

5G: Scenari di monitoraggio attraverso droni

Deliverable D2

TEST OPERATIVI e DEMO MATERA, ex-ospedale di San Rocco

Nome del progetto	Scenari di monitoraggio attraverso droni
Acronimo	MODRO
Data avvio progetto	01/02/2018
Durata del progetto	18 Mesi
Data consegna documento	Luglio 2019
Stato del documento	Versione 1.0
Responsabile	CNR-ISTI: Erina Ferro
Autori	Erina Ferro, Claudio Gennaro, Claudio Vairo (CNR-ISTI, Pisa) Andrea Berton (CNR-IFC, Pisa) Giuseppe Virone, Fabio Paonessa (CNR-IEIT, sede di Torino) Arturo Argentieri (CNR-ISASI, sede di Lecce)
Revisori	TIM: Andrea Bragagnini

INDICE Error! Bookmark not defined.

1 Descrizione..... 3

2 I DRONI A DISPOSIZIONE..... 4

3 L'EQUIPAGGIAMENTO DEL DRONE DJI Matrice600..... 6

4 IL SITO DI SAN ROCCO 7

5 I TEST OPERATIVI (solo Collegamento Rete, Senza Volo) 8

6 L'ARCHITETTURA DELLO SCENARIO 8.3.6 "Sicurezza pubblica attraverso l'uso di droni" ... **Error! Bookmark not defined.**

7 L'ARCHITETTURA DELLO SCENARIO 8.3.7 "Rilevazione jammer a radiofrequenza mediante droni" 12

8 LA DEMO a San Rocco (Matera)..... 14

Riferimenti: 23

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Il drone DJI Matrice 600..... 5

Figura 2: Il modem 5G alloggiato a bordo drone insieme alla telecamera 360..... 6

Figura 3: Planimetria dell'ex-ospedale di San Rocco 7

Figura 4: Riconoscimento di Persone e Oggetti con Telecamera 2D 10

Figura 5: Stream video con Telecamera 360 11

Figura 6: Rilevazione jammer a radiofrequenza 12

Figura 7: Lo spectrum analyzer..... 13

Figura 8: Il personale impegnato nella sperimentazione a Matera (San Rocco). 14

Figura 9: Erina Ferro (CNR-ISTI), coordinatrice della sperimentazione con drone 14

Figura 10: Riconoscimento degli oggetti a diverse distanze (a e b) 16

Figura 11: Riconoscimento di facce (con zoom) 17

Figura 12: L'altezza del drone e la sua distanza dagli oggetti/persone 18

Figura 13: La ripresa con la telecamera 360..... 18

Figura 14: Payload del drone per "rilevamento jammer". Il cavo di alimentazione (rosso-nero) è presente solo durante le fasi a terra per l'alimentazione della CPE. 19

Figura 15: Drone DJI Matrice 600 con Payload per rilevamento "Jammer" 20

Figura 16: Risposta dello strumento in assenza di Jammer..... 20

Figura 17: Risposta dello strumento in presenza di Jammer. Il drone era orientato in direzione del jammer. ... 21

Figura 18: Risposta dello strumento in presenza di Jammer. Il drone era orientato in direzione opposta al jammer. Si continua a vedere il picco nel diagramma spettrale ma il livello è circa 25 dB sotto rispetto al caso precedente. 22

Figura 19: Diagramma waterfall (spettro in funzione del tempo) per una situazione di jammer intermittente. 22

Figura 20: Payload che integra gli scenari "sicurezza" e "rilievo di jammer" 23

1 Descrizione

Questo Documento ha lo scopo di descrivere in dettaglio i test operativi fatti a Matera con il drone e la demo fatta in data 27 Giugno davanti a persone del MISE.

La località usata sia per i test operativi che per la demo è l'ex-ospedale di San Rocco.

In particolare, gli scenari oggetto della demo sono:

Scenario 8.3.6 - Sicurezza pubblica attraverso l'uso di droni

Scenario 8.3.7 - Rilevazione di Jammer a Radiofrequenza mediante Drone

I test operativi sono stati effettuati nei giorni 5 e 6 Giugno 2019; in particolare:

- 5 Giugno: test dell'intero sistema di comunicazione 5G
- 6 Giugno: prove di volo con carico

La demo si è svolta Giovedì 27 Giugno 2019.

2 I DRONI A DISPOSIZIONE

L'Area del CNR di Pisa ha a disposizione 3 droni: 2 commerciali e 1 auto-costruito e, in aggiunta, gestisce 3 droni di IBIMET (CNR a Firenze), uno dei quali molto performante con carico utile di circa 3kg).

Abbiamo anche collaborazioni con ISASI-sede di Lecce per l'utilizzo del loro drone, un DJI Matrice600. Di seguito le descrizioni dei droni che l'area di Pisa può gestire.

CNR ADRPI 001 (CNR ISTI) – Rif. ENAC 37775

- SARP auto-costruito con elettronica commerciale
- Peso massimo al decollo: 8 kg
- Dimensioni di massima: 125x125x50(misure in cm)
- Alimentazione: numero 2 batterie (4 celle da 12000mAh)
- Autonomia di volo: fino a 15 minuti (in funzione dell'upload)
- Payload fino a 2kg

CNR ADRPI 002 (CNR IIT) – Rif. ENAC 37776

- SARP AIBOTIX
- Peso massimo al decollo: 6,6 kg
- Dimensioni di massima: 105x96x40(misure in cm)
- Alimentazione: numero 2 batterie (5 celle da 5000mAh)
- Autonomia di volo: fino a 12 minuti (in funzione dell'upload)
- Carico Utile 1 kg (in pratica solo macchina fotografica)

CNR ADRPI 003 (CNR IFC) – Rif. ENAC 37777

- SARP DJI PHANTOM 4 pro V2
- Peso massimo al decollo: 2 kg
- Alimentazione: numero 1 batterie (6 celle da 5870 mAh)
- Autonomia di volo: fino a 28 minuti (in funzione dell'upload)
- Sistema ottico integrato non modificabile

Per la sperimentazione a Matera, il drone usato è stato il DJI Matrice600 (Figura 1) appartenente al CNR-ISASI, sede di Lecce, le cui caratteristiche tecniche, descritte di seguito, garantiscono il trasporto del carico utile necessario per la sperimentazione stessa. Le principali caratteristiche sono:

Mat600-01 (CNR ISASI – Rif ENAC 19395)

- SARP DJI
- Peso massimo al decollo: 15,5 kg
- Dimensioni di massima: 167 × 152 × 73 (misure in cm)
- Alimentazione: numero 6 batterie
- Autonomia di volo: fino a 35 minuti (in funzione del upload)
- Payload fino a 4,5kg con 15min di autonomia

I test di volo propedeutici sono stati fatti il 6 Giugno 2019 presso l'aviosuperficie di Fondone (LE), opportunamente equipaggiato per montare sia la CPE che una telecamera (quella a 360° o quella con zoom), e l'apparecchiatura il rilevamento del jammer.



Figura 1: Il drone DJI Matrice 600

3 L'EQUIPAGGIAMENTO DEL DRONE DJI Matrice600

A bordo del drone devono essere caricate le seguenti attrezzature:

1. Una telecamera INSTA360 per riprese streaming a 360° del peso di 1200 gr
2. Una telecamera dotata di zoom, del peso di 950 gr
3. Un Raspberry del peso di 80 gr
4. Uno spectrum analyzer di tipo vettoriale (Triarchy VSA6G2A) dal peso di 95 gr
5. Un'antenna log periodica attiva, del peso di 400 gr (incluso amplificatore)
6. Un mini-pc per interfacciamento tra spectrum analyzer e CPE (LattePanda V1.0 - 4GB/64GB) dal peso di 55 gr
7. La CPE (Customer Premise Equipment), ossia il modem 5G, del peso di circa 3000g
8. Le batterie per l'alimentazione del PAYLOAD di circa 468 gr
9. Un DC/DC 12V 12,5A del peso di 300 gr
10. Struttura di integrazione in PLA (abbreviazione per acido polilattico; è una plastica fatta di amidi rinnovabili come il mais o canna da zucchero, quindi biodegradabile) stampata in 3D del peso di 250gr.

Per poter integrare sul drone le attrezzature, è stata necessaria la progettazione di componentistica ad hoc in relazione alla tipologia del drone usato. I supporti sono stati progettati al fine di ottenere caratteristiche meccaniche idonee al traposto ma limitando il più possibile il suo peso al fine di garantire una autonomia di volo utile a garantire i test operativi. È stata scelta la stampa 3D in PLA non solo per una facilità di realizzazione ma soprattutto per limitare eventuali disturbi durante le misure effettuate in volo con lo spectrum analyzer.

La Figura 2 mostra il drone durante il primo test di integrazione con il modem 5G e la telecamera 360°.



Figura 2: Il modem 5G alloggiato a bordo drone insieme alla telecamera 360

4 IL SITO DI SAN ROCCO

La Figura 3 mostra la planimetria della struttura dell'ex-ospedale di San Rocco a Matera.

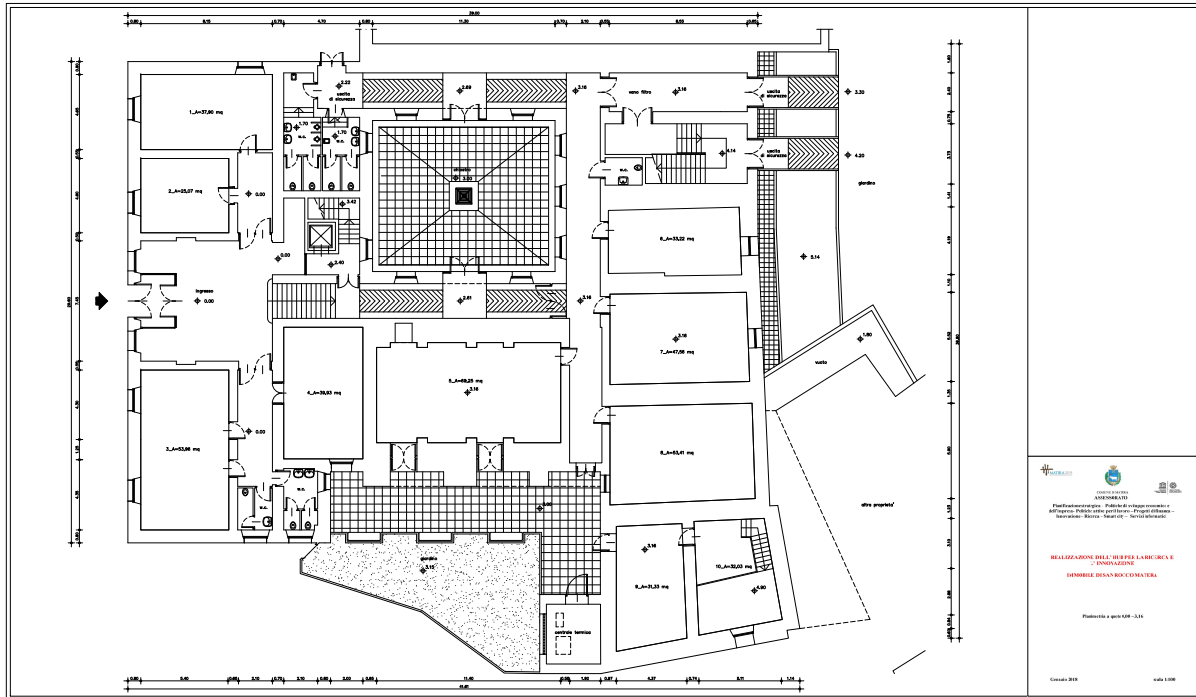


Figura 3: Planimetria dell'ex-ospedale di San Rocco

Il quadrato sbarrato rappresenta il cortile dove il drone manteneva la posizione di hovering durante i test.

5 I TEST OPERATIVI (solo Collegamento Rete, Senza Volo)

I test operativi si sono svolti in data 5 Giugno nell'ex-ospedale di San Rocco (Matera), alla presenza di Berton (CNR), Giannotti (TIM), e Giovinazzo (Comune di Matera).

STEP 1 – Visione del sito per scelta zona di decollo/atterraggio SAPR

Come prima cosa è stato visionato il chiostro e la terrazza (lato *Sassi*), entrambi non idonei perché il volo del drone sarebbe non a vista (BVLOS) e quindi vietato dall'ENAC. Successivamente è stato visionato il giardino dietro San Rocco che si pone molto bene come zona di decollo e atterraggio ma soprattutto è perfetto per i voli lato piazza (telecamera 2D) e lato *sassi* (telecamera INSTA360) perché il SAPR rimane sempre a vista sia del pilota sia dell'antenna 5G. Altra possibilità per atterraggio e decollo potrebbe essere una terrazza lato piazza di proprietà della curia. Solo dopo un attento sopralluogo è stata scelta la terrazza perché permetteva un migliore controllo del volo e visibilità del sito della demo.

STEP 2 – Test di comunicazione CPE-SAPR con CPE-TERRA via 5G, usando la telecamera 360°

All'interno del locale di San Rocco sono state accese due CPE. È stata aggiornata la CPE-SAPR e testata con successo la connessione sia con SIM statica (SIM STATICA .67 103: funziona e trasmette via internet), sia con SIM dinamica.

Fatti i test di comunicazione, la telecamera INSTA360 è stata accesa e connessa via cavo alla CPE-SARP. Tramite la sua applicazione sia via IPAD che via Samsung S8+ sono state testate le due modalità operative punto-punto o punto-multipunto.

Il sistema era così configurato:

- PUNTO-PUNTO con DMZ con latenza ottima (test video live la telecamera INSTA360 con Samsung S8+)
- PUNTO-MULTIPUNTO live telecamera: senza DMZ (broadcast 2D o con VLC con spostamento via mouse, no con visore) latenza server 7-8 sec attraverso il link: <rtmp://IPCPE drone/live/live> sul PC o device connesso a CPE-Terra.

Ogni volta che la CPE-SAPR viene riavviata, l'indirizzo cambia; quindi lato drone sarà implementato un impianto di alimentazione indipendente dalle batterie del drone che permette di alimentare la CPE da batteria ausiliaria quando è in volo e da alimentatore quando il drone è a terra.

STEP 3 – Test di comunicazione CPE-SAPR con CPE-TERRA via 5G telecamera 2D, zoom, minipc (jammer)

All'interno del locale SAN ROCCO sono state accese le due CPE.

Eseguiti i test di comunicazione, il Raspberry con la telecamera con zoom è stata accesa e connesso via cavo alla CPE-SARP. Utilizzando il port mapping (già impostato a Pisa), sia via IPAD che via Samsung s8+ che con PC, è stato verificato il live streaming con 1-2 sec di ritardo massimo.

Successivamente, un PC portatile è stato collegato alla porta di rete numero 2 della CPE-SAPR ed è stato verificato che il live e il desktop remoto (Windows 10) con DNZ attivo sono compatibili. E' stato testato il device dedicato alla gestione dello zoom della telecamera che passerà anch'esso via CPE (CNR PISA).

STEP 4 – Test CPE lato decollo/atterraggio SAPR

È stata provata la CPE-SAPR lato giardino posteriore ed il segnale 5G è buono.

Con i dispositivi "locali" (drone, sensori, etc. etc.) la CPE può interfacciarsi in WiFi (crea una ssid) oppure tramite due porte Fast Ethernet (quindi, via cavo). Le due opzioni possono coesistere.

Ogni dispositivo collegato alla CPE riceve un indirizzo IP locale (fisso o DHCP), tipo 192.168.1.x... e, verso la rete, la CPE espone il traffico con l'indirizzo concordato per SIM ed APN, tipo 163.162.x.x.

6 L'ARCHITETTURA DELLO SCENARIO 8.3.6 "Sicurezza pubblica mediante l'uso di droni"

6.1 PAYLAOD 1 – Camera 2D con zoom

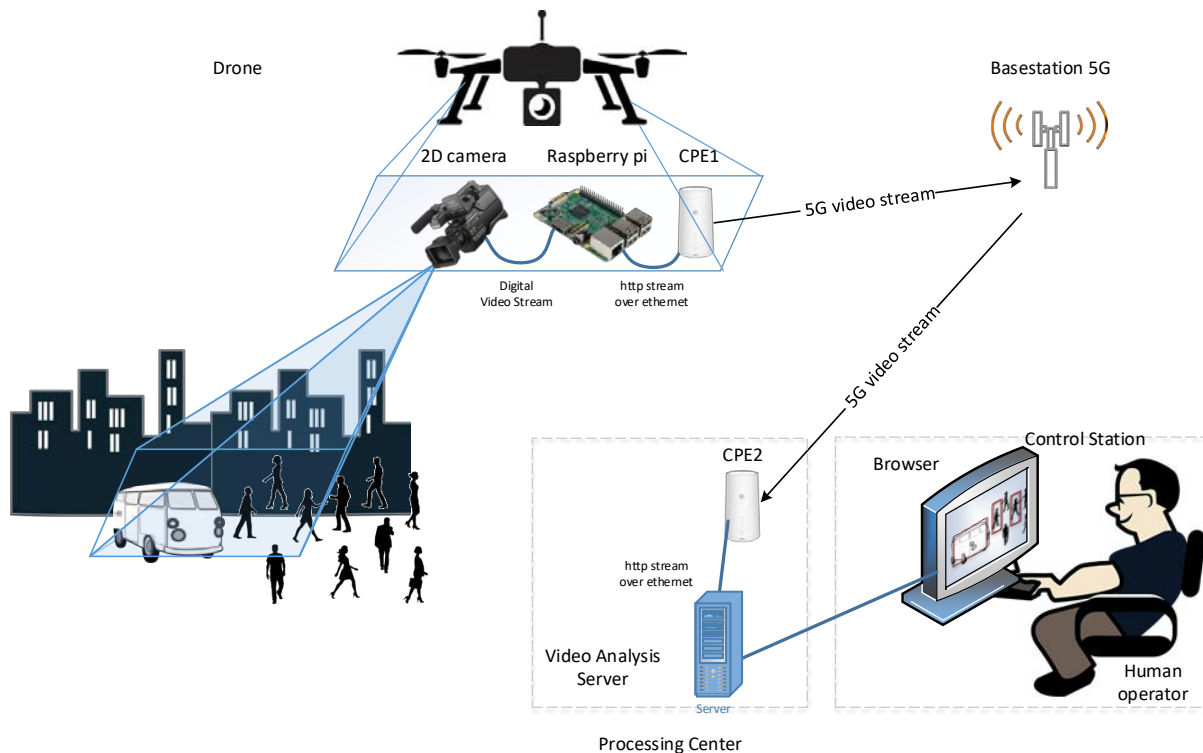


Figura 4: Riconoscimento di Persone e Oggetti con Telecamera 2D

A bordo drone è montata una telecamera commerciale (dotata di zoom), un Raspberry e la CPE 5G. Le immagini riprese dalla telecamera sono trasmesse al Raspberry via HDMI digital input. Il Raspberry ha il compito di inviare alla CPE a bordo drone il video ripreso attraverso un server *http* in formato *mjpeg*. La CPE e Raspberry sono connessi tramite un cavo di rete cablato, quest'ultimo ottiene dalla CPE un indirizzo fisso attraverso configurazione di *port mapping*. La CPE a bordo drone trasmette il video con connessione 5G alla CPE a terra (attraverso la base station 5G). Il video viene acquisito dal server a terra via Ethernet connessa ad una seconda CPE con indirizzo IP dinamico. Il server esegue gli algoritmi di intelligenza artificiale per il riconoscimento di persone e oggetti, e i risultati sono mostrati all'operatore su video tramite pagina web in tempo reale.

La banda usata per le riprese della telecamera 2D è di circa 50Mbps con risoluzione FullHD.

6.2 PAYLAOD 2 – Camera 360 gradi

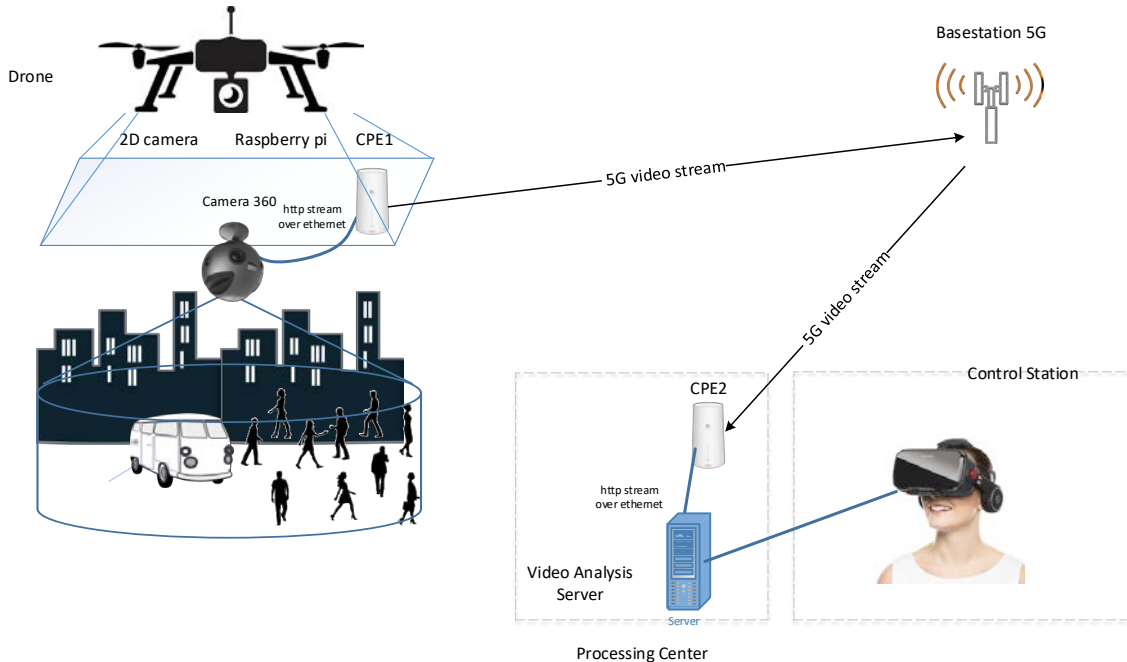


Figura 5: Stream video con Telecamera 360

A bordo drone è montata una telecamera INST360 PRO e la CPE 5G. Le immagini riprese dalla telecamera sono trasmesse alla CPE a bordo drone via cavo con indirizzo IP fisso. La CPE a bordo drone trasmette il video con connessione 5G alla CPE a terra (attraverso la base station 5G). Dal server in volo (CAMERA 360), il video streaming viene trasmesso via Wi-Fi, attraverso un'infrastruttura nello stabile di San Rocco, sugli Oculus o su schermo.

La banda usata per lo stream prodotto dalla telecamera INSTA360 PRO è di 250Mbps non compresso (MJPEG), con risoluzione 3840x1920 (video in 360). La telecamera 360 è in grado di comprimere il video con una occupazione di banda di 6.5 Mbps utilizzando il formato H265 HEVC, oppure 16.5 Mbps utilizzando il formato H264.

7 L'ARCHITETTURA DELLO SCENARIO 8.3.7 "Rilevazione jammer a radiofrequenza mediante droni"

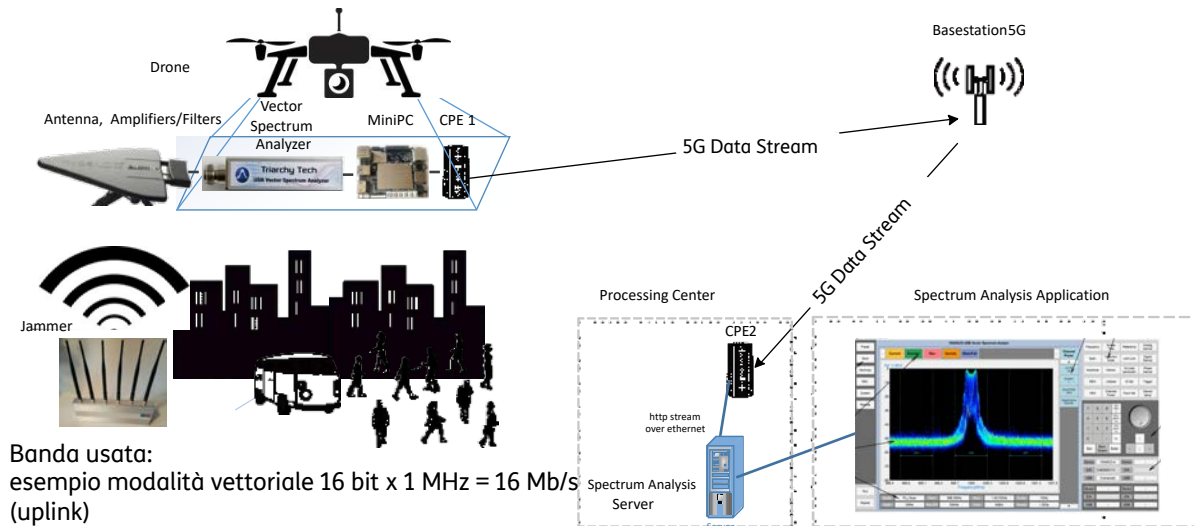


Figura 6: Rilevazione jammer a radiofrequenza

A bordo del drone sono stati montati:

- 1) un'antenna a larga banda con moderata direttività (log-periodic); questo consente di poter individuare anche la direzione di arrivo del segnale e non solo le caratteristiche spettrali
- 2) un analizzatore di spettro vettoriale Triarchy VSA6G2A che viene utilizzato come ricevitore sintonizzabile su frequenze fino ai 6 GHz con una banda passante fino a 1.35 MHz in real-time (FFT-mode). Questo strumento possiede anche delle funzioni di demodulazione del segnale oltre che all'analisi spettrale.
- 3) un mini pc sul quale viene installato il software dell'analizzatore di spettro
- 4) la CPE per la connettività 5G.

L'interfaccia tra 1) e 2) è SMA (connettore a radio-frequenza), l'interfaccia tra 2) e 3) è USB 3, l'interfaccia tra 3) e 4) è Ethernet.

Per la demo di Matera si è sostanzialmente effettuato un desktop remoto tra il mini-pc a bordo ed un pc a terra. Quest'ultimo collegato a sua volta alla rete 5G tramite CPE. Ulteriori sviluppi potrebbero far uso della funzionalità di demodulazione dello strumento e di misure dei parametri I e Q (banda base) del segnale ricevuto. In questo modo si potrebbe effettuare anche una complessa demodulazione del segnale sul pc di terra (e non a bordo). In questa

modalità, un segnale campionato ad 1 MHz e discretizzato con 16 bit (8 per I e 8 per Q) produrrebbe un flusso di upload pari a circa 16 Mb/s.

È stata studiata anche una soluzione alternativa allo strumento vettoriale di cui sopra allo scopo di creare un payload con peso inferiore adatto ad essere imbarcato su droni più leggeri è quindi più adatti alle operazioni in zona critica (dal punto di vista della normativa ENAC). L'architettura di è mostrata in Figura 7. Uno spectrum analyzer di tipo scalare (Triarchy TSA6G1) è collegato ad un Triarchy TSA USB Adaptor che può collegarsi via WiFi (Figura 7).



Figura 7: Lo spectrum analyzer

Il client software è in esecuzione su un PC (a terra) collegato via wifi a un Access Point a cui è collegato, sempre via wifi il modulo Triarchy Adapter. Il collegamento sul PC è realizzato con uno strumento software che virtualizza su una porta COM il modulo WiFi Triarchy, specificandone manualmente indirizzo IP e porta da utilizzare.

Il grosso vantaggio di questa configurazione è legato al fatto che non è necessario imbarcare la CPE (3 kg e centinaia di W di potenza). La CPE può essere posizionata a terra vicino al pc di controllo.

Mentre lo strumento vettoriale è già stato testato con successo a bordo del drone durante le prove a Matera, lo strumento scalare è stato provato solo a terra analizzando occupazione di banda di segnale LTE e Wifi. Sviluppi futuri posso comprendere il montaggio del payload scalare su un drone più piccolo (1.5 kg) rispetto a quello usato a Matera.

8 LA DEMO a San Rocco (Matera)

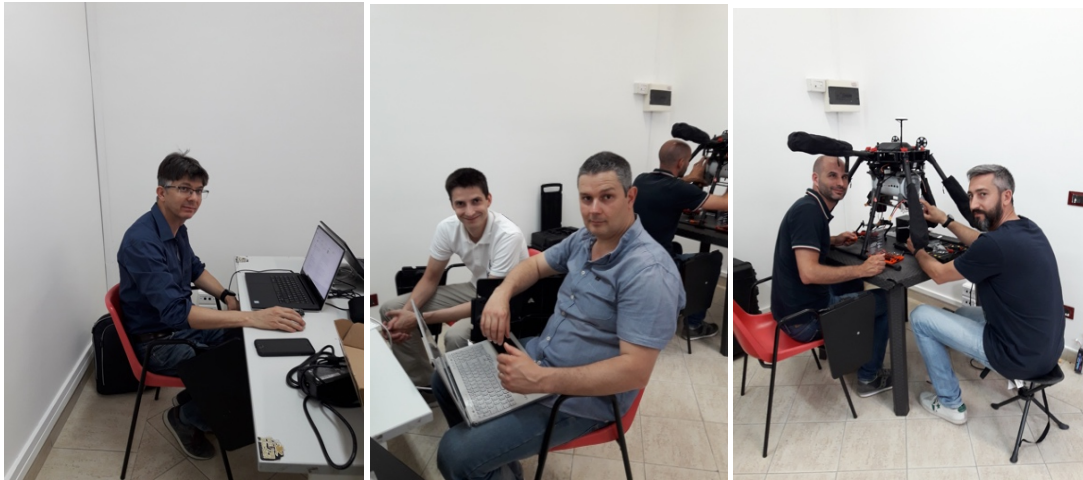


Figura 8: Il personale impegnato nella sperimentazione a Matera (San Rocco). Da sinistra: Claudio Gennaro (CNR-ISTI) per lo scenario Sicurezza, Fabio Paonessa e Giuseppe Virone (CNR-IEIT) per lo scenario Jammer, Andrea Berton (CNR-IFC) e Arturo Argentieri (CNR-ISASI) per le operazioni di volo del drone e montaggio delle apparecchiature necessarie ai due scenari.



Figura 9: Erina Ferro (CNR-ISTI), coordinatrice della sperimentazione con drone

8.1 Le configurazioni

- Configurazione in volo PAYLAOD 1
 - indirizzo locale CPE1: 192.168.1.1
 - indirizzo WAN CPE1: 163.162.251.[80-90]
 - Configurazione **insta360** indirizzo di rete locale 192.168.1.202 porta 1935
- Configurazione in volo PAYLAOD 2
 - indirizzo locale CPE1: 192.168.1.1
 - indirizzo WAN CPE1: 163.162.251.[80-90]
 - Configurazione **raspberry** indirizzo di rete locale 192.168.1.201 porta 8082
 - Configurazione **device zoom** indirizzo di rete locale 192.168.1.203 porta 80
- Configurazione in volo PAYLAOD 3
 - indirizzo locale CPE1: 192.168.1.1
 - indirizzo WAN CPE1: 163.162.251.[80-90]
 - Configurazione **MiniPC** indirizzo di rete locale 192.168.1.204 (DMZ Attivo)
- Configurazione in volo PAYLAOD 4
 - indirizzo locale CPE1: 192.168.1.1
 - indirizzo WAN CPE1: 163.162.251.[80-90]
 - Configurazione **raspberry** indirizzo di rete locale 192.168.1.201 porta 8082
 - Configurazione **device zoom** indirizzo di rete locale 192.168.1.203 porta 80
 - Configurazione **MiniPC** indirizzo di rete locale 192.168.1.204 (DMZ Attivo)
- Configurazione a terra sempre uguale indipendentemente dal PAYLOAD in volo
 - indirizzo locale CPE2: 192.168.1.1
 - indirizzo locale server IA: dinamico RETE
 - indirizzo locale Oculs: dinamico WiFi

8.2 Risultati dello scenario di sicurezza pubblica

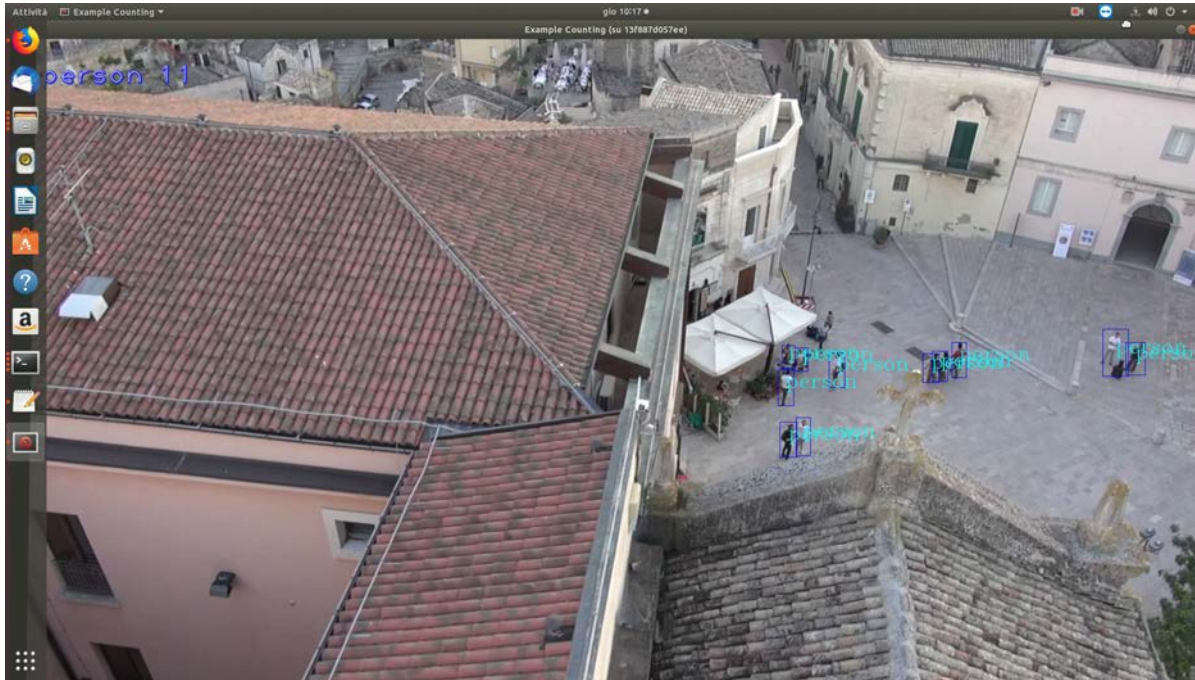
In questo scenario sono state mostrate tre differenti applicazioni: i) il riconoscimento degli oggetti e ii) volti attraverso la telecamera dotata di zoom, e iii) riprese in tempo reale attraverso la camera 360.

Questo scenario è pensato di supporto alle forze dell'ordine

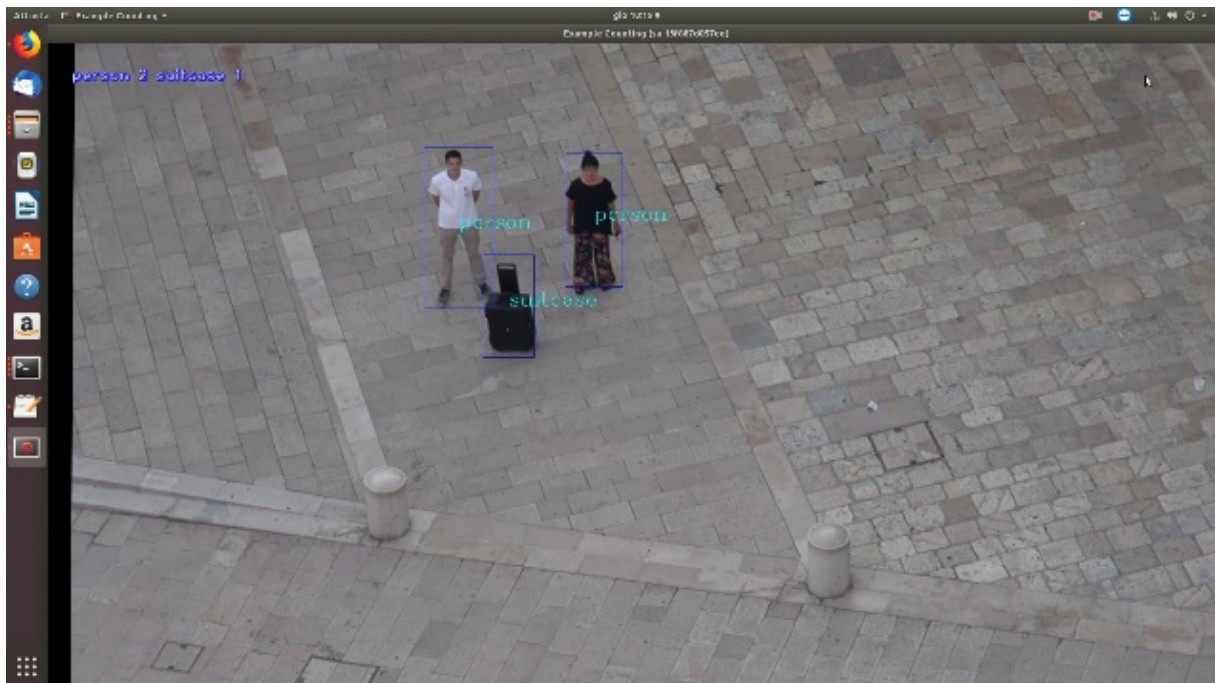
In

Figura 10 sono mostrati gli oggetti e persone riconosciuti in due fasi diverse del volo. In questo caso il sistema è in grado di etichettare gli oggetti riconosciuti, come ad esempio persone, camion, valigie, etc, e di fornire anche un conteggio degli stessi.

Deliverable 2 "TEST OPERATIVI E DEMO"



(a)



(b)

Figura 10: Riconoscimento degli oggetti a diverse distanze (a e b)

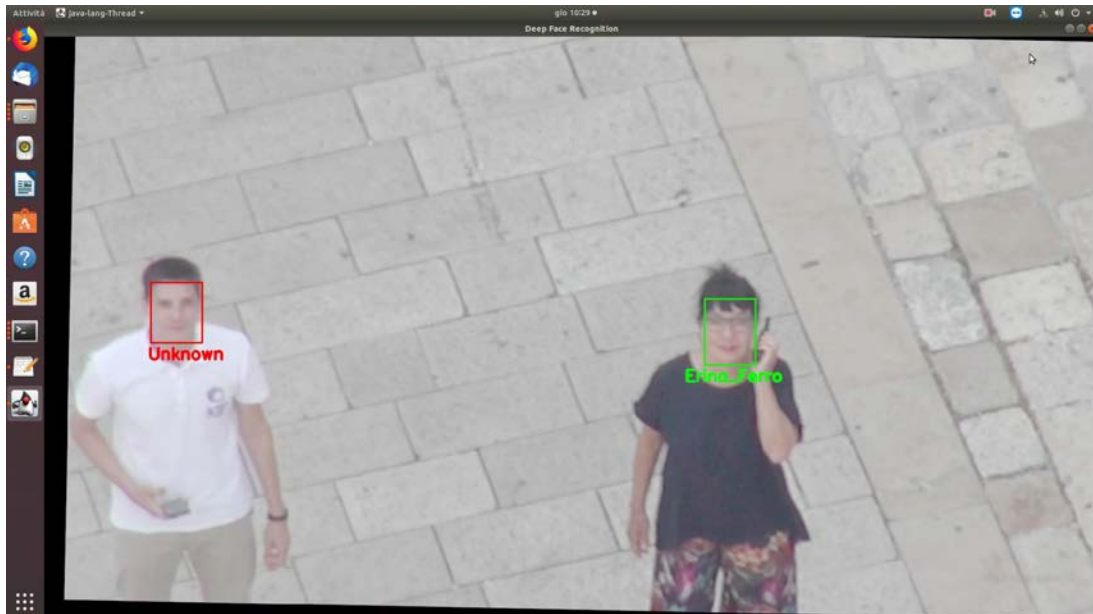


Figura 11: Riconoscimento di facce (con zoom)

In

Figura 11 è mostrato il riconoscimento di facce di due persone inquadrare dalla telecamera usando lo zoom. Per testare gli algoritmi, abbiamo inquadrato con lo zoom della telecamera due distinti soggetti: una persona la cui identità è sconosciuta all'algoritmo, etichettata in rosso con il nome "unknown", ed una seconda che vogliamo individuare (riconosciuta dall'algoritmo), etichettata in verde.

Tipicamente, il riconoscimento di persone, oggetti e il riconoscimento facciale è fatto con camere fisse a terra o con un drone che vola a non oltre 2 metri e a 4-5 metri dalla persona [1]. Nel nostro caso, in base alle autorizzazioni ricevute da ENAC e dal comune di Matera, il drone volava in zona di sicurezza, sopra il tetto di una chiesa, a oltre 40 metri di altezza e senza avvicinarsi alla persona, come ben mostrato in Figura 12.

Il terzo scenario consiste nella ripresa in tempo reale attraverso la telecamera 360 montata sul drone. In Figura 13 è mostrato un fotogramma "grezzo" del filmato ripreso alla telecamera 360. La proiezione dello streaming su oculus permette una visione immersiva nelle immagini.

Deliverable 2 "TEST OPERATIVI E DEMO"



Figura 12: L'altezza del drone e la sua distanza dagli oggetti/persone



Figura 13: La ripresa con la telecamera 360

8.3 Risultati dello scenario di rilevazione di jammer a radio-frequenza

Il payload per lo scenario di rilevazione di jammer a radio frequenza è visibile in Figura 14. Oltre all'antenna direttiva e all'analizzatore di spettro, sul DRONE è stato montato un mini-pc collegato via cavo con la CPE SAPR e impostato un DMZ sull'indirizzo IP fisso dato dalla CPE. Da terra è stata eseguita una connessione in remote desktop dal PC remoto collegato alla infrastruttura dello stabile di San Rocco (set-up già replicato per altri scenari). La Figura 15 mostra invece il drone equipaggiato in volo.

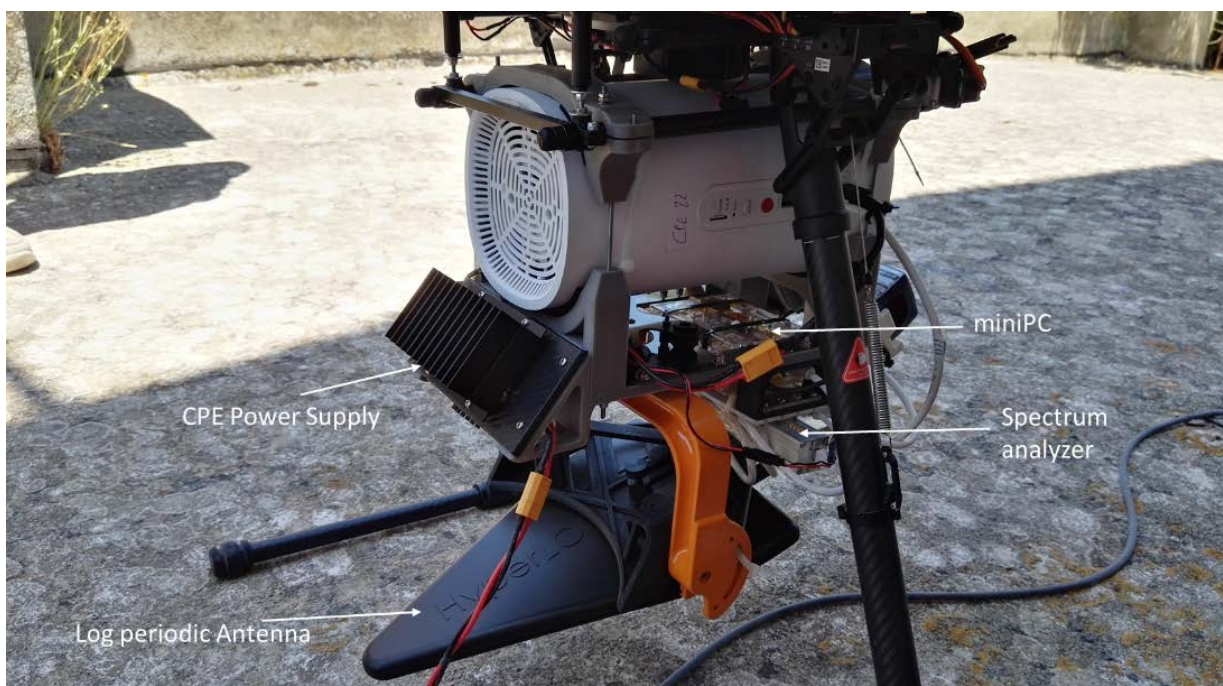


Figura 14: Payload del drone per "rilevamento jammer". Il cavo di alimentazione (rosso-nero) è presente solo durante le fasi a terra per l'alimentazione della CPE.

Operando sul pc di terra è stato possibile visualizzare le osservazioni dello strumento in volo ed acquisire i dati. Nella Figura 16 si può osservare la risposta dello strumento, configurato sulla banda ISM 5 GHz. In questa situazione, si osservano dei picchi molto stretti e di livello non superiore a -50 dBm prodotti da normali sistemi di comunicazioni in quella banda (ad es. Wi-Fi 5GHz). La Figura 17 mostra invece la risposta dello strumento una volta acceso il "jammer" utilizzato per la dimostrazione. Ai fini della sperimentazione si è utilizzato un trasmettitore video a 5.8 GHz (configurato a 5.74 GHz) commerciale, con marchio CE. Un vero dispositivo jammer (il cui utilizzo sarebbe stato illegale) avrebbe prodotto dei livelli di potenza ancora più alti e con una maggiore occupazione spettrale, ancor più semplici da rilevare.



Figura 15: Drone DJI Matrice 600 con Payload per rilevamento "Jammer"

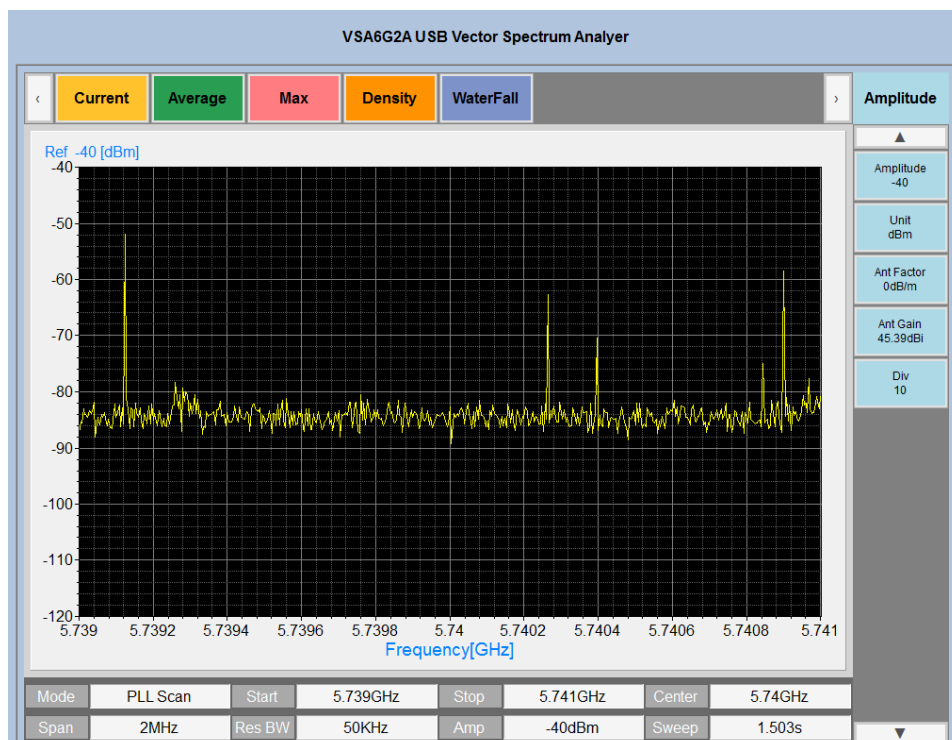


Figura 16: Risposta dello strumento in assenza di Jammer.

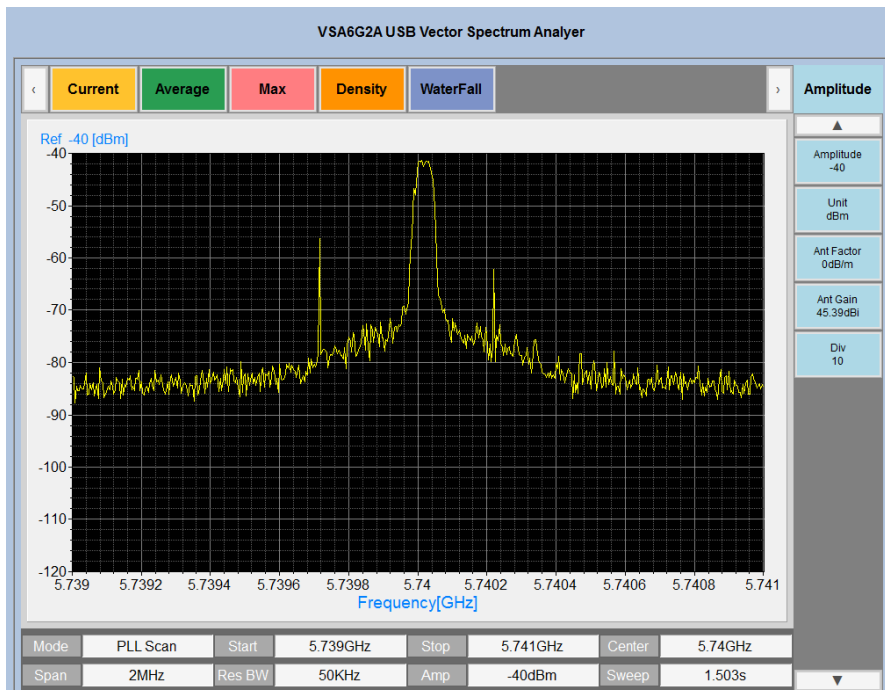


Figura 17: Risposta dello strumento in presenza di Jammer. Il drone era orientato in direzione del jammer.

Lo strumento non ha mostrato segni di instabilità o rumorosità legati alle vibrazioni del drone.

Il drone è stato fatto ruotare sul proprio asse verticale per verificare la risposta direzionale dell'antenna e per dimostrare la possibilità di stimare la direzione di arrivo del segnale.

Mentre la Figura 17 riporta la risposta dello strumento quando l'antenna è diretta verso il jammer, la Figura 18 mostra lo stesso dato con antenna orientata in direzione opposta. Si continua a vedere il picco nel diagramma spettrale ma il livello è circa 25 dB sotto rispetto al caso precedente.

Durante la sperimentazione, si è anche osservato come il livello del segnale passi gradualmente da -65 dB dBm a -40 dBm quando l'angolo di yaw del drone viene riportato alle condizioni iniziali (orientamento dell'antenna verso il jammer). Una stima della direzione di arrivo del segnale può quindi essere fatta ruotando lentamente il drone fino a massimizzare il livello del segnale ricevuto in tempo reale.

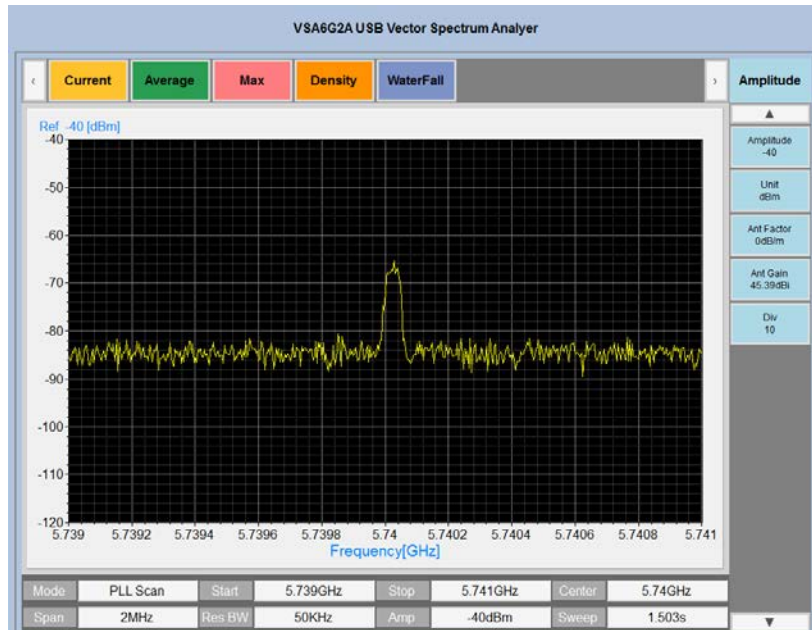


Figura 18: Risposta dello strumento in presenza di Jammer. Il drone era orientato in direzione opposta al jammer. Si continua a vedere il picco nel diagramma spettrale ma il livello è circa 25 dB sotto rispetto al caso precedente.

Il diagramma "waterfall" in Figura 19 mostra invece lo spettro ricevuto (asse orizzontale) in funzione del tempo "asse verticale". Questo tipo di visualizzazione è utile per identificare segnali jammer di tipo intermittente o comunque con caratteristiche di variabilità nel tempo.

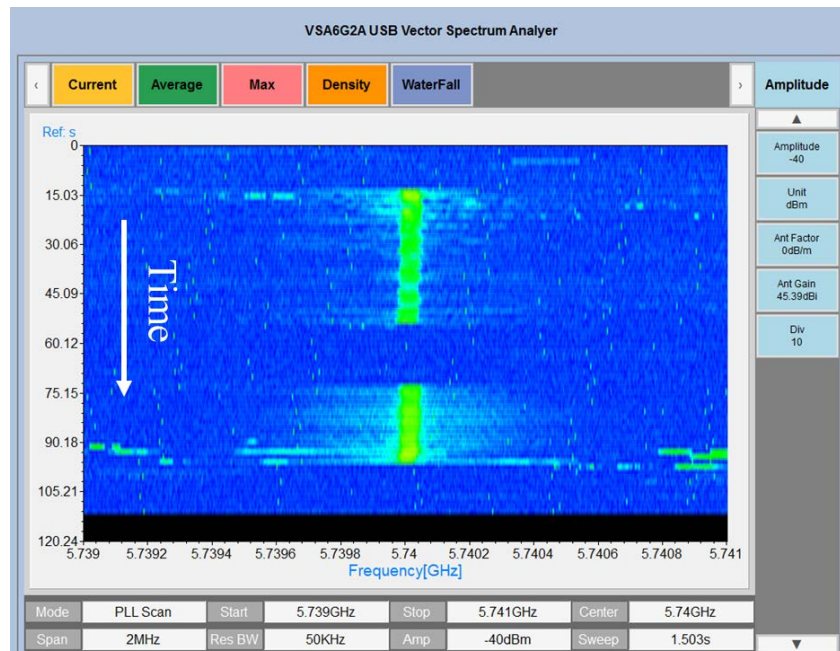


Figura 19: Diagramma waterfall (spettro in funzione del tempo) per una situazione di jammer intermittente.

Infine, la Figura 20 mostra una possibile integrazione tra payload per scenario sicurezza e payload per rilevamento jammer. Questa configurazione è stata prevista e sviluppata ma non testata a Matera per motivi di tempo. Il peso di questa configurazione la rende più critica rispetto alle configurazioni precedenti; per questo motivo, è stata messa in coda agli altri esperimenti.



Figura 20: Payload che integra gli scenari "sicurezza" e "rilievo di jammer"

Riferimenti:

[1] Bing'an Ren, Zhiqian Bai, Yingchao Yang, Ke Pang, Shangqian Sun, Tao Han, Kyungsup Kwak, "Person Tracking and Frontal Face Capture with UAV", in Proceedings of IEEE 18th International Conference on Communication Technology (ICCT), 2018, DOI: 10.1109/ICCT.2018.8600068