



Ricerca di Sistema elettrico

Studio e sviluppo di un protocollo di comunicazione per la raccolta dei dati sensoriali di bordo di un drone

Silvello Betti, Chiara Lodovisi

STUDIO E SVILUPPO DI UN PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE PER LA RACCOLTA DEI DATI SENSORIALI DI BORDO DI UN DRONE

Silvello Betti, Chiara Lodovisi (Dipartimento Ingegneria Elettronica, Università di Roma "Tor Vergata")

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.6 - Sviluppo di un modello integrato di Smart District urbano

Obiettivo: Sicurezza infrastrutture critiche e monitoraggio aereo dello Smart District: Monitoraggio aereo dello smart district

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio e sviluppo di un protocollo di comunicazione per la gestione di un drone e la raccolta dei dati sensoriali di bordo"

Responsabile scientifico ENEA: Dr. Sergio Taraglio

Responsabile scientifico Università di Roma "Tor Vergata": Prof. Silvello Betti

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 STUDIO DEL SISTEMA DI CONTROLLO DEL DRONE E DEI SUOI SISTEMI DI TRASMISSIONE DATI.....	6
2.2 DEFINIZIONE DEI REQUISITI E PROGETTAZIONE DEL PROTOCOLLO DEL SISTEMA DI COMUNICAZIONE CON IL DSS.....	13
2.3 REALIZZAZIONE DEL SOFTWARE DI COMUNICAZIONE.....	16
2.4 TEST DI COMUNICAZIONE CON IL DSS.....	17
2.5 TEST OPERATIVI.....	17
3 CONCLUSIONI.....	19
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	20
5 PRESENTAZIONE DEL GRUPPO DI LAVORO DEL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRONICA.....	20

Sommario

Questo documento descrive le attività svolte ed i risultati conseguiti dal Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università di Roma "Tor Vergata", nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione con ENEA volto allo studio e allo sviluppo di un sistema di un protocollo di comunicazione per il controllo e la raccolta dei dati sensoriali di bordo di un drone multi elica.

Gli ambiti di attività si sono articolati in aspetti teorici e di specifica, in aspetti di implementazione e programmazione e in test funzionali ed operativi.

Gli aspetti teorici e di specifica sono stati indirizzati allo studio dei sistemi di trasmissione dati tra drone e stazione di terra dal punto di vista generale, allo studio delle caratteristiche del sistema di controllo del drone, della sensoristica di bordo e dei suoi sistemi di trasmissione dati, sia diretti che attraverso la sua stazione di comando a terra. E' stato quindi approfondito il disegno delle specifiche del sistema di comunicazione dei dati tra il drone ed il DSS (Decision Support System, sistema di supporto alle decisioni) che è il fruitore ultimo dei dati per la presentazione all'utente.

Una volta disegnata l'architettura e stabilite le specifiche si è passati alla realizzazione dei moduli software cuore del sistema di interfaccia tra drone e DSS.

Ultimata l'implementazione del software si è passati ad una fase di test durante la quale si sono verificate le rispondenze con le specifiche. Questa fase di test si è articolata in test per la verifica della funzionalità dei moduli software sia singolarmente che collettivamente e in test operativi con trasmissione di moli di dati simili a quelle in condizioni operative. L'ultima attività è stata un test in condizioni pienamente operative con il drone impegnato in una missione di monitoraggio. Il sistema ha trasmesso con successo i dati sensoriali di bordo del drone al DSS con una velocità media di trasmissione di circa 50 Mbps.

1 Introduzione

Il presente Report descrive le attività svolte dal Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università di Roma "Tor Vergata", nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione con ENEA volto allo studio e allo sviluppo di un sistema di un protocollo di comunicazione per il controllo e la raccolta dei dati sensoriali di bordo di un drone multi elica, Figura 1.



Figura 1. Il quadricottero utilizzato nel lavoro

Il drone è utilizzato nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico nel Piano Annuale di Realizzazione 2016, nel progetto "D.6 - Sviluppo di un modello integrato di Smart District urbano", in particolare nel sotto progetto "d - Sicurezza infrastrutture critiche e monitoraggio aereo dello Smart District". Il drone multi elica ha infatti lo scopo di monitorare uno Smart District, ovvero un certo numero di edifici già sensorizzati all'interno allo scopo di misurarne i consumi energetici, anche dall'esterno sia in termini di dispersione energetica che di qualità dell'aria. Quest'ultima, infatti, è fortemente influenzata dalle emissioni di impianti energetici quali ad esempio le caldaie per il riscaldamento o la produzione di acqua sanitaria e quindi rappresentano un'utile integrazione secondaria ai dati energetici primari.

A tale scopo il drone è equipaggiato con una termo camera nella banda infrarossa per il monitoraggio delle dispersioni dagli edifici e di un insieme di sensori per la misurazione di inquinanti legati alle attività energetiche dell'uomo (autotrazione, riscaldamento, etc.), allo scopo di monitorare la qualità dell'aria. Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche del drone si rimanda a al rapporto [1].

Il drone è interfacciato ad un Sistema di Supporto alle Decisioni (Decision Support System, DSS) con finalità operative, basato su una Infrastruttura di Dati Territoriali (SDI, Spatial Data Infrastructure) in modo da poter presentare i dati raccolti dal drone in modo georeferenziato.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Il presente documento descrive le attività svolte, classificabili in cinque linee di lavoro:

1. studio del sistema di controllo del drone e dei suoi sistemi di trasmissione dati, sia direttamente che attraverso la sua stazione di terra;
2. definizione dei requisiti e disegno del protocollo del sistema di comunicazione ed interfaccia verso il DSS nelle sue varie componenti: posizionale, termica e di qualità dell'aria;
3. realizzazione del software di comunicazione;
4. test di comunicazione con il DSS con dati completamente simulati;
5. test operativi.

2.1 Studio del sistema di controllo del drone e dei suoi sistemi di trasmissione dati

Il drone in oggetto è un quadricottero, un velivolo cioè che utilizza per la propria propulsione quattro eliche a passo fisso montate su quattro motori brushless. Esiste una grande varietà di droni, si veda [2], con una grande varietà di applicazioni che, generalmente, ruotano intorno al monitoraggio di aree geografiche limitate.

L'uso sempre più intenso di questi dispositivi pone anche questioni legate alla sicurezza sia informatica dei sistemi di bordo che della società nel suo complesso, si veda [3], e, ovviamente alla sicurezza del volo. Ad oggi l'autorità italiana che si occupa della sicurezza del volo (l'ENAC, Ente Nazionale per l'Aviazione Civile), di concerto con le consimili europee e mondiali prevede che questa categoria di veicoli sia comandata da un pilota che possa controllare visivamente il comportamento del veicolo, escludendo il volo autonomo [4].



Figura 2. La stazione di terra composta da un PC e da un radiocomando

I droni dispongono di un sistema sofisticato di controllo, usualmente a bordo, in grado di mantenerli con un assetto livellato. Il problema più importante da risolvere per la stabilizzazione di un rotore in fase di avanzamento è quello rappresentato dal fatto che le pale con componente tangenziale della velocità diretta nello stesso verso di avanzamento del rotore si muovono più velocemente delle altre, generando così una portanza maggiore, tendendo quindi a ribaltare il rotore stesso. Nel caso degli elicotteri questo problema è superato tramite le cosiddette eliche a passo variabile, rendendo equivalenti le portanze; nei quadricotteri le eliche sono a passo fisso e quindi è un sistema elettronico a comandare opportunamente i singoli motori per ottenere la stabilità. La presenza poi di simmetria spaziale e della possibilità di far ruotare i motori in modo opportuno, semplifica il controllo di stabilità in questa categoria di veicoli.

I dispositivi volanti radiocomandati (RC) hanno avuto una espansione esplosiva negli ultimi anni. Ciò grazie al rapido sviluppo della necessaria meccanica di precisione e microelettronica, al miglioramento della tecnologia delle batterie e alla grande varietà di soluzioni economiche disponibili sul mercato. Inoltre, l'evoluzione delle batterie da quelle al nichel cadmio (Ni-Cd) e all'idruro di metallo nichel (NiMH) verso quelle ai polimeri di litio (LiPo) e alla nuova generazione di batterie al litio-zolfo (S-Li) ha permesso autonomie maggiori ed energia per alimentare accessori elettronici di bordo (payload) [5].

Un aspetto primario per il volo in sicurezza di un drone è il raggiungimento di comunicazioni radio sicure e prive di interferenze tra il drone ed il suo pilota, oltre a disegnare ed implementare una *intelligenza di bordo* che aiuti la navigazione tramite i sensori disponibili. La comunicazione bidirezionale tra drone e pilota permette all'operatore di vedere e controllare tutti i dati di telemetria ed i dati dei sensori ausiliari in tempo reale. Va tenuto presente che la variabilità nei sensori ausiliari può comunque essere fonte di interferenza nei collegamenti in radio frequenza con il drone.

La guida di un drone, in generale, usa una connessione point-to-point. Ovvero il pilota è a terra con un telecomando in mano e comanda la macchina basandosi sulla propria visione e sul display del controller. In questo modo la distanza operativa è limitata.

Evoluzione del canale di comunicazione

Il sistema di controllo dei droni RC ha subito grandi cambiamenti negli ultimi anni. L'originale comunicazione mono direzionale è stata sostituita da una comunicazione bidirezionale, dove il pilota riceve anche informazioni dal dispositivo volante. I sistemi più avanzati, di ultima generazione, non usano una comunicazione punto-punto convenzionale, bensì sfruttano le reti mobili esistenti.

Per decenni è stata utilizzata la modulazione di larghezza di impulso (PWM, Pulse Width Modulation) nella banda VHF (Very High Frequency, tra 30 e 300 MHz) in modalità simplex. Con essa si determinano i duty cycle necessari a comandare i motori del modello RC; usando più canali è possibile controllare più motori e quindi sistemi più complessi. Queste trasmissioni sono però sensibili ai disturbi elettromagnetici a causa della bassa frequenza portante e di un numero limitato di canali, infatti nel caso di più modelli RC in volo, si causano facilmente molte interferenze.

Il sistema simplex, inoltre, non è in grado di restituire informazioni al pilota, può solo interpretare ed eseguire comandi. In molti casi, qualora il modello si fosse allontanato oltre la distanza di comunicazione, esso può agire in modo incontrollabile seguendo l'ultimo comando ricevuto, con conseguenze potenzialmente pericolose. La trasmissione analogica e non crittografata, in un canale potenzialmente affollato, rende il sistema non solo sensibile ai disturbi, ma anche esposto a facili interferenze intenzionali. Per dirottare un drone con questo tipo di comunicazioni è sufficiente un trasmettitore appropriato, più potente di quello utilizzato dall'utente, sul canale giusto. Come detto il problema principale di un canale simplex è, ovviamente, che nessuna informazione ritorna all'operatore. Dal punto di vista del pilotaggio e della sicurezza, tutto è sotto controllo purché il dispositivo volante rimanga all'interno di una distanza di qualche centinaia di metri, in modo da chiudere il loop di controllo *a vista*. La soluzione di generazione successiva è quella rappresentata dall'approccio attraverso IP (Internet Protocol), basato su connessione digitale WLAN (Wide Local Area Network), oppure, ancora più modernamente, utilizzando il canale LTE (4G) (Long Term Evolution, 4th Generation). Entrambe questi modi di comunicazione sono interessanti soluzioni per la loro efficacia ed i loro costi.

L'obiettivo delle comunicazioni digitali con un drone è quello di trasmettere l'intero insieme di dati - es. controllo, dati di telemetria, video in tempo reale - attraverso il medesimo canale. Gli aspetti principali da tenere in considerazione sono:

- la stabilità del sistema,
- il trasferimento dati ad alta velocità,
- la bassa latenza,
- l'alta copertura,
- la risincronizzazione rapida in caso di perdita di connessione,
- la conformità con le normative legali per la comunicazione di droni.

Analisi della WLAN come forma di comunicazione

E' possibile creare una connessione IP bidirezionale tra un drone e il suo operatore, utilizzando una comunicazione wireless, secondo lo standard IEEE 802.11. I requisiti di banda necessaria devono permettere, oltre all'operazione affidabile del canale di comunicazione stesso, il passaggio di dati dall'eventuale payload del veicolo, tipicamente di immagini 1080p (Full HD); ciò richiede un minimo di larghezza di banda di 8 Mbit/s.

L'802.11 è lo standard per le wireless LAN, con un'unica interfaccia a livello di DataLink e due possibili implementazioni a livello Physical Layer: infrarosso (non applicato) con trasmissione DFIR, e onde radio con tecnologia FHSS e DSSS, si veda più avanti. Tale standard si può suddividere nei seguenti sotto-standard:

- 802.11a operante a 5 GHz e 40 GHz con velocità di trasmissione da 22 Mbit/s a 54 Mbit/s su copertura nello spazio ridotta (range intorno ai 20 metri), utilizzando una tecnica trasmissiva su diverse bande di frequenza e impiegando 12 canali di cui 8 non sovrapposti. Non è compatibile con 802.11b e HyperLan II, impiega la modulazione OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), viene anche indicato con il termine Wi-Fi5. Vista la sua bassa copertura necessità di un'alta densità di access point con relativi costi;
- 802.11b operante a 2.4 GHz e 11 Mbit/s, high rate (Wi-Fi) utilizza la modulazione DSSS con una copertura di 80-100 metri indoor (ambienti chiusi) con 11 canali di cui 3 non sovrapposti. Il protocollo IEEE 802.11b consente:
 - 1) di poter variare la velocità di trasmissione dati per adattarsi al canale;
 - 2) un data rate fino a 11 Mbit/s;
 - 3) la possibilità di scelta automatica della banda di trasmissione meno occupata;
 - 4) la possibilità di scelta automatica dell'access point in funzione del segnale e del traffico di rete;
 - 5) di creare un numero arbitrario di celle parzialmente sovrapposte permettendo il roaming in modo del tutto trasparente;
- 802.11g operante a 2.4 GHz con velocità di trasmissione fino a 54 Mbit/s e compatibilità con 802.11b, utilizza una modulazione OFDM;
- 802.11e, 802.11f, 802.11h, 802.11i standard in fase di sviluppo;
- 802.15.1 nuovo standard.

FHSS e DSSS

Lo standard IEEE 802.11 consente due possibili interfacce RF, della categoria SSS (spread spectrum signals), nella banda dei 2.4 GHz:

- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), dispersione di spettro a salto di frequenza;
- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), dispersione di spettro in banda passante.

Le tecniche SSS di spread spectrum signals occupano una maggior banda di trasmissione radio rispetto ad altre tecniche di gestione delle onde radio ma consentono una miglior ricezione dei segnali deboli, l'integrità del segnale, e una maggior sicurezza, distribuendo il segnale attraverso l'intero spettro di frequenze vedi Figura 3.

Il segnale non rimane stabile su una singola frequenza, consentendo a più utenti di operare simultaneamente. L'impiego di segnali spread spectrum ha il vantaggio di garantire:

- resistenza all'interferenza (soprattutto quella narrowband) dovuta a jamming, interferenza da altri utenti nello stesso canale ed interferenza dovuta a propagazione con multipath;
- difficoltà di intercettazione, il segnale spread spectrum a bassa potenza è difficile da rivelare in presenza di rumore di background;
- efficiente uso della banda;
- capacità di ottenere accurate misure di distanze e velocità in applicazioni radar e navigazione.

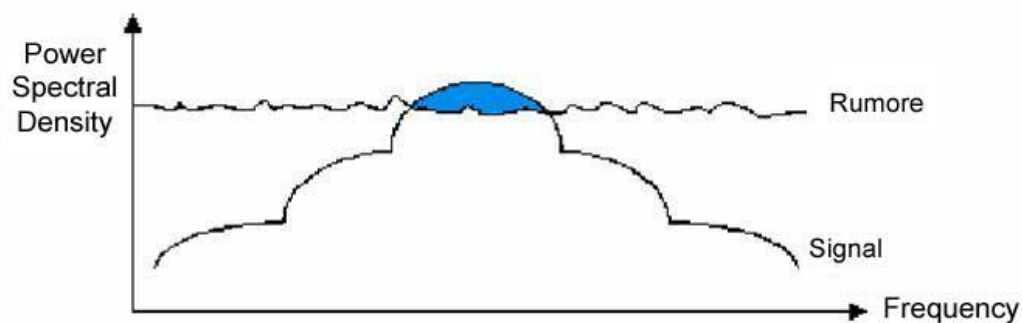


Figura 3. Schema dello spettro SSS

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum): è un metodo per trasmettere un segnale su una banda superiore alla banda di segnale B, Figura 4. Invece di estendere l'occupazione in frequenza su una banda continua, la banda del segnale rimane inalterata ma la trasmissione nel tempo "salta" (hop) su canali diversi, ognuno con la stessa occupazione di banda B del segnale originale. L'hopping dei canali nel tempo avviene in base a un predefinito codice di utente pseudocasuale. In ricezione, il ricevitore deve conoscere il codice di utente, le cui caratteristiche controllano l'uso delle frequenze nella banda (W) di interesse. Uno degli aspetti da tenere in considerazione per i sistemi basati su hopping in frequenza è la sincronizzazione (sia in frequenza che nel tempo) tra trasmettitore e ricevitore. Inoltre, tecniche di trasmissione FHSS richiederebbero una risposta in frequenza (sull'intera banda) di tipo uniforme per evitare indesiderate amplificazioni del segnale a seguito dell'hopping sui canali. Viene impiegata una modulazione di tipo FSK o GFSK (Frequency Shift Keying, Gaussian Frequency Shift Keying).

Nel FHSS il segnale ad una data frequenza viene fatto "saltare" da un canale all'altro, distribuendosi su una banda di frequenze. Il vantaggio di tale sistema, quando il rapporto fra la larghezza di banda origine del segnale e quella dei mezzi di diffusione è molto grande, è quello di essere particolarmente immune alle interferenze. Tale tecnologia consente a più utenti di condividere lo stesso insieme di frequenze cambiando automaticamente le frequenze di trasmissione fino a 1600 volte al secondo, al fine di una maggiore stabilità di connessione e di una riduzione delle interferenze tra canali di trasmissione. Lo spectrum spreading consiste in una continua variazione di frequenza utilizzando una modulazione di frequenza basata sul

frequency hopping. Gli hops corrispondono ai salti di frequenza all'interno di una certa gamma assegnata (2.402 GHz-2.480 GHz con salti di 1 MHz).

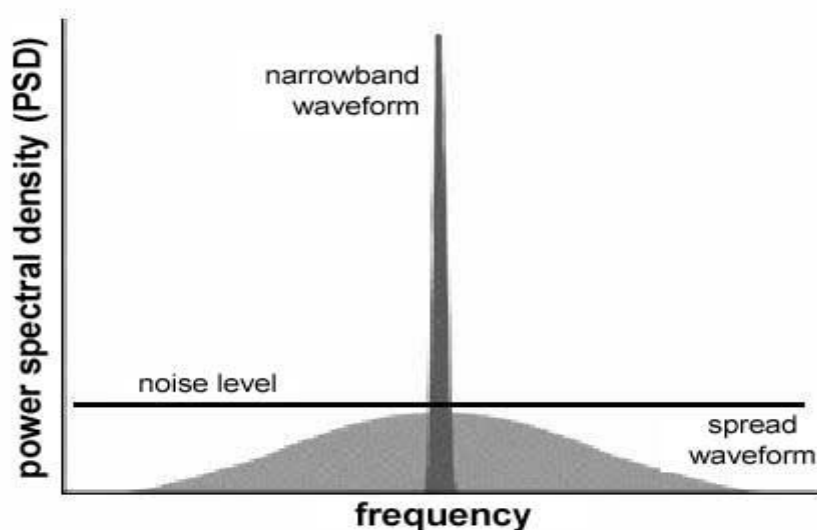


Figura 4. Schema dello spettro FHSS

Nello specifico sono previste due tipologie di modulazione GFSK: GFSK a 2 livelli con data rate 1 Mbit/s e GFSK a 4 livelli con data rate di 2 Mbit/s. Il sistema FHSS risulta molto sicuro contro interferenza e l'intercettazione, in quanto è statisticamente impossibile ostruire tutte le frequenze che possono essere usate e implementare sistemi di filtri selettivi su frequenze diverse dalla frequenza del segnale.

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): è una tecnica di trasmissione spread spectrum in cui l'allargamento (W) dell'occupazione spettrale B del segnale originale avviene mediante modulazione del simbolo di utente con una sequenza/codice pseudocasuale formato da L_c chip ognuno di durata temporale (T_c) inferiore rispetto al tempo di simbolo (T_s). Minore è la durata temporale del chip maggiore sarà l'allargamento di banda (W) e l'immunità ad un certo tipo di interferenza. In formule, il processing gain (PG) che caratterizza il segnale DSSS è definito come $PG=W/B$. All'aumentare di tale parametro, diminuisce la densità di potenza di trasmissione ed il segnale può essere trasmesso come "immerso" nel rumore. Nello stesso tempo, in presenza di accesso multiplo (DS-SS) e di reali scenari propagativi, il singolo utente a più alta potenza potrebbe oscurare in ricezione gli altri utenti del sistema (distinti dal rispettivo codice d'utente) e quindi richiedere un accurato meccanismo di power control. Inoltre, all'aumentare dell'occupazione spettrale (W) e quindi al diminuire del tempo di chip (T_c), la sincronizzazione tra trasmettitore e ricevitore diventa più complessa in quanto il tempo di sincronizzazione deve essere una frazione del tempo di chip $T_c \approx 1/W$.

Il DSSS è una tecnologia indicata per la trasmissione e ricezione di segnali deboli. Consente l'interoperabilità delle reti wireless attuali a 11 Mbit/s con le precedenti a 1-2 Mbit/s. L'interfaccia DSSS utilizza un sistema con dispersione di banda base utilizzando un chipping code (codice di dispersione) modulando il dato prima di trasmetterlo. Ogni bit trasmesso viene disperso su una sequenza a 11 bit (sequenza di Barker), il segnale trasmesso consumerà una maggior larghezza di banda consentendo la ricezione di segnali deboli.

Di norma, si preferiscono tecniche DS a quelle FH in applicazioni in cui i requisiti di sincronizzazione risultino troppo stringenti.

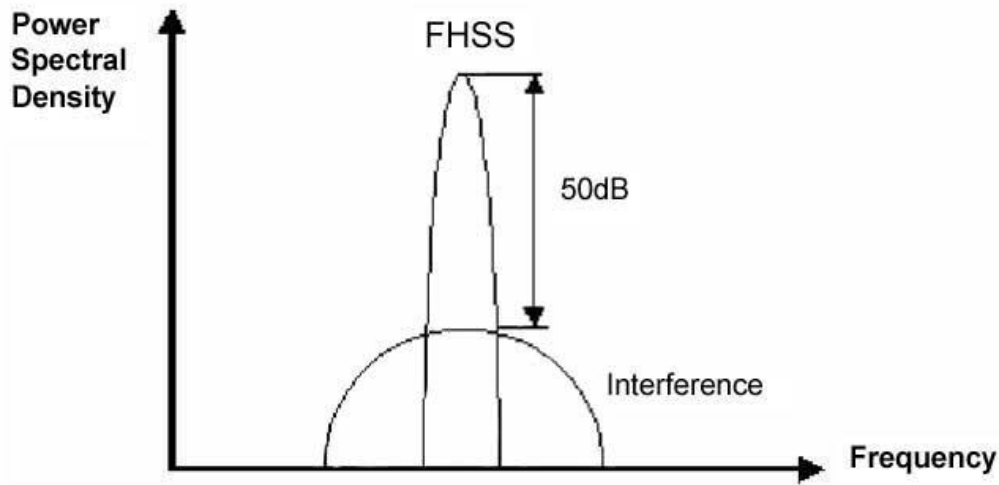


Figura 5. Schema di modulazione DSSS

Di norma, gli UAV usano la banda a 2.4 GHz - banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) soprattutto per il controllo da remoto e la banda SHF (Super high frequency) a 5.8 GHz per la trasmissione di segnali video. Tali bande sono dedicate a trasmissione Wi-Fi che insieme a - Bluetooth, ZigBee e comunicazioni satellitari - sono le tecnologie di trasmissione tipicamente adottate dai droni, nonostante gli intrinseci limiti legati alle distanze di trasmissione, i rate di dati e le performance per la trasmissione real-time.

La trasmissione verso un drone è poi caratterizzata dall'impiego della modulazione GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) - dove gli impulsi sono filtrati con un filtro gaussiano - e dall'impiego di tecniche spread spectrum FHSS, DSSS o versioni ibride delle due, con differenti caratteristiche/implementazione del duplex con riferimento a specifici modelli di modem digitali:

- Futaba T7/T14SG (Giappone): banda di frequenza 2.400 – 2.485 MHz, banda minima di canale 1.1 MHz. Frequency Hopping; Gaussian Frequency Shift Keying, con la possibilità di combinarsi con DSSS per aumentare la resistenza all'interferenza. 136.36 KSym/s dopo de-spreading. Comunicazione Duplex in alcuni modelli.
- Graupner MX20 (Germania): banda di frequenza 2.400 – 2.485 MHz, banda minima di canale 360 kHz. Gaussian Frequency Shift Keying. Frequency Hopping. 250 kSym/s.
- Jety Expansion Module: banda di frequenza 2.400 – 2.485 MHz, banda minima di canale 3.1 MHz. Frequency Hopping. Gaussian Frequency Shift Keying. Frequency Hopping. 2 MSym/s.
- DJI Phantom 3 (Cina): HD video; banda di frequenza 5.725 – 5.825 MHz (uplink) e la banda 2.400 – 2.485 MHz con tecnologia IEEE 802.11b/g. A 5 GHz, la banda minima di canale è 1.4 MHz; Frequency Hopping, Gaussian Frequency Shift Keying. 1 MSym/s in uplink.

La velocità di trasmissione della connessione dipende dalla distanza, dalle caratteristiche topografiche, dalla posizione geografica, dalle costruzioni presenti, dalle condizioni atmosferiche e dal carico (affollamento) del canale. Le bande ISM (Industrial, Scientific and Medical radio bands) sono state definite dalla ITU (International Telecommunications Union) nel 1947 e sono riservate alle applicazioni non commerciali. In Europa, la potenza massima del trasmettitore è limitata a 100mW e le frequenze più utilizzate sono 433 MHz, 868 MHz, 2.4 GHz e 5.8 GHz. Dispositivi RC avanzati e droni utilizzano usualmente la frequenza 2.4 GHz, ma questa frequenza è condivisa con apparecchiature quali i forni a microonde, i telefoni senza fili, la WLAN e i dispositivi Bluetooth. Questi dispositivi possono essere utilizzati senza particolari permessi, purché abbiano contenuto tecnico adeguato e si conformino a determinati standard. Un uso libero significa

anche non vi sia alcuna garanzia per un uso privo di disturbi proveniente da apparati che insistano sulle stesse frequenze; allo stesso tempo è necessario non disturbare le applicazioni protette.

Con l'introduzione di un numero sempre maggiore di dispositivi, ciascuna banda di frequenza sta diventando sempre più saturata. Ad esempio in [5] è mostrato l'andamento nel tempo del numero di reti wireless presenti nella stessa zona nei tre gruppi delle WLAN, delle reti a 2.4 GHz e in quelle a 5 GHz. Negli anni che vanno dal 2012 al 2016, nella zona presa in esame dall'articolo, il numero di reti wireless è quasi quadruplicato e, nel caso dei 5 GHz, addirittura moltiplicato per otto.

In aree densamente edificate e popolate è possibile rilevare decine di dispositivi WLAN allo stesso tempo, e ciò può portare a considerevoli problemi di comunicazione. In alcuni casi, a causa di interferenze e alta densità di dispositivi, la connessione radio WLAN consente una comunicazione tra il drone e il suo operatore abbastanza instabile. In caso di perdita di connessione, la risincronizzazione del drone può arrivare a richiedere diversi secondi. In Figura 6 è mostrato l'affollamento della banda a 2.4 GHz, dove è possibile vedere nella zona centrale il contributo del Wi-Fi, sulla destra i telefoni senza fili e le micro onde.

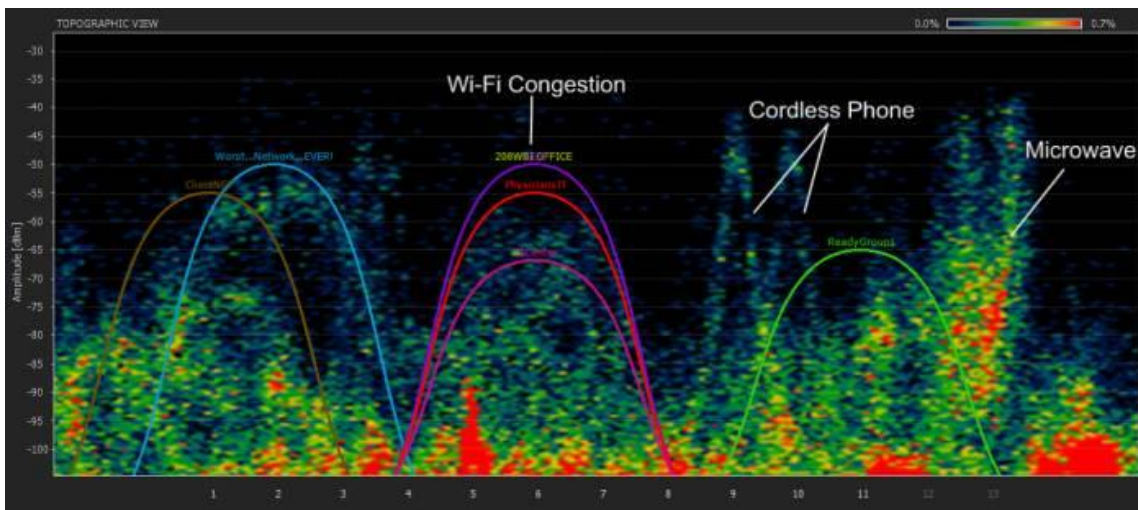


Figura 6. Affollamento di segnali radio nei canali della portante a 2.4 GHz

Un altro modo per assicurare la trasmissione tra drone e pilota è attraverso la tecnologia LTE. In questo caso, il drone utilizza una connessione telefonica cellulare invece di una tradizionale comunicazione a 2.4 GHz, con una connessione punto-punto. Ciò implica anche, che non sia possibile andare fuori portata, poiché ovunque ci sia la copertura telefonica il drone è in grado di volare. Il 4G è dunque l'ultima frontiera per il controllo dei droni via reti cellulari. Naturalmente è necessaria una bassa latenza per un volo in sicurezza ed il LTE attualmente offre una latenza media di 50 ms, che nel caso di un drone che voli a 50 km/h equivale a 0.7 metri. Ciò è rilevante per il controllo manuale del velivolo, nel caso invece di un volo preprogrammato la latenza perde di importanza ed anche nel caso di un flusso video trasmesso.

La connessione LTE è però influenzata dal carico delle celle, ovvero dal traffico di rete in zona. E' stato misurato che una buona connessione LTE può essere disponibile fino a distanze di 100 metri di altezza e questo potrebbe rappresentare un limite rispetto ad una connessione punto punto, ma entro una tale altitudine ricadono la maggior parte degli scenari operativi. Il vantaggio più importante di una connessione LTE è rappresentata dalla portata della connessione che è virtualmente infinita. Purchè ci sia copertura telefonica è possibile pilotare il drone anche in un altro continente. Naturalmente sono necessari dispositivi aggiuntivi quali computer e schede telefoniche.

La connessione wireless tra drone e pilota dunque utilizzando la telefonia cellulare apre scenari interessanti e promettenti, essendo ormai le bande ISM estremamente sovraccariche.

Il drone a disposizione del progetto è interfacciato con l'operatore tramite una stazione di terra, Figura 2, che è composta da un Personal Computer e da un radiocomando. I comandi di volo inviati al veicolo sono essenzialmente di due tipi: prodotti da un pianificatore di volo ed inviati dalla stazione di terra o manuali ed inviati dal radiocomando. Il pianificatore è un programma che produce i segnali di controllo da inviare al mezzo con lo scopo di seguire una rotta costruita per *waypoint*, il controllo manuale è effettuato tramite un radiocomando che permette di governare direttamente il velivolo. È importante qui ricordare che il comando manuale è progettato in modo da poter prendere il controllo in qualunque momento a scapito del pianificatore; questo per rispettare le disposizioni di legge che prevedono l'obbligo della teleguida, pur permettendo un parziale automatismo tramite autopilota.

La connessione tra la stazione di terra ed il drone è dunque effettuata tramite segnali radio. La connessione è realizzata per permettere lo scambio di dati e comandi; in particolare, i comandi dalla stazione di terra sono trasmessi alla frequenza di 800 MHz; sulla stessa frequenza, in direzione opposta, viaggiano i dati della telemetria e dei sensori. In aggiunta, esiste un ponte radio a 5.8 GHz per l'invio di video dalle telecamere di bordo (visuale e termica), con una portata di circa 500 metri. I dati scientifici, ovvero le immagini e le concentrazioni dei componenti chimici, sono anche registrate a bordo del drone su supporti di memoria oltre a poter essere trasmesse alla stazione di terra durante il volo.

Con riferimento a quanto prima esposto, il produttore del drone a disposizione ha compiuto una scelta diversa da quanto descritto. Invece di optare per un canale ad alta frequenza (2.4 GHz) e/o utilizzare un canale LTE è stata compiuta la scelta di utilizzare due canali separati, uno per i comandi e la telemetria a 868 MHz ed uno a 5.8 GHz per la trasmissione di flussi video. Anche se questa scelta sembrerebbe in contro tendenza rispetto ad utilizzare una connessione IP a più alta frequenza ha una sua ragion d'essere, il canale a 800 MHz ha un affollamento relativamente minore ed il dispositivo usato è un radio modem che prevede anche il controllo dei pacchetti inviati e ricevuti, migliorando così la qualità della trasmissione. Il ponte radio video è invece a 5.8 GHz e trasmette in analogico. Qui in realtà, come si vedrà anche in seguito, esistono problemi di interferenza, ma la scelta è stata guidata da considerazioni economiche. Va anche notato che comunque i dati della telecamera sono anche registrati a bordo e che quindi l'eventuale disturbo nella trasmissione è sicuramente fastidioso per il pilota, ma non inficia la raccolta dei dati.

Il radio modem è un Crossfire della TBS che lavora sugli 868 MHz con una potenza in antenna variabile con i limiti di legge nei vari paesi da 10 mW a 500 mW, utilizza sia il DSSS per la riduzione delle interferenze che il FHSS con lo stesso scopo. Esso è anche in grado di scambiare dati MAVLink (il linguaggio standard per la gestione degli autopiloti e droni) ha una latenza estremamente contenuta, migliore degli RC analogici ha da 8 a 12 canali per i segnali di controllo PWM.

2.2 Definizione dei requisiti e progettazione del protocollo del sistema di comunicazione con il DSS

Uno degli obiettivi del presente lavoro è quello di rendere disponibili i dati raccolti sul drone ad un Sistema di Supporto alle Decisioni (Decision Support System, DSS) con finalità operative, basato su una Infrastruttura di Dati Territoriali (Spatial Data Infrastructure, SDI), in modo da poter presentare e memorizzare i dati raccolti dal drone in modo georeferenziato. Ciò rappresenta un notevole valore aggiunto in quanto permette una facile comparazione dei dati, sia temporale che geografica, permettendo analisi puntuali dei dati stessi [6, 7].

I dati di interesse del sistema sono rappresentati da immagini e concentrazioni chimiche. Le immagini sono di due tipi: le termografie sono composte da 640x512 pixel a 14 bit, con un frame rate massimo di 9 Hz; le immagini video sono Full HD 1920x1080 pixel a 32 bit con frame rate di 25 Hz; i dati chimici sono concentrazioni generalmente espresse come parti per milione (ppm) e rappresentate da 4 byte (*float*, numero reale), con una frequenza di circa 0.5 Hz. Altri dati fondamentali sono le coordinate geografiche del drone espresse come latitudine, longitudine ed altitudine, ovvero 3 numeri da 4 byte (*float*) ed infine due dati di *timestamp* che organizzano temporalmente i dati, il primo è il tempo dall'avvio della missione e l'altro è il tradizionale numero di secondi dal 1/1/1970. I dati chimici sono organizzati in un file di tipo *csv*,

ovvero *comma separated values* (file di testo con i valori separati da virgole) il cui nome riporta la data e l'ora della missione.

Il DSS per la gestione dei dati è basato su GeoServer [8], un middleware che permette di fornire mappe e dati da una varietà di formati a client standard, come i browser web e software GIS di tipo desktop. E' scritto in Java e permette agli utenti di condividere, elaborare ed editare dati geospaziali. Ciò rende possibile memorizzare i dati spaziali in una grande varietà di formati. GeoServer è basato sull'approccio Open Source, che garantisce una disponibilità di soluzioni diverse, sviluppate in modo sinergico da molti ricercatori.

Progettato per l'interoperabilità, pubblica dati da qualsiasi fonte di dati spaziali che usi standard aperti. GeoServer si è evoluto per diventare un metodo facile di connettere l'informazione esistente su globi virtuali come Google Earth, NASA World Wind ed anche mappe via web come OpenLayers, Google Maps e Bing Maps. Questo ha permesso un'ampia libertà di scelta oltre che la possibilità di sfruttare strutture dati già previste, tipicamente per le immagini, aumentando così l'interoperabilità dei sistemi che gravitano intorno al progetto di Ricerca di Sistema Elettrico.

Il progetto del protocollo è stato dunque così agevolato: per le immagini si sono utilizzate le strutture dati native di GeoServer, mentre per i dati chimici, di volume notevolmente inferiore, si è volutamente utilizzato un approccio basato su stringhe di caratteri ASCII, facilmente controllabili anche in fase di debug.

L'accesso ai dati del drone è disponibile in due modalità. La prima è *off line*, ovvero i dati sono salvati durante la missione su un supporto di memoria fisico e l'accesso ai dati avviene tramite computer. La seconda è *on line*, ovvero i dati sono resi disponibili dalla ground station del drone mano a mano che vengono prodotti. In entrambi i casi l'interfaccia verso il DSS rimane uguale.



Figura 7. Il payload video: il sensore 'Panoptes' una termocamera sovrapposta ad una videocamera HD

Dati video. Come già detto i dati del payload video, Figura 7, sono di due tipi: termici o visuali. Il ponte radio tra velivolo e stazione di terra permette il passaggio di uno solo dei due flussi video per ragioni di banda

passante. Il Personal Computer che agisce come stazione di terra mostra poi sul monitor il flusso. La modalità *on line* di acquisizione delle immagini prevede la possibilità di digitalizzare il flusso mentre viene mostrato sul monitor. Dopo alcuni esperimenti, questa modalità è stata scartata in quanto il ponte radio a 5.8 GHz è spesso affetto da disturbi dovuti a condizioni non ottimali della connessione antenna-antenna che deve essere in linea di vista, su distanze non superiori a 500 metri e, soprattutto, in assenza di disturbi elettromagnetici. Quindi, per ciò che attiene la parte video, è stato seguito l'approccio *off line* o meglio *off flight* (non in volo), ovvero la raccolta dei flussi video o delle sequenze di immagini direttamente quando il velivolo è rientrato a terra. Il flusso mostrato sul monitor viene dunque utilizzato solo al fine di monitorare in tempo reale il segnale registrato e quale ausilio al pilota per le manovre in aria.

Dati chimici. In questo caso il sistema segue un diverso approccio. A bordo del payload chimico, Figura 8, è presente una Raspberry Pi, un computer su di una singola scheda di piccole dimensioni. Essa gestisce i sensori chimici, ne legge le misure e le rende disponibili attraverso un server http a cui si può accedere da un qualunque browser attraverso un link WiFi. In questo caso, quindi, l'acquisizione dei dati *on flight*, durante il volo, è limitata dalla portata del link WiFi presente sulla Raspberry, mentre l'acquisizione *off flight* (a terra) è esente da problemi. Essendo il canale di raccolta dei dati esattamente lo stesso, il software di acquisizione in questo caso è lo stesso sia *off* che *on flight*.

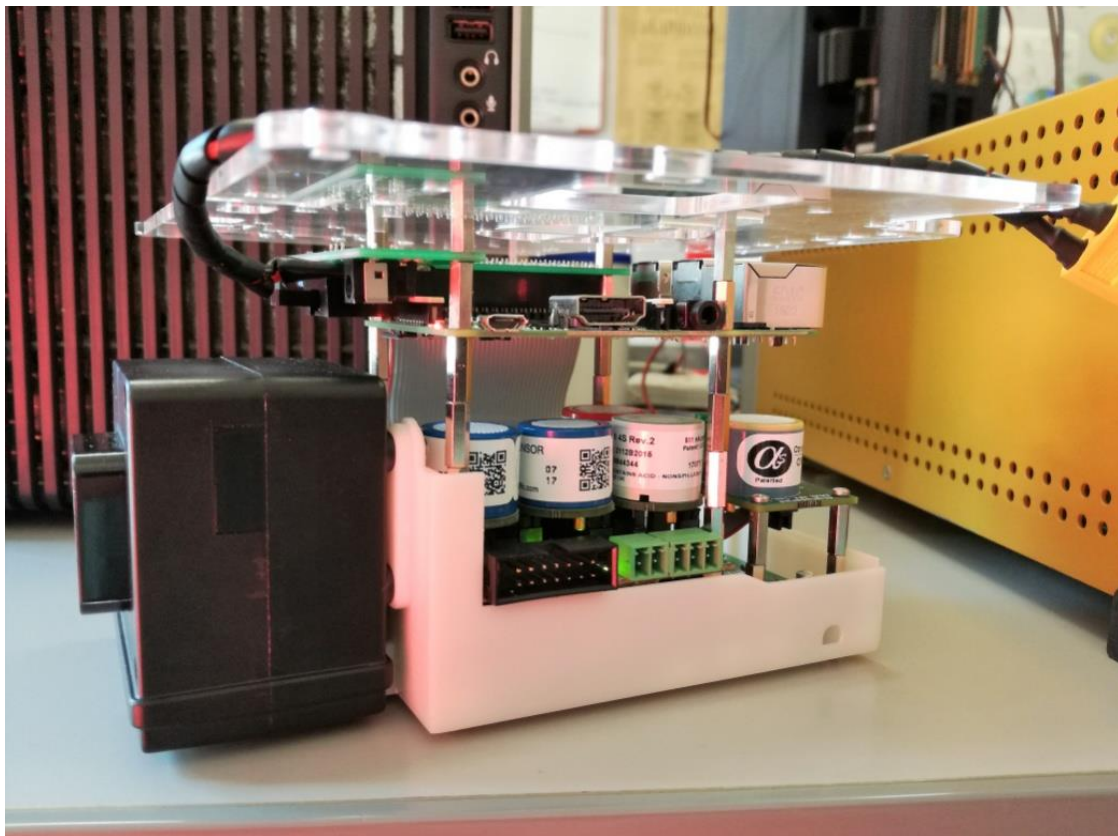


Figura 8. Il payload chimico: i cilindri sono i sensori chimici, la scatola nera a sinistra è per il particolato e, sopra i sensori, la Raspberry Pi

In questa fase delle attività si sono anche delineati degli scenari operativi per l'uso del drone volti a permettere il test intensivo della trasmissione dei dati dal drone allo SSD. Questa attività è stata condotta in collaborazione con il Laboratorio di Robotica dell'ENEA.

Gli scenari operativi sono quelli tipici del monitoraggio di edifici, ovvero la scansione di superfici verticali (pareti) ed orizzontali (tetti), seguendo le linee architettoniche principali. Sono state comunque considerate

anche situazioni più generali, legate al monitoraggio di più ampie superfici e di infrastrutture diverse dagli edifici (ad esempio, elettrodotti o acquedotti).

2.3 Realizzazione del software di comunicazione

A valle della definizione dei requisiti, è stato realizzato il software che rendesse operativo quanto precedentemente descritto.

Il software è composto da quattro serie di moduli, uno per il *payload* video, uno per il termico, uno per il chimico ed uno per i dati di servizio. I moduli sono stati realizzati sotto sistema operativo Linux (Ubuntu 16.04) e sono stati scritti in linguaggio C e Python. I moduli, se invocati con il modificatore '--help', offrono un help on line che ne descrive l'utilizzo.

L'architettura generale è riportata in Figura 9, dove viene mostrata la connessione funzionale dei vari pacchetti software.

I pacchetti realizzati sono:

- video2dss: fornisce al DSS i dati video visuali nelle due modalità di filmato o di sequenze di immagini singole, come fornite dal sensore ottico Panoptes, opportunamente temporizzati;
- thermo2dss: fornisce al DSS i dati video termici nelle due modalità di filmato o di sequenze di immagini singole, come fornite dal sensore ottico Panoptes, opportunamente temporizzati;
- chem2dss: fornisce al DSS i dati di concentrazione delle specie chimiche e i dati GPS relativi alle acquisizioni. Il sensore chimico è infatti fornito di un GPS indipendente da quello del velivolo;
- service2dss: fornisce al DSS i dati di sistema del drone. In particolare, la posizione GPS e il timestamp, ma anche altre informazioni di sistema quale la carica delle batterie, pressione, temperatura, luminanza ambientale, ecc..

Tutti i pacchetti software mantengono una copia locale dei dati trasferiti, copia locale in quanto il DSS risiede su un computer remoto, accessibile in rete, questo per evitare eventuali perdite di dati.

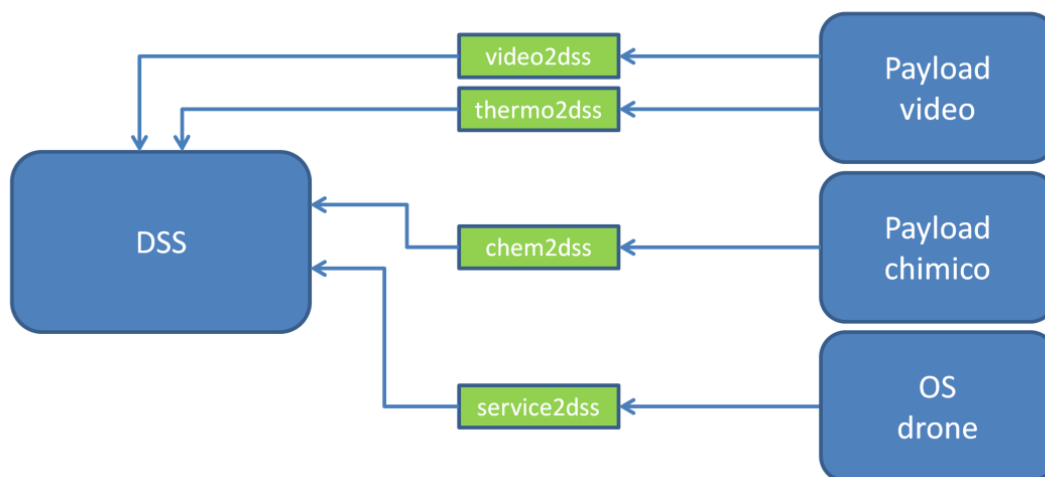


Figura 9. Architettura generale del sistema software

2.4 Test di comunicazione con il DSS

Il sistema di comunicazione con il DSS è stato provato con dati acquisiti con il drone in configurazione di volo, ma senza che fosse effettivamente in volo.

La configurazione di test prevista è stata quella *off line*, ovvero *off flight*, in quanto è quella che sarà utilizzata. Si ricorda che per il payload chimico è indifferente se il sistema lavora *off* o *on line*.

Come detto, l'accesso ai dati del drone può avvenire secondo due diverse modalità. La prima è *off line*, ovvero i dati sono salvati durante la missione su di un supporto di memoria fisico, tipicamente una scheda micro SD, e l'accesso ai dati avviene tramite un computer dotato di una porta per questo supporto per ciò che riguarda i dati video; per quelli chimici l'accesso è tramite WiFi. La seconda modalità è *on line*, ovvero i dati sono resi disponibili dalla ground station del drone o dal sistema WiFi del sensore chimico durante la missione.

La configurazione di test era composta da un computer che accedeva ai dati video tramite una connessione USB e contemporaneamente al server WiFi del payload chimico. Il computer poi si connetteva in rete remotamente con il DSS. Questa connessione Ethernet è stata provata sia via WiFi che via cavo.

I dati scambiati nei test sono stati di quattro tipi: termografie, immagini, dati dei sensori chimici e dati di servizio. Come precedentemente descritto, i dati sono essenzialmente composti da cinque "campi": data/orario, latitudine, longitudine, altitudine, dato. Il quinto campo può essere una immagine termografica o visibile oppure i dati di concentrazione delle specie chimiche. Per i dati di servizio il solo campo data/orario è riempito.

Le termografie sono composte da 640x512 pixel a 8 bit, con un frame rate massimo di 9 Hz, le immagini video sono Full HD 1920x1080 pixel a 32 bit, i dati chimici sono concentrazioni espresse come parti per milione (ppm) e rappresentate da 4 byte (float). I dati di servizio sono raccolti in un *log file*, per un eventuale analisi a posteriori della missione.

Il set di dati scientifici utilizzato era composto da una sequenza di dieci immagini termografiche, dieci nel visibile e dieci dati per ognuno dei 5 sensori chimici. In totale circa 82 MBytes. Il set di dati è stato iterato fino ad un massimo di 100 volte per simulare le condizioni di utilizzo reali.

Il test di trasmissione è stato superato, permettendo la trasmissione di tutti i dati al DSS come richiesto dalle specifiche con una velocità media di trasmissione di circa 44.7 Mbps

2.5 Test operativi

I test operativi compiuti sono stati divisi in due parti, prima si è verificata la capacità del sistema con carichi simili alle condizioni operative e poi, a chiusura delle attività, un test operativo completo in campo.

Come prima parte è stata effettuata una campagna di test operativi del software di comunicazione tra drone e DSS, analizzandone nel dettaglio le prestazioni e l'affidabilità. I dati acquisiti sono stati raccolti direttamente dal drone in assetto operativo, ovvero i dati chimici tramite l'interfaccia WiFi ed i dati video, sia termico che visuale, attraverso una connessione USB direttamente posta sul corpo del sensore ottico Panoptes.

I dati scambiati nei test sono stati di tre tipi: termografie, immagini visuali e dati dei sensori chimici. Le termografie sono composte da 640x512 pixel a 14 bit, con un frame rate massimo di 9 Hz, le immagini video sono Full HD 1920x1080 pixel a 32 bit, i dati chimici sono concentrazioni espresse come parti per milione (ppm) e rappresentate da 4 byte (float). Il sensore termo/visuale Panoptes può fornire i dati sia come filmati che come sequenze di immagini; ciò può essere scelto con una fase di configurazione iniziale tramite una "app" di controllo che accede al sensore via Bluetooth. Nei test effettuati sono state trasferite sia singole immagini che filmati dell'ordine delle centinaia di MB.

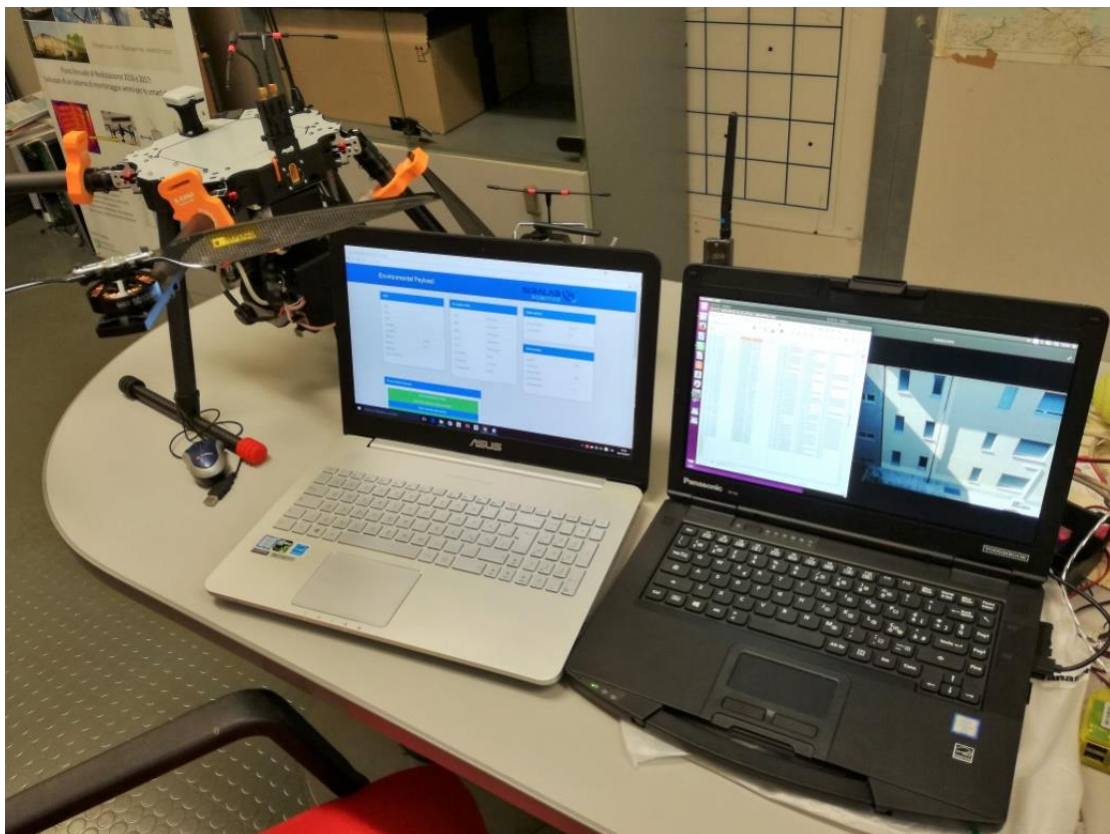


Figura 10. Set-up sperimentale: a dx la stazione di terra e a sx il laptop di trasmissione verso il DSS

Il set di dati utilizzato nei test è equivalente a quello ottenibile con una campagna di misure di circa 10 minuti. Esso è composto da una sequenza di circa seicento immagini termografiche e seicento nel visibile; nel caso di utilizzo di filmati, nel visibile si è utilizzato un filmato di poco più di 1 GB (formato mp4) e nel termico un filmato dell'ordine delle centinaia di MB, si ricordi che la definizione dell'immagine termica è circa sei volte inferiore rispetto a quella nel visibile. I dati atmosferici sono stati circa 300 per ognuno dei 5 sensori chimici. Il set di dati è stato iterato fino ad un massimo di 50 volte per controllare l'operatività del sistema software. In Figura 10 è mostrato il set-up sperimentale con la stazione di terra a destra ed il laptop con i moduli software a sinistra che legge via WiFi i dati chimici.

E' stata dunque verificata l'operatività dei moduli software realizzati e le prestazioni di trasmissione, rimaste simili a quanto già testato nella prima parte delle attività, cioè circa 50 Mbit/s. L'integrazione dei moduli software nel sistema generale è stata verificata utilizzandoli su tre diversi laptop, sotto sistema operativo Ubuntu 16.04.



Figura 11. Traiettoria spaziale del drone sull'edificio F40 nello Smart Village ENEA

Come seconda parte è stato svolto un test operativo completo nel quale il drone ha compiuto un breve monitoraggio al di sopra dell'edificio F40 del Centro di Ricerca Casaccia dell'ENEA. L'F40 è uno smart building e fa parte dello Smart Village dell'ENEA, teatro delle attività legate al progetto di Ricerca di Sistema Elettrico.

Il test di volo del drone si è articolato in quattro missioni di monitoraggio di breve durata, circa 5 minuti ciascuna. In due di esse sono stati misurati i parametri chimici utilizzando il payload chimico, nelle altre due si sono registrate termografie e filmati visuali con il Panoptes. In Figura 11, quale esempio, è mostrata la traiettoria percorsa durante le misure atmosferiche al di sopra dell'immagine da satellite di Google Earth.

Al termine delle missioni i dati sono stati trasmessi con successo al DSS, utilizzando la rete WiFi dell'ENEA.

3 Conclusioni

L'attività qui descritta è passata attraverso due fasi distinte: dapprima una fase di studio e sviluppo ed in seguito una parte operativa. Nella prima è stata portata a termine un'analisi delle caratteristiche del drone utilizzato nel progetto sia dal punto di vista del controllo che dei suoi sistemi di trasmissione e sono stati definiti i requisiti del sistema di comunicazione e della interfaccia con il DSS. Nella seconda parte è stato sviluppato il software ed è stato testato in condizioni operative, sia simulate che reali.

Le attività hanno disegnato prima ed implementato poi un sistema di trasmissione dei dati sensoriali raccolti a bordo di un drone impiegato in operazioni di monitoraggio energetico ed ambientale. I dati raccolti sul drone sono essenzialmente di quattro tipi: immagini video, termografie, dati di concentrazione chimica e dati di servizio del drone stesso.

Questi dati devono poter essere trasmessi ad un sistema di supporto alle decisioni (DSS) perché li possa organizzare ed elaborare al meglio per la presentazione all'utente finale. Scopo dell'attività qui presentata è stato appunto quello di creare un sistema di trasmissione che colleghi il drone ed i suoi sensori al DSS.

Una volta disegnata l'architettura e stabilite le specifiche, sono stati implementati i moduli software del sistema di interfaccia tra drone e DSS. Il test del sistema si è articolato nella verifica della funzionalità dei

moduli software sia singolarmente che collettivamente e in test operativi con trasmissione di moli di dati simili a quelle in condizioni operative. Il sistema ha trasmesso con successo i dati sensoriali di bordo del drone al DSS con una velocità media di trasmissione di circa 50 Mbps. Step finale è stato quello dell'impiego del software sviluppato in un test in condizioni realmente operative, all'interno del Centro Ricerche Casaccia.

Il software realizzato è modulare in modo da poterlo facilmente estendere e rendere più generale inglobando eventuali futuri sensori aggiuntivi.

4 Riferimenti bibliografici

1. S. Taraglio, L. Blasi, G. Cupertino, V. Nanni, C. Moriconi, S. De Vito, F. Formisano, G. Zanini, F. Russo, M.G. Villani, L. Vitali, "Sviluppo di un sistema di monitoraggio aereo per lo Smart District", Report RdS/PAR2016/021.
2. S. Gupte, P. I. T. Mohandas, and J. M. Conrad, "A Survey Of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles," in Proceedings of IEEE Southeastcon, March 15-18, Orlando, Florida, 2012, pp. 1-6.
3. E. Vattapparamban, et al. "Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety." 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), September 5-9, Paphos, Cyprus, IEEE, 2016.
4. ENAC, "Regolamento "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto"", Edizione 2 emendamento 3, http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/N122671512/Regolamento_APR_Ed_2_Emend_3.pdf.
5. P. Hell, M. Mezei, P. J. Varga, "Drone communications analysis", SAMI 2017, IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, January 26-28, 2017, Herl'any, Slovakia.
6. S. Steiniger, A.J.S. Hunter, "Free and Open Source GIS Software for Building a Spatial Data Infrastructure" in: E. Bocher and M. Neteler (eds.) Building, 2011, pp. 1–13, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
7. M. Pollino, G. Modica, "Free Web Mapping Tools to Characterise Landscape Dynamics and to Favour e-Participation", in: B. Murgante et al. (eds.), Computational Science and Its Applications. ICCSA 2013, Part III, LNCS 7973. pp. 566–581. Springer Berlin Heidelberg (2013).
8. <http://geoserver.org> (ultimo accesso 11/9/2017)

5 Presentazione del Gruppo di Lavoro del Dipartimento di Ingegneria Elettronica

Il gruppo di ricerca in Reti e Comunicazione è uno dei gruppi del Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Il gruppo è stato fondato nel 1980 con l'obiettivo di condurre ricerche nei differenti campi delle tecnologie elettroniche e della comunicazione. Esso si occupa di elettronica ad alta frequenza, elettronica digitale, comunicazioni radio ed ottiche, reti, sensori e microsistemi, optoelettronica, misure elettroniche. I relativi campi di applicazione per queste tecnologie sono lo spazio, la medicina, i sistemi di difesa, le applicazioni industriali e i servizi di telecomunicazione.

Il gruppo è composto da 4 professori di ruolo, 3 professori associati, 9 ricercatori e più di 20 tra studenti di dottorato e post doc.

Le competenze del gruppo gravitano nelle seguenti aree:

- Reti wireless: WLAN, Device Wireless Programmabili, Reti Delay Tolerant;
- Comunicazioni Wireless: link MultiGbit/s, Ultra Wide Band a Onde Millimetriche;

- Comunicazioni Ottiche e “Radio su fibra”: Sistemi di comunicazione su fibra ottica, Reti Ottiche (PON, MAN, Transport Network), Sistemi Ibridi Ottici Fibra-Radio, Sistemi Ottici Wireless, Signal Processing Ottico;
- Trustworthy Internet: Monitoring della Rete, Cybersecurity, Tecnologie Orientate alla Privacy;
- Architetture di Internet del Futuro: Information Centric Networking, Software Defined Networking, Network Functions Virtualization;
- Sistemi Radar: Rivelazione ed Analisi di Segnali Radar, Interference Analysis, Noise Radar, Multifunction Phased Array Radar (MPAR), High Resolution Radar;
- NavCom Devices: Location-awareness, Service Integration, NavCom Device Prototype;
- Tecnologie per Comunicazione in Banda EHF: Satellite Communications, Adaptive Modulation and Coding, Power Control, Optimization of DVB-S2 Standard, Communications in Q/V band.
- Protocolli e Reti Satellitari: TCP/IP, MAC, DAMA, DVB RCS, Cross-Layer Methodologies, Cloud Computing, Capacity Optimization.

Le attività del gruppo beneficiano dei seguenti laboratori:

- Laboratorio Reti;
- Laboratorio Comunicazioni Satellitari;
- Laboratorio Radar and Navigazione (RadarLab);
- Laboratorio HASCON (Hardware and Algorithms for Systems of COmmunication and Navigation);
- Laboratorio Optoelettronico (Optolab).

I membri del gruppo hanno coordinato diversi progetti comunitari per un valore totale di 35 milioni di euro, ottenendo finanziamenti per 6.5 milioni di euro.

I progetti di ricerca internazionali e nazionali sono stati con:

- la Comunità Europea (EU);
- la European Space Agency (ESA);
- il Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca (MIUR);
- il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Il gruppo ha stabilito contratti di ricerca/consulenza con:

Alenia Spazio, Cisco, DoCoMo, EADS, Ericsson, Siemens, NEC, Space Software Italia/Elsag Datamat, Telecom Italia, Telespazio, PointerCom, Bull, Acotel, ENEA, ISCOM-Ministero dello Sviluppo Economico, Virtualabs.

Il gruppo ha contribuito a gruppi internazionali di standardizzazione:

ETSI: European Telecommunications Standards Institute, IETF: Internet Engineering Task Force, OASIS: Organization for the Advancement of Structured Information Standards, WWRF: Wireless World Research Forum.