

Report Tecnico sui Componenti del Sistema Drone

Progetto di Tirocinio Universitario

Antonello Samuele - Edoardo Moro

12 giugno 2025

Indice

1	Introduzione	3
2	Architettura del Sistema	3
3	Componenti Hardware	3
3.1	Telaio e Struttura	3
3.1.1	Holybro X500	3
3.2	Unità di Elaborazione	4
3.2.1	Raspberry Pi 4	4
3.3	Sistemi di Navigazione e Posizionamento	4
3.3.1	Antenna GPS droneCAN M9N	4
3.3.2	DroneCAN RM3100 Professional Grade Compass	4
3.4	Sensori per Stabilità e Controllo	5
3.4.1	ST VL53L1X LiDAR	5
3.4.2	PMW3901 Optical Flow Sensor	5
3.4.3	Barometro per Altitudine	6
3.5	Sistema di Visione	6
3.5.1	Telecamera SIYI A8 Mini	6
3.6	Sistema di Comunicazione	6
3.6.1	Radiomaster Zorro (Telecomando)	6
3.6.2	Ricevitore RadioMaster RP3-H ExpressLRS	7
3.7	Flight Controller	7
3.7.1	Pixhawk 6X Flight Controller	7
3.8	Sistema di Alimentazione	8
3.8.1	Gens Ace Bashing 3S 5000mAh	8
3.8.2	Zeee 3S 8000mAh 100C LiPo	8
3.9	Sistema di Interconnessione	9
3.9.1	Bus CAN (Controller Area Network)	9
4	Configurazioni di Test	9

5	Metodologia di Test	10
5.1	Obiettivi dei Test	10
5.2	Parametri di Misurazione	11
6	Considerazioni Aggiuntive	11
6.1	Fattori Influenzanti l'Autonomia	11
6.2	Strategie di Ottimizzazione	11
7	Conclusioni	12
8	Bibliografia	12

1 Introduzione

Il presente report tecnico descrive in dettaglio i componenti hardware del sistema drone sviluppato nell'ambito del progetto di tirocinio universitario. L'obiettivo principale consiste nell'analisi delle prestazioni energetiche del sistema in diverse configurazioni operative, con particolare attenzione alla valutazione dell'impatto sulla durata della batteria derivante dall'attivazione o disattivazione di componenti specifici quali il Raspberry Pi 4 e il sistema di visione.

Il documento presenta una panoramica completa dell'architettura del sistema, fornendo una descrizione dettagliata di ogni componente hardware e delle relative specifiche tecniche. Viene inoltre delineata la metodologia di test che verrà adottata per la valutazione delle prestazioni energetiche del sistema nelle diverse configurazioni operative.

2 Architettura del Sistema

Il sistema drone è progettato secondo un'architettura modulare che integra diversi sottosistemi interconnessi, ciascuno dei quali contribuisce al raggiungimento dell'obiettivo di volo autonomo e controllato. Questa scelta progettuale consente di testare diverse configurazioni operative per ottimizzare il bilancio energetico in base alle specifiche esigenze missionali.

La struttura del sistema si articola attorno a un telaio portante che ospita il flight controller principale, il quale gestisce le funzioni di controllo del volo e coordina l'attività dei vari sensori. Il sistema di alimentazione fornisce energia a tutti i componenti attraverso una batteria LiPo ad alta capacità, mentre il sistema di comunicazione garantisce il collegamento con la stazione di controllo remota.

L'integrazione dei diversi sottosistemi avviene attraverso protocolli standardizzati che assicurano interoperabilità e affidabilità delle comunicazioni. Particolare attenzione è stata rivolta alla ridondanza dei sensori critici e all'implementazione di strategie di failsafe per garantire la sicurezza operativa del sistema.

3 Componenti Hardware

3.1 Telaio e Struttura

3.1.1 Holybro X500

Il telaio Holybro X500 costituisce la base strutturale del sistema drone ed è realizzato secondo una configurazione quadricottero caratterizzata da una wheelbase di 500 mm. La struttura, realizzata in fibra di carbonio, combina efficacemente le proprietà di leggerezza e robustezza meccanica, risultando particolarmente adatta per operazioni che richiedono elevata affidabilità e resistenza alle sollecitazioni.

Il telaio presenta un peso complessivo di circa 650 g ed è progettato per essere compatibile con motori e eliche appartenenti alla classe 2216-2312, garantendo così versatilità nella scelta della configurazione propulsiva. Il design modulare della struttura facilita significativamente le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, consentendo inoltre una facile integrazione di eventuali upgrade o modifiche strutturali future.

La geometria del telaio è ottimizzata per garantire una distribuzione equilibrata del peso dei componenti, contribuendo alla stabilità di volo e all'efficienza aerodinamica del

sistema. Le caratteristiche costruttive del materiale composito impiegato assicurano un'elevata resistenza alla fatica e agli agenti atmosferici, elementi essenziali per garantire la durata operativa del sistema.

3.2 Unità di Elaborazione

3.2.1 Raspberry Pi 4

Il Raspberry Pi 4 rappresenta il cuore computazionale del sistema per le elaborazioni ad alto livello a bordo del drone. Il dispositivo è equipaggiato con un SoC Broadcom BCM2711 che integra un processore quad-core Cortex-A72 a 64-bit operante alla frequenza di 1.5 GHz, affiancato da 8 GB di memoria RAM LPDDR4-3200 che garantiscono prestazioni adeguate per le attività computazionali richieste.

Il sistema di connettività è assicurato dal supporto nativo per Wi-Fi 802.11ac dual-band e Bluetooth 5.0/BLE, mentre l'interfacciamento con i sensori esterni avviene attraverso una porta GPIO a 40 pin che offre ampia flessibilità di connessione. Il sistema operativo implementato è Ubuntu Core 24, una distribuzione specificatamente ottimizzata per dispositivi embedded che fornisce un'infrastruttura containerizzata con funzionalità di aggiornamento automatico e caratteristiche avanzate di sicurezza.

Le principali funzioni delegate al Raspberry Pi comprendono l'elaborazione delle immagini acquisite dal sistema di visione, l'esecuzione di algoritmi di navigazione avanzata e la gestione delle comunicazioni con la stazione di controllo remota. L'architettura software basata su container consente una gestione efficiente delle risorse computazionali e garantisce l'isolamento delle diverse applicazioni in esecuzione.

3.3 Sistemi di Navigazione e Posizionamento

3.3.1 Antenna GPS droneCAN M9N

L'antenna GPS droneCAN M9N costituisce il sistema di posizionamento globale del drone ed è progettata per garantire comunicazioni affidabili attraverso il protocollo droneCAN. Il dispositivo integra il chipset u-blox M9N, compatibile con i principali sistemi di navigazione satellitare globale (GNSS) quali GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou, offrendo una copertura satellitare ampia e ridondante che migliora la precisione e l'affidabilità del posizionamento.

Il sistema utilizza una patch ceramica ad alto guadagno con dimensioni di $25 \times 25 \times 4$ mm e fornisce una precisione di posizionamento a livello metrico in condizioni operative standard. La frequenza di aggiornamento dei dati di navigazione è configurabile fino a 25 Hz, consentendo una risposta dinamica adeguata anche in scenari di volo complessi caratterizzati da rapide variazioni di posizione e velocità.

L'elaborazione dei dati GNSS è gestita da un processore STM32G4 operante a 170 MHz, mentre il magnetometro integrato BMM150 fornisce informazioni di orientamento che contribuiscono alla compensazione dell'heading. Il dispositivo opera in un range di tensione compreso tra 4.7 e 5.2 V e integra LED tri-colore per la segnalazione visiva dello stato operativo, oltre a diverse interfacce di comunicazione tra cui CAN bus, UART e USB.

3.3.2 DroneCAN RM3100 Professional Grade Compass

Il DroneCAN RM3100 rappresenta il magnetometro di precisione del sistema ed è progettato per fornire informazioni accurate sull'orientamento del drone. Il dispositivo si basa

su tecnologia a magnetoresistenza anisotropa (AMR) che garantisce un'elevata sensibilità ai cambiamenti del campo magnetico terrestre, con una risoluzione angolare che può raggiungere 0.01° di heading.

La frequenza di campionamento del dispositivo può arrivare fino a 400 Hz, rendendolo particolarmente adatto a scenari operativi dinamici dove è richiesta una risposta rapida e precisa alle variazioni di orientamento. Il sistema integra funzionalità di compensazione automatica delle interferenze magnetiche, elemento che contribuisce significativamente al miglioramento dell'affidabilità dei dati acquisiti.

La comunicazione con il flight controller avviene tramite il protocollo DroneCAN, che assicura robustezza nella trasmissione dei dati e piena interoperabilità con gli altri moduli del sistema. Le caratteristiche del dispositivo lo rendono particolarmente adatto per applicazioni che richiedono un controllo preciso dell'orientamento, come nel caso di missioni di rilevamento o sorveglianza.

3.4 Sensori per Stabilità e Controllo

3.4.1 ST VL53L1X LiDAR

Il sensore ST VL53L1X rappresenta il sistema di misurazione della distanza basato su tecnologia time-of-flight, impiegato principalmente per il controllo preciso dell'altitudine del drone. Il dispositivo è in grado di effettuare misurazioni di distanza in un range compreso tra 4 cm e 4 m, con una precisione tipica dell'ordine di $\pm 3\%$ che risulta adeguata per le applicazioni di controllo altimetrico.

La frequenza di acquisizione dei dati può raggiungere i 50 Hz, garantendo una risposta temporale sufficientemente rapida per rilevare variazioni di quota anche durante manovre dinamiche. Il campo visivo del sensore è di 27° , una apertura che consente di monitorare efficacemente l'area immediatamente sottostante il drone durante le fasi di volo.

L'interfaccia di comunicazione I2C facilita l'integrazione con il flight controller e altri dispositivi del sistema, mentre le dimensioni compatte del sensore consentono un'installazione semplice e non invasiva sulla struttura del drone. Le caratteristiche del dispositivo lo rendono particolarmente adatto per applicazioni di atterraggio automatico e mantenimento di quota costante.

3.4.2 PMW3901 Optical Flow Sensor

Il PMW3901 costituisce il sensore di flusso ottico del sistema ed è specificamente progettato per contribuire alla stabilizzazione orizzontale del drone attraverso il rilevamento dei micro-spostamenti rispetto al terreno sottostante. Il dispositivo integra un array di pixel con risoluzione 30×30 , sufficiente per rilevare efficacemente il movimento relativo rispetto alle superfici sottostanti.

Il sensore opera con una frequenza di aggiornamento che può raggiungere i 126 fps, consentendo di tracciare in tempo reale anche variazioni rapide nella posizione orizzontale del drone. La capacità di rilevamento delle velocità angolari si estende fino a 7.4 rad/s , rendendo il dispositivo efficace anche durante manovre dinamiche caratterizzate da elevate accelerazioni.

L'altezza operativa ottimale del sensore si estende da 8 cm fino a 30 m, coprendo un intervallo di utilizzo che comprende sia il volo a bassa quota che le operazioni a media altitudine. La comunicazione con il flight controller avviene attraverso interfaccia SPI, che garantisce velocità ed efficienza nello scambio dei dati di movimento.

3.4.3 Barometro per Altitudine

Il sensore barometrico implementato nel sistema fornisce misurazioni accurate dell'altitudine attraverso la rilevazione delle variazioni di pressione atmosferica. Il dispositivo offre una risoluzione altimetrica dell'ordine di ± 10 cm, precisione che risulta adeguata per la maggior parte delle applicazioni di controllo automatico del volo.

Il range operativo del sensore copre pressioni atmosferiche comprese tra 300 e 1100 hPa, intervallo che comprende adeguatamente le condizioni tipiche di volo del drone dalle quote marine fino ad altitudini elevate. Il dispositivo integra un sistema di compensazione automatica della temperatura, caratteristica fondamentale per mantenere l'accuratezza delle misurazioni in presenza di variazioni termiche ambientali.

La frequenza di campionamento può raggiungere i 200 Hz, garantendo una rilevazione continua e rapida delle variazioni di quota che risulta particolarmente utile durante le fasi di salita e discesa rapida. L'integrazione di questo sensore con gli altri sistemi di navigazione contribuisce alla ridondanza delle informazioni altimetriche, migliorando l'affidabilità complessiva del sistema.

3.5 Sistema di Visione

3.5.1 Telecamera SIYI A8 Mini

La telecamera SIYI A8 Mini rappresenta il sistema di acquisizione video del drone ed è caratterizzata da un gimbal stabilizzato su tre assi che garantisce la qualità delle immagini anche durante manovre complesse. Il dispositivo monta un sensore CMOS da 1/2.8" e supporta risoluzioni video fino a 4K a 30 fps, oltre alla modalità 2.7K a 60 fps, offrendo flessibilità nella scelta della qualità d'immagine in base alle esigenze operative.

Il sistema di zoom integrato combina uno zoom ottico 6x con funzionalità di zoom digitale, permettendo di variare il campo visivo senza significativa perdita di dettaglio. La trasmissione delle immagini avviene attraverso un collegamento digitale HD dedicato, mentre un'interfaccia API consente il controllo remoto completo delle funzionalità della telecamera.

Il peso contenuto del dispositivo, pari a circa 120 g, contribuisce a mantenere l'efficienza complessiva del sistema senza compromettere significativamente il bilancio di peso del drone. Le funzionalità avanzate di stabilizzazione e la qualità dell'immagine rendono questo sistema particolarmente adatto per applicazioni di sorveglianza, rilevamento e documentazione aerea.

3.6 Sistema di Comunicazione

3.6.1 Radiomaster Zorro (Telecomando)

Il Radiomaster Zorro costituisce il sistema di controllo remoto del drone e si basa sui protocolli OpenTX e EdgeTX, riconosciuti per la loro flessibilità e capacità di personalizzazione. Il dispositivo opera nella banda di frequenza a 2.4 GHz e supporta fino a 16 canali, consentendo la gestione simultanea di molteplici comandi e funzioni del drone.

Il raggio d'azione del sistema può estendersi fino a 1 km, con variazioni dipendenti dal tipo di antenna utilizzata e dalle condizioni ambientali. Il telecomando è dotato di un display LCD retroilluminato che facilita la lettura delle informazioni operative anche in condizioni di scarsa luminosità ambientale.

L'alimentazione del dispositivo è garantita da una batteria interna Li-Ion ricaricabile che assicura un'autonomia operativa prolungata durante le sessioni di volo. Le caratteristiche ergonomiche del controllo sono state progettate per garantire comfort e precisione durante l'utilizzo prolungato.

3.6.2 Ricevitore RadioMaster RP3-H ExpressLRS

Il ricevitore RadioMaster RP3-H implementa il protocollo ExpressLRS (Express Long Range System) operante a 2.4 GHz e rappresenta una soluzione avanzata e open-source per la ricezione dei segnali di controllo in applicazioni aeronautiche. Il sistema è basato su firmware open-source eseguito su microcontrollore ESP8285 e utilizza il chip RF SX1280IMLTRT che supporta la comunicazione LoRa per estendere la portata operativa e migliorare la robustezza del collegamento.

Il dispositivo opera nella banda ISM da 2400 a 2480 MHz e implementa un sistema di antenna diversity con connettori UFL per l'installazione di antenne esterne. Questa configurazione migliora significativamente la qualità del segnale ricevuto attraverso uno switching automatico tra le antenne disponibili. Il ricevitore integra un amplificatore Skyworks SE2431L con LNA (Low Noise Amplifier) che garantisce un basso livello di rumore e una maggiore sensibilità di ricezione.

Il sistema supporta protocolli di uscita CRSF e S.BUS, garantendo piena compatibilità con sistemi di controllo Pixhawk. La frequenza di aggiornamento del segnale è estremamente flessibile, con valori massimi che possono raggiungere 500 Hz o 1000 Hz nella modalità F1000, e una frequenza minima di 25 Hz che permette un controllo fluido e reattivo del drone.

Le funzioni avanzate del sistema comprendono l'antenna diversity per l'ottimizzazione automatica della qualità del segnale, il frequency hopping per la gestione automatica dei canali radio e l'evitamento delle interferenze, e la telemetria bidirezionale per l'invio in tempo reale dei dati di stato del drone. Il sistema supporta inoltre aggiornamenti OTA (Over-The-Air) che permettono l'aggiornamento del firmware tramite WiFi integrato, eliminando la necessità di connessioni fisiche.

Il ricevitore si distingue per le dimensioni ultracompatte, tipiche della configurazione nano, particolarmente adatte per installazioni in spazi ristretti. Il peso contenuto, compreso tra 2 e 3 g, facilita l'integrazione su sistemi leggeri senza compromettere l'equilibrio. Il dispositivo è progettato per operare in un ampio intervallo di temperatura, da -20°C a +70°C, garantendo affidabilità in diversi contesti ambientali.

L'integrazione con il flight controller Pixhawk avviene attraverso connessione diretta alla porta SBUS o CRSF, permettendo una comunicazione semplice ed efficace. La configurazione del sistema viene gestita tramite parametri MAVLink, consentendo il controllo della telemetria e il monitoraggio dello stato del collegamento radio direttamente dalla ground station.

3.7 Flight Controller

3.7.1 Pixhawk 6X Flight Controller

Il Pixhawk 6X rappresenta l'unità di controllo di volo del sistema ed è progettato per garantire elevata affidabilità attraverso l'implementazione di ridondanza tripla e sistemi di isolamento dalle vibrazioni. Il dispositivo monta un processore ARM Cortex-M7

STM32H753 operante fino a 480 MHz, supportato da 2 MB di memoria Flash e 1 MB di RAM che consentono l'esecuzione di calcoli complessi in tempo reale.

Il controller integra tre unità di misura inerziale (IMU) ICM-45686 dotate di tecnologia BalancedGyro™ e sistema di isolamento antivibrazioni per migliorare la precisione delle misurazioni. La doppia ridondanza dei barometri, con sensori collegati a bus separati, assicura maggiore affidabilità nella determinazione dell'altitudine e contribuisce alla sicurezza operativa del sistema.

Il Pixhawk 6X è in grado di gestire loop di stabilizzazione con frequenze fino a 8 kHz e supporta diversi protocolli di comunicazione tra cui DroneCAN, MAVLink, SBUS e PPM, garantendo compatibilità con un'ampia gamma di componenti. Il firmware può essere selezionato tra ArduPilot e PX4, entrambi ufficialmente supportati con aggiornamenti continui e documentazione completa.

Il dispositivo offre un'ampia gamma di interfacce di connessione che comprende Ethernet integrata, multiple porte UART, I2C, SPI e CAN bus, fornendo elevata flessibilità di configurazione. Tra le funzionalità avanzate si annoverano il riscaldamento integrato delle IMU per mantenere la stabilità delle prestazioni, l'isolamento dedicato al dominio sensori e un design modulare che facilita le operazioni di manutenzione e upgrade.

3.8 Sistema di Alimentazione

Il sistema di alimentazione del drone è basato su batterie LiPo ad alta capacità, con due opzioni principali identificate per soddisfare diverse esigenze operative: la Gens Ace Bashing Series da 5000 mAh e la Zeee 3S da 8000 mAh.

3.8.1 Gens Ace Bashing 3S 5000mAh

La batteria Gens Ace Bashing 3S 5000mAh è progettata per applicazioni intensive tipiche della serie Bashing e offre una capacità nominale di 5000 mAh. La configurazione interna 3S1P fornisce una tensione nominale di 11.1 V con un valore massimo di 12.6 V, erogando un'energia complessiva di 55.5 Wh.

Il dispositivo supporta un C-rate di 60C, corrispondente a una corrente massima di scarica continua di 300 A, caratteristica che la rende adatta per applicazioni con richieste energetiche elevate. Il peso varia tra 308 e 337 grammi in base al tipo di connettore utilizzato, che può essere EC5 o XT90, mentre il connettore di bilanciamento è un JST-XHR-4P standard.

Le dimensioni della batteria sono 135×43×25 mm e la velocità di ricarica raccomandata varia da 1C a 3C, con possibilità di ricarica rapida fino a 5C. La tensione di cutoff è fissata a 3.0 V per cella per preservare la durata della batteria, mentre il ciclo di vita stimato è compreso tra 300 e 500 cicli mantenendo l'80% della capacità originale.

La serie Bashing è specificatamente progettata per hobby entry-level e uso intensivo, con ottimizzazione per modelli RC di scala 1/8 e 1/10. Il sistema incorpora tecnologia G-Tech per il riconoscimento automatico dei parametri di carica, migliorando sicurezza ed efficienza durante le operazioni di ricarica.

3.8.2 Zeee 3S 8000mAh 100C LiPo

La batteria Zeee 3S 8000mAh 100C della serie Zeee Power è progettata per applicazioni RC avanzate che richiedono prestazioni elevate. Con una capacità di 8000 mAh e configu-

razione 3S1P, fornisce una tensione nominale di 11.1 V e una tensione massima di 12.6 V, erogando un'energia nominale di 88.8 Wh.

Il dispositivo supporta un C-rate di 100C, permettendo una corrente massima di scarica continua fino a 800 A, caratteristica che la rende ideale per carichi estremamente impegnativi. Il peso si attesta tra 580 e 600 grammi, mentre le dimensioni sono 166×50×29 mm.

Il connettore di scarica può essere EC5 o Deans T-Plug, mentre il connettore di bilanciamento è un JST-XHR-4P. La velocità di ricarica raccomandata è compresa tra 1C e 2C, con velocità massima di 5C. La tensione di cutoff è di 3.2 V per cella e il ciclo di vita stimato è tra 200 e 300 cicli mantenendo l'80% della capacità iniziale.

La serie Zee Power è particolarmente adatta per automodelli RC di scala 1/8, 1/10 e applicazioni marine ad alte prestazioni, offrendo elevata corrente di scarica per massima potenza istantanea e costruzione robusta con saldature rinforzate.

3.9 Sistema di Interconnessione

3.9.1 Bus CAN (Controller Area Network)

Il Bus CAN (Controller Area Network) costituisce il sistema di comunicazione primario per l'interconnessione dei vari sensori all'interno del drone. Basato sul protocollo DroneCAN, precedentemente denominato UAVCAN, questo sistema supporta velocità di trasmissione fino a 1 Mbps, consentendo uno scambio dati rapido e affidabile tra i componenti del sistema.

La topologia implementata è quella di un bus differenziale a due fili, scelta che contribuisce significativamente alla riduzione della complessità del cablaggio grazie alla possibilità di collegare multipli dispositivi sullo stesso canale di comunicazione. Il sistema integra meccanismi avanzati di controllo errori che assicurano un elevato livello di affidabilità durante la trasmissione dei dati critici.

L'alimentazione dei dispositivi connessi al bus avviene a 5 V attraverso lo stesso cavo utilizzato per la trasmissione dati, semplificando ulteriormente l'installazione e riducendo il numero di connessioni necessarie. L'interfacciamento con il flight controller Pixhawk è realizzato direttamente tramite la porta CAN dedicata, garantendo una comunicazione efficiente e stabile tra i sensori e il controllore di volo.

4 Configurazioni di Test

Per valutare l'impatto dei diversi componenti sulle prestazioni complessive del sistema, sono state definite quattro configurazioni di test specifiche che permetteranno di analizzare sistematicamente il contributo di ciascun sottosistema. Queste configurazioni sono state progettate per isolare l'effetto di componenti specifici mantenendo costanti gli altri parametri del sistema.

Tabella 1: Configurazioni di test per la valutazione delle prestazioni del sistema

Config.	Raspberry Pi 4	Telecamera SIYI A8 Mini	Sensori di Navigazione	Obiettivo del Test
C1(Baseline)	Disattivato	Disattivata	Attivi	Consumo di base
C2(Computing)	Attivo	Disattivata	Attivi	Impatto elaborazione
C3(Vision)	Disattivato	Attiva	Attivi	Impatto sistema visivo
C4(Completa)	Attivo	Attiva	Attivi	Configurazione completa

La configurazione C1 rappresenta la configurazione baseline del sistema, dove sono attivi solamente i componenti essenziali per il volo controllato. Questa configurazione include il flight controller, i sensori di navigazione e posizionamento, i sistemi di comunicazione e tutti i componenti necessari per il controllo di base del drone.

La configurazione C2 introduce l'attivazione del Raspberry Pi 4 con sistema operativo Ubuntu Core, mantenendo disattivato il sistema di visione. Questa configurazione permetterà di quantificare l'impatto specifico del sistema di elaborazione ad alto livello sulle prestazioni complessive del drone.

La configurazione C3 mantiene disattivato il Raspberry Pi 4 ma attiva il sistema di visione SIYI A8 Mini. Questa configurazione è progettata per valutare l'impatto del sistema di acquisizione video e del gimbal stabilizzato sulle prestazioni energetiche del sistema.

La configurazione C4 rappresenta la configurazione operativa completa del sistema, con tutti i componenti attivi simultaneamente. Questa configurazione fornirà informazioni sulle prestazioni del sistema nella sua configurazione finale e permetterà di valutare eventuali effetti sinergici tra i diversi sottosistemi.

5 Metodologia di Test

5.1 Obiettivi dei Test

La pianificazione dei test si focalizza sulla determinazione della durata operativa della batteria per ciascuna configurazione del sistema, consentendo una valutazione completa dell'autonomia nelle diverse modalità operative. L'analisi mira inoltre a quantificare l'impatto del Raspberry Pi 4 sull'architettura complessiva del sistema, identificando il suo contributo specifico alle prestazioni generali.

Particolare attenzione sarà dedicata alla valutazione delle prestazioni del sistema di visione SIYI A8 Mini, elemento cruciale per comprendere l'incidenza di questo componente sull'efficienza operativa complessiva. I risultati ottenuti costituiranno la base per l'ottimizzazione delle configurazioni in funzione delle specifiche tipologie di missione, permettendo di bilanciare efficacemente le prestazioni richieste con la durata operativa disponibile.

5.2 Parametri di Misurazione

Il protocollo di test prevede il monitoraggio sistematico di diversi parametri fondamentali per la valutazione delle prestazioni del sistema. La tensione della batteria, espressa in volt, rappresenta un indicatore primario dello stato energetico, mentre la corrente assorbita dal sistema, misurata in ampere, fornisce informazioni dettagliate sul carico operativo istantaneo.

La potenza istantanea, calcolata in watt, offre una visione completa del profilo energetico in tempo reale, consentendo di identificare i picchi di richiesta e le fasi di funzionamento ottimale. Il controllo della temperatura dei componenti critici garantisce il mantenimento delle condizioni operative ideali e la prevenzione di eventuali surriscaldamenti che potrebbero compromettere le prestazioni.

Il tempo di volo effettivo, registrato in minuti, costituisce il parametro finale per la valutazione dell'autonomia operativa del sistema. Le condizioni ambientali, incluse temperatura atmosferica e intensità del vento, vengono documentate sistematicamente poiché rappresentano variabili significative che influenzano direttamente le prestazioni del drone durante l'esecuzione delle missioni.

6 Considerazioni Aggiuntive

6.1 Fattori Influenzanti l'Autonomia

L'autonomia operativa del sistema drone risulta influenzata da molteplici variabili che possono modificare significativamente le prestazioni durante l'esecuzione delle missioni. Lo stile di pilotaggio rappresenta un fattore determinante, poiché manovre aggressive e cambiamenti rapidi di direzione o velocità richiedono un impegno energetico sostanzialmente maggiore rispetto al mantenimento di una posizione stazionaria o a voli lineari a velocità costante.

Le condizioni meteorologiche costituiscono un'altra variabile critica che incide direttamente sull'efficienza del sistema. La presenza di vento richiede correzioni continue da parte del sistema di controllo per mantenere la traiettoria desiderata, aumentando il carico sui motori. La temperatura ambiente influenza le prestazioni della batteria, con temperature particolarmente basse che possono ridurre significativamente la capacità di erogazione energetica.

Il peso complessivo del sistema, comprensivo di eventuali payload aggiuntivi, modifica direttamente il rapporto potenza-peso, influenzando l'efficienza operativa. L'altitudine operativa rappresenta un ulteriore parametro da considerare, poiché la densità dell'aria a quote elevate richiede un maggiore sforzo propulsivo per mantenere la portanza necessaria al volo.

L'invecchiamento naturale delle batterie introduce una variabilità temporale nelle prestazioni, con una graduale riduzione della capacità nominale che deve essere considerata nella pianificazione delle missioni a lungo termine.

6.2 Strategie di Ottimizzazione

L'ottimizzazione dell'efficienza operativa può essere perseguita attraverso diverse strategie integrate che agiscono sui diversi sottosistemi del drone. La gestione dinamica della po-

tenza del Raspberry Pi 4 rappresenta un approccio promettente, consentendo di modulare le prestazioni di calcolo in funzione delle effettive necessità operative del momento.

L'implementazione di protocolli di spegnimento selettivo per il sistema di visione SIYI A8 Mini durante le fasi di volo in cui l'acquisizione video non è necessaria può contribuire significativamente al prolungamento dell'autonomia operativa. Questa strategia risulta particolarmente efficace durante i trasferimenti tra punti di interesse o nelle fasi di attesa.

Lo sviluppo di algoritmi di volo specificamente ottimizzati per l'efficienza energetica rappresenta un approccio sistemico che può influenzare positivamente tutte le fasi operative. Questi algoritmi possono includere profili di accelerazione ottimizzati, traiettorie di volo più efficienti e strategie di mantenimento della posizione che minimizzano le correzioni continue.

L'implementazione di sistemi di monitoraggio in tempo reale del bilancio energetico consente l'adozione di strategie adattive durante l'esecuzione delle missioni, permettendo di modificare dinamicamente i parametri operativi per massimizzare l'autonomia disponibile in funzione degli obiettivi specifici della missione.

7 Conclusioni

Il sistema drone sviluppato presenta un'architettura modulare che consente di adattare le caratteristiche operative alle specifiche esigenze missionali. L'integrazione del Raspberry Pi 4 con Ubuntu Core fornisce una piattaforma software robusta e sicura, particolarmente adatta per applicazioni critiche che richiedono elevati standard di affidabilità come il volo autonomo.

I test sperimentali pianificati genereranno dati quantitativi essenziali per l'ottimizzazione del sistema e la definizione di profili operativi ottimali. Ubuntu Core, essendo un sistema operativo containerizzato e orientato alla sicurezza, dovrebbe garantire prestazioni stabili e predicibili durante le prove di durata prolungata.

L'implementazione del protocollo CAN per l'interconnessione dei sensori rappresenta una scelta progettuale strategica che semplifica significativamente l'architettura di cablaggio e migliora l'affidabilità complessiva del sistema, mantenendo al contempo prestazioni elevate in termini di velocità e integrità della comunicazione.

La valutazione comparativa delle caratteristiche operative delle diverse configurazioni batteriche permetterà di selezionare la soluzione ottimale per ogni tipologia di missione, bilanciando efficacemente i requisiti di autonomia con i vincoli di peso e ingombro del sistema.

8 Bibliografia

- Holybro X500 Frame Documentation
- Raspberry Pi 4 Technical Specifications
- ST VL53L1X Datasheet
- PMW3901 Optical Flow Sensor Documentation
- SIYI A8 Mini User Manual and API Documentation
- DroneCAN Protocol Specification

- Pixhawk 6X Flight Controller Documentation
- ArduPilot/PX4 Flight Stack Documentation
- LiPo Battery Safety and Performance Guidelines
- Gens Ace Bashing Series Specifications
- Zeee Power Series Battery Documentation