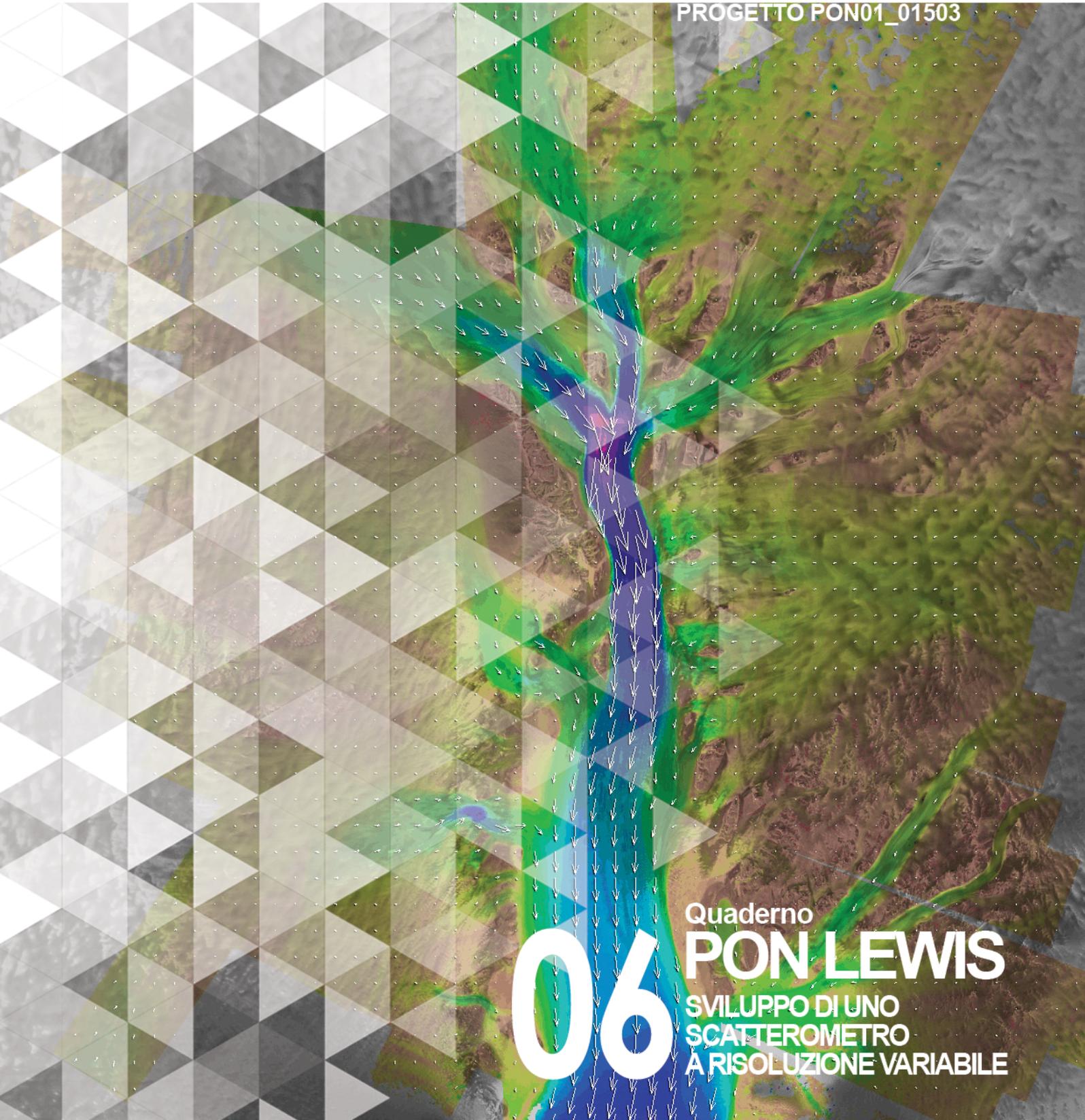


SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO, L'EARLY WARNING
E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
LUNGO LE GRANDI VIE DI COMUNICAZIONE



investiamo nel vostro futuro
PROGETTO PON01_01503



06

Quaderno
PON LEWIS
SVILUPPO DI UNO
SCATTEROMETRO
A RISOLUZIONE VARIABILE



autostrade//Tech



A cura di Giuseppe Di Massa | **DELIVERABLE WP 3.1**
Sviluppo di uno scatterometro a risoluzione variabile

Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione"

Premessa

Frane e inondazioni sono un problema di grande rilevanza nel nostro Paese. Negli ultimi anni le vittime e i danni dei disastri idrogeologici hanno raggiunto livelli inaccettabili e impongono un grande e immediato impegno della comunità nazionale per cercare di mitigare il livello di rischio, utilizzando strategie articolate ed efficaci capaci di integrare, in una visione organica, interventi strutturali e non strutturali.

Su questi temi l'Università della Calabria è impegnata da anni in attività di studio e di ricerca di rilevanza nazionale e internazionale e nella diffusione e promozione della cultura della previsione e prevenzione del rischio idrogeologico. Nel 2011 insieme ad altri partner, ha promosso un progetto di ricerca triennale, "Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione", finalizzato allo sviluppo di un sistema complesso e articolato di preannuncio delle frane da impiegare per le fasi di previsione/prevenzione del rischio idrogeologico.

Il Progetto, indicato con l'acronimo LEWIS (Landslide Early Warning Integrated System), è stato svolto, nel periodo 2012-2014, nel quadro del Programma Operativo Nazionale 2007-13 "Ricerca e Competitività".

I risultati conseguiti sono descritti in questa collana di Quaderni PON LEWIS.

Il progetto è stato sviluppato dall'Università della Calabria e Autostrade Tech S.p.A. insieme ai partner industriali Strago e TDGroup, alle Università di Catania, di Reggio Calabria e di Firenze e al CINID (Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia). Per l'Ateneo calabrese hanno partecipato diversi laboratori e gruppi di ricerca: CAMILab (con funzione di coordinamento), μ Wave, Geomatica, Nems, Geotecnica, Dipartimento di matematica.

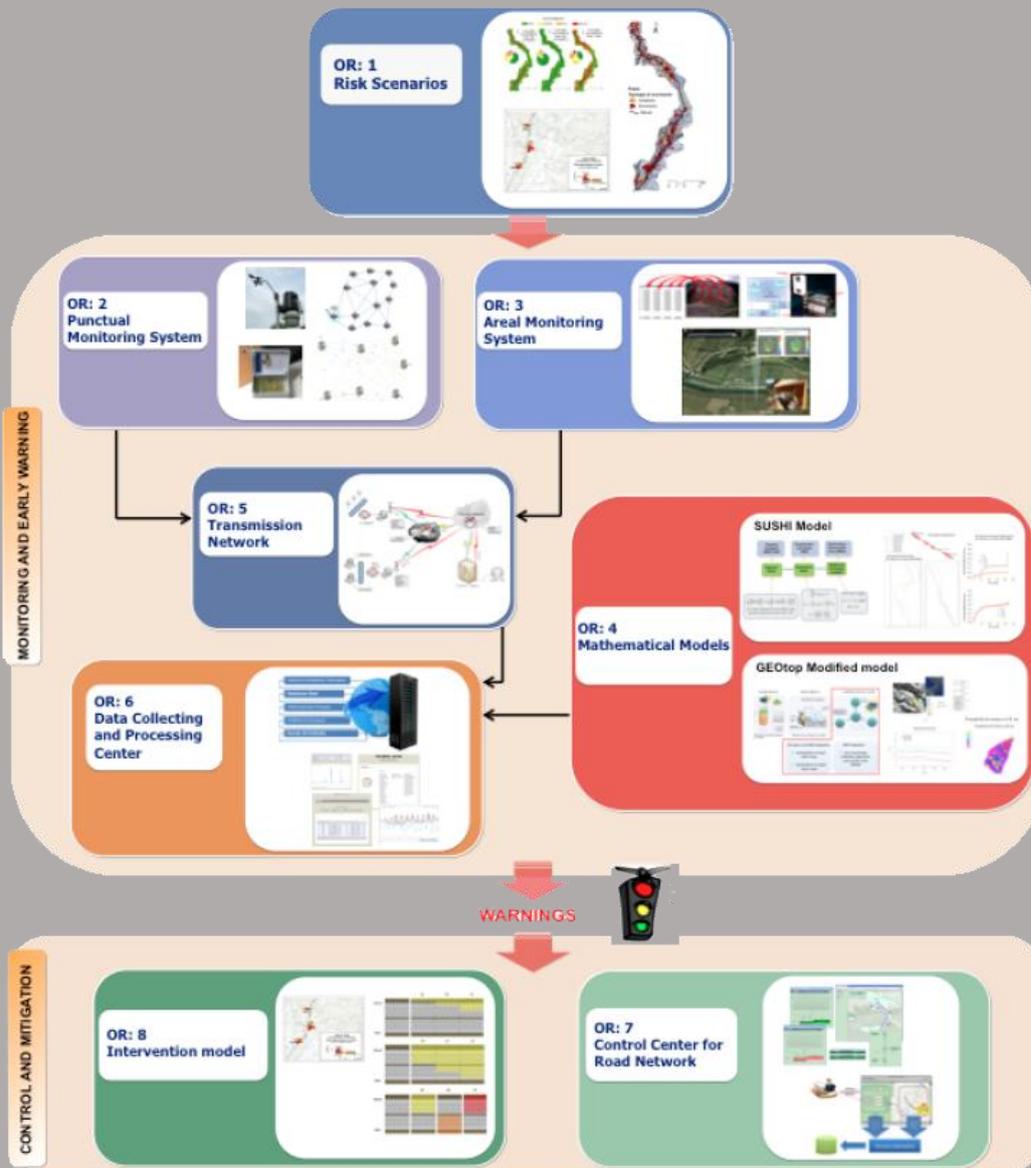


Figura 1 - Articolazione del sistema integrato di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi

Il progetto è finalizzato allo sviluppo di un sistema di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi che possono interessare le grandi vie di comunicazione e all'identificazione dei conseguenti interventi non strutturali di mitigazione.

Il sistema è articolato in due sottosistemi (fig. 1):

- ✓ Monitoraggio e preannuncio,
- ✓ Controllo e mitigazione,

che richiedono la preventiva individuazione degli scenari di rischio ossia dei danni che l'eventuale attivazione di una frana può produrre sugli elementi a rischio presenti (infrastruttura viaria, autoveicoli, persone). La procedura originale sviluppata nell'ambito del progetto prevede l'identificazione, lungo il tratto autostradale di interesse, delle aree soggette a movimenti franosi e la conseguente definizione dei relativi scenari di evento e di rischio.

Il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* è formato da diverse componenti: rete di monitoraggio "puntuale" che comprende sensori che misurano localmente l'inizio degli spostamenti superficiali o profondi; rete di monitoraggio "areale" che include sensori che controllano a distanza il fenomeno franoso con tecniche radar; modelli matematici di simulazione dell'innesco e della propagazione dei movimenti franosi. Nel progetto LEWIS sono state sviluppate numerose componenti innovative e sono state modificate e migliorate altre componenti già esistenti. In particolare tra i sensori puntuali sono stati sviluppati i sistemi SMAMID e POIS; tra quelli areali sono stati realizzati un radar in banda L, uno scatterometro, un interferometro; tra i modelli si sono sviluppati e/o migliorati: GEOtop, SUSHI, SCIDDICA.

La raccolta dei dati misurati dai sensori è affidata ad un unico sistema di trasmissione dati che trasmette anche le informazioni necessarie per il funzionamento dei modelli. Il sottosistema è completato da un Centro di acquisizione ed elaborazione dei dati (CAED) che, sulla base dei dati misurati dai sensori e delle indicazioni dei modelli, valuta la situazione di pericolo lungo il tronco autostradale emettendo i relativi livelli di criticità.

I livelli di criticità emessi dal CAED sono l'elemento di collegamento tra il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* e il sottosistema *Controllo e mitigazione*. Gli avvisi di criticità sono acquisiti dal Centro di comando e controllo del traffico (CCCT) che, sulla base di un modello di intervento predefinito, attiva le procedure standardizzate per la mitigazione del rischio, che vanno dalla

sorveglianza diretta del tratto di interesse da parte di squadre tecniche all'interruzione del traffico su entrambe le direzioni di marcia.

Il progetto prevede anche lo sviluppo di attività sperimentali su tre tronchi autostradali lungo la A3, la A16 e la A18, nonché l'erogazione di un Master di secondo livello denominato ESPRI (ESperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico).

Il progetto di ricerca è stato organizzato in Obiettivi Realizzativi (OR), ciascuno dei quali suddiviso in Work Package (WP), a loro volta articolati in Attività Elementari (AE). In totale erano previste 11 OR, 47 WP e 243 AE. In particolare le OR 1-8 riguardano la ricerca e si articolano in 26 WP e 139 AE. Le OR 9-11 sono dedicate a sperimentazione, governance e trasferimento tecnologico, integrazione e aggiornamento dell'attività di ricerca nella fase di Sviluppo Sperimentale e si articolano complessivamente in 21 WP e 104 AE.

I Quaderni che compongono questa collana sono stati costruiti con riferimento ai singoli WP, per la parte che riguarda la ricerca, e quindi ogni Quaderno contiene la descrizione dei risultati conseguiti nel WP, articolata in base alle AE previste.

Sono, inoltre, previsti altri tre Quaderni:

Quaderno 0 che contiene una descrizione di sintesi, in inglese, dei risultati conseguiti nell'ambito del progetto.

Quaderno 28 che contiene l'informazione relativa alle attività di divulgazione dei risultati scientifici.

Quaderno 29 che contiene la descrizione dei risultati conseguiti con l'attività formativa.

Il Quadro editoriale complessivo è riportato in tabella 1:

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
0	-	-	Research outcomes
01 Parte prima	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
01 Parte seconda	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
02	2	2.1	Monitoraggio idrogeologico
03 Parte prima	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
03 Parte seconda	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
04	2	2.3	Circuiti integrati a bassa potenza per sistemi di monitoraggio con unità accelerometriche
05	2	2.4	Monitoraggio con sensori puntuali di posizione e inclinazione (Sistema POIS)
06	3	3.1	Sviluppo di uno scatterometro a risoluzione variabile
07	3	3.2	Elettronica di bordo dello scatterometro ed inclinazione
08	3	3.3	Sviluppo di un radar in banda L
09	3	3.4	Tecniche di analisi e sintesi di segnali radar per la simulazione accurata di scenari complessi
10	3	3.5	Elettronica di bordo del radar in banda L

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
11	3	3.6	Sistemi interferometrici radar ad apertura sintetica basati a terra
12	4	4.1	Modello areale per il preannuncio delle frane da innesco pluviale (Modello GEOtop)
13	4	4.2	Modelli completi di versante di tipo puntuale per il preannuncio di movimenti franosi (Modello SUSHI)
14	4	4.3	Modelli di propagazione delle frane tipo colate (Modello SCIDDICA)
15	5	5.1	Rete Wireless di Telecomunicazioni: sviluppo e scelta dei parametri di progetto
16	6	6.1	CAED. Acquisizione dati: architettura del sistema
17	6	6.2	CAED. Elaborazione dei dati
18	7	7.1	CCCT. Progettazione
19	7	7.2	CCCT. Interfaccia verso il centro di acquisizione ed elaborazione dati
20	7	7.3	CCCT. Interfaccia con altre centrali operative e canali di diffusione delle notizie
21	7	7.4	CCCT. Modulo per la presentazione e convalida delle allerte
22	7	7.5	CCCT. Modulo per la gestione delle informazioni di traffico
23	7	7.6	CCCT. Integrazioni con moduli speciali

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
24	8	8.1	Definizione del modello di intervento e predisposizione del Piano di Emergenza
25	8	8.2	CCCT. Gestione delivery allerte e attivazione squadre d'intervento
26	8	8.3	CCCT. Gestione percorsi alternativi
27	9	9.1 - 9.11	Sperimentazione
28	10	10.1 - 10.2	Piano di comunicazione e diffusione
29	-	-	Master ESPRI (Esperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico)

Tabella 1 - Quadro editoriale complessivo della collana di Quaderni PON LEWIS

31 dicembre 2014

Il Responsabile Scientifico del progetto PON LEWIS

Pasquale Versace

INDICE

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.1

1 **Analisi della problematica**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.1.2

1 **Valutazione di possibili strategie implementative del sistema in corso**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.1.3

3 **Progetto di sistema**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.1.4

4 **Confronto con i colleghi del Gruppo di Elettronica**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.1.5

9 **Definizione dello schema a blocchi del sistema**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.1.6

12 **Progettazione dei blocchi elementari**

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.7

14 **Verifica funzionale dei blocchi elementari**

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.8

15 **Integrazione con la parte di acquisizione**

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.9

19 **Prima implementazione hardware**

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.10

23 **Test del RADAR in camera anecoica**

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.11

27 **Ingegnerizzazione del sistema, Integrazione Software,
Test del sistema**

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.1

Analisi della problematica

Nell'ambito dei sensori a microonde per telerilevamento gli scatterometri sono dei radar utilizzati per studiare le proprietà di diffusione della superficie terrestre. Essi possono essere montati su postazioni fisse, aerei, elicotteri o, più raramente, satelliti.

Lo scatterometro non produce immagini ma misura la sezione radar dell'oggetto osservato. Esso opera in una banda di frequenze che va da 1 a 10 GHz con quattro polarizzazioni (VV, HH, VH, HV). E' composto essenzialmente da due parti: una parte a microonde (generatore modulato FM, mixers, switchs, antenne etc.) ed una parte di acquisizione ed elaborazione dei dati (scheda di acquisizione e sistema di elaborazione).

I dati permettono di studiare la natura e le caratteristiche del suolo quali conformazione morfologica, umidità, copertura vegetale, permettono lo studio delle superfici acquose rilevando le correnti superficiali marine e di bacino, le cadute piovose e possono venir utilizzati per l'analisi di rocce di natura vulcanica.

Si pensa di sviluppare uno scatterometro che realizzato e successivamente misurato e calibrato con le tecnologie e gli strumenti disponibili presso il Laboratorio di Microonde dell'Università della Calabria, permetta il controllo in posizione e velocità dei fronti di frana.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.2

Valutazione di possibili strategie implementative del sistema in corso

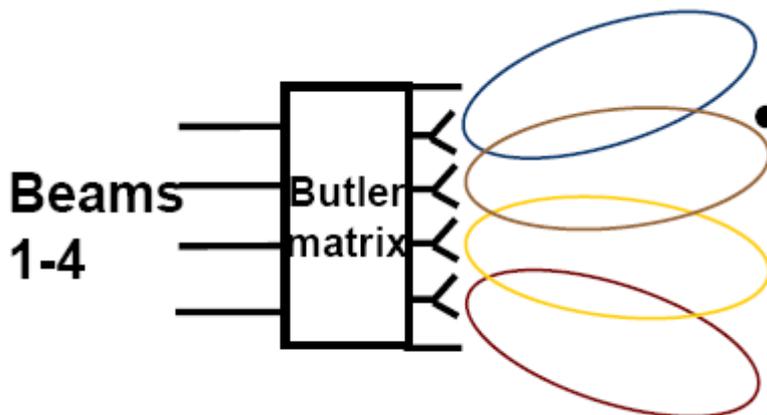
Si sta valutando l'adozione di un schema impiegante due sistemi d'antenna separati, per la ricezione e la trasmissione, allo scopo di ridurre i problemi connessi alle riflessioni interne e alle perdite nei circolatori. Il generatore è costituito da un oscillatore a microonde modulabile linearmente in frequenza da un generatore di onda triangolare. In uscita al generatore di segnale è posto un

isolatore. Il segnale attraversa un accoppiatore direzionale, un isolatore e un deviatore che permette di selezionare la polarizzazione. Il segnale diffuso dalla scena bersaglio viene captato dalla antenna ricevente e mandato ad un mixer dove battendo con il segnale originato dal generatore ci dà il segnale utile a bassa frequenza. In questa descrizione schematica si sono omessi di descrivere componenti come filtri ed amplificatori necessari ad aumentare la figura di rumore.

Una prima implementazione prevedrà una singola polarizzazione rinviando ad una fase successiva l'implementazione della doppia polarizzazione.

Le antenne utilizzate saranno appositamente sviluppate in modo da funzionare con risoluzione variabile. A tal fin si è valutata la possibilità di usare una matrice di Butler per la formazione del fascio ed un array stampato di otto elementi come sistema radiante.

Il sistema di antenna verrà progettato in modo da prevedere una doppia modalità di funzionamento: una modalità a fascio relativamente largo che illumina tutta la zona oggetto di monitoraggio e che, in seguito ad eventi registrati dallo strumento, permette il passaggio ad una seconda modalità di funzionamento quella a fascio stretto scandibile in modo da illuminare e selezionare la zona oggetto dell'evento.

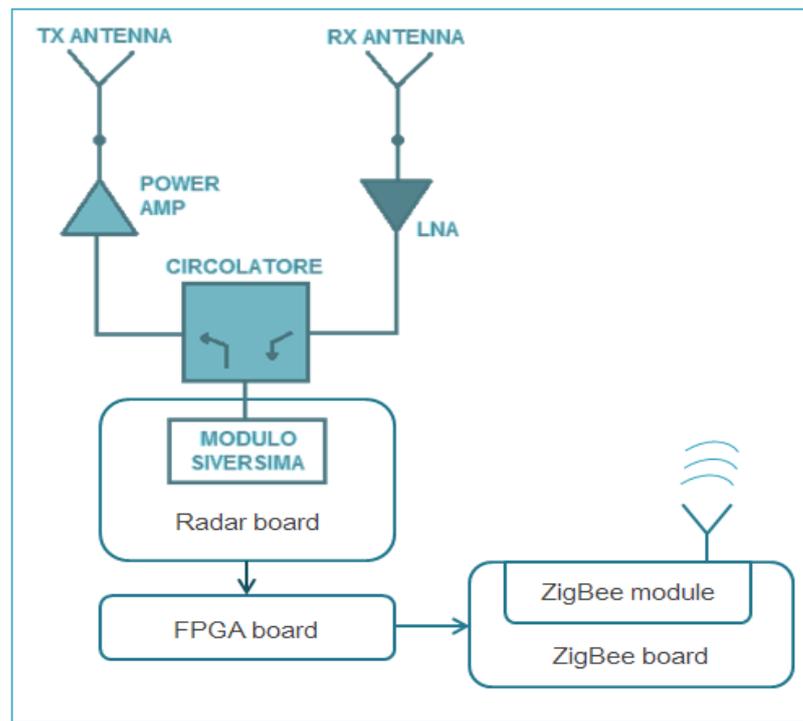


Particolare cura verrà posta nella progettazione del sistema di commutazione che, evitando i sistemi di controllo elettronici costosi e delicati nella gestione, utilizzerà sistemi passivi quali matrici di Butler con un microswitch per la commutazione dei fasci.

Progetto di sistema

Il sistema è stato progettato intorno al modulo SIVERSIMA RS3400X operante in banda X ed inizialmente pensato come sensore per piccole distanze. Per estendere le caratteristiche del radar il sensore è stato dotato di una scheda di acquisizione capace di dialogare con esso e trasferire istante per istante nella sua memoria i valori di frequenza del segnale da immettere nella catena di amplificazione.

La scheda è stata dotata di un convertitore analogico-digitale in grado di trasformare il segnale a frequenza intermedia in uscita dal sensore in un segnale digitale a 16 bit. Questi dati digitali sono poi trasferiti ad una scheda elettronica esterna ospitante un circuito integrato FPGA, che avrà il compito di pre-elaborare in tempo reale il flusso di campioni.



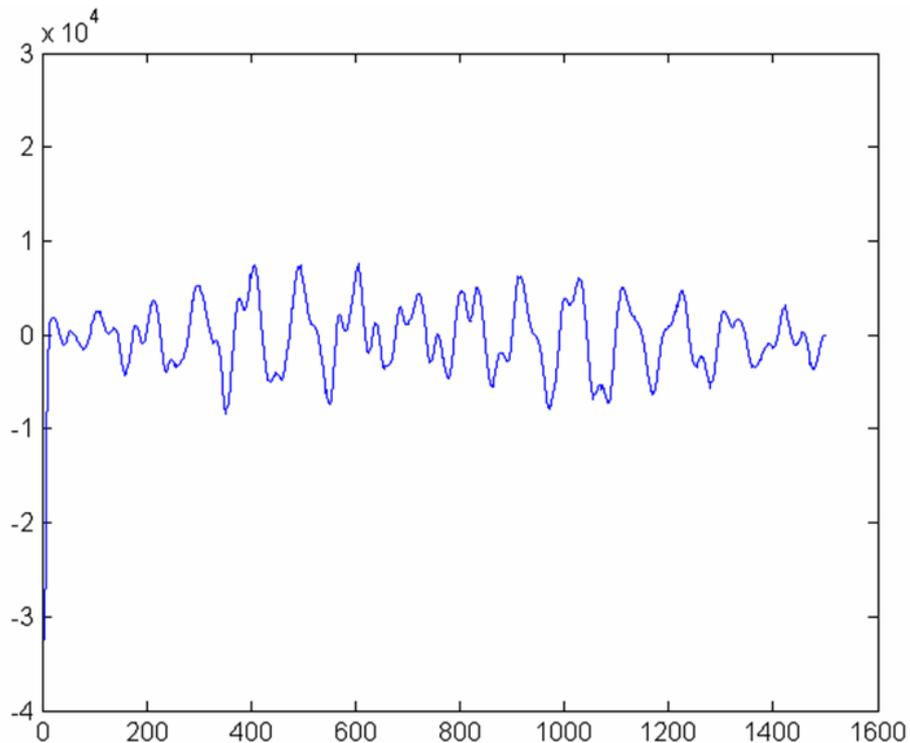
Schema a blocchi del RADAR

Confronto con i colleghi del Gruppo di Elettronica

Il confronto con i colleghi di Elettronica è stato continuo e ha permesso la definizione delle problematiche legate alle caratteristiche del segnale in uscita dal modulo RADAR e alla successiva elaborazione che avverrà sulla board in progettazione.

Il risultato dei numerosi incontri ha portato alla definizione dei parametri di definizione dell'elettronica, in particolare il numero di campioni su cui effettuare l'FFT ha condizionato la progettazione del modulo di elaborazione.

Il segnale da dover trattare viene dalla differenza, mediante mixer, tra quello trasmesso, modulato in frequenza, e quello ricevuto. Dopo opportuno filtraggio il segnale risultante ha una forma abbastanza regolare, quasi sinusoidale, con una frequenza massima di circa 100 KHz. Nel seguito un esempio di segnale acquisito.



Poiché gli scenari possono essere molto variegati queste informazioni possono cambiare in ragione della variabilità dei parametri.

Le operazioni da compiere sul segnale saranno:

- 1) Conversione AD;
- 2) FFT;
- 3) Identificazione dei picchi corrispondenti alle distanze lette.

In un secondo tempo si dovranno implementare altre funzioni di gestione quali ad es.

- 1) Effetto doppler per la misura della velocità;
- 2) Eventuale interferometria temporale e/o spaziale.

Sono state stabilite molte delle specifiche di comunicazione tra la scheda RADAR e la scheda FPGA, ossia:

- ✓ I livelli di tensione tra le due architetture;
- ✓ L'interfaccia di comunicazione;
- ✓ Il protocollo di comunicazione;
- ✓ Introduzione di un sistema di condizionamento del segnale (filtro attivo);
- ✓ Il sistema remoto di accensione/spegnimento del RADAR.

Oltre alle specifiche di comunicazione sono stati concordati il sistema di distribuzione dell'energia ed il sistema remoto di accensione/spegnimento del RADAR.

Livelli di tensione tra le due architetture

Il microcontrollore attualmente ospitato dalla scheda RADAR è ATmega1284P della famiglia ATMEL. Esso possiede 4 porte output gestite in logica TTL (5V). Poiché la Smartfusion (scheda FPGA) gestisce le sue porte input in logica CMOS (3.3 V), non è possibile porre in comunicazione diretta le due architetture. La soluzione più immediata per abbassare le tensioni provenienti dalla scheda RADAR è interporre un'interfaccia di comunicazione intermedia ospitante un

partitore di tensione per ciascuna linea del BUS dati. Attualmente il connettore della scheda RADAR fornisce/riceve i seguenti segnali elettrici:

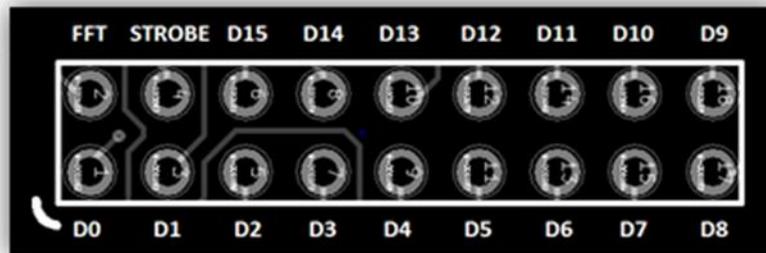


Figura 1. Footprint del connettore della scheda RADAR.

I pin che vanno da D0 a D15 forniscono i 16 bit digitali alla scheda FPGA, il pin STROBE fornisce il clock che sincronizza (e distanzia temporalmente) le acquisizioni di ogni singolo campione ed il pin FFT (più comunemente indicato come `fpga_ready`) riceve dalla scheda FPGA il segnale di inizio (e fine) dell'elaborazione, al termine di ogni misura (ogni misura comprende circa 22000 campioni).

Attualmente i ground vengono connessi mediante una linea separata dal connettore, ma il prototipo finale presenterà i seguenti cambiamenti:

- ✓ Eliminazione dell'interfaccia intermedia di comunicazione;
- ✓ Introduzione di un segnale che scandisce inizio e fine della misura;
- ✓ Utilizzo di un cavo DVI-D Dual Link per il trasporto dati.

L'eliminazione dell'interfaccia sarà possibile in seguito all'utilizzo di un microcontrollore ATMEL AT32UC3A0512 a 32 bit, che offre prestazioni superiori e fornisce i segnali direttamente in logica CMOS.

Il nuovo microcontrollore sarà a sua volta ospitato da una scheda ATMEL EVK1100 provvista di porte Ethernet, USB, Seriali ed un display.

Interfaccia di comunicazione

L'interfaccia intermedia, come specificato in precedenza, ospita 18 linee, su 17 delle quali è interposto un partitore di tensione (figura. 1). La 18ª linea non necessita di partitore di tensione poiché ha il ruolo di livellare i potenziali di riferimento (ground) delle due architetture.

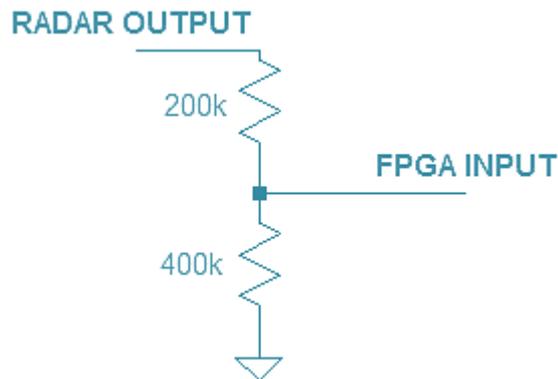


Figura 2. Partitore di tensione.

Tra le due schede è presente una ulteriore linea attiva che non necessita di interfaccia (la linea "fpga_ready"), poiché il segnale attivo proviene dalla scheda FPGA e dunque opera in logica CMOS (3.3V). Il microcontrollore quindi non può essere danneggiato da una tensione così bassa né incontra difficoltà nel discriminare il dato digitale trasmesso.

Oltre alle specifiche di comunicazione sono stati concordati il sistema di distribuzione dell'energia ed il sistema remoto di accensione/spegnimento del RADAR.

Facendo riferimento allo schema di controllo riportato nell'attività AE 3.1.11 si è utilizzato per il controllo remoto il minicomputer SBC Raspberry che controlla un PowerSwitch Tall Kit che a sua volta da alimentazione a tutto il sistema.

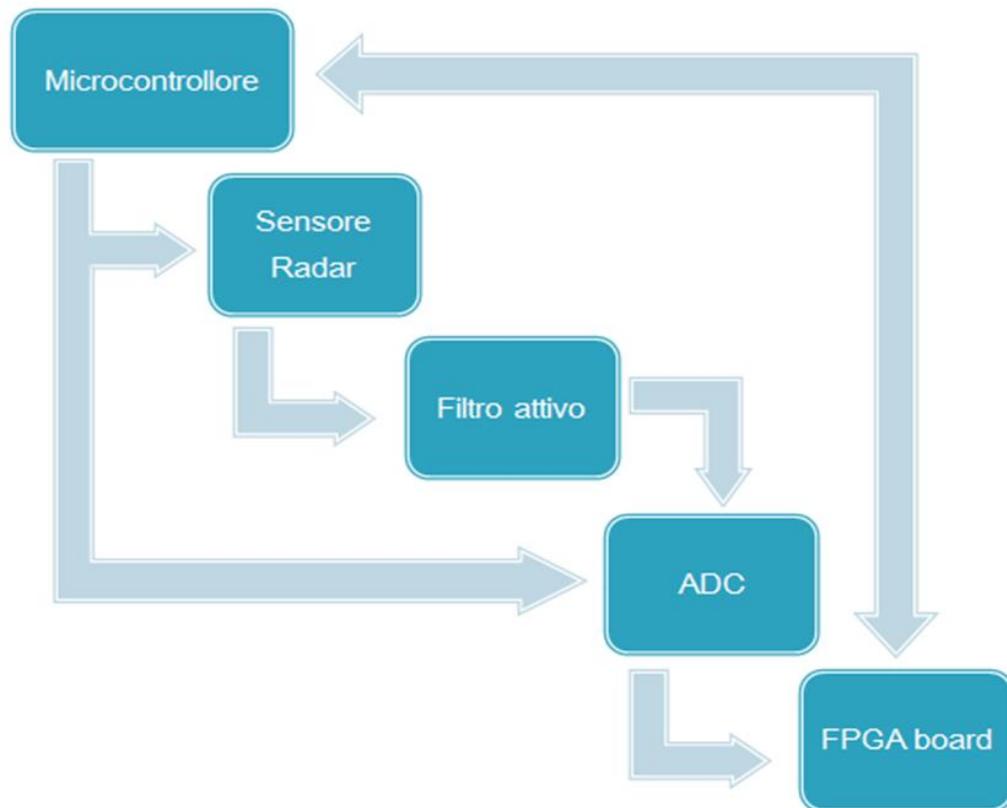


I colleghi di Elettronica hanno consegnato, a metà settembre, i materiali sviluppati per l'integrazione con la parte radar.

Definizione dello schema a blocchi del sistema

I compiti principali ai quali la scheda deve assolvere sono i seguenti:

- ✓ Trasferimento digitale dei valori di frequenza all'interno della memoria del sensore;
- ✓ Filtraggio del segnale analogico in uscita al sensore;
- ✓ Sincronizzazione del convertitore analogico/digitale con il circuito integrato FPGA;
- ✓ Sincronizzazione delle fasi di acquisizione e pre-elaborazione.



Schema a blocchi del flusso di segnali sulla scheda

Oltre alle funzioni principali, la scheda deve possedere altre caratteristiche dettate dalle condizioni ambientali operative, quali:

- ✓ Stabilità termica;
- ✓ Stabilità elettronica (protezioni da sovratensioni, sovracorrenti, ESD);
- ✓ Resistenza alla corrosione;
- ✓ Operatività in un range di temperatura ampio (-20 °C ~ 80 °C).

I principali blocchi del sistema sono elencati nel seguito:

Microcontrollore (Atmel ATmega1284P)

Il microcontrollore scelto è un ATmega1284P della Atmel, la cui frequenza massima di esercizio è di 8 MHz. Ha il compito di coordinare tutte le operazioni che avvengono nella scheda elettronica nonché di programmare il sensore e gestirne la conversione dell'output analogico. Il microcontrollore si occupa inoltre di pilotare il convertitore A/D e sincronizzare il flusso dei dati digitali in uscita con l'elettronica della FPGA board.

Sensore

Il sensore radar RS3400X della SiversIMA offre la possibilità di generare frequenze che vanno da 9.25 GHz a 10.75 GHz, accettando variazioni minime di 11718.75 Hz. In uscita restituisce un segnale a bassa frequenza il cui contenuto spettrale dipende dagli ostacoli incontrati dal segnale RF retrodiffuso. A risoluzione massima (10 cm) può rilevare ostacoli fino ad una distanza teorica di 6.4 km, sfruttando l'intera gamma di frequenze sintetizzabili (1500 MHz).

A risoluzioni diverse, il limite teorico della portata del sensore si assesta sui 12.8 km, distanza oltre il quale è necessario introdurre accorgimenti esterni (divisori di frequenza, filtri etc.).

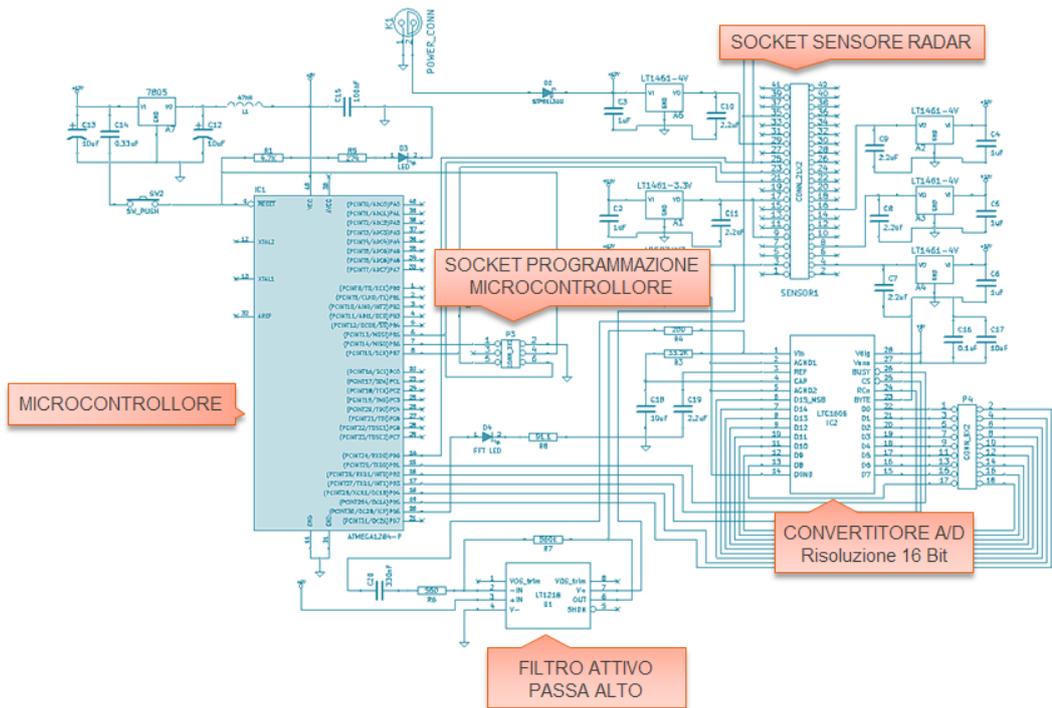
Filtro attivo passa alto

Il filtro attivo passa alto ha il compito di eliminare dal segnale in uscita al sensore le basse frequenze prodotte dagli oggetti situati in prossimità del radar e dalle riflessioni multiple che avvengono all'interno del sensore stesso.

Convertitore A/D

All'uscita del filtro attivo è presente il convertitore analogico digitale parallelo LTC1606 della Linear Technology, la cui risoluzione (16 bit) consente di rilevare variazioni di tensione di $76 \mu\text{V}$ sul segnale a frequenza intermedia. Sebbene il microcontrollore imponga tempi di attesa di $50 \mu\text{s}$ su ogni acquisizione, il convertitore potrebbe anche acquisire i campioni in tempi più brevi ($4 \mu\text{s}$).

Sulla base degli elementi descritti è stata progettata la board riportata nella figura seguente.



Layout della radar board

Lo spessore del circuito è di 1 mm ed i pad dei circuiti integrati sono stati rivestiti di argento chimico antiossidante altamente conduttivo. Alcuni componenti passivi presenti sulla scheda rispettano specifiche stringenti in termini di stabilità termica ed elettronica che normalmente vengono imposte ai componenti utilizzati nelle apparecchiature elettroniche di tipo militare.

I componenti principali riportati nello schema a blocchi mostrato in precedenza necessitano di ulteriori accorgimenti per poter essere utilizzati correttamente.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.6

Progettazione dei blocchi elementari

Microcontrollore

E' il nucleo della scheda e deve essere programmato possibilmente on-board, in modo tale da poter intervenire e risolvere eventuali problemi in loco, collegando un pc portatile alla scheda. Nel caso in cui dovesse essere necessaria la sostituzione del microcontrollore è possibile estrarre il circuito integrato inserendone uno nuovo nell'apposito socket.

Il pin CLK_SPI del microcontrollore è utilizzato sia durante la programmazione (una tensione negativa è applicata ad esso) sia durante il controllo del sensore (una tensione positiva è presente su di esso). E' stato dunque necessario inserire un diodo tra il pin CLK_SPI ed il sensore, in modo impedire la propagazione della tensione negativa. Il microcontrollore è stato equipaggiato anche di una rete di avvio rallentato (circuito RL) per evitare eventuali fluttuazioni di tensione all'accensione, al reset e nella fase di spegnimento del radar.

Riferimenti di tensione

Al sensore sono forniti alcuni riferimenti di tensione ad alta precisione: un riferimento da 10 V, un riferimento da 3.3 V e quattro riferimenti da 4 V. Questi integrati forniscono le tensioni di alimentazioni necessarie al funzionamento dell'elettronica integrata all'interno del modulo SiversIMA (PLL, VCO e altro).

In caso di guasto, anche il sensore è equipaggiato di socket per facilitarne la sostituzione.

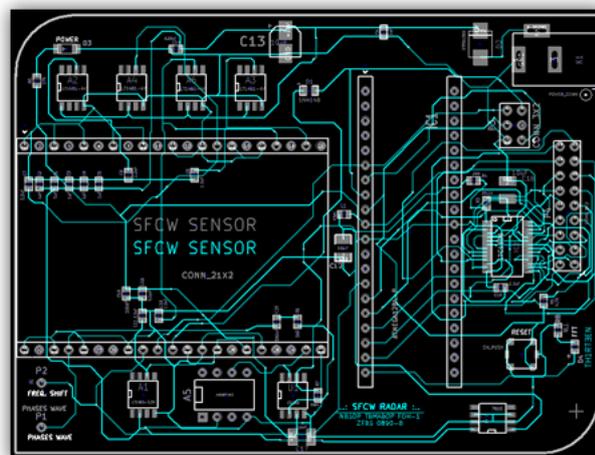
Convertitore A/D

Il convertitore è provvisto di una rete passiva esterna che ha lo scopo di filtrare il rumore prodotto dalla circuiteria interna ad esso. L'acquisizione e la conversione dei dati avviene mediante un segnale di strobe inviato dal microcontrollore in un tempo relativamente breve (circa 4 μ s).

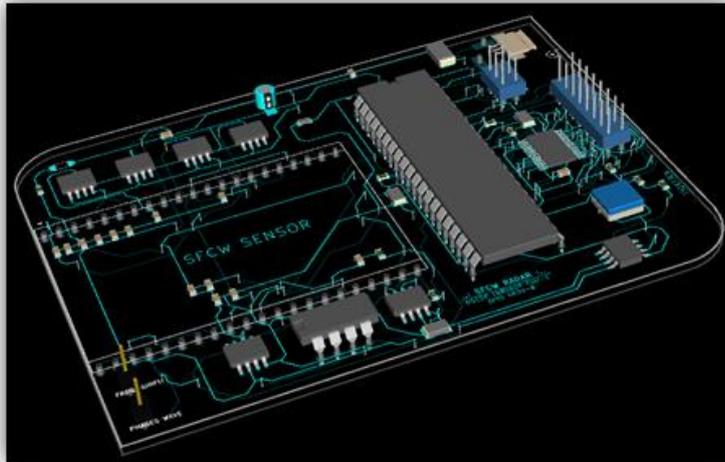
Attraverso il socket del sensore radar vengono trasmessi i segnali di controllo, le tensioni di riferimento (e alimentazione) ed un segnale di "enable" che convalida i comandi inviati dal microcontrollore.

Ogni 50 μ s il microcontrollore varia la frequenza del radar per generare il cosiddetto "chirp", ovvero un segnale sinusoidale la cui frequenza cresce linearmente nel tempo.

Questa configurazione estende le caratteristiche del sensore, spostando il problema della massima portata del radar sulla catena di amplificazione e sulla capacità di calcolo dell'FPGA. Maggiore è la distanza, maggiore sarà la potenza richiesta per contrastare l'attenuazione del segnale, maggiore sarà il numero di campioni da elaborare.



PCB radar board: dimensioni 75 mm x 100 mm



Modello 3D del prototipo da realizzare

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.7

Verifica funzionale dei blocchi elementari

Il microcontrollore ha il compito di comunicare al sensore i valori di frequenza da irradiare istante per istante. La comunicazione tra le due parti elettroniche (microcontrollore e sensore) avviene in modalità sincrona.

Il sensore è inizialmente programmato per rimanere sul suo valore di frequenza iniziale (9,25 GHz, ossia $N = 1$). Quando si esegue uno sweep lineare incrementando N da 1 a 32000 (corrispondente al valore di frequenza di 10.75 GHz), si esplora una banda complessiva di 1500 MHz.

La funzionalità del microcontrollore è stata testata implementando la comunicazione con il modulo radar in diversi scenari operativi.

E' stata inoltre verificata la capacità di comunicazione con la scheda sviluppata dagli elettronici verificando il corretto passaggio dei dati e la corretta elaborazione degli stessi.

Integrazione con la parte di acquisizione

La scheda FPGA ha il compito di acquisire tutti i campioni digitali dalla scheda RADAR e calcolare una FFT a 1024 o 65536 campioni (la scelta è possibile caricando un firmware diverso). La comunicazione con la scheda RADAR avviene rispettando il protocollo hardware custom definito in corso d'opera con il gruppo di elettronica. Attualmente i passaggi fondamentali che governano l'intero meccanismo di acquisizione sono mostrati in figura 3. Nelle prime misure realizzate ci si è resi conto che il segnale proveniente dalla scheda RADAR, senza un adeguato condizionamento, non può essere elaborato dalla scheda FPGA per produrre un risultato valido.

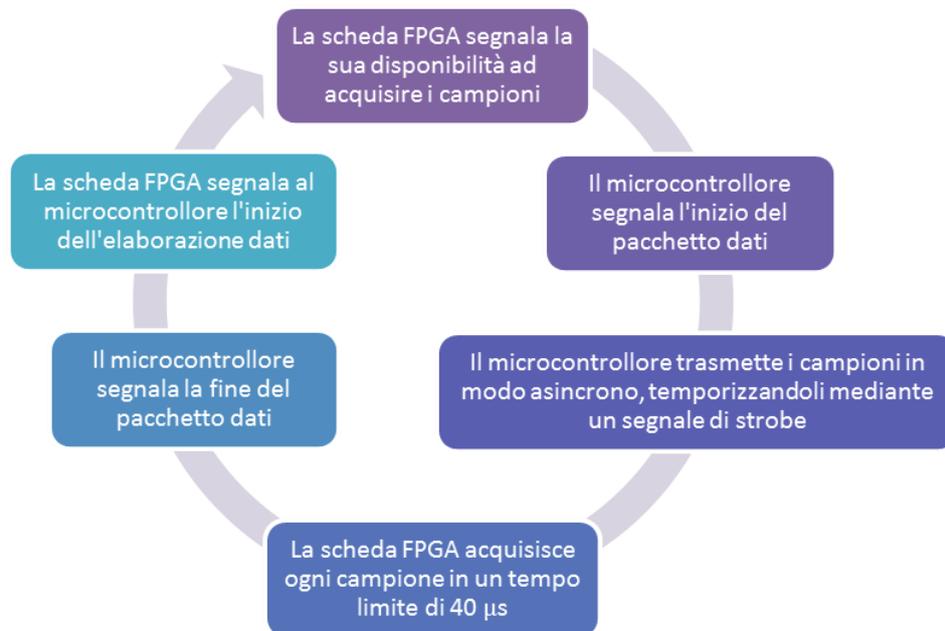


Figura 3. Protocollo hardware di comunicazione tra scheda RADAR e scheda FPGA.

In seguito ai risultati ottenuti è stato realizzato uno studio più approfondito sul segnale RADAR, ricavandone i seguenti aspetti qualitativi:

- ✓ E' presente un notevole valore di offset;
- ✓ Il rumore presente nel segnale è localizzato sulle basse frequenze.

Una parte del rumore è dovuta alle riflessioni che avvengono all'interno del sensore stesso e di conseguenza racchiude in sé gran parte dell'energia (e quindi della dinamica) del segnale.

In figura 4 si notano sia l'elevato offset (evidenziato nell'ovale rossa) sia la modulazione a bassa frequenza che distorce l'intera dinamica del segnale utile. Poiché il rumore occupa gran parte dell'energia del segnale, calcolare una FFT senza alcun condizionamento significherebbe eliminare di netto il segnale utile a vantaggio del solo rumore.

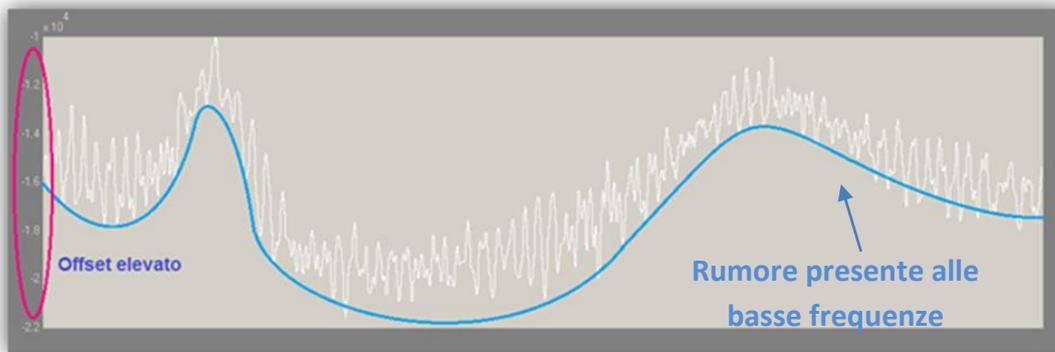


Figura 4. Segnale digitale acquisito dalla scheda RADAR misurando un cavo coassiale di 2 m.

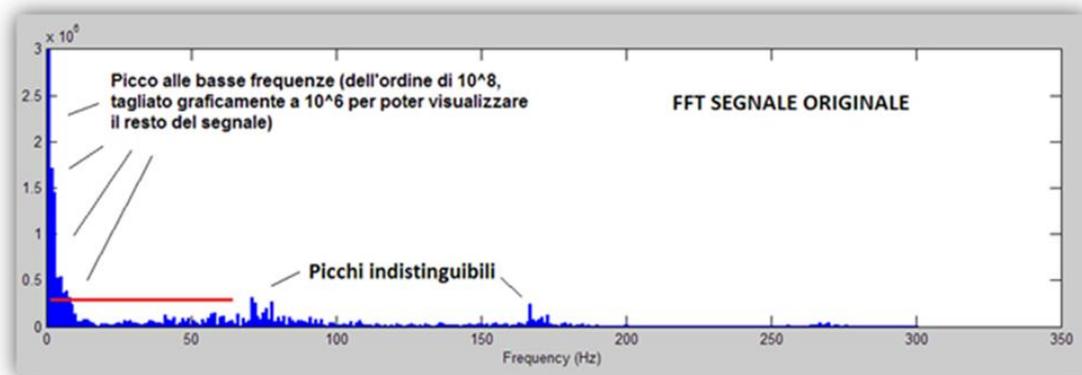


Figura 5. FFT del segnale originale: il rumore alle basse frequenze è di gran lunga superiore al segnale utile.

In figura 5 si può chiaramente notare la disparità di energia tra il rumore (localizzato alle basse frequenze) ed il segnale utile (presente a 70 Hz e 165 Hz ed indicato dalla sigla: picchi indistinguibili). Considerando la natura del rumore e tenendo conto che il fronte da monitorare sarà distante dal RADAR è ragionevole pensare di inserire un filtro passa alto per troncature di netto la parte di spettro contenente il rumore e le riflessioni vicine. Il filtro deve però offrire una serie di caratteristiche ben definite, tra le quali un valore di attenuazione minimo di 70 dB alle basse frequenze, ed una variazione massima di ± 1 dB sul resto dello spettro. Nessun filtro passivo convenzionale è in grado di offrire caratteristiche così spinte, pertanto si è reso necessario introdurre un filtro attivo di ordine 63 (figura 6b).

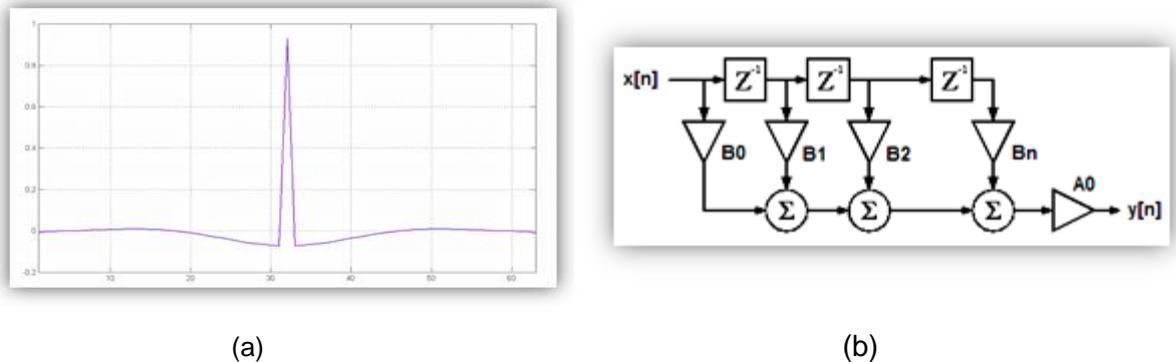


Figura 6. Filtro di ordine 63: (a) risposta al gradino; (b) schema a blocchi.

La parte più onerosa del terzo SAL è risultata essere l'implementazione del filtro su un microcontrollore a 8 bit (lo stesso utilizzato per il controllo del sensore). Il set di istruzioni del microcontrollore permette di moltiplicare soltanto numeri a 8 bit, ma il filtro richiede moltiplicazioni di numeri con segno a 16 bit. Per realizzare un filtro di tale complessità, occorre disporre di un buffer circolare, del quale il microcontrollore è sprovvisto. Per risolvere i problemi esposti sono state create delle soluzioni ad hoc, in conseguenza alle quali il filtraggio risulta perfetto (figura 7) ma estremamente lento.

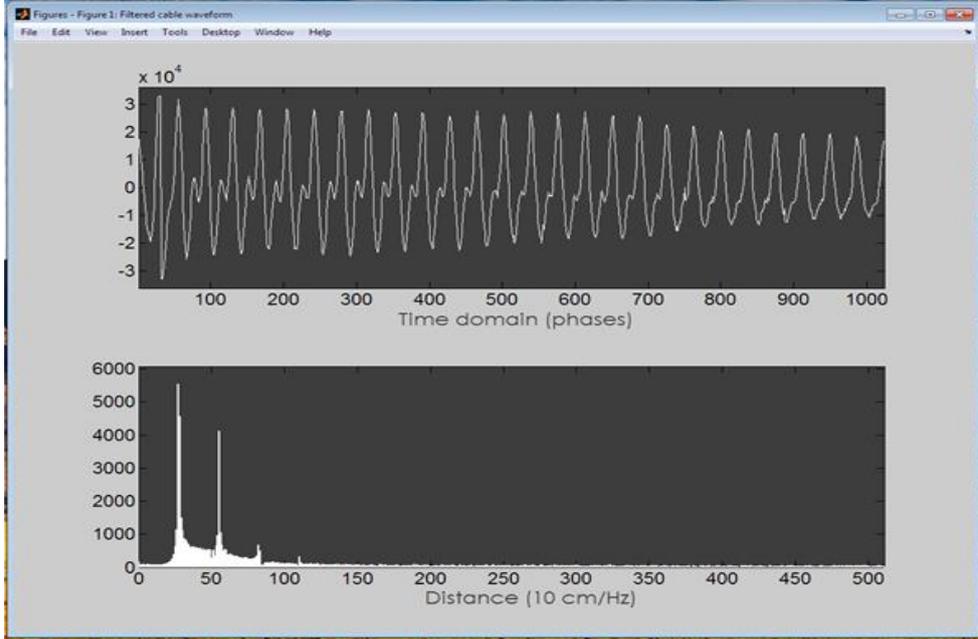


Figura 7. Segnale filtrato (in alto) e relativa FFT realizzata in Matlab (visibile in basso).

Il segnale in figura 7 appare privo di offset e privo di modulazione a bassa frequenza, confermando l'efficacia della soluzione scelta per l'eliminazione del rumore. In seguito all'implementazione del filtro è stato possibile realizzare un secondo test con il gruppo di elettronica, al fine di ottenere i primi risultati pratici sfruttando congiuntamente le due schede (RADAR ed FPGA) ed il filtro. Sono stati trasferiti (via software) i dati della misura su cavo (mostrati in figura 7) alla scheda FPGA per confrontare la FFT generata con la FFT prodotta in Matlab. I risultati sono pressoché identici (figure 8a e 8b) sia realizzando una trasformata di Fourier a 1024 campioni, sia realizzandone una a 65535 campioni mediante aggiunta di campioni nulli sul segnale (zero-padding).

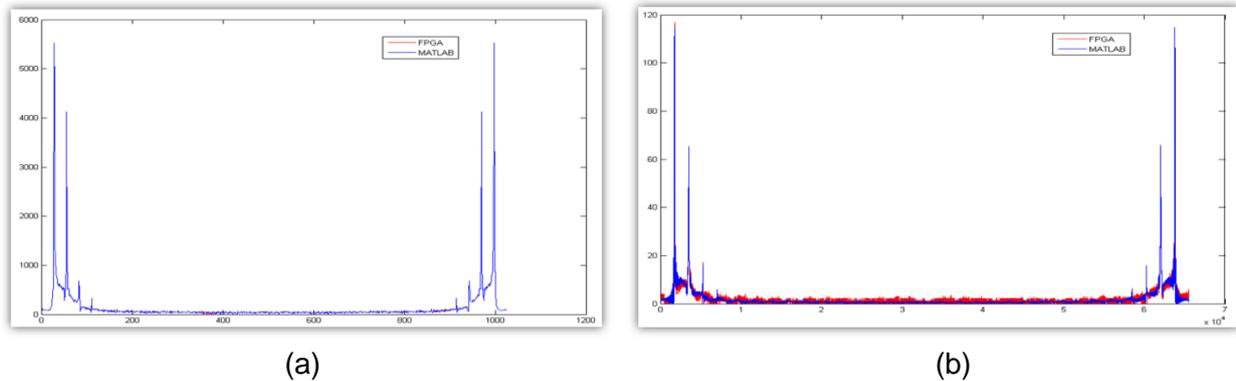


Figura 8. Hardware FFT: (a) 1024 campioni (b) 65535 campioni (zero padding).

In figura 8a le due FFT appaiono identiche, mentre in figura 8b appare una piccola quantità di rumore aggiunto (in rosso) dovuto ai troncamenti tipici delle architetture hardware che lavorano in fixed point (16 bit). Ciononostante, il rumore introdotto è di gran lunga inferiore al segnale utile.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.9

Prima implementazione hardware

Al termine del secondo SAL era stato illustrato il layout della scheda RADAR non ancora fisicamente realizzato. Prima della sua realizzazione sono stati condotti ulteriori test sulla sensibilità del segnale RADAR acquisito, scegliendo opportunamente il convertitore A/D. Il primo passo è stato quello di ricavare una relazione matematica capace di descrivere la sensibilità in tensione richiesta dal convertitore A/D in funzione della distanza osservata:

$$\gamma(d, N) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi d}{N \cdot \Delta R} \right) \right)$$

N rappresenta il numero di campioni, d è la distanza osservata e ΔR è la risoluzione in range. Il plot di alcune curve (figura 9) mostra l'andamento della sensibilità in funzione della distanza e del numero di campioni, mantenendo fissa la risoluzione in range (0.1 m).

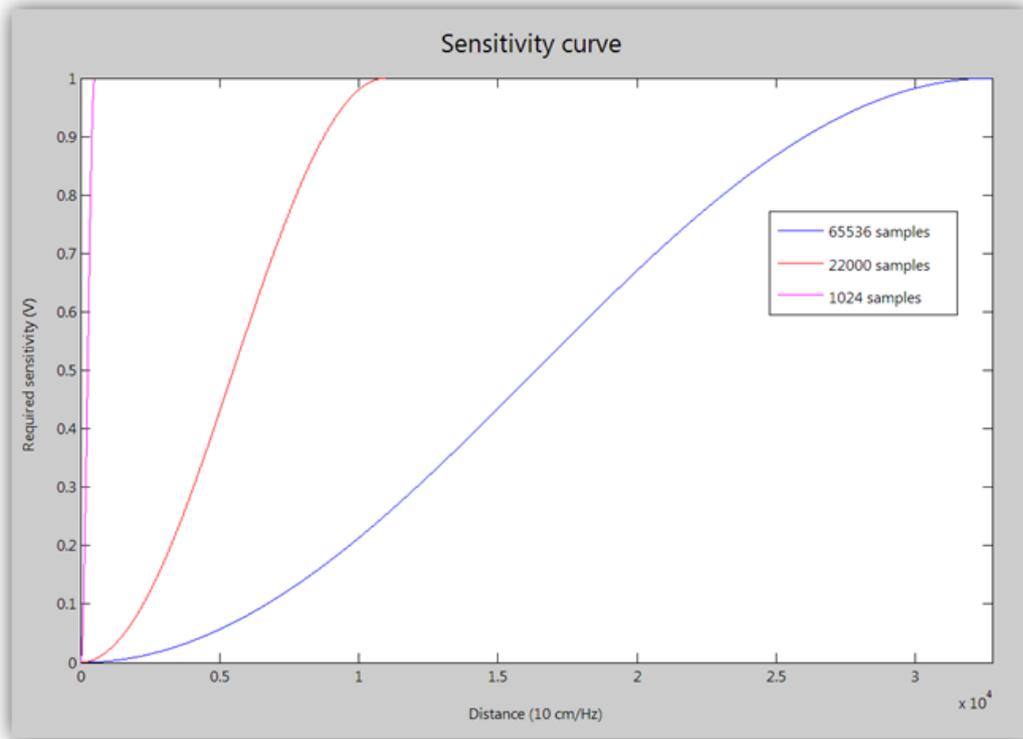


Figura 9. Alcune curve di sensibilità espresse fissando la risoluzione in range a 0.1 m.

Dal grafico è possibile evincere che una sensibilità maggiore è richiesta per discriminare correttamente gli oggetti nelle immediate vicinanze dal RADAR. E' possibile comprendere meglio il fenomeno osservando il grafico successivo (figura 10), le cui distanze raffigurate (60 cm, 12.3 m, 36.5 m) rappresentano il limite "inferiore" al di sotto del quale, con il convertitore A/D attuale, non è fisiologicamente possibile ottenere una misura valida. Il convertitore scelto offre una dinamica di ± 10 V che unitamente ad una risoluzione di 16 bit può fornire una sensibilità massima di $305 \mu\text{V}$.

Su un range di osservazione di circa 1 km si possono ragionevolmente perdere i primi 12 metri (1,1% del range totale), anche in virtù del fatto che nei primi metri è concentrato il rumore di cui si è parlato in precedenza.

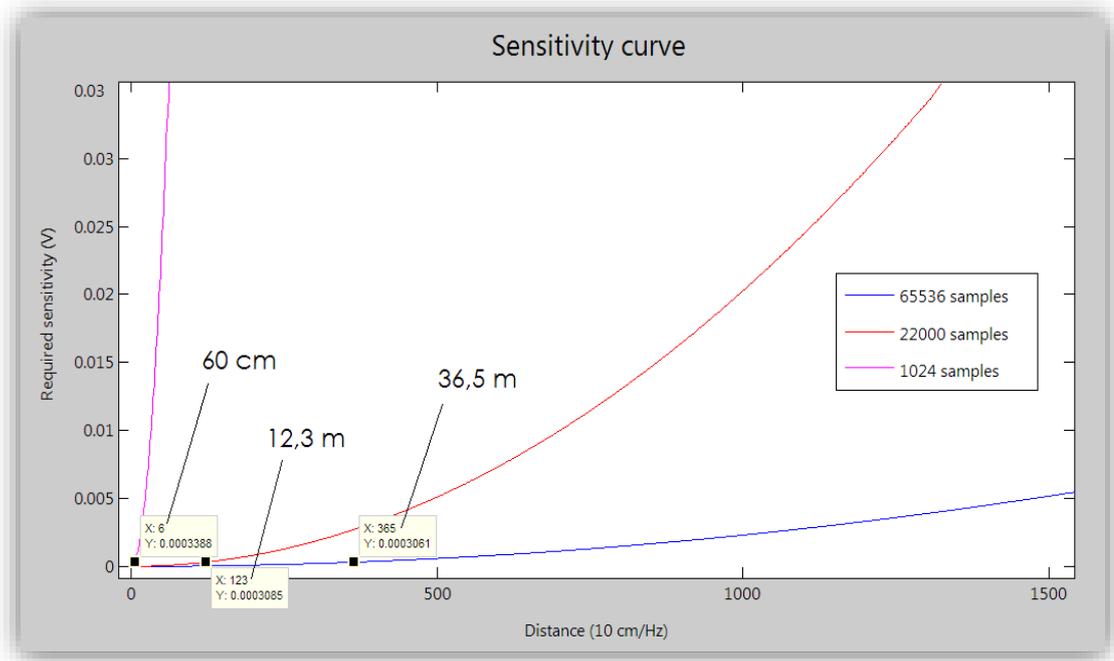


Figura 10. Distanze limite al di sotto delle quali i target non possono essere correttamente rilevati.

Una volta confermata la scelta del convertitore è stato possibile realizzare fisicamente il prototipo della scheda (figura 11). La fase di test del modulo è stata preceduta da una serie di controlli accurati specifici, a beneficio della stabilità elettronica dello stesso modulo RADAR e dell'elettronica di supporto.

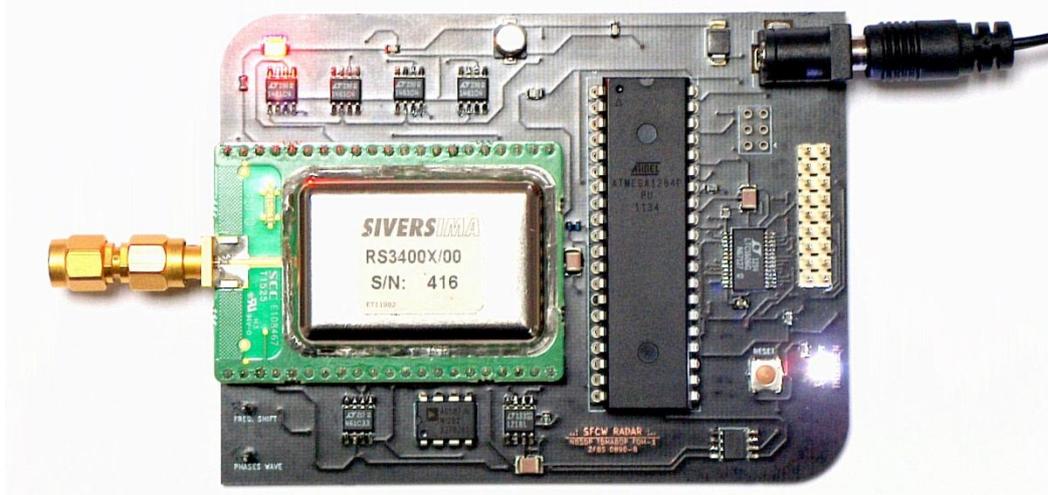


Figura 11. Modulo SFCW RADAR in banda X.

Per la realizzazione dei test è stato necessario costruire un sistema di acquisizione temporaneo basato su un microcontrollore ATmega1284P ospitato su una scheda di prototipazione Atmel STK500. Sullo stesso microcontrollore è stato implementato anche il filtro digitale introdotto precedentemente.

Dopo aver realizzato le prime acquisizioni e verificato l'effettiva funzionalità del sistema è stato possibile connettere (figura 12) la scheda RADAR alla scheda FPGA, mediante l'interfaccia di conversione TTL-CMOS.

Il circuito di filtraggio non è visibile in figura 12, poiché attualmente esso può essere collegato solo al computer mediante interfaccia RS232. In questa prima fase si è preferito verificare il funzionamento del protocollo hardware connettendo le due architetture. Il calcolo della FFT sul segnale filtrato è stato realizzato acquisendo i campioni filtrati sul computer ed immettendoli sulla memoria della scheda FPGA attraverso le interfacce standard presenti sulla scheda stessa.

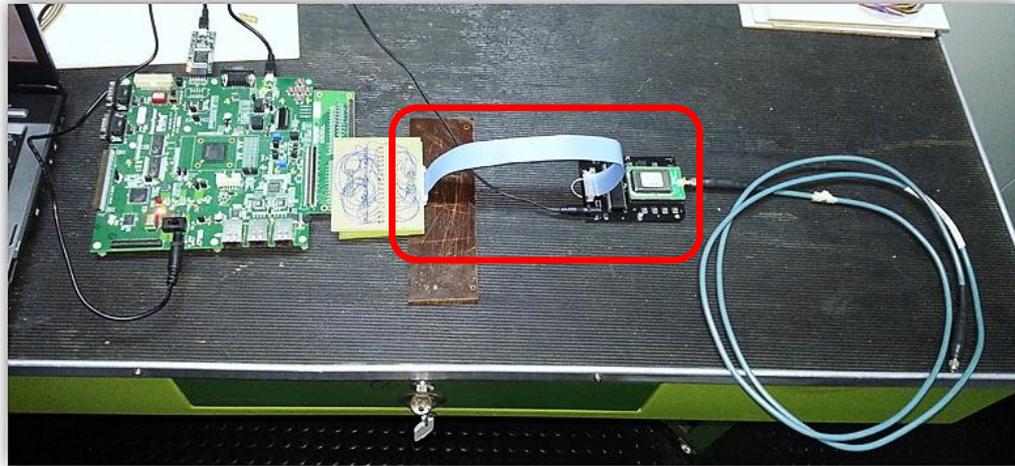


Figura 12. Nel riquadro in rosso: interfaccia TTL-CMOS, a destra: scheda RADAR, a sinistra: scheda FPGA.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.10

Test del RADAR in camera anecoica

Per validare i risultati ottenuti misurando il cavo coassiale, sono stati condotti alcuni test più specifici utilizzando un bersaglio reale nella camera anecoica del laboratorio di Microonde del DIMES, ambiente privo di ostacoli riflettenti e schermato dal rumore esterno. Nel primo test, il setup di misura allestito si compone di uno schermo metallico altamente riflettente posto a 3 metri di distanza e di una ridged horn antenna posta ad un'altezza di 2 m, avente un angolo di irradiazione pari a 15° ed un guadagno di 10dB. La scheda RADAR è stata collegata all'antenna mediante un cavo coassiale di 2 m, per garantire un migliore posizionamento dei componenti. Lo schermo metallico ha la funzione di riflettere il 99% del fronte d'onda elettromagnetico emesso dal RADAR, in modo da accrescere la disparità tra il rumore residuo presente in camera e il segnale di interesse.

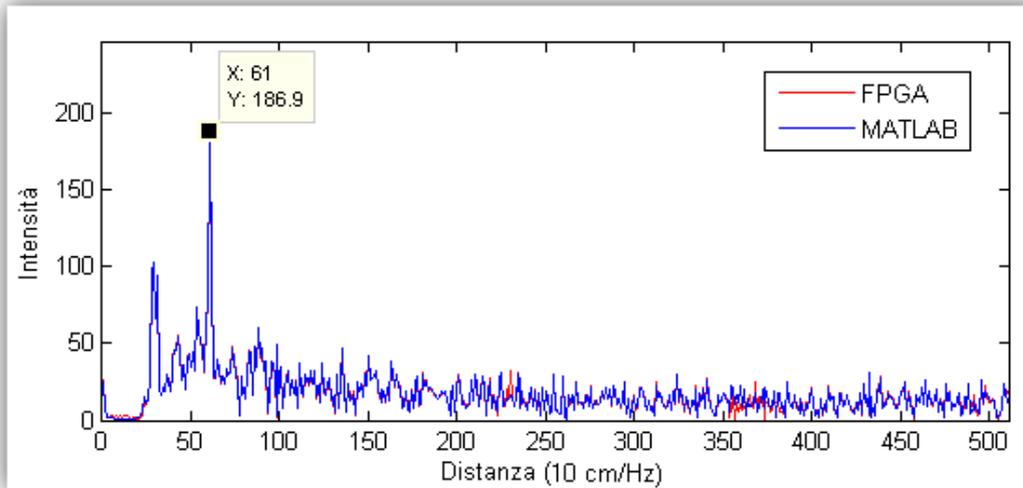


Figura 13. Hardware FFT a 1024 campioni

Sono state effettuate 3 acquisizioni, mantenendo costanti risoluzione e numero di campioni al fine di validare la persistenza dei valori acquisiti. Nelle misure è stato rilevato inoltre un offset spaziale e costante di circa 3 m, dei quali 20 cm sono attribuibili alla lunghezza della ridged horn e 2.8 metri vengono introdotti dal cavo posto tra scheda RADAR e antenna.

Benché il cavo sia di 2 metri, al suo interno è presente un materiale dielettrico che rallenta la propagazione del campo elettromagnetico introducendo di conseguenza un ritardo di fase, percepito dal RADAR come una distanza leggermente dilatata (90 cm in più). In figura 13 è visibile lo spettro di una delle 3 acquisizioni (identiche tra loro) realizzate mediante il setup di misura appena esposto. Lo spettro, calcolato dalla scheda FPGA, risulta corretto poiché sovrapponibile allo spettro calcolato in Matlab quasi nella sua totalità. Il target come previsto, viene rilevato in posizione 6.1 m, dei quali 3 m sono di offset, 10 cm sono da attribuire all'introduzione della componente continua nel grafico e 3 metri è la distanza reale del target.

Nel secondo test, la ridged horn è stata sostituita da una horn antenna avente 25 dB di guadagno, angolo di irradiazione di 10° e 50 cm di lunghezza (30 cm della precedente antenna). Dallo spettro di questa seconda acquisizione (figura 14) si nota un netto miglioramento del rapporto segnale/rumore, dovuto al maggior guadagno fornito.

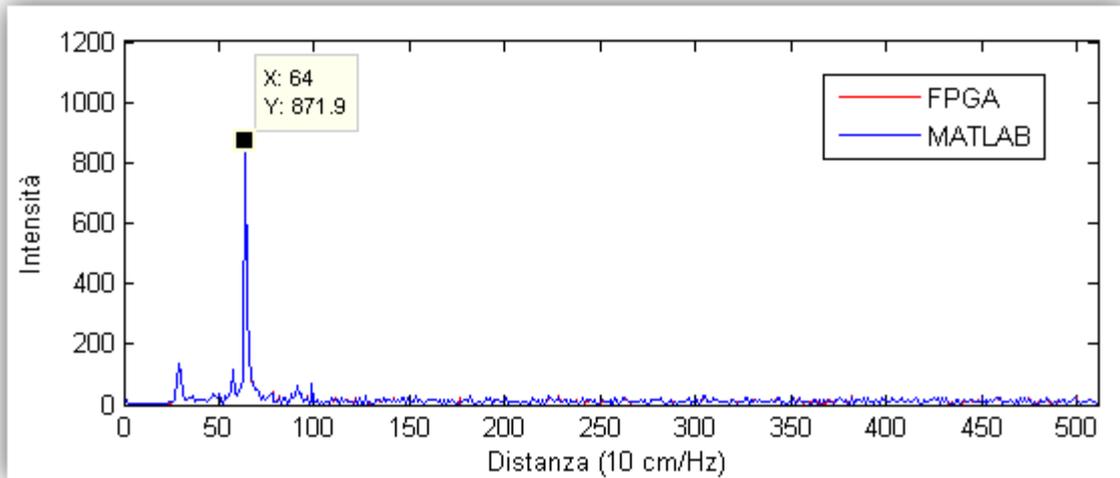


Figura 14. Hardware FFT a 1024 campioni

Il target, posto a 3 metri anche in questo caso è stato rilevato alla distanza di 6.4 m, dei quali 3.3 m sono attribuibili al cavo ed all'antenna, 10 cm sono da attribuire all'introduzione della componente continua nel grafico e 3 metri è la distanza reale del target. Il miglioramento del rapporto segnale/rumore conferma che il livello di rumore è costante ed è generato all'intero del sensore stesso. Se così non fosse, il guadagno introdotto dall'antenna avrebbe amplificato non solo il segnale ma anche il rumore esterno.

La scheda FPGA ha il compito di acquisire tutti i campioni digitali dalla scheda RADAR e calcolare una FFT a 1024 o 65536 campioni (la scelta è possibile caricando un firmware diverso). La comunicazione con la scheda RADAR avviene rispettando il protocollo hardware custom definito in corso d'opera con il gruppo di elettronica. L'elaborazione, consistente in una FFT del segnale trasmesso dal modulo RADAR, avviene utilizzando la scheda SmartFusion ACTEL A2F.



Nelle prime misure realizzate ci si è resi conto che il segnale proveniente dalla scheda RADAR, senza un adeguato condizionamento, non può essere elaborato dalla scheda FPGA per produrre un risultato valido.

In seguito ai risultati ottenuti è stato realizzato uno studio più approfondito sul segnale RADAR, ricavandone i seguenti aspetti qualitativi:

- ✓ E' presente un notevole valore di offset;
- ✓ Il rumore presente nel segnale è localizzato sulle basse frequenze.

Nonostante gli sforzi al momento non si è riusciti a condizionare in modo adeguato il segnale proveniente dal modulo RADAR.

Al problema esposto si aggiunge quello riscontrato nella fase di integrazione del modulo radar con la parte di potenza a microonde. Il circolatore in banda X, che dovrebbe separare il canale di trasmissione da quello di ricezione, presenta un forte accoppiamento fra i due canali rendendo di fatto impossibile le misure sulle lunghe distanze.

Le problematiche evidenziate, comprese quelle dell' AE 3.1.8 ha indotto il gruppo di ricerca a sostituire il modulo RADAR con il modulo della Copper Mountain che ha caratteristiche di programmabilità e disaccoppiamento tali da renderlo utilizzabile per il progetto.

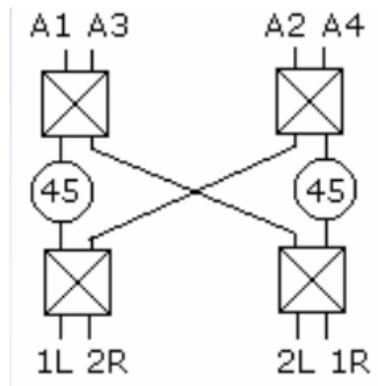


ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.1.11

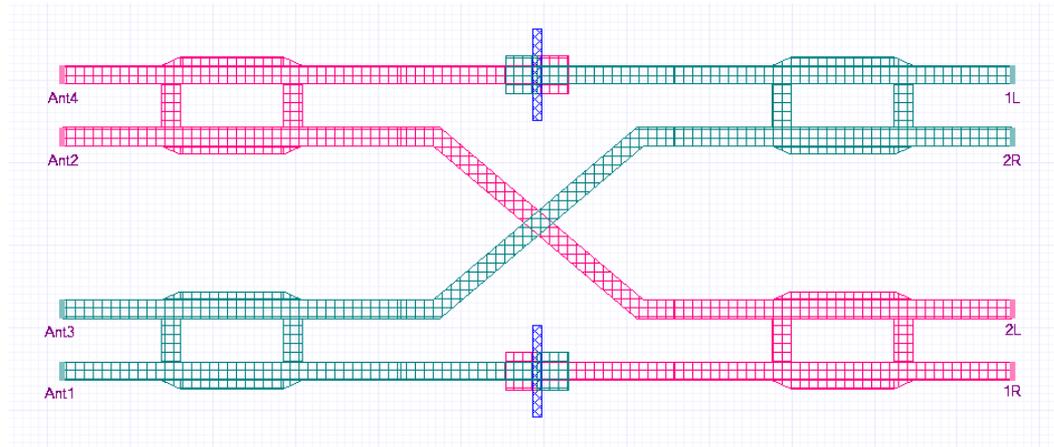
Ingegnerizzazione del sistema, Integrazione Software, Test del sistema

Le problematiche esposte nell'attività elementare AE 3.1.9 (Prima implementazione hardware) hanno portato alla determinazione di sostituire il modulo RADAR con uno che abbia ingresso ed uscita indipendente e presenta una grossa stabilità del segnale.

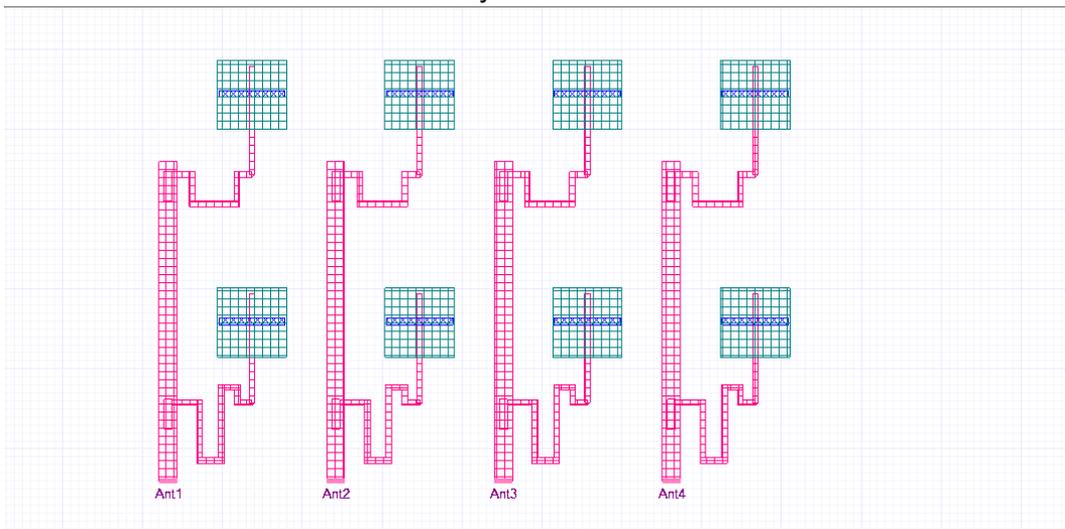
Parallelamente si sta sviluppando il sistema di antenna con scansione attraverso Matrice di Butler. Nel seguito lo schema a blocchi della matrice.



La realizzazione della Matrice di Butler avviene in Tecnologia a Microstriscia:



La Matrice di Butler alimenta l'Array di Antenne costituito da 2 x 8 elementi:



La Matrice di Butler insieme all'Array di antenne sono controllati dallo switch che a sua volta è controllato dal PC MXE che governa tutto il sistema.

Viene di seguito riportato lo schema a blocchi del sistema SFCW Radar messo in opera.

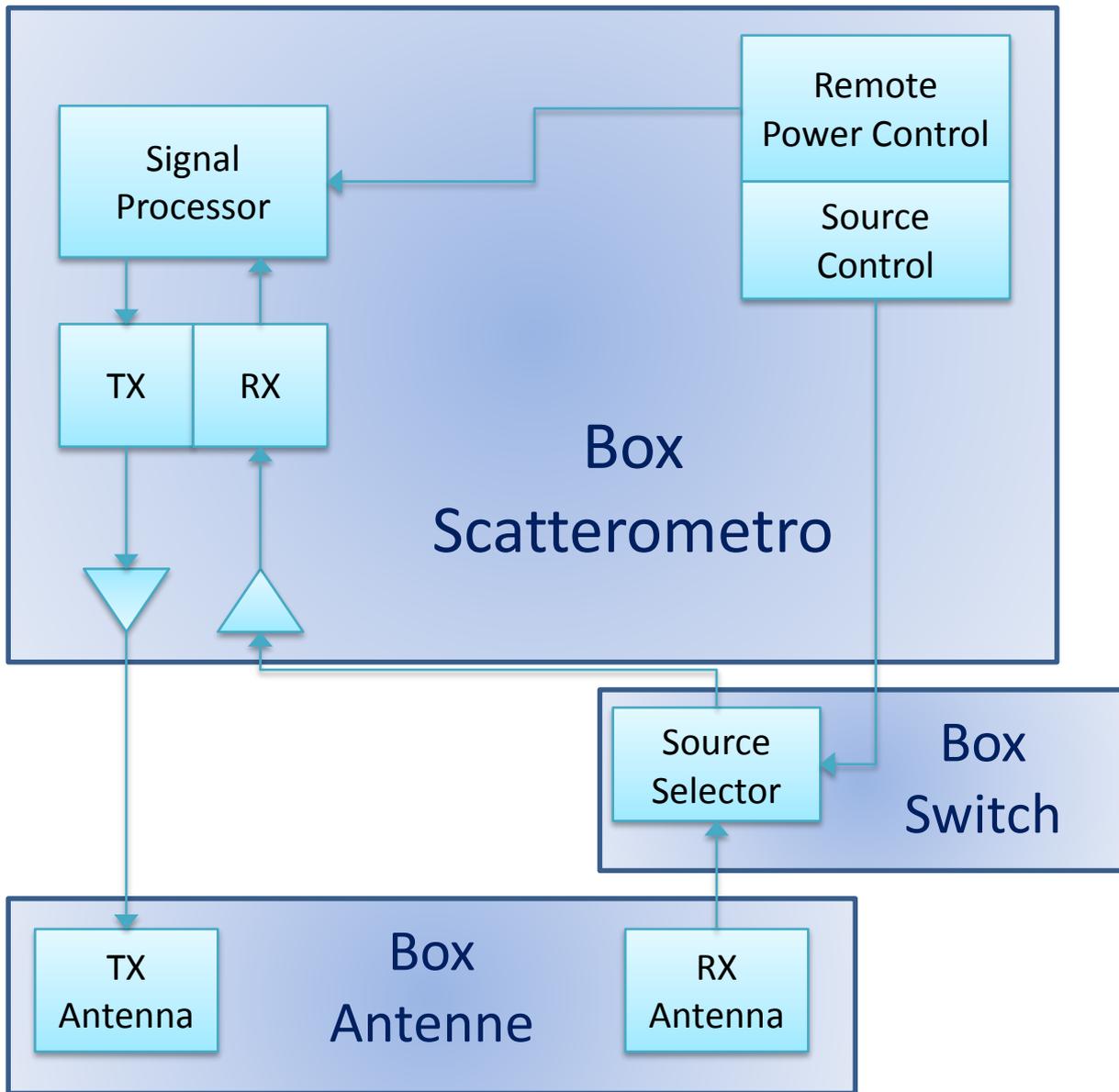


Figura 15. Top level SFCW Radar

Il sistema risulta costituito da tre parti fondamentali:

1. **Box Scatterometro** il quale si occupa della generazione e amplificazione dei segnali RF, acquisizione dei parametri di scattering, storage ed elaborazione delle acquisizioni, ricostruzione del HRR Profile. Ingloba inoltre il sistema di gestione della direzionalità del fascio di scansione e il sistema di accensione/spegnimento remoto e trasferimento dati gestiti dal CAED.
2. **Box Switch** il quale contiene un RF switch che insieme alla matrice di Butler, situata all'interno del Box Antenne, selezionano la direzione del fascio di scansione.
3. **Box Antenne** il quale contiene, oltre alla matrice di Butler sopra citata, le antenne in ricezione e trasmissione.

- **Box Scatterometro**

Nell'immagine a seguire è possibile osservare gli elementi che costituiscono questo blocco.

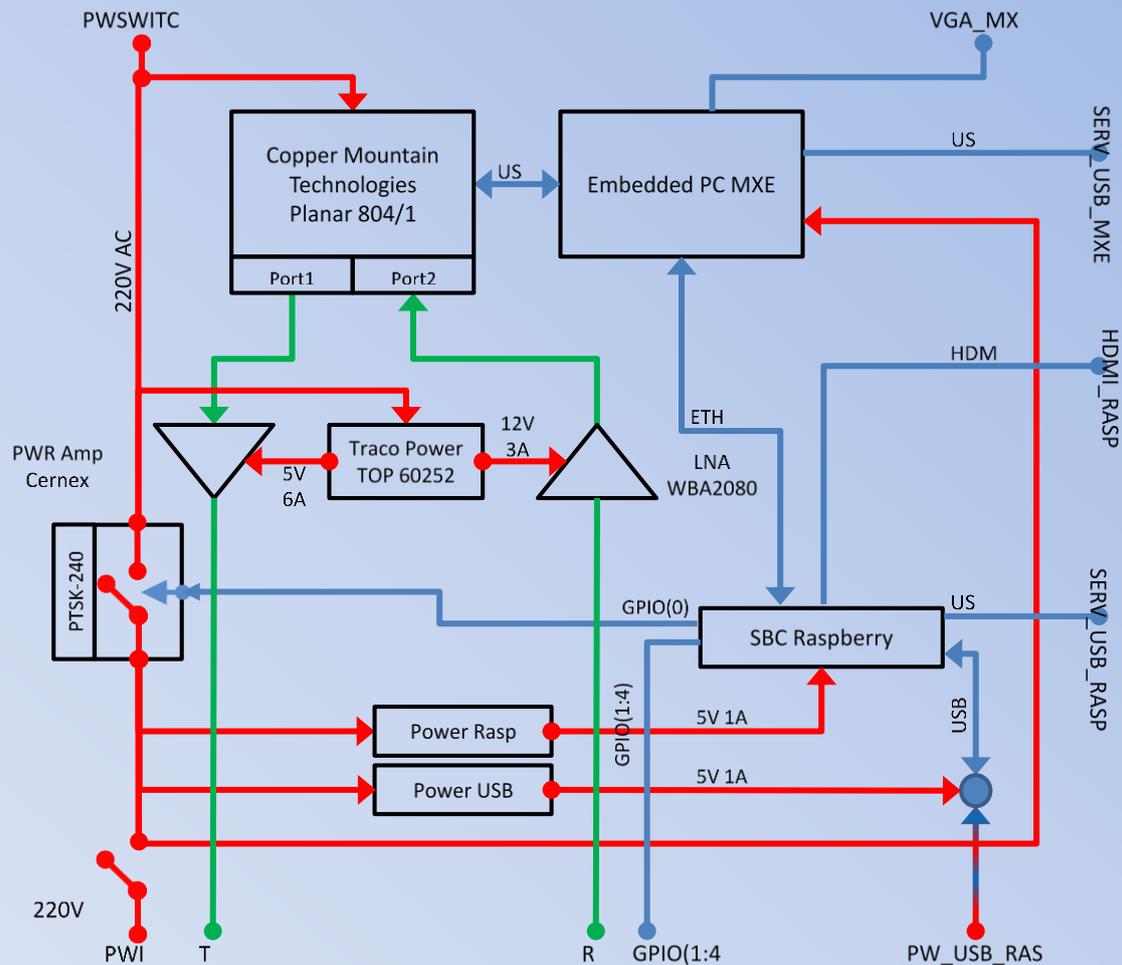


Figura 16. Box Scattermetro

- **Copper Mountain Technologies Planar 804/1:** è un analizzatore di rete vettoriale progettato per il funzionamento con un PC esterno. Questo analizzatore è un'ottima soluzione per eseguire la misura di ampiezza e fase nella gamma di frequenza da 100 kHz a 8,0 GHz. Il PLANAR 804/1 fornisce inoltre una vasta gamma di funzionalità di analisi nel dominio del tempo e della frequenza. Il sistema è stato pilotato per eseguire lo sweep in frequenza nel range 7-8 GHz, acquisendo un numero di punti pari a 100000 temporalmente

distanziati di 63 us circa. Al termine della scansione vengono acquisiti i quattro parametri di scattering, S11, S12, S21 e S22, notificando al PC Embedded l'avvenuto trasferimento dei dati.

- **Embedded PC Adlink MXE5303X:** è un embedded computer fanless, adatto a utilizzi industriali in quanto capace di resistere a stimoli meccanici notevolmente intensi. Questo computer è dotato di un processore Intel Core i3 che garantisce elevate prestazioni, e di diverse interfacce di comunicazioni. Una possibilità particolarmente importante offerta da una delle quattro porte Ethernet di cui dispone è quella di effettuare il Wake-Of-Lan (WOL), ovvero l'accensione del computer che si trova in stato spento, attraverso la rete Lan alla quale è connesso. È dotata di sistema operativo Windows XP Professional. È stato scelto questo particolare modello al fine di soddisfare i seguenti vincoli di progetto:
 - volume di dati prodotti dal sistema di acquisizione;
 - capacità di elaborazione;
 - periferiche di rete in grado di sostenere il volume di traffico per la trasmissione dati al CAED e con funzionalità di WOL (Wake-On-Lan).

- **PWR Amp Cernex CBM0612302/LNA WBA2080A:** sono gli amplificatori RF in TX/RX. Le specifiche di progetto imponevano la scelta di amplificatori aventi le seguenti caratteristiche:
 - Range operativo: 7-8 GHz
 - BW: da 500 MHz a 1 GHz

In virtù dei seguenti vincoli sono stati scelti i seguenti dispositivi:

1. **PWR Amp Cernex CBM06123023 (TX)**
 - a. Frequency Range (GHz): 6-12
 - b. Gain (dB) min.: 30
 - c. Current @ 12 VDC (mA) Typ.: 48
2. **LNA WBA2080A (RX)**
 - a. Frequency Range (GHz): 2-8
 - b. Gain (dB): 23
 - c. Noise figure (dB)Typ: 1

- **Traco Power TOP 60252:** alimentatore per gli amplificatori.
 - Output Power nominal: 55W
 - Output 1: +5.0 VDC / 6.0 A
 - Output 2:+12 VDC /3.0 A

- **PTSK-240:** è un kit che permette la configurazione di un “Power Switch” adatto per il controllo di corrente alternata con microcontrollori o altri circuiti a bassa tensione. Questo kit è basato sul relè Zettler AZ21501. E’ possibile controllare tale relè tramite un segnale in bassa tensione a 3.3V, otticamente isolato dalla parte del circuito connessa alla rete. Il relè supporta circa 250.000 cicli con correnti di 20 A. Il relè è stato dimensionato al fine di garantire la corretta alimentazione ai sottosistemi seguenti:
 - **Copper Mountain Technologies Planar 804/1**
 - **PWR Amp Cernex CBM0612302**
 - **LNA WBA2080A**
 - **Absorptive SP8T Switch** (situato all’interno del Box Switch)

- **SBC Raspberry:** è una SBC (Single Board Computer) dotata di un processore ARM e 256 MB di memoria RAM, interfacce Ethernet,USB, user Digital I/O, DVI. È dotata di sistema operativo Linux. Molto funzionale, è perfetta per portare capacità elaborativa in posti inusuali dove lo spazio e l’elettricità sono una risorsa preziosa. Tale oggetto è stato scelto al fine di soddisfare i seguenti vincoli di progetto:
 - interfacce USB necessarie a dotare il dispositivo in oggetto di opportuno ricetrasmittitore GSM per connettività al CAED allo scopo di soddisfare i vincoli di progetto previsti per il livello di rete fisico indicato in OR5;
 - capacità di elaborazione;
 - periferica di rete in grado di comunicare con protocollo proprietario conforme alle specifiche di rete di trasporto previste in OR5 – MWLewarnet-RaspberryClient/Server;
 - GPIO features lato Source Selector al fine di inviare il pattern di azionamento alla matrice di Butler.

- **Box Switch**

Nell'immagine a seguire è possibile osservare gli elementi che costituiscono questo blocco.

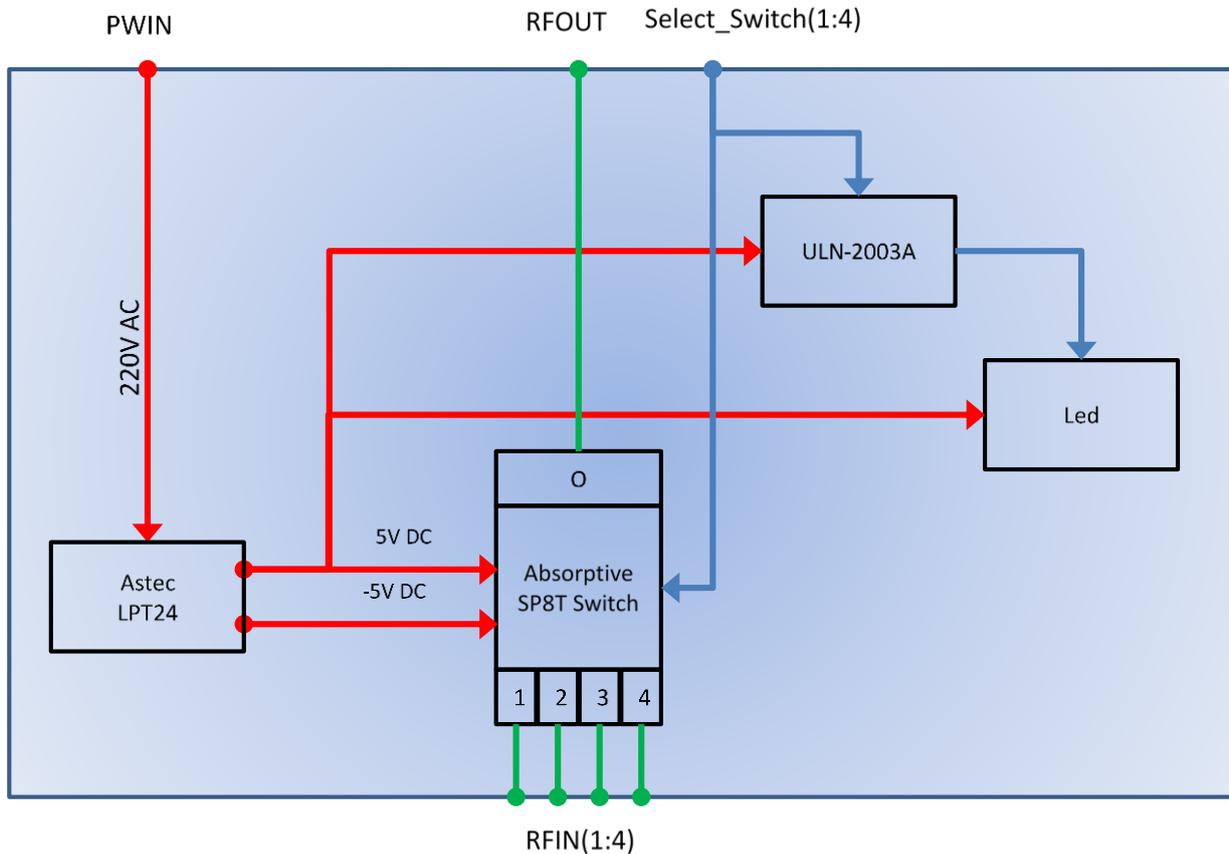
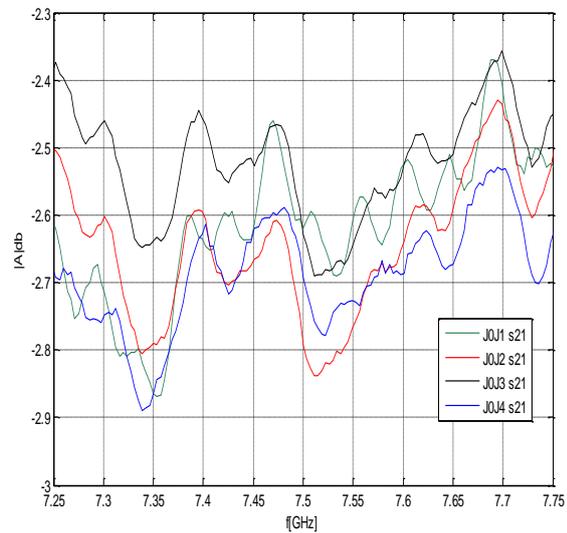
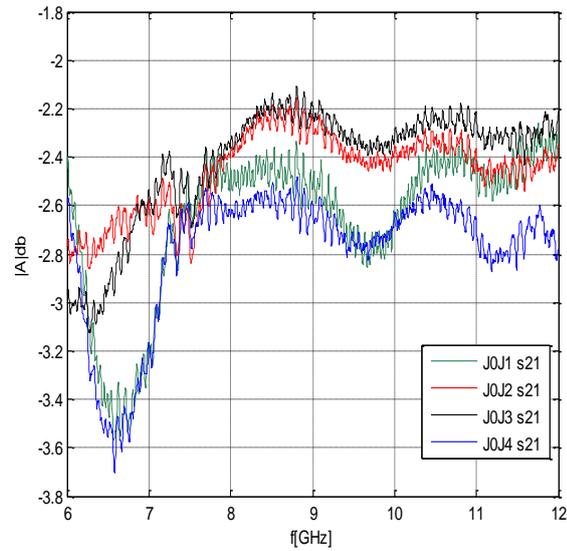


Figura 17. Box Switch

- **Absorptive SP8T Switch:** è uno switch RF. I vincoli di progetto considerati nella scelta del suddetto componente sono:
 - Interfaccia GPIO con logica TTL/CMOS lato Source Control
 - RF Switch 1 a 4 posizioni, lato matrice di Butler operante nella banda 7-8 GHz

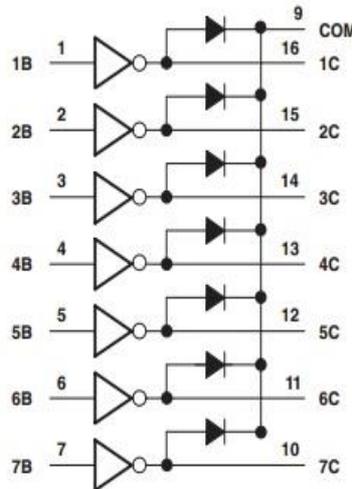
Lo switch in questione, progettato per funzionare nel range frequenziale 8-12 GHz, è stato testato nel range frequenziale 6-12

GHz, per verificare se è possibile utilizzare tale oggetto a frequenze diverse da quelle espressamente indicate. In particolare è stato necessario verificare il funzionamento dello switch nell'intorno dei 7.5 GHz. Di seguito vengono riportati i risultati del test.



f [GHz]	J0J1 (dB)	J0J2 (dB)	J0J3 (dB)	J0J4 (dB)
7.25	-2.6137	-2.5030	-2.3848	-2.6793
7.40	-2.6350	-2.5936	-2.4554	-2.6283
7.50	-2.6199	-2.7919	-2.6297	-2.6931
7.75	-2.5303	-2.4988	-2.4470	-2.6216

- **ULN-2003A:** driver Led.
 - Output current: 500 mA PER Driver
 - Output Voltage 50 V
 - Inputs Compatible With Various Types of Logic



- **Astec LPT24:** alimentatore per switch e led.
 - Output Maximum Power : 25W
 - Output 1: +5.0 VDC / 3.0 A
 - Output 2:+12 VDC / 1.5 A
 - Output 3: -5 VDC / 0.5 A

- **Box Antenne**

Nell'immagine a seguire è possibile osservare gli elementi che costituiscono questo blocco.

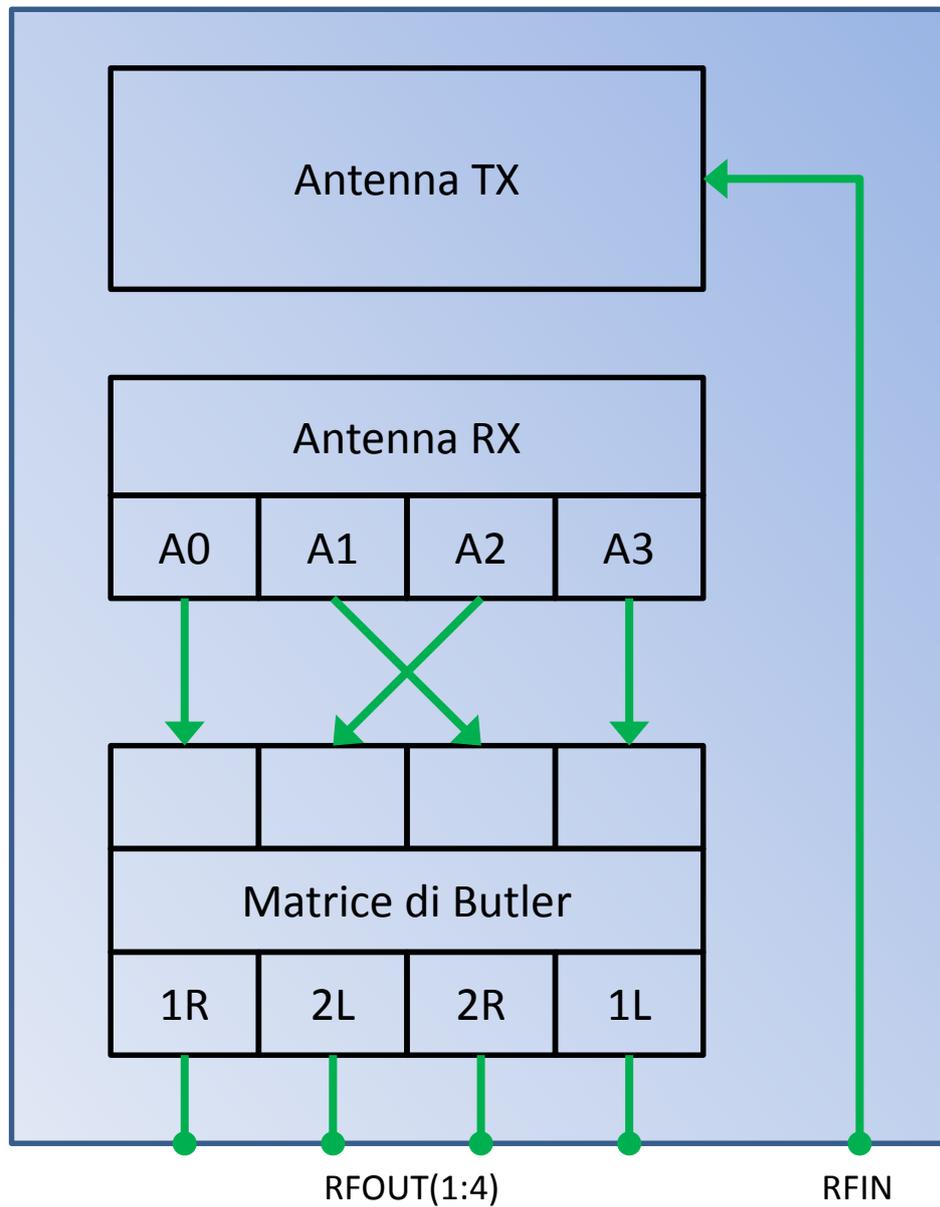


Figura 18. Box Antenne

- **Antenna TX:** antenna in trasmissione, costituita da un array 2x2. È stata progettata in modo tale da rispettare i seguenti requisiti:
 - Frequenza centrale: 7.5 GHz
 - Banda di funzionamento: 500 MHz
 - Elevata larghezza di fascio

- **Antenna RX:** antenna in ricezione, costituita da un array 2x4. È stata progettata in modo tale da rispettare i seguenti requisiti:
 - Frequenza centrale: 7.5 GHz
 - Banda di funzionamento: 500 MHz
 - Elevata direttività
 - Array riconfigurabile, cioè in grado di modificare il suo diagramma di radiazione, ovvero il puntamento del fascio principale, variando i coefficienti di eccitazione dei singoli elementi

- **Matrice di Butler:** è l'elemento il quale, insieme allo switch RF situato nel Box Switch, permette la selezione della direzione del fascio di scansione

A seguire vengono mostrati i diagrammi di radiazione alla frequenza di 7.5 GHz relativi alle antenne TX/RX.

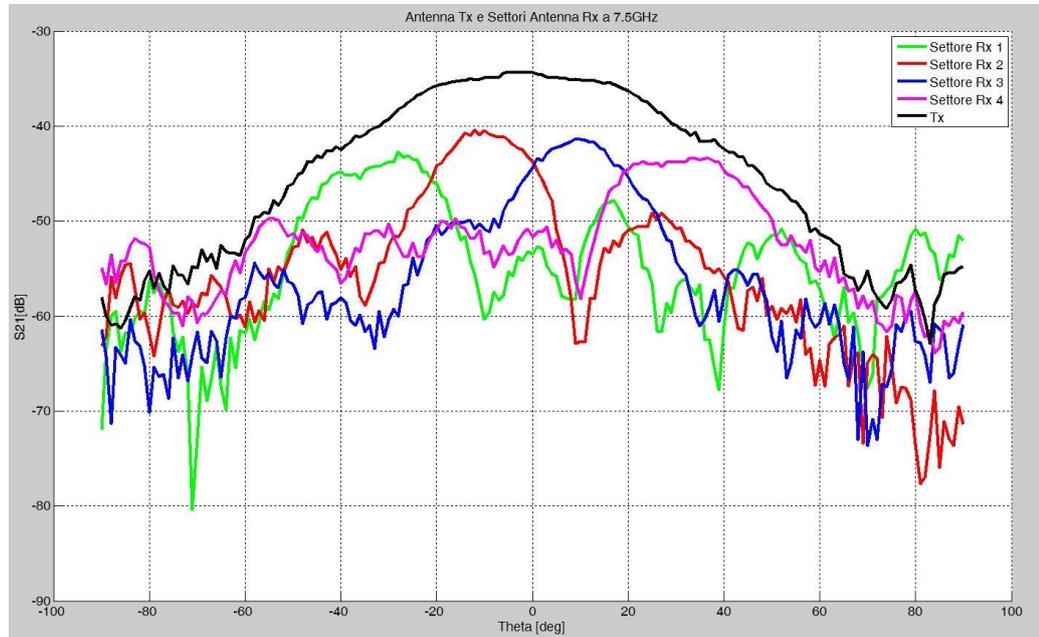


Figura 19. Diagrammi di radiazione antenne TX/RX

• Connessioni e assemblaggio

Le fasi di assemblaggio dei componenti precedentemente descritti sono state effettuate tenendo presente i vincoli di facilità di accesso ai componenti per operazioni di manutenzione e compattezza del sensore per facilitare l'installazione presso i siti di monitoraggio. A seguire vengono mostrate le immagini relative alle connessioni e all'assemblaggio, dei tre blocchi sopra descritti, e infine del sistema complessivo.

- 1) Box Scatterometro, unico rack contenente:
 - a) Copper Mountain Technologies Planar 804/1
 - b) Embedded PC MXE
 - c) PWR AMP Cernex CBM06123023
 - d) LNA WBA20804
 - e) SBC Raspberry Pi
 - f) Relè PTKS-240

g) Traco Power TOP 60252

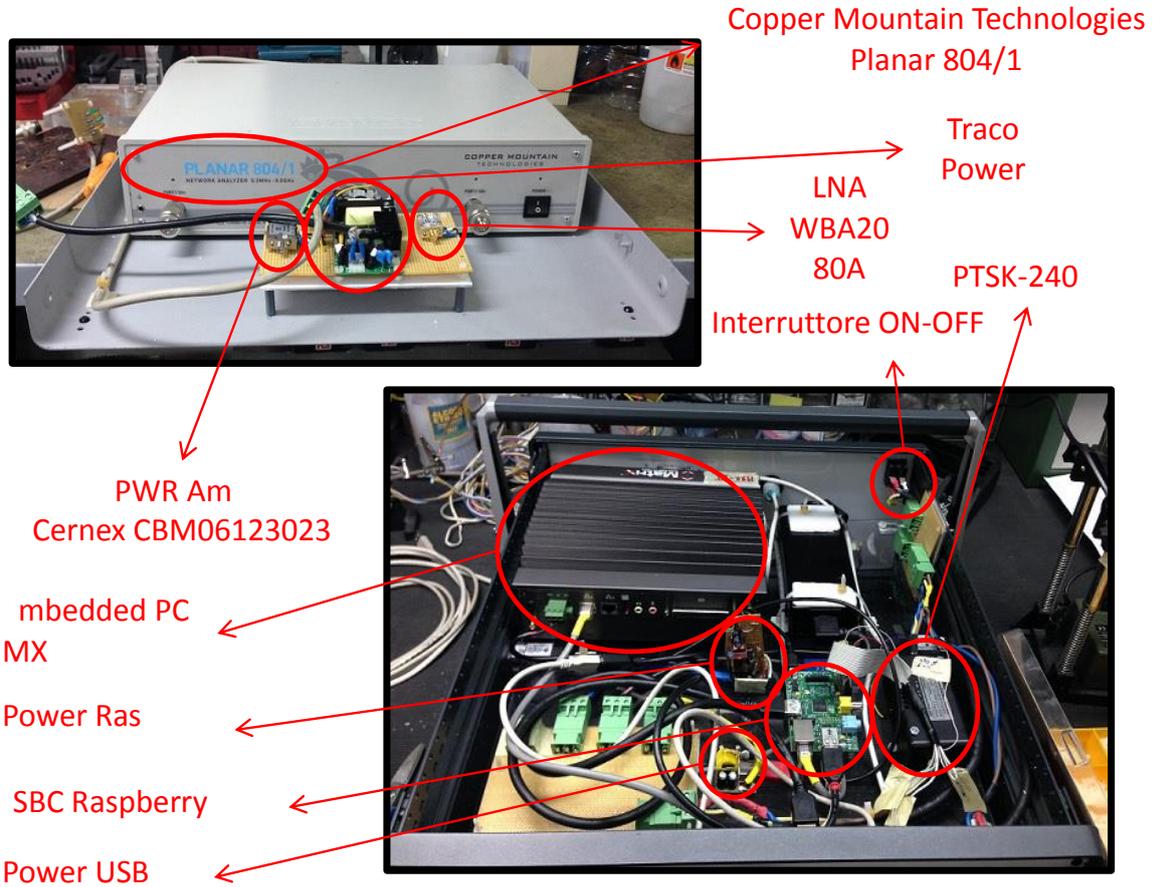


Figura 20. Assemblaggio Box Scatterometro

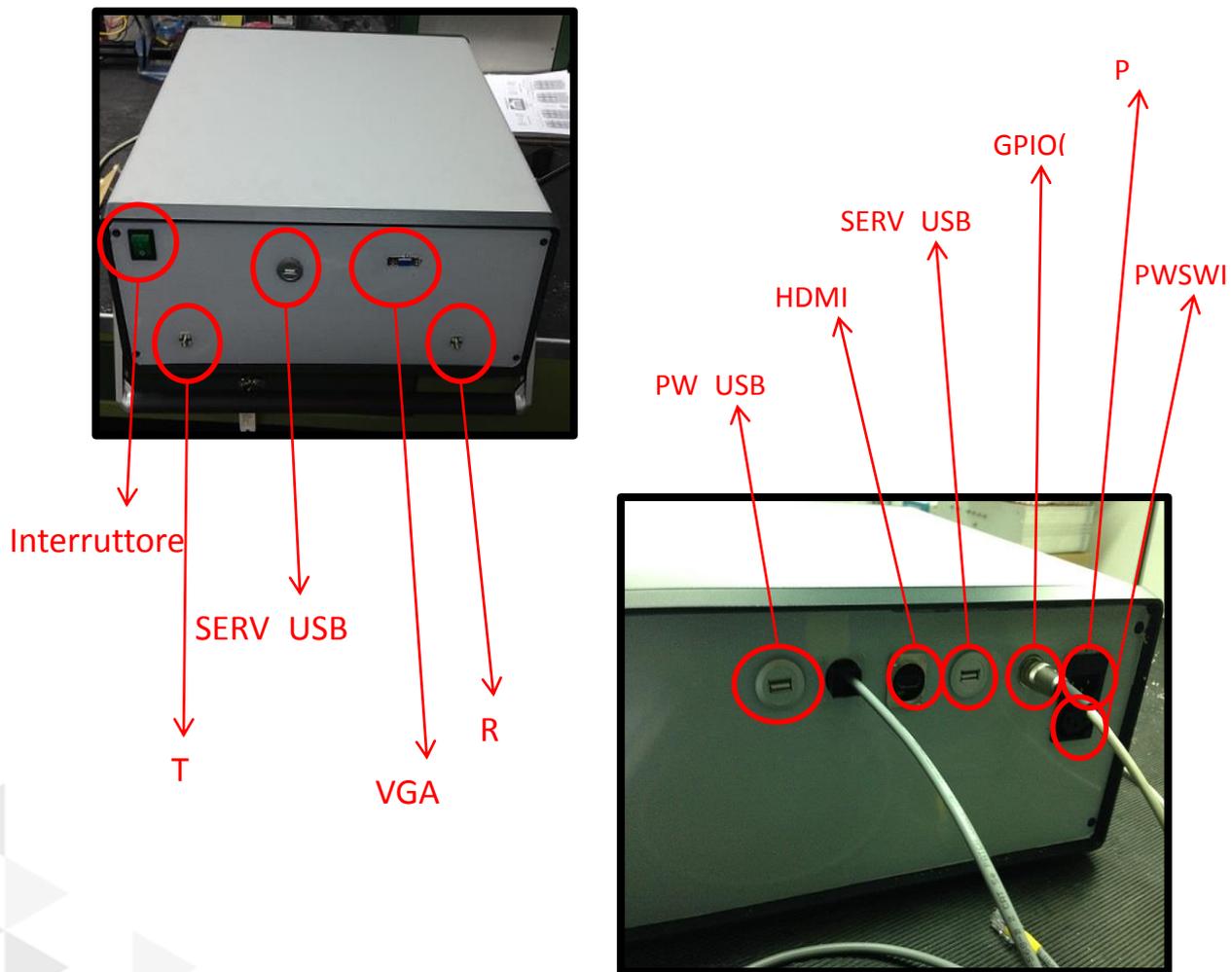


Figura 21. Connessioni Box Scatterometro

- 2) Box Switch, unico modulo da rack contenente:
 - a) Absorptive SP8T Switch
 - b) ULN-2003A
 - c) Astec LPT24

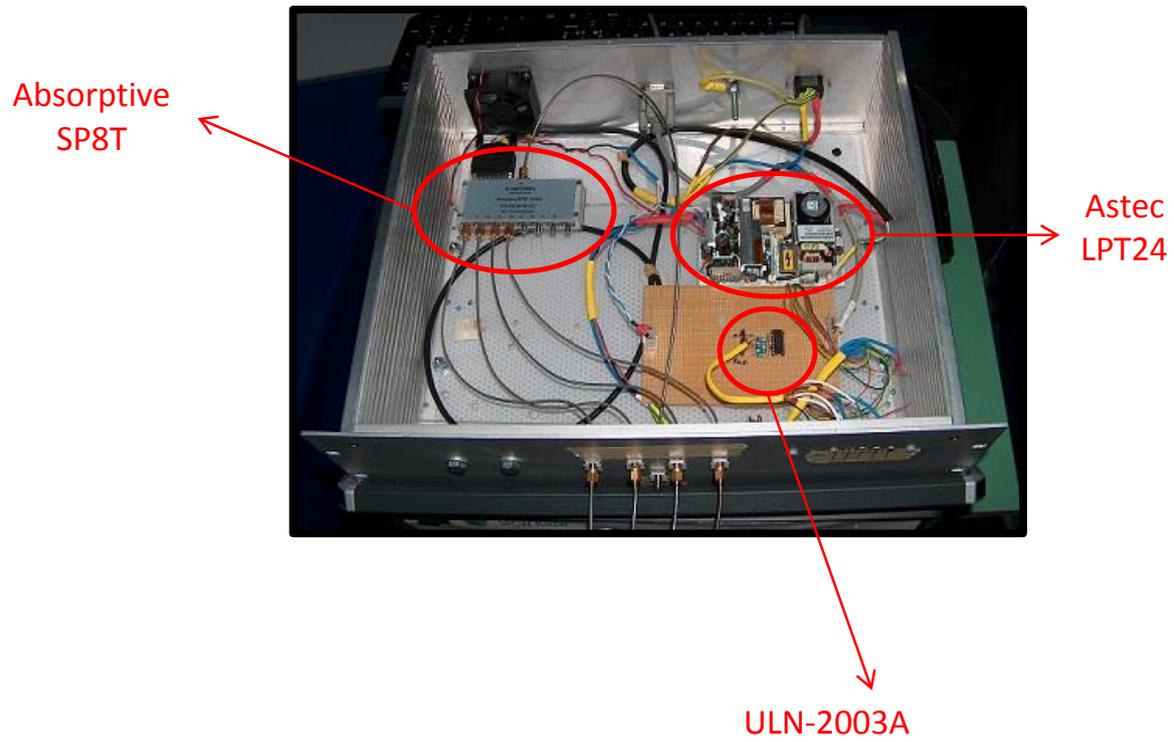


Figura 22. Assemblaggio Box Switch

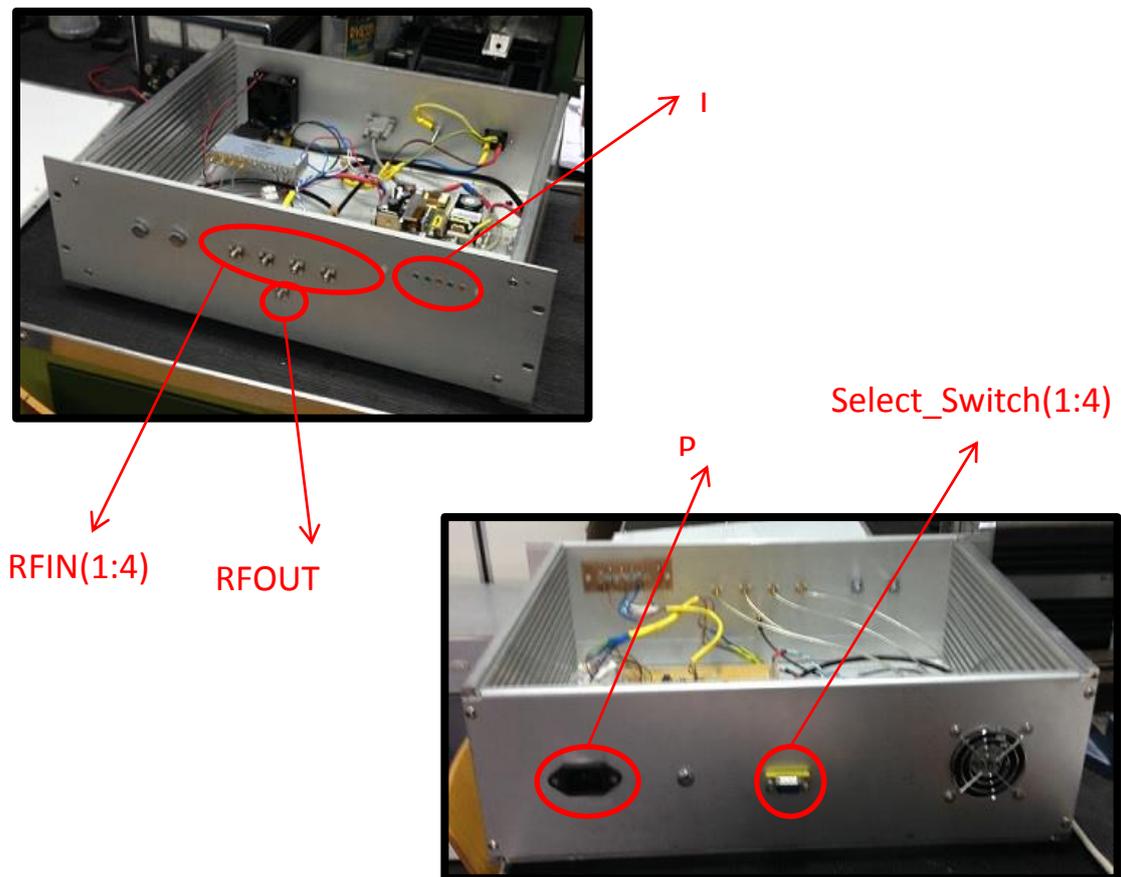


Figura 23. Connessioni Box Switch

- 3) Box Antenne, unico box in plexiglass contenente:
- a) Antenna TX
 - b) Antenna RX
 - c) Matrice di Butler

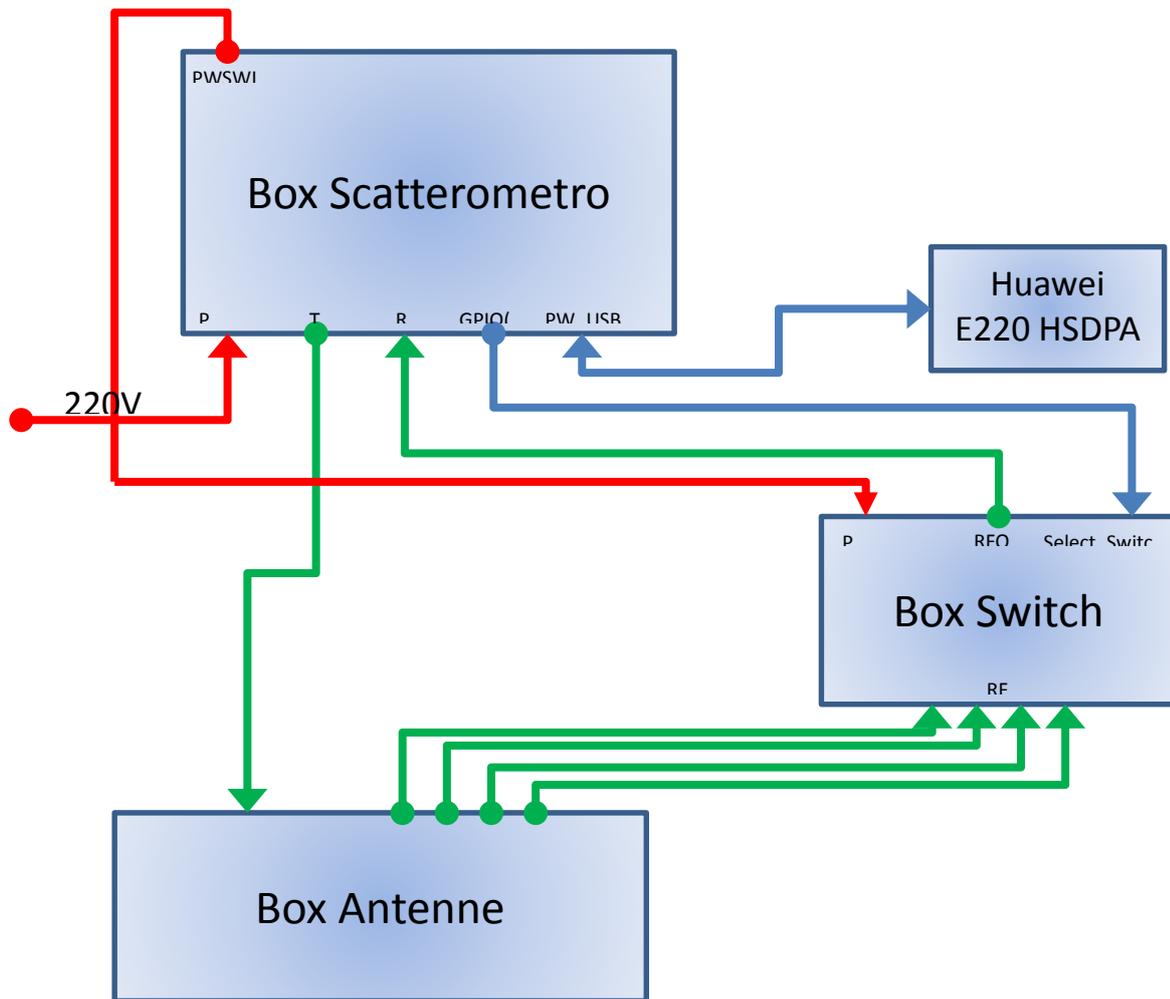


Figura 24. Connessioni sistema complessivo

- **Integrazione Software con la parte di acquisizione**

L'attività di integrazione si può riassumere con le attività seguenti:

- Integrazione degli script Matlab di Stretching Processing.
 - Sviluppo codice Matlab Stretch Processor.
 - Integrazione Matlab Stretch Processor nel client_PNA stand-alone e nel client_PNA versione Middleware.

- Integrazione interfaccia Middleware e interfaccia TX/RX client_PNA.
 - Sviluppo in C#DotNet del client_PNA stand-alone (vedi OR5 WP5.1 sviluppo Framework livello trasporto).

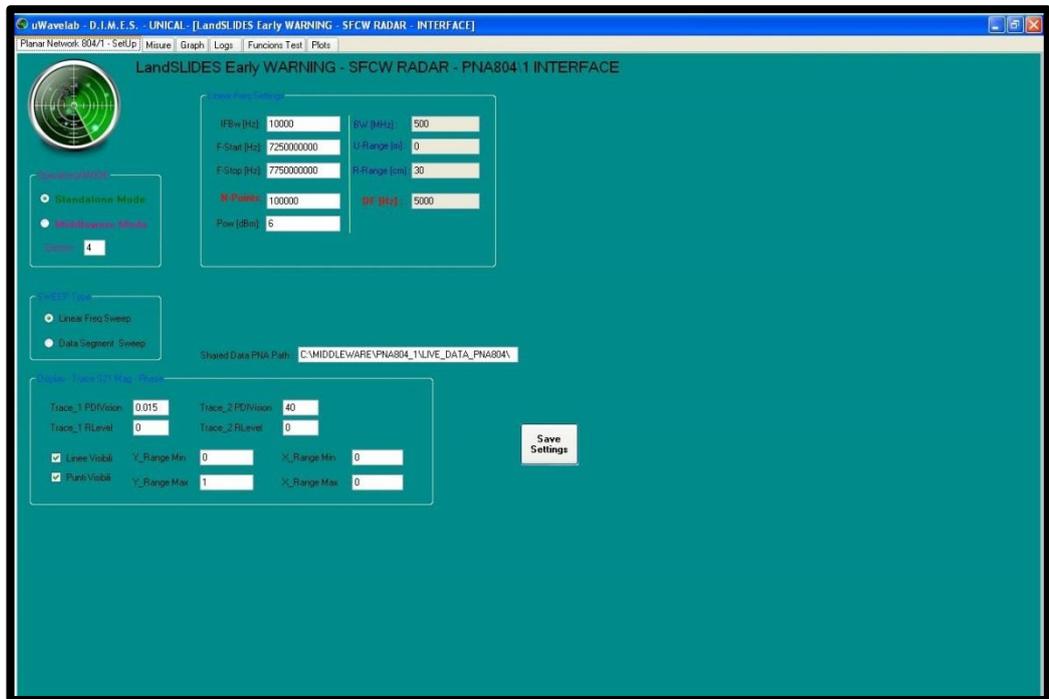


Figura 25. Client Windows – Setup Form

- Sviluppo in C#DotNet del client_PNA versione Middleware compatibile (vedi OR5 WP5.1 sviluppo Framework livello trasporto).

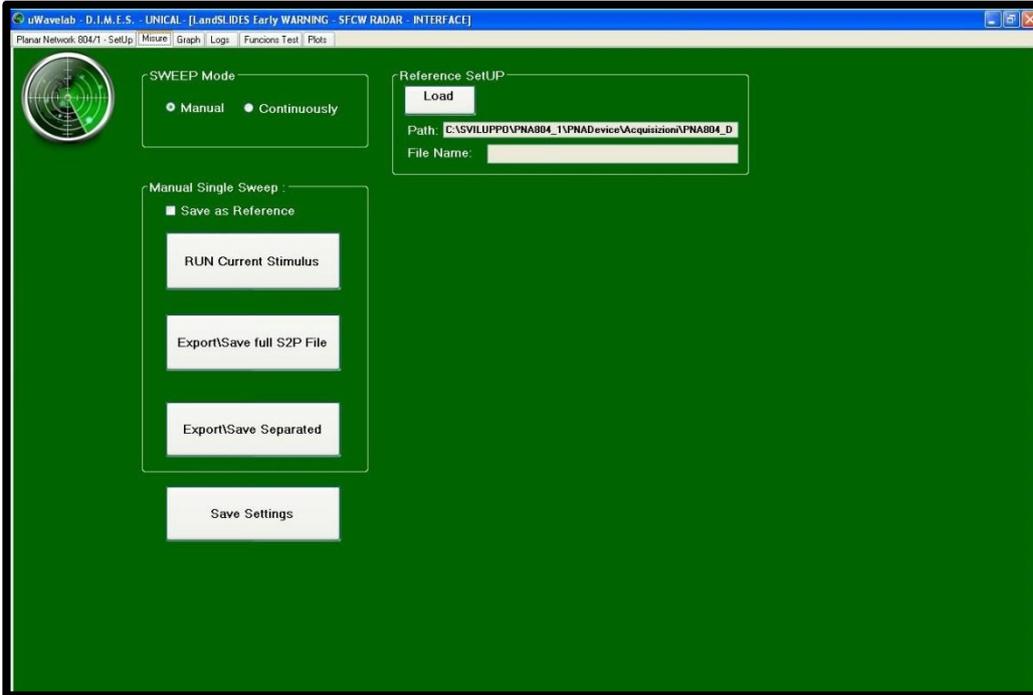


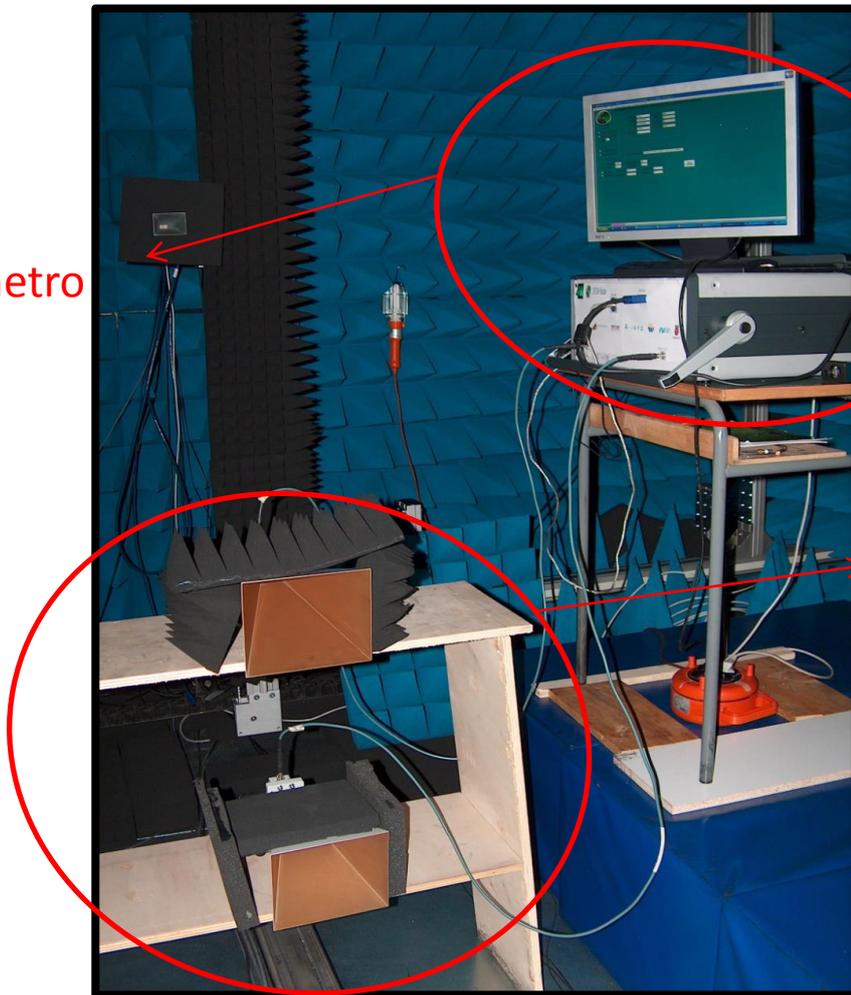
Figura 26. Client Windows – Misura Form

- Integrazione interfaccia Middleware (RaspberryTCP_IP_Client_Server) e interfaccia Raspberry (MXE_selector_TCP_IP_interface).
 - Sviluppo in C#DotNet del RaspberryTCP_IP_Client_Server e in particolare è stato integrato il driver del MXE_selector_TCP_IP_interface.

- **Test del Radar in Camera Anecoica**

Al termine dell'assemblaggio in camera Anecoica dei moduli precedentemente analizzati, che costituiscono pertanto il prototipo radar nella sua versione installabile presso i siti di monitoraggio, sono state effettuati dei test con due target metallici montati su un binario rispettivamente a distanza di 420cm e 500cm dal sistema di antenne.

Box
Scatterometro



Antenne
Horn di test

Figura 27. Test in camera anecoica - Setup



Figura 28. Test in camera anecoica - Setup

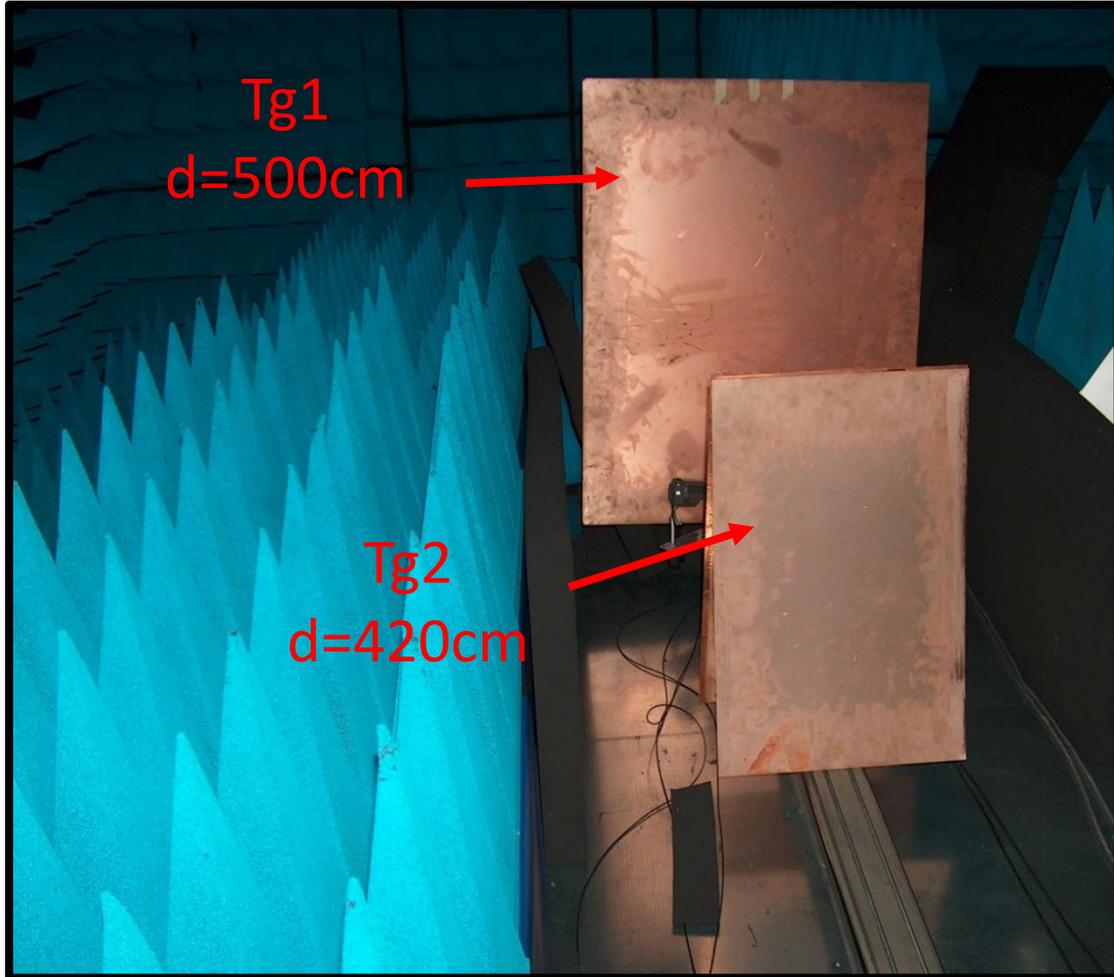


Figura 29. Test in camera anecoica – Setup

Installati e montati gli elementi descritti, sono stati effettuati i test di:

- Attivazione da remoto dell'intero sistema simulando così la condizione di esercizio di scansione on-demand , ossia su richiesta del CAED.
- Attivazione manuale del sistema tramite l'interfaccia client_PNA Windows application simulando così la condizione di esercizio stand-alone, ossia con operatore

I risultati ottenuti hanno evidenziato l'identificazione dei target e la corretta stima della loro distanza.

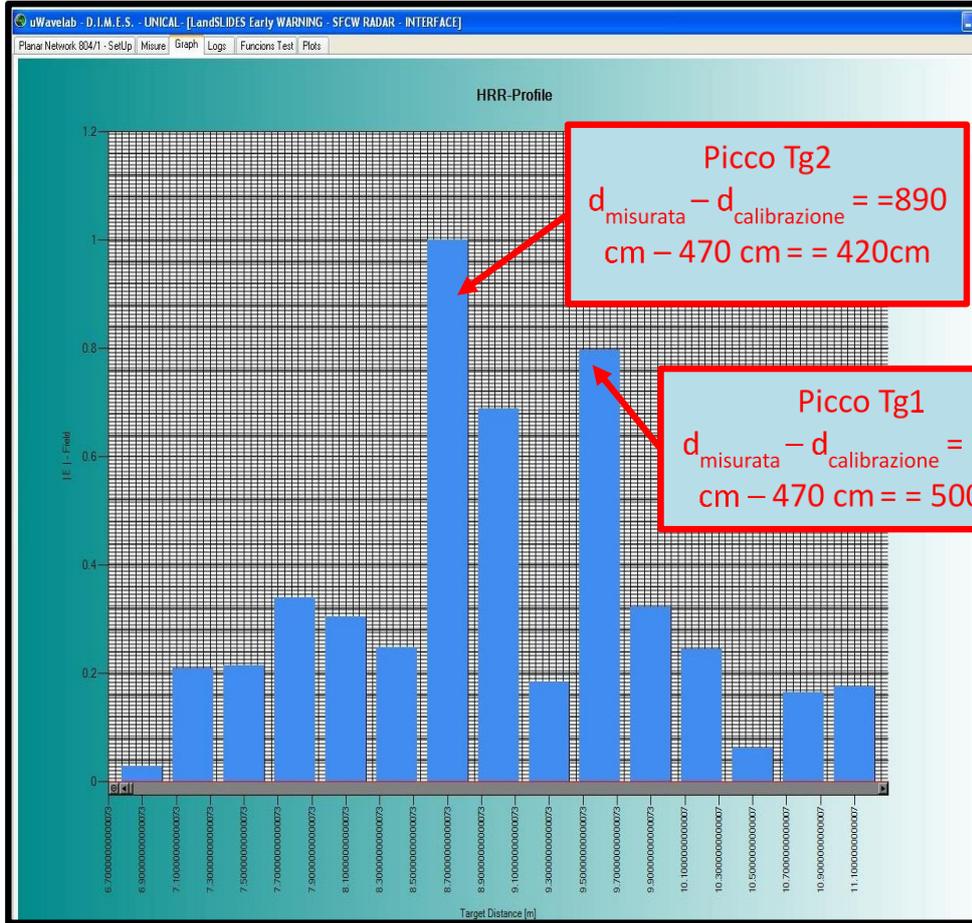


Figura 30. Misure - 2Target – HRRProfile

