è stato scelto in base a vari fattori considerati: in primis la consistenza dei dati con quelli che sarebbero stati raccolti in competizione (dove da regolamento la giuria utilizza lo stesso modulo per calcolare i punteggi di gara), i valori di risoluzione e velocità di aggiornamento dei dati relativamente alti, la compatibilità con i sistemi a bordo dell'aeromodello e di radiocontrollo, e non ultimo il costo non eccessivamente alto. Il modulo integra inoltre accelerometro a tre assi e barometro, consente la registrazione dei dati su una scheda microSD indipendente da quella principale e il loro invio simultaneo a dispositivi che supportano il protocollo FrSky Smart Port, per la telemetria in tempo reale.

Se da un lato scegliere lo stesso modulo utilizzato dalla giuria è stato vantaggioso in termini di coerenza e affidabilità dei dati raccolti, l'implementazione della trasmissione in diretta dei dati a terra ha causato non poche complicazioni. Si è reso necessario infatti decodificare il protocollo proprietario Smart Port per renderlo leggibile dal microcontrollore, per mezzo di una libreria appositamente riadattata, operazione fortemente complicata dalla scarsità della documentazione resa pubblica sul funzionamento del protocollo.

## **Modulo rice-trasmettitore**

A seguito di svariati test condotti su alcuni moduli acquistati negli anni precedenti, operanti a 433 Mhz, sono saltati subito all'occhio problemi come latenze di trasmissione troppo elevate, bassi data rate, portate insufficienti. La scelta di moduli più performanti per la trasmissione a terra dei dati (e l'eventuale ricezione di comandi inerenti alla telemetria), si è basata su vari requisiti, tra cui: la compatibilità con la tensione di alimentazione disponibile e consumo elettrico accettabile; un protocollo di comunicazione con il microcontrollore semplice da implementare; l'utilizzo di segnale a modulazione

---

<sup>1</sup>"Global Navigation Satellite System", termine generico per indicare sistemi di cui fanno parte GPS, GLONASS, GALILEO, ecc

digitale; data rate e portata sufficientemente elevati; e la presenza di un connettore coassiale per l'antenna, in modo da localizzarla all'esterno della fusoliera in fibra di carbonio, per evitare il suo effetto radio-attenuante.

Una volta individuato il dispositivo, è stato possibile effettuare una verifica teorica della sua portata, a partire dai valori indicati nel datasheet [1]. Considerando, in ottica conservativa, la potenza minima di trasmissione e la potenza minima in ricezione, per mantenere il data rate a 250 kbps:

$$P_{tx} = 19.7 \text{ dBm} = 0.0933 \text{ W}$$

$$P_{rx} = -96 \text{ dBm} = 2.51 \cdot 10^{-13} \text{ W}$$

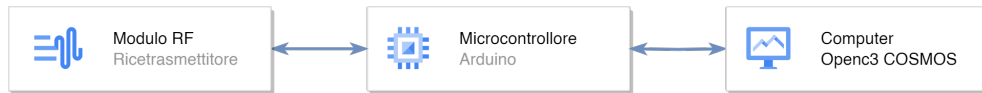
Nota l'equazione della trasmissione di Friis, nell'ipotesi di antenne isotrope in trasmissione e ricezione (ovvero con guadagno  $G = 0 \text{ dBi} = 1$ ), trascurando perdite diverse da quella spaziale di propagazione (come perdite di linea, di interferenza, atmosferiche, eccetera):

$$P_{rx} = P_{tx} \cdot G_{tx} \cdot G_{rx} \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 \quad (1)$$

Si ottiene una portata massima teorica  $D = 6060 \text{ m}$ . Essendo tale valore non inferiore alla portata richiesta (dell'ordine di 1000 - 2000 m), è risultato sensato procedere con il test sperimentale, che, pur registrando distanze ben inferiori a quella teorica, probabilmente dovute alle perdite trascurate (intorno a 2300 m), ha confermato la sufficienza della distanza raggiunta.

## Stazione di terra

La stazione di terra permette il monitoraggio in tempo reale dei valori misurati dai sensori. Per mezzo di un modulo di rice-trasmettitore complementare a quello precedentemente descritto e connesso ad un altro microcontrollore, vengono ricevuti e decodificati i pacchetti provenienti dal velivolo e i relativi dati inviati al computer tramite comunicazione seriale.



Il software che è stato scelto per il monitoraggio, la visualizzazione e l'eventuale plot dei dati in tempo reale, è OpenC3 COSMOS, software gratuito e open-

source, inizialmente sviluppato da Ball Aerospace e utilizzato in svariate missioni spaziali [2].

## Bibliografia

- [1] Ltd. Chengdu Ebyte Electronic Technology Co. *E01-ML01DP5 Datasheet*.
- [2] Ryan Melton and Jason Thomas. *A Cloud-Based, Open-Source, Command-and-Control Software Paradigm for Space Situational Awareness*, 2017.