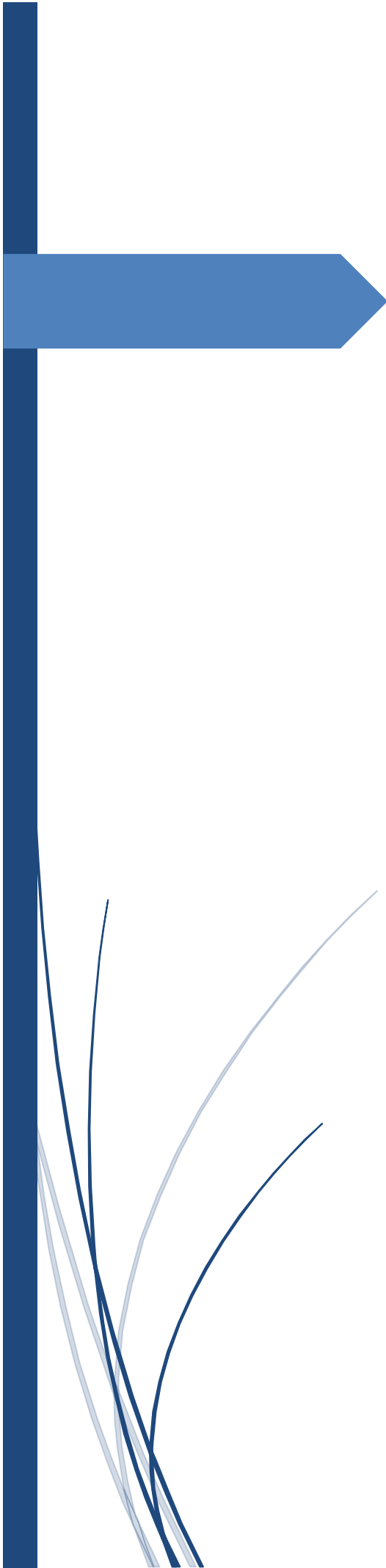




Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	75
Publication Year	2021
Acceptance in OA@INAF	2021-03-01T16:54:51Z
Title	Studio preliminare per la progettazione di un sistema RADAR per la rilevazione degli APR nell'ambito del progetto cluster top-down RADARDRONE
Authors	MAXIA, PAOLO, PISANU, Tonino, MARONGIU, Pasqualino, ORTU, Pierluigi, GAUDIOMONTE, Francesco, RICCI, Fabrizio
Affiliation of first author	O.A. Cagliari
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/30686 , http://dx.doi.org/10.20371/INAF/TechRep/75



Studio preliminare per la progettazione di un sistema RADAR per la rilevazione degli APR nell'ambito del progetto cluster top-down RADARDRONE

Paolo Maxia¹, Tonino Pisanu¹, Pasqualino
Marongiu¹, Pierluigi Ortu¹, Francesco
Gaudiomonte¹, Fabrizio Ricci³
¹INAF (Osservatorio Astronomico di Cagliari)
³Università "La Sapienza" Roma

Sommario

Sommario	3
1. Introduzione	4
2. Descrizione delle caratteristiche della scheda SDR USRP-2954R.	7
3. Progetto di massima dell'unità di base mediante l'utilizzodel RADAR SIMRAD HALO 3.	10
4. Progetto di massima dell'unità di base mediante l'impiego della scheda SDRUSRP-2954R.	12
5. Bibliografia.	22

1. Introduzione.

Lo scopo di questo rapporto interno è di illustrare lo studio preliminare effettuato nel biennio 2019-2020 per la progettazione di un sistema RADAR per la rilevazione degli APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) nell'ambito del progetto RADARDRONE. RADARDRONE è la denominazione di un progetto cluster top down che intende mettere a sistema le competenze, conoscenze ed esperienze nel campo della Ricerca Tecnologica possedute dall'OAC (Osservatorio Astronomico di Cagliari), dal DIEE (Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica) dell'Università degli Studi di Cagliari e dalla compagine di aziende ed organizzazioni altamente innovative facenti parte del cluster.

L'obiettivo principale del progetto RADARDRONE è lo sviluppo di piccoli RADAR modulari facilmente installabili per il monitoraggio e la sicurezza delle aree critiche (aeroporti, porti, stadi di calcio, zone dove si svolgono grandi assembramenti di persone) o obiettivi sensibili (centrali elettriche, centrali nucleari, acquedotti, etc.). Tali aree possono essere oggetto di attacchi terroristici o sorvoli non autorizzati da parte di APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) che possono provocare danni (fortuiti e non) alle infrastrutture, agli impianti o ad eventuali altri aeromobili regolarmente autorizzati al volo. Sorge dunque l'esigenza di poter disporre di opportuni sensori che consentano un'efficace azione di sorveglianza al fine di individuare eventuali intrusioni: una soluzione è costituita da piccoli sistemi RADAR portatili e modulari in grado di poter essere collegati tra loro. Questi dispositivi, caratterizzati da bassi livelli di potenza trasmessa, permetteranno un'efficace azione di copertura dell'aerea di interesse.

I problemi relativi all'intercettazione/individuazione di APR ostili sono già ben noti in ambito accademico e commerciale e sono stati oggetto di diversi studi ed applicazioni RADAR che hanno portato allo sviluppo di sistemi commerciali già disponibili sul mercato ed aventi un alto grado di affidabilità [1-6]. Tuttavia, a fronte di un'elevatissima probabilità di individuazione, tali sistemi si caratterizzano il più delle volte per il costo elevato e la non facile installazione (tale aspetto è molto spesso dovuto al peso intrinseco della

strumentazione e della componentistica impiegata per l'implementazione del sistema). È interessante notare come nelle varie soluzioni proposte, il concetto di modularità non è sempre presente, trattandosi frequentemente di sistemi con unità ricetrasmittente singola nei quali l'estensione dell'area sorvegliabile è strettamente legata alla massima distanza raggiungibile ed alla potenza disponibile dal trasmettitore (che, a causa delle restrizioni relative all'inquinamento elettromagnetico, deve essere contenuta e regolata dai limiti previsti dalle normative vigenti).

Nell'ottica di superare le limitazioni sopra descritte, quello che si vuole proporre nell'ambito del progetto RADARDRONE è un'applicazione dei concetti già trattati in letteratura e noti come "NETTED RADAR" [7], intendendo con tale termine una rete di stazioni RADAR riceventi e trasmettenti separate ma interconnesse tra loro. Il vantaggio di un NETTED RADAR è quello di ottimizzare l'area sorvegliata grazie alla possibilità di riconfigurare la geometria ed il posizionamento delle varie stazioni in modo semplice e flessibile.

Il presente documento rappresenta un rapido studio preliminare per l'implementazione della singola unità facente parte di una piattaforma RADAR costituita da una rete di unità di base, più o meno ampia, adattabile all'estensione ed alla conformazione dell'area da sorvegliare: le informazioni provenienti da ogni singola stazione (dati riguardanti la posizione ed eventualmente la velocità dei bersagli) verranno poi inviate ad una unità di controllo centrale ed opportunamente analizzate. Uno schema riassuntivo del concetto appena introdotto è illustrato nella figura 1.

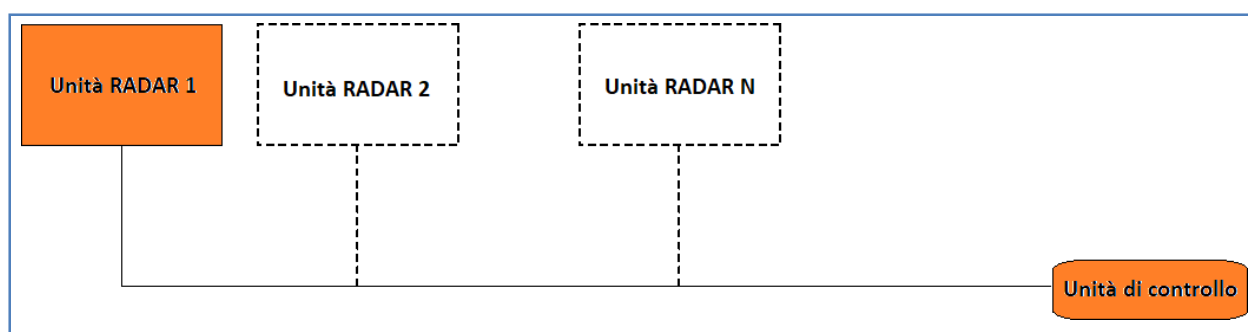


Figura 1. Schema illustrativo della piattaforma RADAR

Lo schema illustrato nella figura 1 rappresenta una proposta iniziale per la realizzazione del prototipo di una piattaforma RADAR scalabile e facilmente adattabile per la localizzazione degli APR, composta da un insieme di singole unità realizzate, ad esempio, mediante schede SDR (Software Defined Radio).

Una successiva evoluzione del prototipo prevede la possibilità di implementare un sistema leggermente più complesso, composto di una unità RADAR dedicata alla scoperta ed al primo allarme (posta al centro dell'area da sorvegliare), dotata di antenna rotante avente un diagramma di irradiazione del tipo "fan beam" [8] e da una serie di unità più piccole equipaggiate con antenne a scansione elettronica (e dotate eventualmente di ottiche in grado di individuare, anche visivamente, il bersaglio) aventi il compito di eseguire il tracking dei bersagli localizzati dall'unità principale. A tal fine è importante sottolineare come la progettazione e la successiva realizzazione del phased array (allineamento di antenne a scansione elettronica) necessario per l'eventuale upgrade del prototipo non richiederebbe risorse eccessive, in quanto si tratterebbe di adattare e sfruttare gli ottimi risultati già conseguiti dall'INAF-OAC nell'ambito del progetto PHAROS2 alle specifiche esigenze del progetto RADARDRONE.

Nei successivi paragrafi del documento verranno illustrate le caratteristiche relative alla scheda SDR USRP-2954R e di due configurazioni possibili per l'unità di base: una basata sull'impiego del RADAR SIMRAD HALO3 ed una basata sull'utilizzo della scheda USRP-2954R per ricevere e trasmettere il segnale.

2. Descrizione delle caratteristiche della scheda SDR USRP-2954R.

Come accennato nel paragrafo precedente, una delle due configurazioni proposte per l'implementazione dell'unità di base della piattaforma RADAR prevede l'utilizzo di una scheda SDR per generare e ricevere il segnale retro diffuso dal bersaglio illuminato (nel nostro caso uno o più APR). L'SDR è uno strumento ampiamente utilizzato in ambito RADAR e viene impiegato per sviluppare dei software capaci di implementare dei componenti che normalmente vengono realizzati mediante hardware. Questo aspetto consente di ottenere soluzioni innovative, low-cost e versatili per svariate applicazioni: in ambito RADAR è possibile implementare via software componenti quali mixer, filtri, modulatori e demodulatori. Utilizzando l'SDR è possibile inoltre sia sviluppare un sistema in grado di effettuare il tracking dei bersagli, sia di realizzare sistemi complessi in modo economico e compatto.

Un RADAR implementato con questo metodo presenta delle caratteristiche “multi purpose” in quanto può essere facilmente riconfigurato e riutilizzato per altre esigenze: in definitiva, il software che pilota la scheda SDR (che ad esempio può essere il LABVIEW o GNU RADIO) consente di scrivere un'applicazione dedicata che poi viene implementata tramite l'hardware presente nella scheda. Nel caso del progetto RADARDRONE la scheda selezionata è la NATIONAL INSTRUMENTS USRP-2954R: questa è sviluppata sull'architettura LABVIEW RIO e può essere utilizzata per una vasta gamma di applicazioni tra le quali, appunto, realizzazioni di sistemi RADAR. Sebbene il dispositivo selezionato si caratterizzi per il suo costo sensibile, la sua scelta è stata dettata dall'intenzione di studiare a fondo le prestazioni offerte dalle schede SDR nelle applicazioni RADAR, in modo tale da poter poi estendere i risultati eventualmente conseguiti anche a schede SDR più economiche (adattando ovviamente il software necessario per il corretto funzionamento di queste ultime) come ad esempio la REDPITAYA o la HACKRF-ONE. Infatti, poiché come accennato in precedenza lo scopo del progetto è quello di implementare una “rete” RADAR nella quale le singole

unità sono caratterizzate dalla compattezza e dal costo relativamente basso, è ovviamente impensabile pensare ad un sistema distribuito nel quale i singoli componenti sono costituiti da moduli realizzati mediante la scheda USRP-2954R. Quest'ultima (le cui specifiche tecniche sono riportate nelle tabelle 1 e 2), basata su tecnologia FPGA, possiede due canali di trasmissione e due di ricezione indipendenti e completamente riconfigurabili.

Parametro	Valore
<i>Numero di canali in trasmissione</i>	2
<i>Intervallo di frequenza</i>	10 MHz – 6 GHz
<i>Step in frequenza</i>	Minore di 1 kHz
<i>Potenza massima in uscita (Pout)</i>	50 mW – 100 mW (17 dBm – 20 dBm)
<i>Range di Guadagno</i>	0 dB – 31.5 dB
<i>Step di Guadagno</i>	0.5 dB
<i>Massima larghezza di banda in tempo reale</i>	160 MHz
<i>Massimo rate di campionamento I/Q</i>	200 MS/s
<i>Risoluzione DAC</i>	16 bit
<i>SFDR</i>	80 dB

Tabella 1: USRP – Caratteristiche del trasmettitore.

Parametro	Valore
<i>Numero di canali in trasmissione</i>	2
<i>Intervallo di frequenza</i>	10 MHz – 6 GHz
<i>Step in frequenza</i>	Minore di 1 kHz
<i>Potenza massima in ingresso (Pin)</i>	-15 dBm
<i>Figura di rumore</i>	5 dB – 7 dB
<i>Range di Guadagno</i>	0 dB - 37.5 dB
<i>Step di Guadagno</i>	0.5 dB
<i>Massima larghezza di banda in tempo reale</i>	160 MHz
<i>Massimo rate di campionamento I/Q</i>	200 MS/s
<i>Risoluzione DAC</i>	14 bit
<i>SFDR</i>	88 dB

Tabella 2: USRP – Caratteristiche del ricevitore.

In figura 2 è riportato lo schema a blocchi della scheda USRP-2954R che mostra il funzionamento della scheda come “transceiver” in applicazioni radio e RADAR ed è di seguito brevemente descritto.

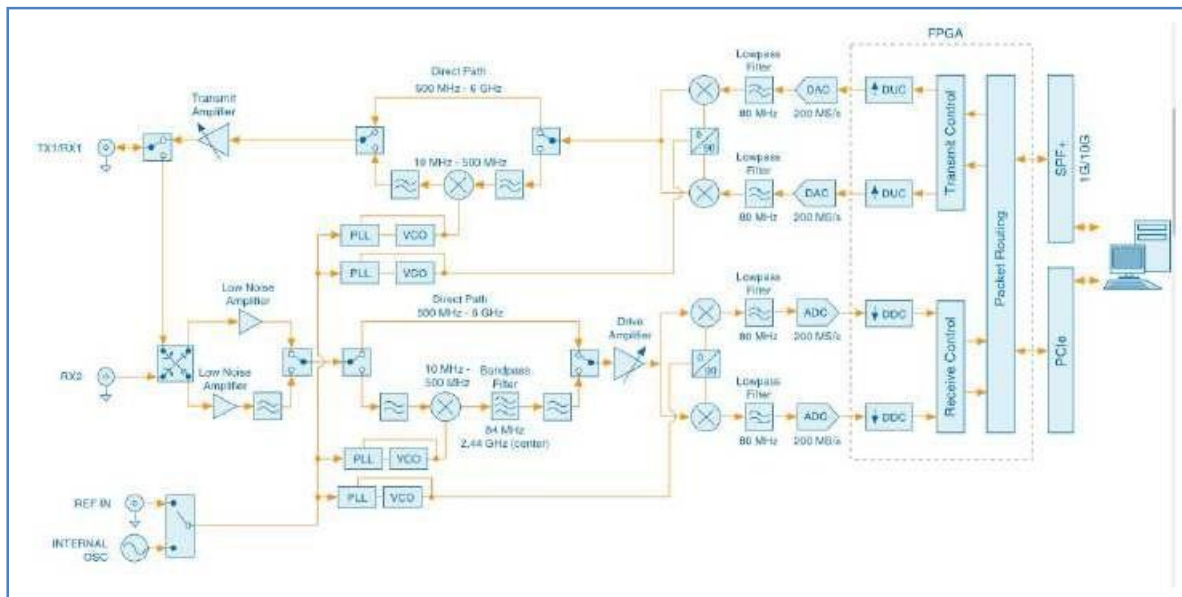


Figura 2: schema a blocchi della scheda USRP-2954R.

Prendendo in esame il blocco di trasmissione, il PC collegato alla scheda tramite cavo di connessione PCIe sintetizza i segnali I e Q e li trasmette alla USRP-2954R, dove viene effettuata una Digital Up-Conversion (DUC). I due segnali vengono quindi convertiti in analogico tramite due DAC (Digital to Analog Converter) e successivamente filtrati tramite un filtro passa basso, che provvede a ridurre il rumore ed a tagliare le eventuali componenti del segnale ad alta frequenza. I blocchi PLL e VCO assicurano che il clock del dispositivo e l'oscillatore locale siano sincronizzati ad una determinata frequenza (che può essere una frequenza generata internamente, oppure un segnale esterno, ad esempio prelevato da un'antenna GPS). Alla fine del percorso del blocco di trasmissione, il segnale viene amplificato e successivamente trasmesso.

Per quanto riguarda il blocco di ricezione, a seconda della frequenza operativa il segnale ricevuto viene amplificato o da un amplificatore LNA (Low Noise Amplifier) o da una combinazione LNA - filtro passa basso e successivamente ulteriormente amplificato tramite un "Drive Amplifier". Il segnale viene quindi down-convertito in banda base e separato nelle due componenti I e Q, filtrato per eliminare il rumore e le componenti ad alta frequenza, e infine il convertitore ADC consente di elaborare il segnale tramite PC.

3. Progetto di massima dell'unità di base mediante l'utilizzo del RADAR SIMRAD HALO 3.

La proposta di impiegare il sistema SIMRAD HALO 3 come unità di base della piattaforma RADAR deriva dalla campagna di esperimenti e test condotti, sull'apparato, nei laboratori di OAC nel primo semestre del 2019; tali test hanno avuto come obiettivo sia la verifica delle specifiche operative riportate nella scheda tecnica fornita con lo strumento, sia la possibilità di adattare agli scopi previsti dal progetto RADARDRONE una piattaforma commerciale avente un costo contenuto e di facile installazione.

Ovviamente, al fine di consentire al SIMRAD HALO3 un corretto funzionamento in ambienti diversi da quelli per i quali è stato progettato (si tratta infatti di un RADAR marino, pensato per essere installato su piccoli natanti o barche da diporto) si è manifestata l'esigenza di apportare alcune modifiche rispetto alla configurazione originale. In particolare, vista la non eccessiva larghezza del fascio irradiato in elevazione dall'antenna in dotazione (circa 25°), si è provveduto a variare il posizionamento di quest'ultima sul piano di elevazione mediante opportuni accorgimenti meccanici, anche grazie all'impiego di idonee transizioni guida-cavo appositamente progettate e realizzate nei laboratori e nelle officine di OAC.

Il sistema, così modificato (cioè con un'orientazione dell'antenna rispetto al suolo diversa rispetto a quella di fabbrica), è stato ampiamente testato al fine di accertare la non degradazione delle prestazioni e l'effettiva capacità di rilevamento degli APR di piccole dimensioni: a tal fine, durante la campagna di test condotta nel primo semestre del 2019 all'interno delle aree di pertinenza di OAC, sono state impiegate diverse tipologie di bersaglio: velivoli APR di diverse dimensioni nonché palloni sonda rivestiti di materiale riflettente e posizionati, tramite apposito cavo guida, a diverse altezze dal suolo ed a diverse distanze dal blocco ricetrasmittente del SIMRAD HALO3. In tutte le prove condotte, il SIMRAD HALO3 ha mostrato un'ottima capacità di individuare i bersagli utilizzati. Al fine quindi di consentire l'impiego del SIMRAD HALO3 per gli scopi del progetto RADARDRONE, è in fase di progetto un'antenna dedicata del tipo "waveguide slot antenna array", che garantirà un fascio irradiato sul piano di elevazione sensibilmente

più largo rispetto a quello dell'antenna originale che, come si può notare dai diagrammi di irradiazione riportati in figura 3, risulta avere un'apertura di circa 24°.

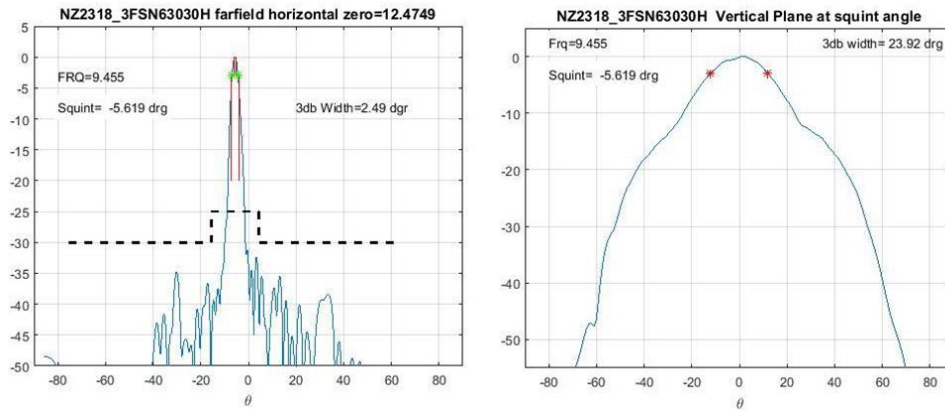


Figura 3: diagrammi di irradiazione dell'antenna in dotazione al SIMRAD HALO3

Infine, per poter permettere la portabilità del sistema, presso l'officina meccanica di OAC è stata progettata e successivamente realizzata un'apposita interfaccia meccanica che consente di montare il blocco RADAR del SIMRAD HALO3 sul palo estensibile della stazione mobile: tale soluzione garantisce la completa mobilità del sistema e la sua installazione in una qualsivoglia area da sorvegliare.

4. Progetto di massima dell'unità di base mediante l'impiego della scheda SDR USRP-2954R.

In questa sezione vengono illustrate le caratteristiche della singola unità RADAR implementata mediante l'uso della scheda SDR descritta nel paragrafo 3, il cui scopo è quello di individuare eventuali APR che sorvolino l'area sottoposta a sorveglianza. Lo schema di funzionamento di un RADAR è ben noto e in figura 3 viene mostrato un tipico schema di un RADAR monostatico (nel quale cioè viene utilizzata la medesima antenna sia per ricevere che per trasmettere il segnale):

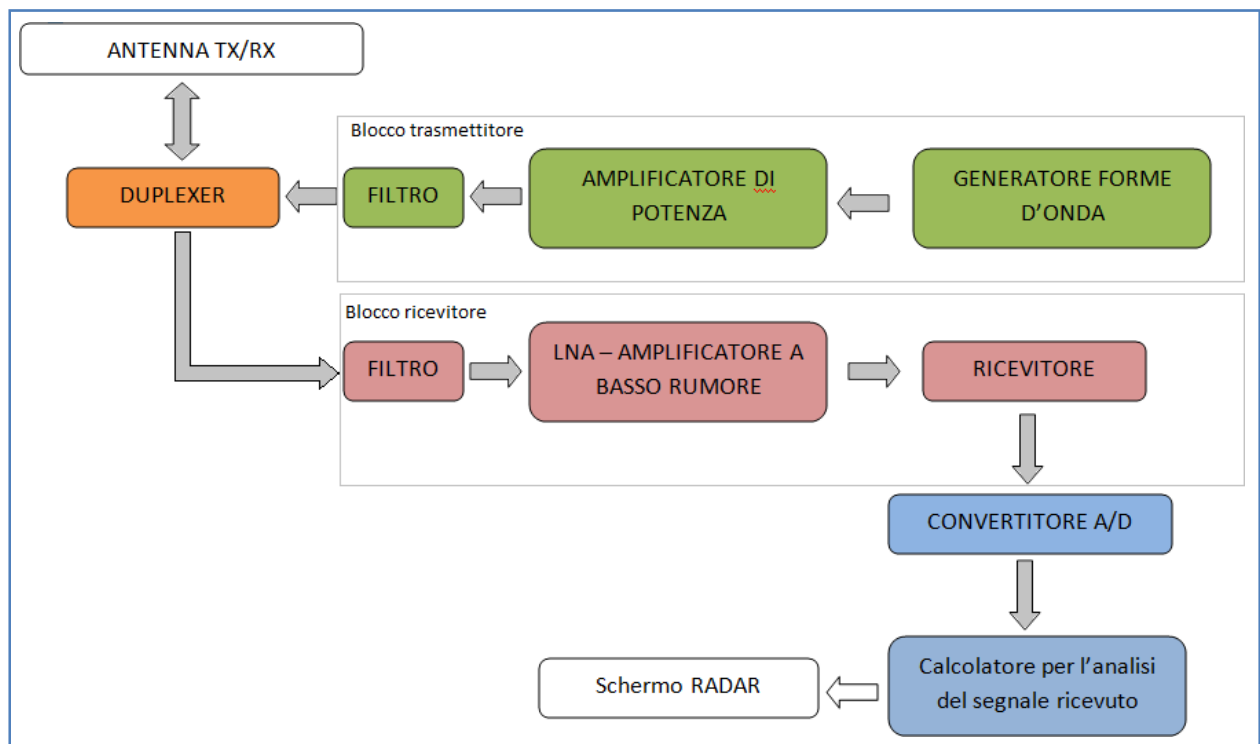


Figura 4: schema di un tipico sistema RADAR monostatico.

Nel caso in cui invece si opti per una configurazione bistatica, il blocco trasmettitore ed il blocco ricevitore saranno connessi a due antenne distinte: di conseguenza, il duplexer illustrato in figura 4 non è necessario (figura 5).

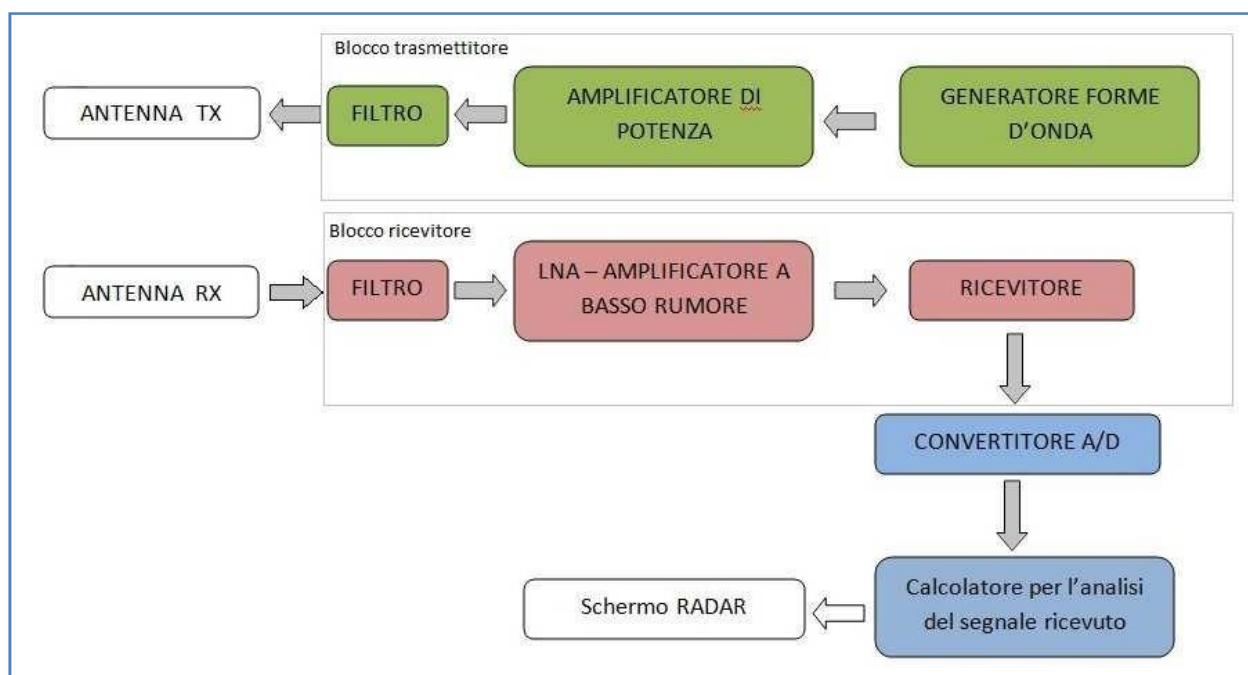


Figura 5: schema di un tipico sistema RADAR bistatico.

Per la realizzazione dell'unità di base facente parte della piattaforma RADAR, si è optato per un sistema RADAR bistatico nel quale il blocco trasmettitore e il blocco ricevitore illustrati in figura 5 sono implementati mediante la scheda SDR USRP-2954R.

La scelta di tale configurazione è stata dettata dalla consultazione della bibliografia scientifica esistente nonché da alcune soluzioni già presenti sul mercato. Ovviamente, come già accennato nel paragrafo precedente, l'utilizzo del modello di scheda SDR indicato non deve essere inteso (come già ampiamente affermato) come strettamente vincolante per il progetto di una unità RADAR per il rilevamento degli APR: scopo del progetto è infatti quello di estendere i concetti ed i risultati eventualmente conseguiti anche a modelli di schede SDR più economici.

Le specifiche operative di massima della piattaforma RADAR sono riportate in tabella 3:

<i>Frequenza operativa</i>	<i>Banda C(frequenze 5.6-5.8 GHz)</i>
<i>Guadagno amplificatore in trasmissione</i>	<i>55 dB</i>
<i>Tipo Antenna</i>	<i>E-plane Sectoral Horn</i>
<i>Guadagno antenna</i>	<i>14.5 dBi</i>
<i>Larghezza del fascio sul piano E</i>	<i>15.5°</i>
<i>Larghezza del fascio sul piano H</i>	<i>76.8°</i>

Tabella 3: specifiche dell'unità di base della piattaforma RADAR.

I valori numerici riportati nella tabella 3 sono stati fissati tenendo conto delle specifiche operative della scheda USRP-2954R e dell'amplificatore di potenza MICZEN modello P/N: MZPA056059GF100W, un componente appositamente acquisito dal DIEE (Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica dell'Università degli Studi di Cagliari) per essere impiegato nello sviluppo del prototipo dell'unità RADAR del progetto RADARDRONE.

Facendo riferimento ad un sistema RADAR bistatico, in figura 5 viene riportato lo schema dell'unità RADAR da sviluppare impiegando la scheda USRP-2954R:

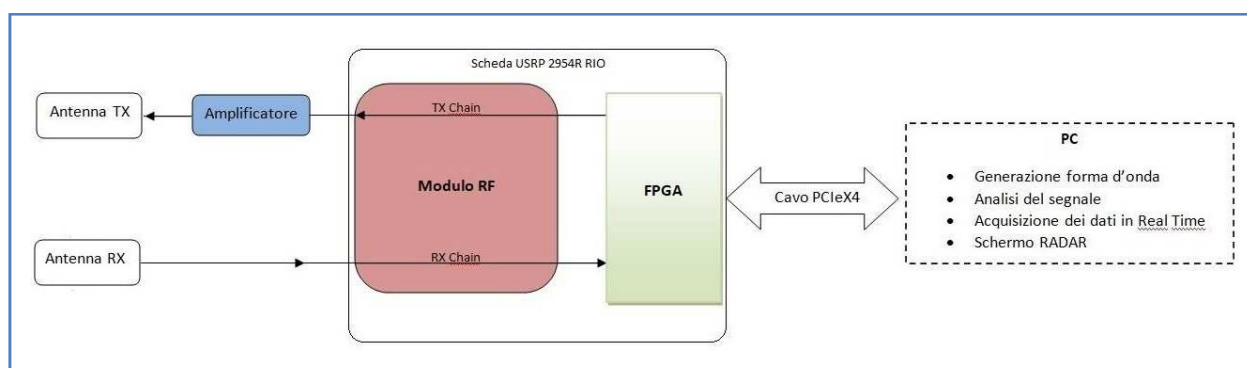


Figura 6: schema dell'unità RADAR realizzata mediante la scheda USRP-2954R.

Confrontando le due configurazioni in figura 5 e 6, si nota immediatamente che un sistema RADAR basato su una scheda SDR risulta molto più “economico” in termini di componenti impiegati.

Il segnale in uscita dalla USRP viene amplificato di circa 50 dB ed inviato all'antenna trasmittente. In fase di ricezione, si prevede di collegare direttamente l'antenna ricevente al terminale RX della scheda USRP. È inoltre previsto, nel corso dello svolgimento del progetto, di poter rapidamente modificare il funzionamento del sistema variando eventualmente il tipo di segnale trasmesso.

Tale operazione, che in un normale sistema RADAR risulterebbe onerosa sia in termini economici che in termini di componentistica impiegata, nel caso in oggetto sarebbe possibile agendo esclusivamente sulla SDR via software.

Per quanto riguarda il software di controllo del prototipo descritto, la trasmissione e la ricezione del segnale è controllata tramite un VI (Virtual Instrument) LABVIEW dedicata, la cui interfaccia grafica è illustrata nella figura 7:

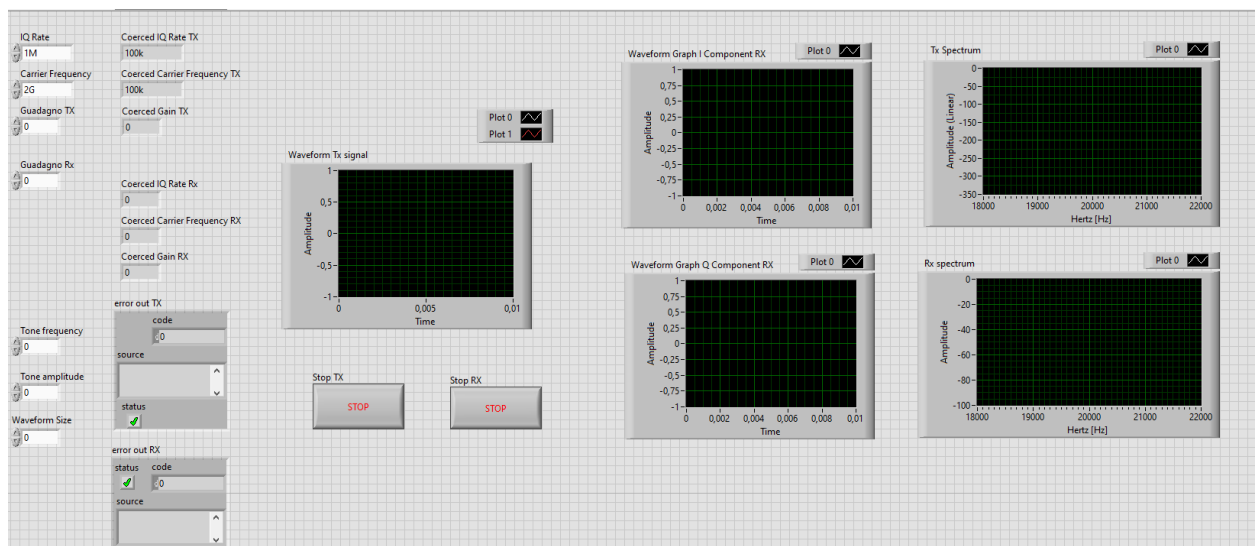


Figura 7. Prototipo in banda C. Interfaccia grafica.

Al quale corrisponde il seguente schema a blocchi (figura 8):

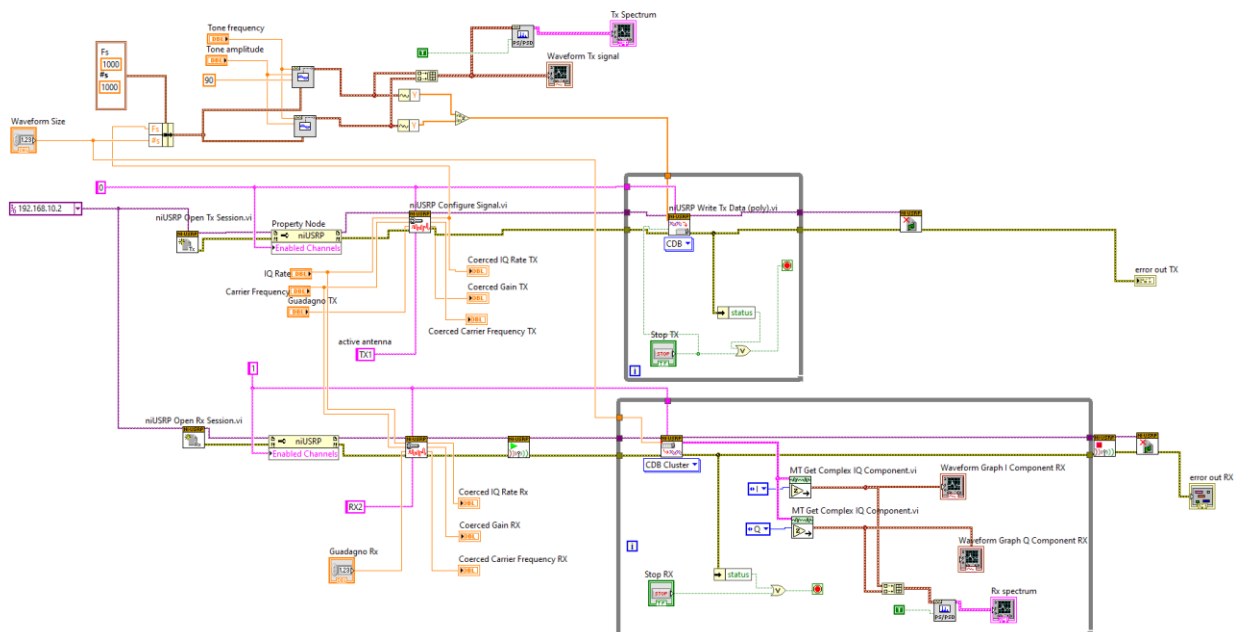


Figura 8: Prototipo in banda C. Schema a blocchi LABVIEW.

Facendo riferimento alla figura 7, il pannello di controllo si compone delle seguenti parti (figura 9):

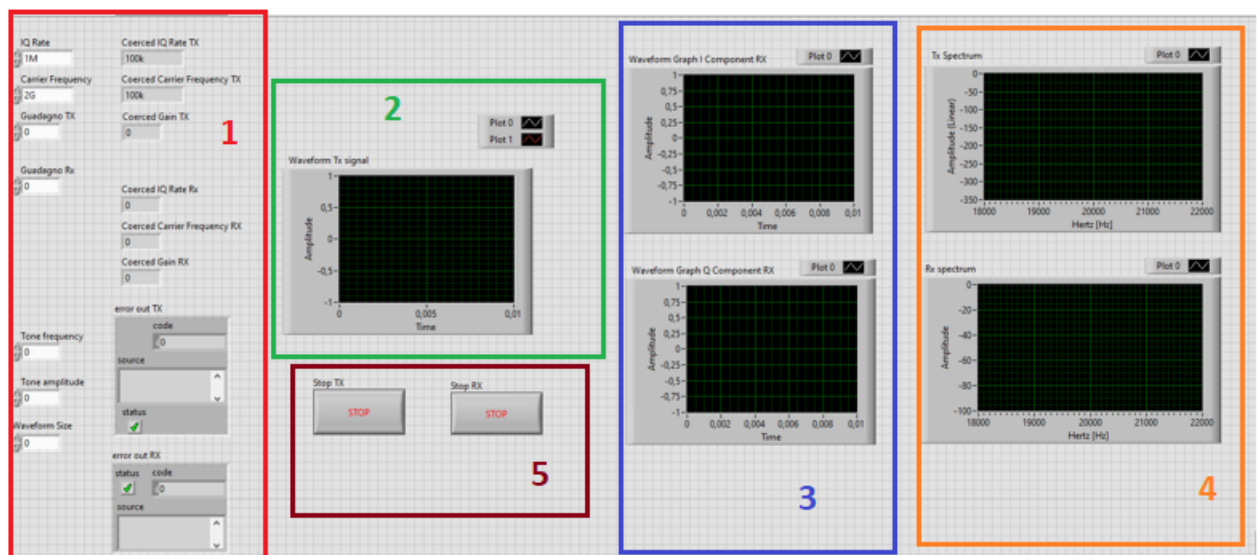


Figura 8. Descrizione delle varie parti del pannello di controllo.

1. *Impostazione dei parametri relativi al trasmettitore ed al ricevitore (frequenza della portante e del tono CW, guadagno in trasmissione ed in ricezione, ampiezza del tono CW, numero dei campioni).*
2. *Finestra di controllo del segnale trasmesso (nel dominio del tempo).*
3. *Finestra di controllo del segnale ricevuto (nel dominio del tempo, componenti I e Q separate).*
4. *Finestre di controllo degli spettri dei segnali ricevuto e trasmesso*
5. *Comandi di interruzione della trasmissione o della ricezione.*

Al fine di poter separare completamente la catena di ricezione e di trasmissione, in sede di progetto preliminare si è scelto di pilotare separatamente i due blocchi Tx ed Rx.

Successivamente, per verificare la corretta capacità da parte del VI LABVIEW di trasmettere e ricevere un segnale in modalità CW, le uscite Tx ed Rx della USRP sono state collegate direttamente mediante un cavo coassiale (figura 9):

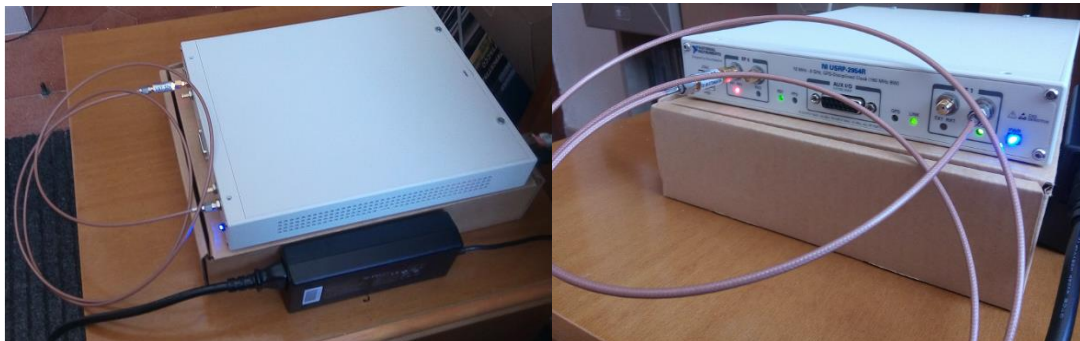


Figura 9. Verifica blocco trasmettitore e ricevitore.

La corretta trasmissione e ricezione del segnale è mostrata nella figura 10:

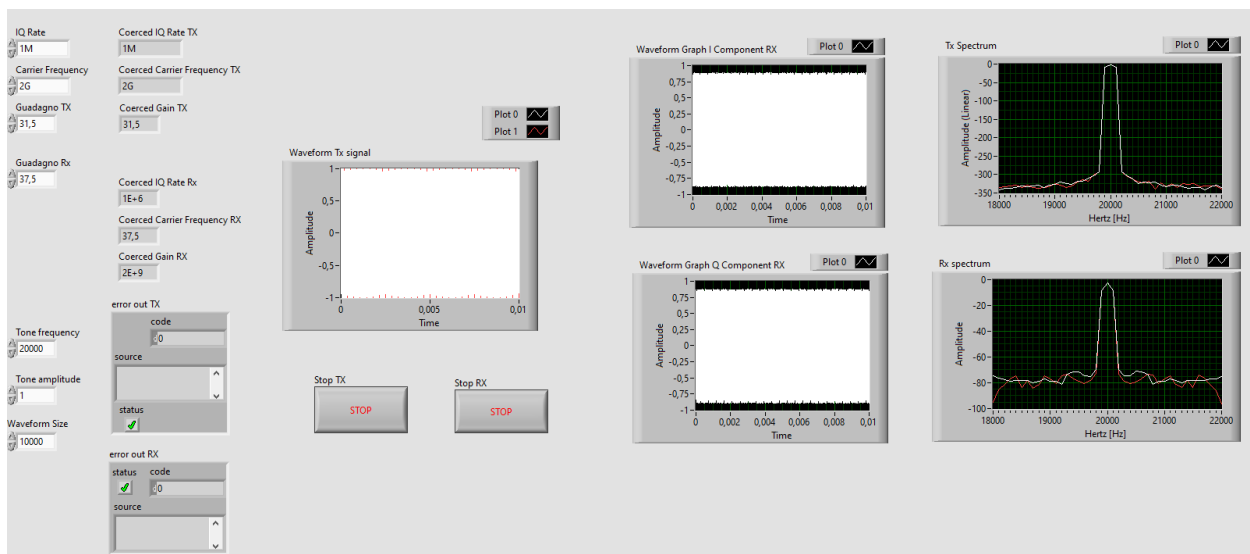


Figura 10. Corretta trasmissione e ricezione del segnale.

Lo script VI descritto nelle figure precedenti rappresenta una versione preliminare del software di gestione LABVIEW definitivo, nel quale è prevista la possibilità di utilizzare una forma d'onda avente una risoluzione grafica più accurata (grazie ad un numero maggiore di campioni utilizzato), l'implementazione di uno spettrogramma tempo-frequenza che permetta di individuare immediatamente (e con facilità) eventuali oggetti in movimento posti nella direzione del fascio irradiato dalle antenne e la possibilità di salvare i dati relativi allo spettrogramma in modo tale da consentire successive elaborazioni.

Il pannello frontale di controllo del VI dopo i miglioramenti accennati risulterà dunque essere il seguente (figura 11):

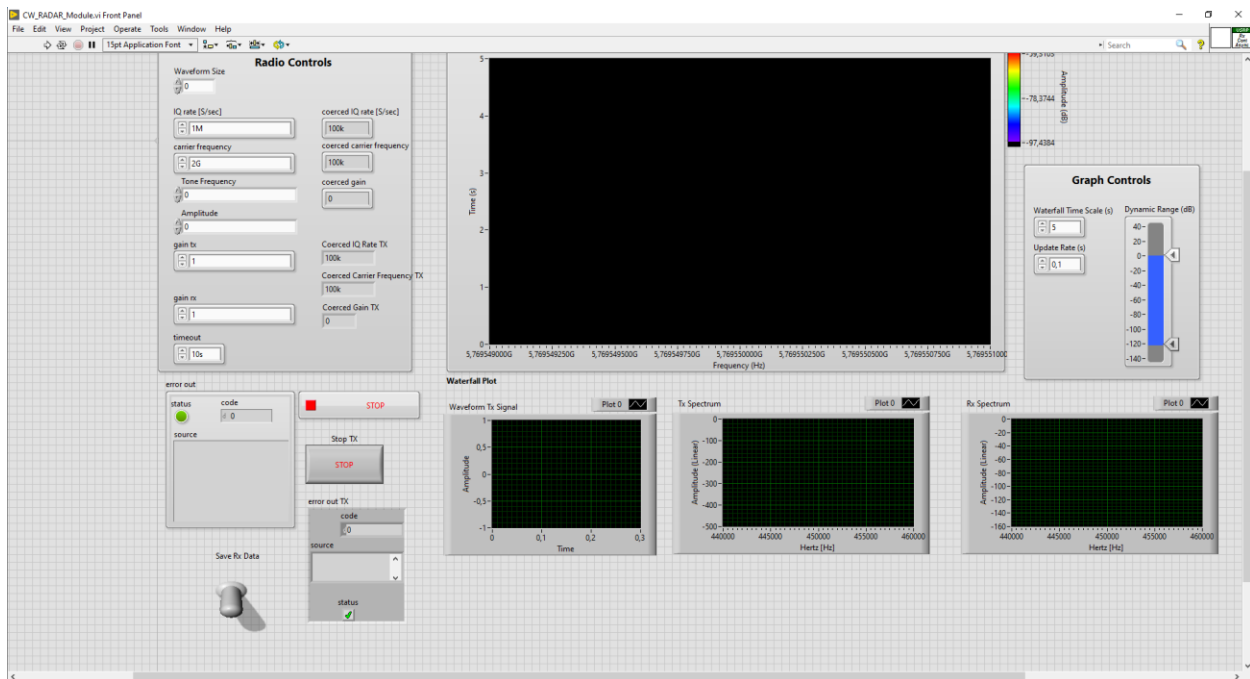


Figura 11. Prototipo in banda C. Pannello frontale VI di controllo finale.

Al quale corrisponde il seguente schema a blocchi (figura 12 e 13).

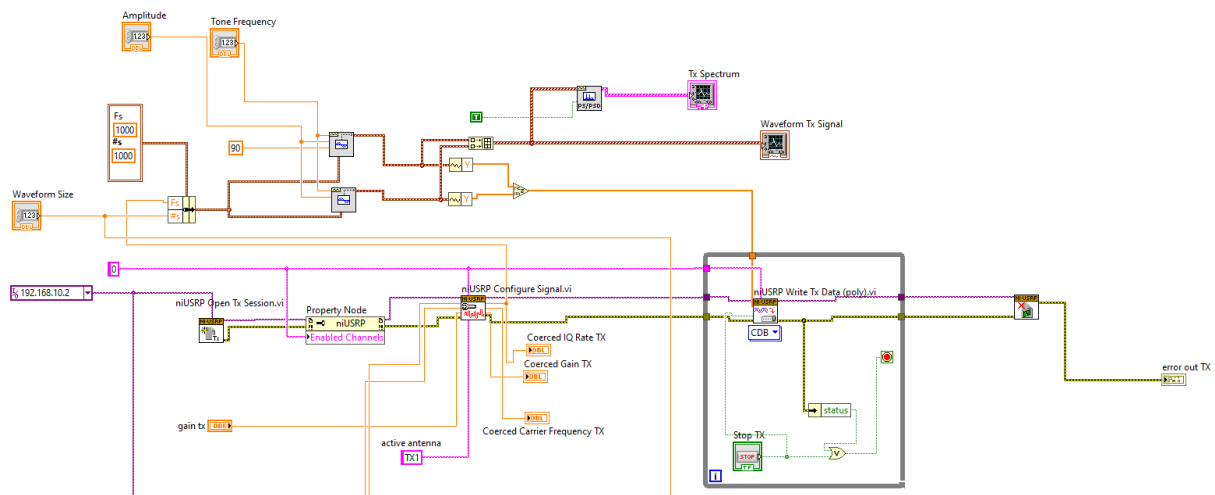


Figura 12.a: schema a blocchi LABVIEW del trasmettitore.

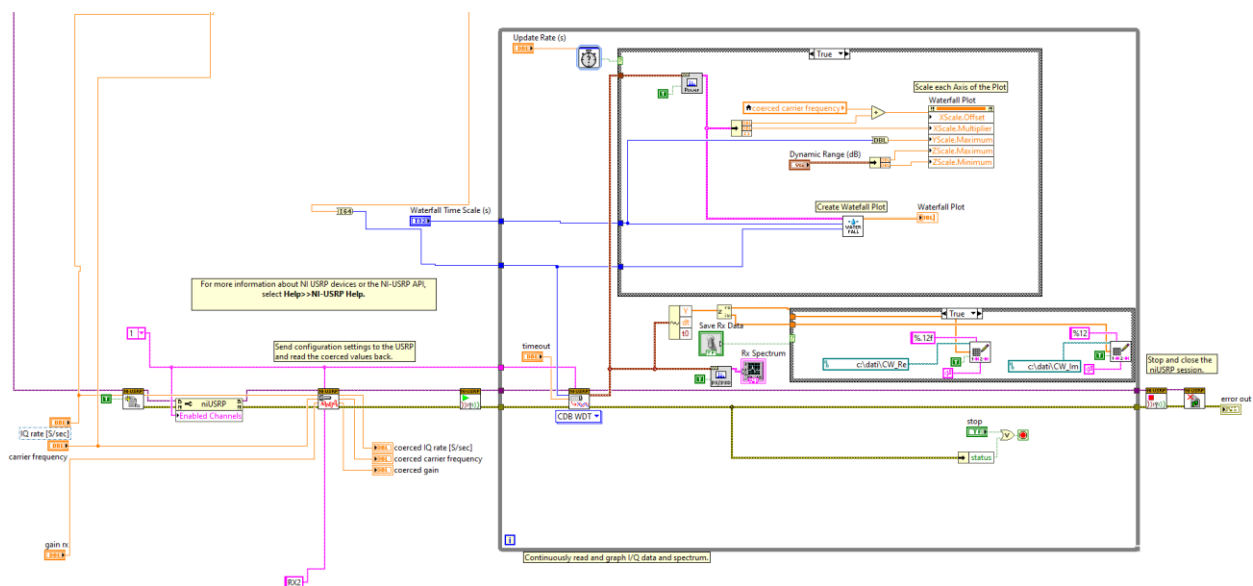


Figura 12.b: schema a blocchi LABVIEW del ricevitore.

Lo spettrogramma viene generato dal sub VI “generate waterfall plot” (visibile nella figura 12.b), al quale è associato il seguente schema a blocchi:

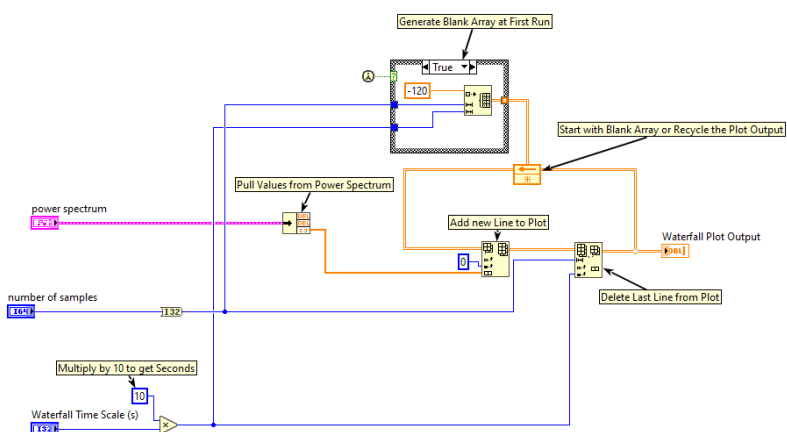


Figura 13: Schema a blocchi LABVIEW del VI “generate waterfall plot”.

Facendo riferimento alla figura 11, il pannello di controllo si comporrà delle seguenti parti (figura 12):

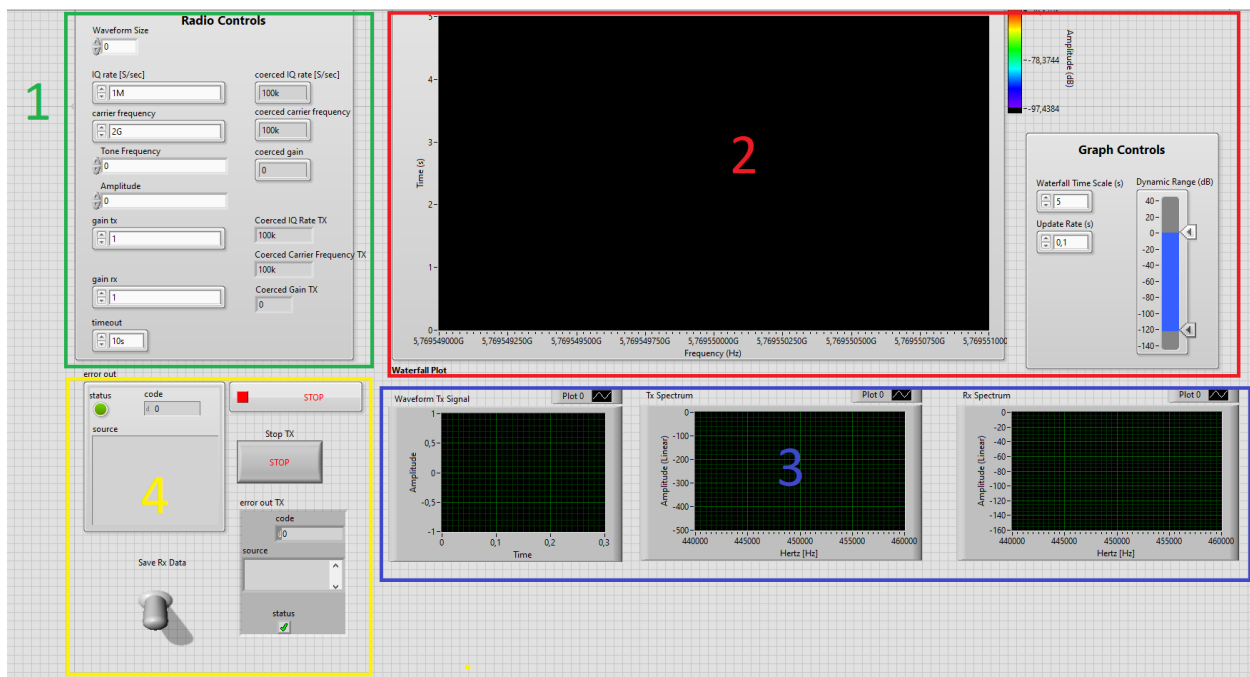


Figura 49: descrizione delle parti del pannello di controllo.

1. Impostazione dei parametri relativi al trasmettitore ed al ricevitore (frequenza della portante e del tono CW, guadagno in trasmissione ed in ricezione, ampiezza del tono CW, numero dei campioni)
2. Spettrogramma del segnale ricevuto, con possibilità di controllare la “definizione” del grafico.
3. Finestra di controllo relativa agli spettri del segnale CW trasmesso e ricevuto e sulla forma d'onda CW nel dominio del tempo.
4. Comandi di interruzione della trasmissione o della ricezione, monitor di controllo degli eventuali errori, tasto per abilitare il salvataggio dei dati.

5. Bibliografia.

- [1] <https://www.elit-roma.com/product/adrian>.
- [2] <https://www.aaronia.com/products/solutions/Aaronia-Drone-Detection-System/>
- [3] https://www.rohde-schwarz.com/it/prodotto/ardronis-i-pagina-iniziale-del-prodotto_63493-34548.html
- [4] <https://www.idscorporation.com/download/black-knight-brochure/>
- [5] <https://www.robinradar.com/elvira-anti-drone-system>
- [6] <https://www.iai.co.il/p/eli-4030-drone-guard>
- [7] C. J. Baker, A. L. Hume, "Netted RADAR Sensing", IEEE AESS Systems Magazine, February 2003.
- [8] R. A. Gilbert, "Waveguide Slot Antenna Arrays", Antenna Engineering Handbook, 2007 McGraw-Hill