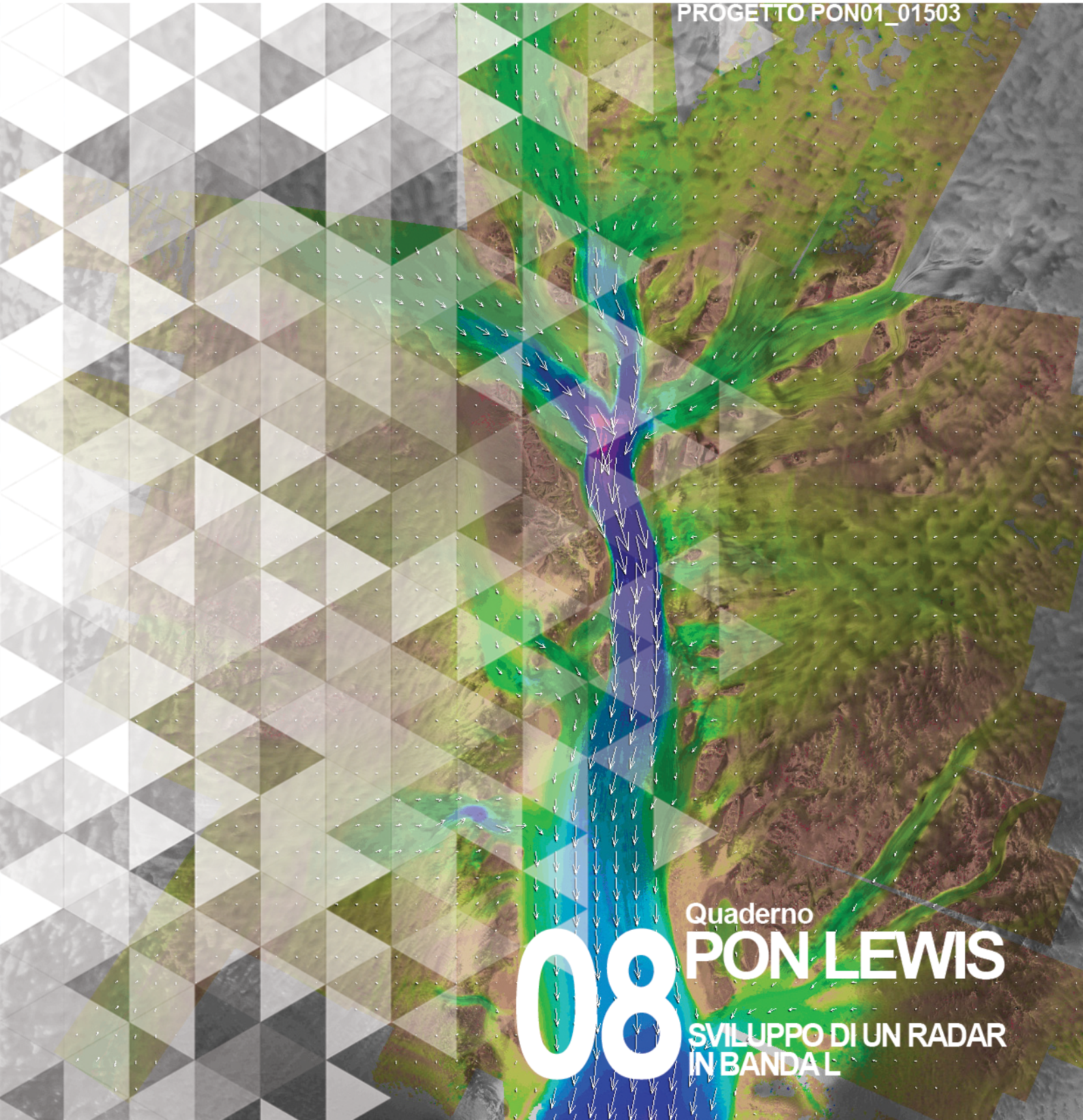


SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO, L'EARLY WARNING
E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
LUNGO LE GRANDI VIE DI COMUNICAZIONE



investiamo nel vostro futuro
PROGETTO PON01_01503



Quaderno
08 PON LEWIS
SVILUPPO DI UN RADAR
IN BANDA L



autostrade // **Tech**



A cura di Giuseppe Di Massa | **DELIVERABLE WP 3.3**

Sviluppo di un radar in banda L

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.

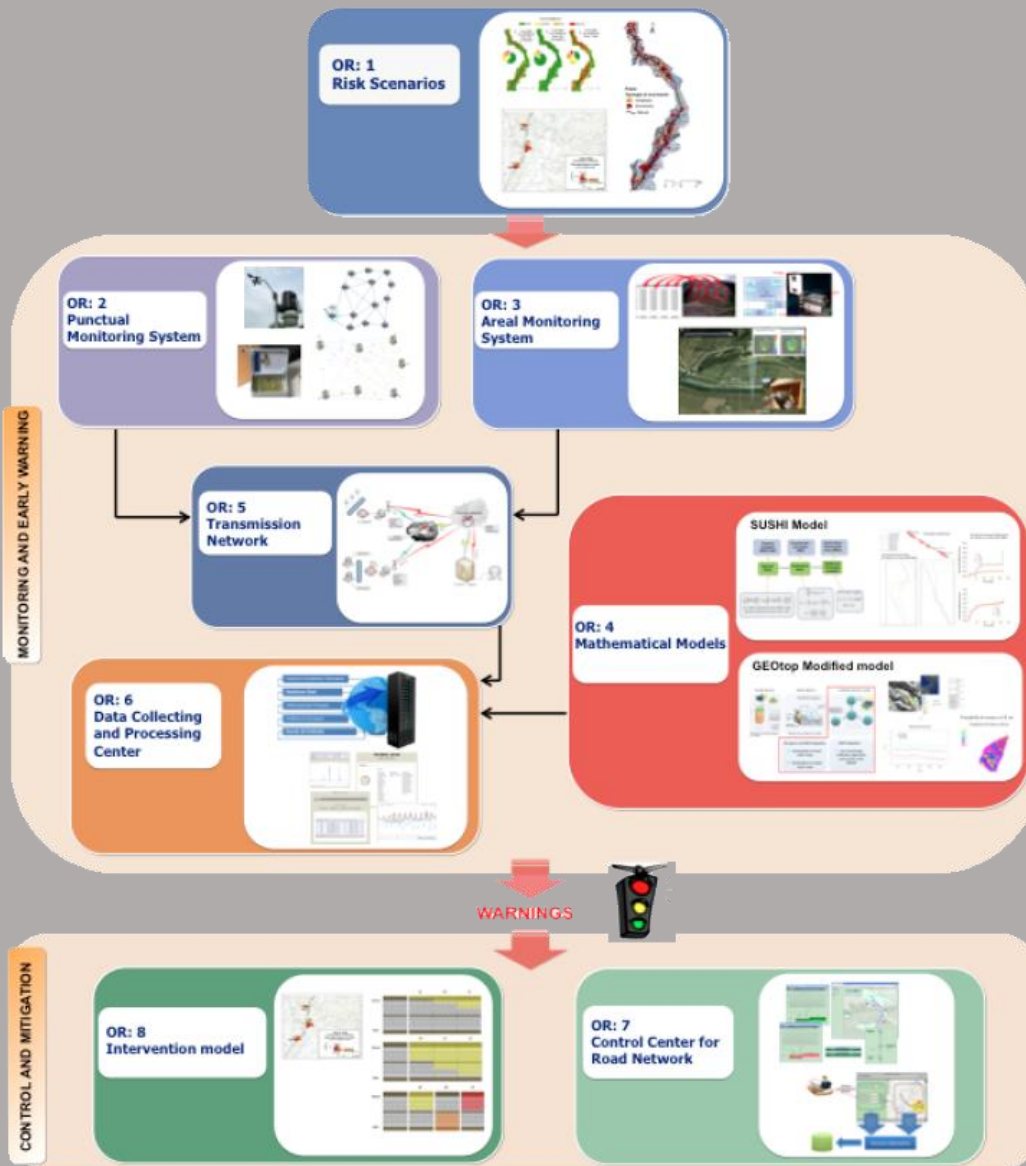


Figura 1 - Articolazione del sistema integrato di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi

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 e scelta della banda (confronto con altri WP)**
-

- 1 **3.3.1.A Analisi della problematica**

- 1 **3.3.1.B Scelta della banda di funzionamento**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.2

- 3 **Valutazione di possibili strategie implementative del sistema**
-

- 3 **3.3.2.A Scelta del sistema Software Defined**

- 5 **3.3.2.B Scelta dei componenti hardware**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.3

- 6 **Confronto con i colleghi del gruppo di elettronica**
-

- 6 **3.3.3.A Gestione dell'accensione e spegnimento da remoto**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.4

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

9 **3.3.4.A Schema a blocchi del sistema**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.5

11 **Progettazione dei blocchi elementari**

11 **3.3.5.A Progettazione del circuito di amplificazione**

12 **3.3.5.B Progettazione dell'antenna in ricezione**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.6

14 **Verifica funzionale e sperimentale dei blocchi elementari**

14 **3.3.6.A Test del circuito di amplificazione**

16 **3.3.6.B Test dell'antenna in ricezione**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.7

17 **Integrazione con la parte di acquisizione**

17 **3.3.7.A Integrazione con la parte di acquisizione**

19 **3.3.7.B Formato dei dati acquisiti**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.8

22 **Sviluppo del software di ricostruzione delle immagini**

22 **3.3.8.A Algoritmo per le ricostruzioni di immagini radar**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.9

25 **Prima implementazione hardware**

25 **3.3.9.A Assemblaggio dei vari componenti e prima implementazione hardware**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.10

28 **Test del Radar in camera anecoica**

28 **3.3.10 A Test del sistema in camera anecoica**

ATTIVITA' ELEMENTARE 3.3.11

30 **Integrazione software con l'unità di RC e test in campo aperto**

30 **3.3.11.A integrazione software con l'unità di RX**

31 **3.3.11.B Test in campo aperto**



Analisi della problematica e scelta della banda (confronto con altri WP)

3.3.1.A Analisi della problematica

In Italia il dissesto idrogeologico è diffuso in modo capillare e rappresenta un problema di notevole importanza avendo spesso causato smisurati danni ai beni.

Il Monitoraggio di fronti franosi viene effettuato con diverse tecnologie tra cui i sistemi Radar utilizzati per il monitoraggio areale.

Tra i vari sistemi di monitoraggio trovano particolare impiego in questa applicazione i sistemi SAR (Radar ad Apertura Sintetica) largamente utilizzati per le elevate prestazioni che essi presentano.

La problematica principale relativa al WP 3.3 è legata alla progettazione e realizzazione di un sistema di monitoraggio di tipo Radar che sia innovativo, efficiente, e a basso costo.

A questi tre punti, si accodano:

- la possibilità da parte del segnale Radar di penetrare un eventuale strato vegetativo presente sul fronte franoso;
- scelta ed utilizzo di una tecnica di signal processing adeguata al tipo di monitoraggio;
- scelta dell'hardware adeguato in modo da contenere il più possibile il rapporto costo/ qualità e garantendo allo stesso tempo l'innovazione.

3.3.1.B Scelta della banda di funzionamento

La frequenza operativa è uno dei parametri fondamentali e critici per la progettazione del sistema Radar. L'intero dimensionamento del sistema Radar dipende dalla scelta della frequenza di funzionamento; in particolare, viene adoperata per definire:

- il dimensionamento dell'hardware relativo al trasmettitore ricevitore;

- il dimensionamento del circuito di amplificazione sia in trasmissione e sia in ricezione;
- il dimensionamento della potenza fornita all'antenna sulla base dell'equazione del Radar;
- la progettazione e realizzazione delle antenne usate in trasmissione ed in ricezione.

I sistemi radar vengono progettati in base all'applicazione in cui vengono impiegati; nel caso del monitoraggio di fronti franosi con presenza di vegetazione, la frequenza di funzionamento è di rilevante importanza. Per garantire il superamento da parte del segnale radar dello strato vegetativo è necessario utilizzare frequenze basse. Generalmente, per questo tipo di applicazioni, viene usata o la banda P (300MHz a 1 GHz) o la banda L (1 GHz a 2GHz).

L'immagine riportata in figura 1 riassume comportamento delle varie frequenze in presenza di vegetazione.

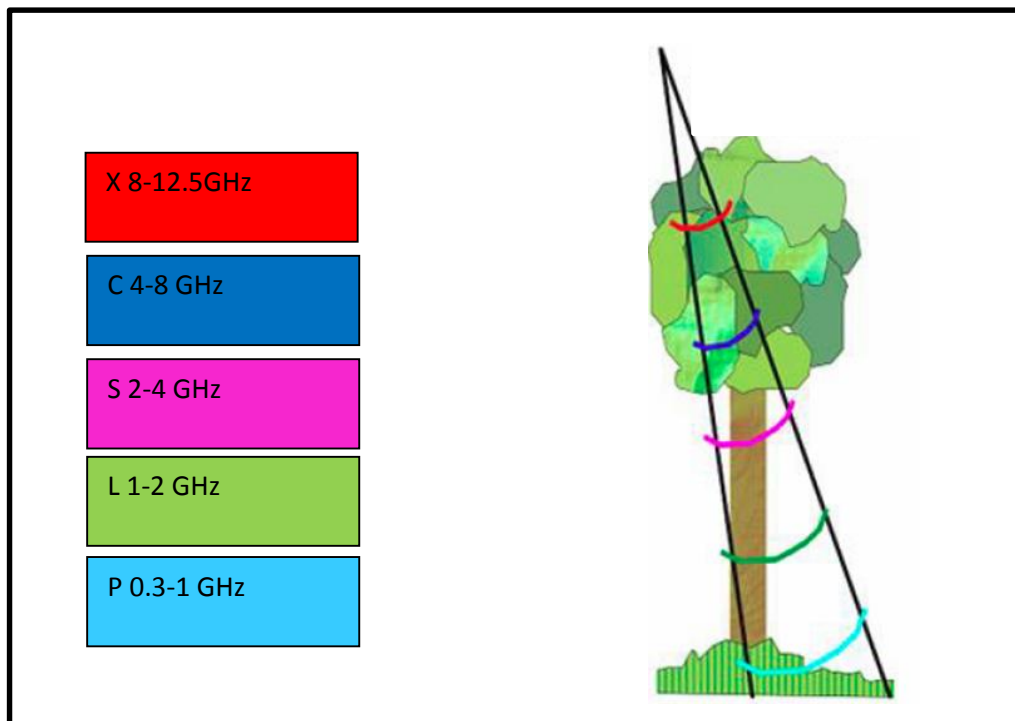


Figura 1. Penetrazione del segnale radar rispetto alla frequenza.

L'utilizzo di una frequenza ridotta causa problematiche riguardanti la progettazione dell'antenna in quanto, quest'ultima, risulterebbe di elevate dimensioni.

La scelta della banda L, in particolare 1.8GHz, come frequenza di funzionamento del sistema radar, è il risultato di un compromesso tra la progettazione dell'antenna di dimensioni contenute e la penetrazione strato di vegetazione da parte del segnale radar.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.3.2

Valutazione di possibili strategie implementative del sistema

3.3.2.A SCELTA DEL SISTEMA SOFTWARE DEFINED

La tecnologia Software Defined Radio in sigla SDR, è una tecnologia in via di sviluppo che permette di costruire ricevitori radio non più hardware ma quasi completamente software. Tali sistemi vengono definiti multi-standard, ovvero capaci di adattarsi ai diversi standard radio senza ulteriori modifiche hardware.

Recentemente la tecnologia Software Defined è stata introdotta anche nei sistemi Radar dando luogo a sistemi altamente innovativi ed a basso costo.

I sistemi Software Defined Radar sono particolari tipi di Radar molto versatili in cui le operazioni riguardanti la trasmissione, la ricezione ma principalmente il signal processing avvengono via software; tale caratteristica rende i sistemi radar adattabili a diverse applicazioni radar.

L'innovazione e l'elevato grado di programmabilità pone la tecnologia SDR al primo posto per la progettazione e realizzazione del sistema Radar in banda L.

La possibilità di riconfigurare via software l'algoritmo di elaborazione dei dati rende il sistema Radar migliorabile nel tempo senza l'aggiunta di moduli hardware aggiuntivi.

Lo schema a blocchi di un sistema Radar SDR è riportato in figura 2.

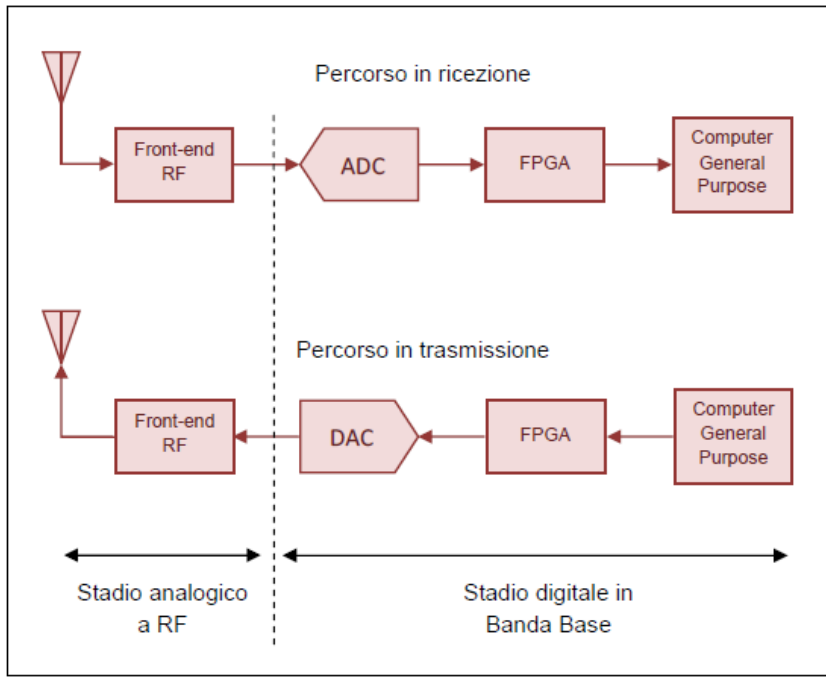


Figura 2. Schema a blocchi di un sistema Software Defined Radar

Il sistema è composto da due stadi principali, uno stadio analogico a radio frequenza ed uno stadio totalmente digitale.

Lo *Stadio analogico a radio frequenza* è composto da un blocco *RF front-end* in ricezione, il cui scopo è quello di amplificare il segnale ricevuto e traslarlo in frequenza verso la banda base; un blocco *RF front-end* in trasmissione che amplifica e trasferisce in banda passante il segnale da trasmettere; un'antenna in trasmissione ed un'antenna in ricezione.

Lo *stadio digitale in Banda Base* è composto da un ADC (Analog to Digital Converter) in ricezione e da un DAC (Digital to Analog Converter) in trasmissione.

L'ADC converte il segnale analogico proveniente dallo stadio a radio frequenza in digitale per poi essere trasferito all'FPGA. Il DAC, posto sul percorso in trasmissione, converte il segnale proveniente dallo stadio digitale in analogico; successivamente, il segnale passa allo stadio a radio frequenza e quindi all'antenna.

Il blocco FPGA, field-programmable-gate-array, è un circuito integrato programmabile mediante opportuni linguaggi a bassissimo livello. L’FPGA, nel percorso in ricezione, adatta il flusso dati digitale all’interfaccia verso il PC mediante operazioni di decimazione (Digital Down Converter); in trasmissione, adatta il flusso dati digitale verso il convertitore DAC mediante operazione di interpolazione (Digital Up-Converter). Oltre a queste funzioni l’FPGA può svolgere anche operazioni di signal processing.

La maggior parte delle operazioni effettuate sul segnale avvengono sul processore di un *General Purpose Computer*. Mediante opportuni software è possibile elaborare segnali radar con tecniche di signal processing anche complesse.

3.3.2.B SCELTA DEI COMPONENTI HARDWARE

La scelta dei componenti hardware è stata effettuata mantenendo un basso rapporto costo-qualità.

In particolare, il modulo hardware principale è la board NI USRP 2920 (*Universal Software Radio Peripheral*) prodotta da National Instruments.

La piattaforma NI USRP2920 è un ricetrasmittitore Software Defined che offre un’elevata flessibilità a costi notevolmente ridotti; inoltre, la banda di funzionamento va da un minimo di 50 MHz ad un massimo di 2.2GHz ricoprendo pienamente la banda L.

L’hardware NI USRP si interfaccia con l’ambiente di sviluppo LabVIEW il quale si presenta come un ottimo strumento software per l’implementazione di algoritmi radar. La board NI USRP è riportata in figura 3.



Figura 3. NI USRP 2920.

Di seguito viene riportato l'elenco degli ulteriori componenti hardware che compongono Sistema Radar in Banda L:

- Il Pc Embedded MXE Intel MXE 5302 con processore Intel I5;
- Il circuito di Amplificazione;
- Il Rotore in Azimut per il movimento dell'antenna;
- antenna RX (Array 4x8 elementi);
- antenna TX (Standard Gain HORN Antenna).

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.3.3

Confronto con i colleghi del Gruppo di Elettronica

3.3.3.A GESTIONE DELL'ACCENSIONE E SPEGNIMENTO DA REMOTO

L'integrazione del lavoro effettuato con la parte svolta dal gruppo di elettronica, riguarda l'aggiunta di un blocco supplementare che gestisce l'accensione e lo spegnimento da remoto del sistema Radar.

Tale blocco controlla le linee di potenza alle quali vi è collegato sia il sensore radar e sia il PC embedded MXE 5302 il quale funge da coordinatore e controllore del sensore stesso.

Nello specifico, la USRP NI 2920, il circuito di amplificazione ed il rotore d'antenna sono collegati e controllati da remoto mediante l'uso di un "RELAY", che interrompe (o fornisce) su comando la potenza; mentre, il PC embedded è controllato mediante GIGABIT ETHERNET in quanto è sempre collegato alla rete di potenza.

In figura 4 è riportato lo schema a blocchi che riassume l'integrazione del blocco di controllo remoto con la piattaforma Software Defined Radar.

L'attività svolta dal gruppo di elettronica riguarda:

- sviluppo del firmware per l' interfaccia di comunicazione via GSM;
- implementazione set di comandi remoti per il CAED;
- sviluppo firmware di comunicazione via LAN ETHERNET TCP/IP;
- sviluppo del protocollo di scambio messaggi mxe_raspi_mp_v01a;
- progettazione\realizzazione schema di connessioni elettriche per interfaccia GPIO.

Il sensore SDRadar, mette a disposizione tramite l'interfaccia di comunicazione GSM, implementata sulla Board RaspBERRY, un set di comandi remoti riportati nella tabella di seguito:

| SDRadar - RASPBerry GSM Interface - SMS or Email - Remote Commands | | | |
|---|--------------------|--|--------------------|
| ID_Command | Description | Action | Message |
| 1 | PWON | Alimentazione ON | comm/PWON/// |
| 2 | PWREBOOT | Alimentazione OFF-ON | comm/PWREBOOT/// |
| 3 | PWOFF | Alimentazione OFF | comm/PWOFF/// |
| 4 | PCON | Accende il PC | comm/ PCON/// |
| 5 | PCREBOOT | Spegne e riaccende il PC | comm/PCREBOOT/// |
| 6 | PCOFF | Spegne il PC | comm/PCOFF/// |
| 7 | SYSON | Alimentazione ON Accende il PC | comm/SYSON/// |
| 8 | SYSREBOOT | Alimentazione OFF – ON Spegne e riaccende il PC | comm/SYSREBOOT/// |
| 9 | SYSOFF | Alimentazione OFF Spegne il PC | comm/SYSOFF/// |
| 10 | RASPREBOOT | Riavvia la Raspberry | comm/RASPREBOOT/// |
| 11 | RASPOFF | Spegne la Raspberry | comm/RASPOFF/// |

L'intero sistema di controllo remoto è stato collaudato interamente durante i test effettuati sulla piattaforma radar sia in campo aperto e sia in camera anecoica.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.3.4

Definizione dello schema a blocchi del sistema

3.3.4.A SCHEMA A BLOCCHI DEL SISTEMA

Lo schema a blocchi dell'intero sistema Radar è riportato in figura 6

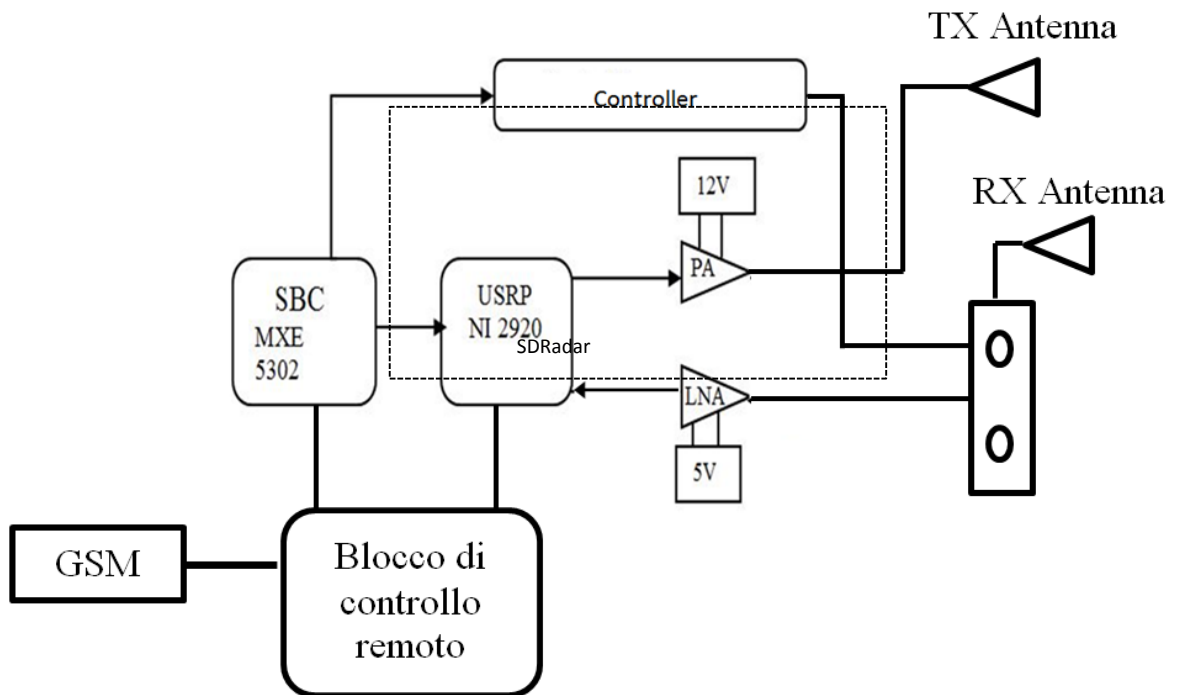


Figura 6. Schema complessivo del sistema Radar in banda L.

I principali componenti sono elencati di seguito.

- SBC MXE 5302: single board computer con processore intel I5-2510E;
- USRP NI 2920: trasmettitore ricevitore software defined;
- PA: Amplificatore di Potenza WAN TCOM WBPA0527A 0.4-2.7GHz;
- LNA: Amplificatori a basso rumore WAN TCOM WEA113 0,75-2.2GHz;
- Antenna TX: Standard Gain Horn antenna;
- Antenna RX: array di 8x4 elementi, con dimensione prevista di 80cm x 40 cm;
- Controllore + motore: sistema di movimento per la rotazione dell'antenna;
- Blocco di controllo remoto.

L'amplificatore di potenza (PA) e l'amplificatore a basso rumore (LNA) costituiscono il circuito di amplificazione. Tale blocco viene impiegato per aumentare la portata del segnale Radar e monitorare target posti a grandi distanze.

Il sistema di scansione è composto da:

- Motore + riduzione 1:10 EM3F3H-04S0 **PRECISIONE 0,009°**,
- Trasformatore AC 220/48V;
- Driver azionamento Plus L.

I componenti sono mostrati in figura 7.



Figura 7. Principali componenti del sistema di scansione

Progettazione dei blocchi elementari

La progettazione hardware dei blocchi elementari è attinente principalmente al circuito di amplificazione e all'antenna in ricezione. La descrizione della progettazione del blocco di controllo remoto è riportata nelle attività svolte dal gruppo di elettronica.

3.3.5.A PROGETTAZIONE DEL CIRCUITO DI AMPLIFICAZIONE

Il circuito di amplificazione è composto dall'amplificatore di potenza in trasmissione e dall'amplificatore a basso rumore in ricezione. Entrambi gli amplificatori necessitano di un'alimentazione propria (12V per il PA e 5V per LNA), di conseguenza sono necessari due "power supply" riportati di seguito.

- KWS5-5 AC IN 100V-240V DC OUT 5V
- KWD15-1212 AC IN 100V-240V DC OUT 12V

Nel caso in esame, il circuito di amplificazione è stato dimensionato sulla base dell'equazione del Radar, per effettuare misure posizionando il sistema radar ad 1 Km di distanza dal target sotto osservazione.

L'amplificatore di potenza scelto, presenta un guadagno di 35dB mentre l'LNA un guadagno pari a 18 dB; entrambi operano nella banda L a 1.8GHz.

I due modelli di amplificatori sono riportati di seguito:

- PA: Amplificatore di Potenza WAN TCOM WBPA0527A 0.4-2.7GHz;
- LNA: Amplificatori a basso rumore WAN TCOM WEA113 0,75-2.2GHz;

I power supply e gli amplificatori sono stati assemblati su un circuito stampato di materiale vetronite, e successivamente validati sperimentalmente. In figura 8 è mostrato il primo prototipo del circuito di amplificazione.

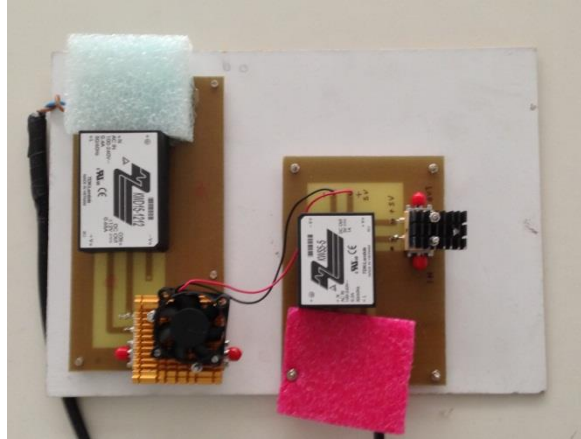


Figura 8. Prototipo del circuito amplificazione.

3.3.5.B PROGETTAZIONE DELL'ANTENNA IN RICEZIONE

L'array di antenne riceventi è costituito da due moduli identici, ognuno di dimensione 40x40 cm, costituiti da 16 elementi radianti ciascuno e funzionanti alla frequenza di 1.8 GHz. Gli elementi radianti, identici ed identicamente distribuiti, sono costituiti da patch di rame (compensati tramite una slot a corona circolare intorno all'alimentazione), solidali ad un substrato di supporto di materiale dielettrico (Arlon Di-Clad 870), utilizzato unicamente per motivi di praticità e robustezza della struttura. Il substrato "funzionale" del modulo è costituito da Foam Rohacell 51 HF, un materiale a bassa permittività che consente un incremento della banda di funzionamento. Lo spessore di questo substrato (2 cm) non è comunque tale da inficiare la compattezza del profilo dell'antenna. L'ultimo livello è costituito da un foglio di rame-vetronite-rame, che ha il doppio compito di fungere da piano di massa (i connettori sono saldati, per ragioni meccaniche, allo strato di rame interno) e conferire robustezza alla struttura. Gli strati sono stati fatti aderire tra di loro tramite una sottile pellicola (36 μm) di materiale altamente adesivo (Arlon Cu-Clad), caratterizzato dalla stessa costante dielettrica del substrato di supporto (2,33) per non introdurre ulteriori discontinuità elettromagnetiche nel profilo dell'antenna.

La parte in rame degli elementi radianti è stata rivestita da un sottile film di argento per rallentarne il processo di ossidazione. Il peso totale di ognuno dei

due singoli moduli è inferiore ad 1kg. Un alloggiamento in plexiglass è stato predisposto per ancorare i due moduli ad una gabbia di supporto in ferro, all'interno della quale sono alloggiati i tre divisori di potenza (due divisori identici a 16 uscite alimentati da un divisore a due uscite) ed i cavi di alimentazione dell'array. La gabbia di supporto è stata rivestita anch'essa da una copertura in plexiglass. La base della gabbia è direttamente vincolata all'albero motore. In figura 9 è mostrato il prototipo finale.

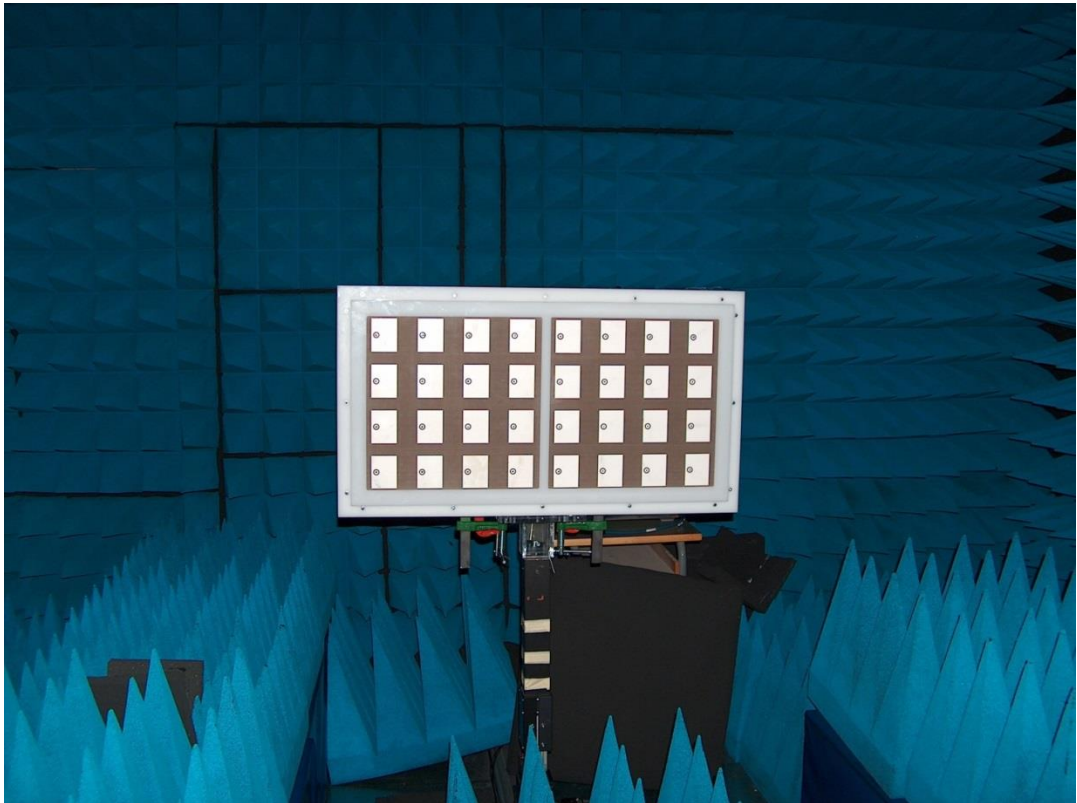


Figura 9. Antenna in ricezione durante le misure in camera anecoica.

Verifica funzionale e sperimentale dei blocchi elementari**3.3.6.A TEST DEL CIRCUITO DI AMPLIFICAZIONE**

Il circuito di amplificazione è stato validato sperimentalmente mediante il Vector Network Analyzer (VNA) presente nel laboratorio di microonde dell'Università della Calabria.

Lo scopo del test è la misura dei parametri di scattering ovvero, la verifica del guadagno effettivo nella banda L.

Le curve ottenute dal VNA relative sia alla misura del PA che dell'LNA sono riportate nelle figure di seguito.

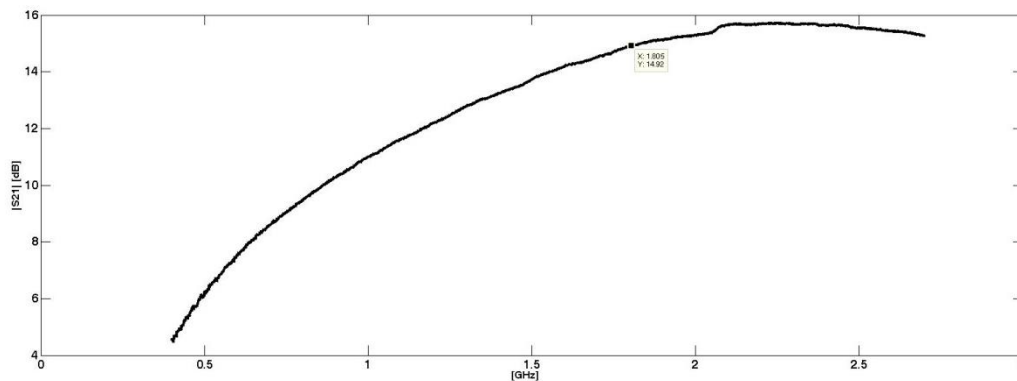


Figura 10. Andamento del coefficiente S21 relativo all'LNA.

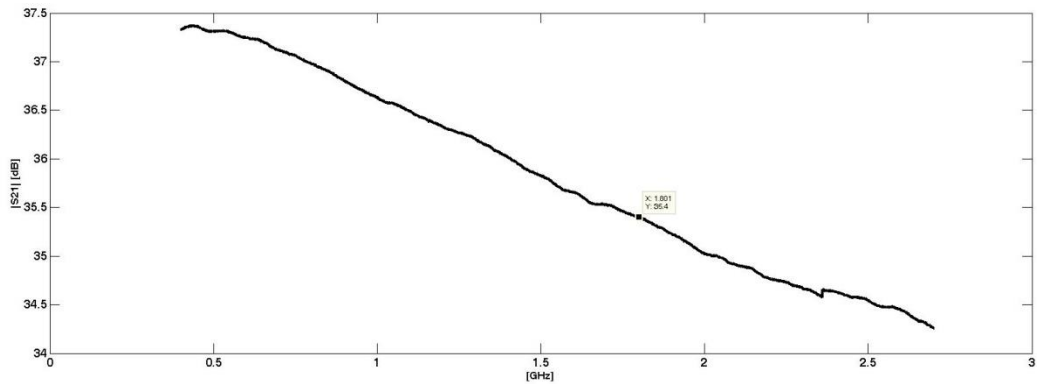


Figura 11. Andamento del coefficiente S21 relativo al PA.

Dalle curve mostrate in figura 10 e in figura 11 si nota che il guadagno effettivo a 1.8GHz dell'amplificatore di potenza è pari a 35.4dB mentre il guadagno effettivo dell'LNA è pari a 14.92dB.

Un ulteriore test è stato effettuato collegando il blocco SDRadar al circuito di amplificazione al fine di verificare mediante l'analizzatore di spettro, la potenza fornita all'antenna in trasmissione.

Il grafico mostrato in figura 12 mostra l'andamento della potenza fornita all'antenna in funzione della potenza fornita dal blocco SDRadar all'amplificatore di potenza.

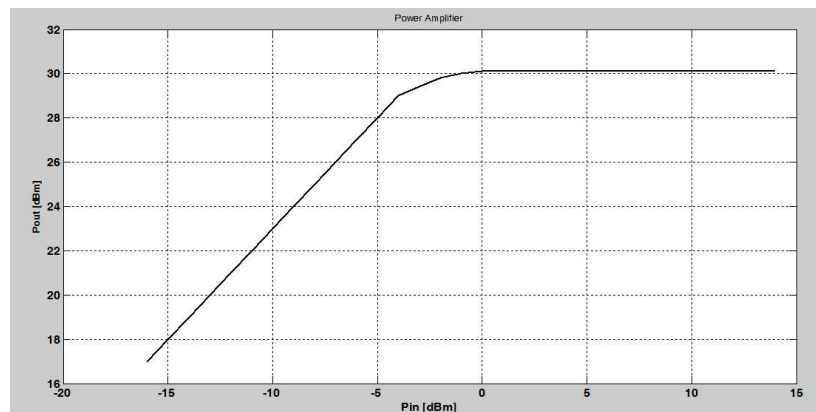


Figura 12. Relazione tra la potenza in uscita dall'amplificatore di potenza [Pout] e quella in ingresso [Pin] fornita dalla USRP a 1.8GHz.

3.3.6.B TEST DELL'ANTENNA IN RICEZIONE

Il test per validare il corretto funzionamento dell'antenna in ricezione è stato effettuato in camera anecoica. La validazione consiste in una misura di campo effettuata in far field.

In figura 13 è riportato l'andamento delle componenti co-polari e cross-polari di campo elettrico sul piano E alla frequenza centrale di funzionamento.

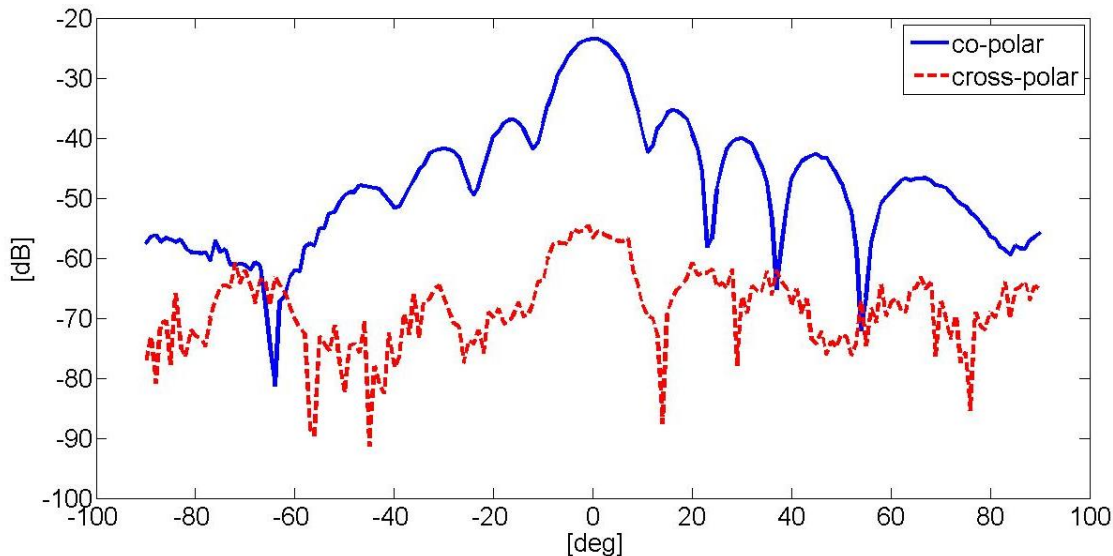


Figura 13. Misura Far Field dell'antenna in ricezione.

Dai risultati si evince un corretto funzionamento dell'antenna sia in termini di direttività sia in termini di abbattimento delle componenti cross-polari di campo. Le misure sono state ripetute a frequenze operative diverse da quella centrale per evidenziare il corretto funzionamento in banda dell'antenna. La larghezza di fascio, il guadagno ed il livello delle cross-polari non subiscono peggioramenti all'interno di un range di frequenze di circa il 20 % rispetto a quella centrale.

Integrazione con la parte di acquisizione

3.3.7.A INTEGRAZIONE CON LA PARTE DI ACQUISIZIONE

Il sistema centrale che effettua l'acquisizione dei dati è la board NI USRP 2920 (Universal software Radio Peripheral). Tale board integrata con il PC embedded MXE5302, il circuito di amplificazione, l'antenna ed il rotore in azimut costituisce il sistema radar in banda L.

La scheda di acquisizione USRP NI 2920 è connessa al PC MXE 5302 attraverso l'interfaccia Gigabit-ETHERNET ed è controllata mediante un'applicazione software scritta in codice Labview.

La versione 1.0 del software di gestione dell'intero sistema radar è stata completata durante questa attività elementare. Di seguito vengono elencate le principali caratteristiche:

- Interfaccia Grafica User Friendly;
- Salvataggio automatico dei dati acquisiti;
- Setting dei parametri fondamentali sia da Remoto e sia in Locale mediante configuration files (figura 14);
- Protocollo di comunicazione verso il coordinatore del sensore radar.

Le operazioni principali che l'applicazione esegue possono essere riassunte nei seguenti punti:

1. load dei parametri principali mediante configuration file;
2. trasmissione e ricezione del segnale radar;
3. pre-elaborazione del segnale ricevuto;
4. salvataggio dei dati sia grezzi che pre-elaborati;
5. salvataggio su file della posizione del rotore;

i punti 2,3,4,5 vengono ripetuti ad ogni scansione da parte del rotore d'antenna.

Di seguito vengono riportati i campi principali dei configuration files e alcune screenshot relative all'interfaccia grafica del software (figura 15).

```

ip mxe
127.0.0.1; TX carrier Frequency
1800000000; TX Internal GAIN
22; RX carrier frequency
1800000000; RX internal Gain
23; Number of sectors
4; Path Calibration Files
C:\MIDDLEWARE\USRP\CALIBRATION_FILES; Path Measure
C:\MIDDLEWARE\USRP\LIVE_DATA_NIUSRP; NOT USED
0; NOT USED
0; DIRECTION
+; Degree
1.0;

```

Figura 14. File di configurazione.

| | |
|-------------------------------|---|
| Ip MXE: | indirizzo ip del coordinatore del sensore Radar MXE 5302, |
| Tx carrier frequency | Frequenza trasmissione |
| Tx Internal Gain | Guadagno dell'amplificatore interno della USRP |
| Rx internal Gain | Guadagno dell'LNA interno della USRP |
| Rx Carrier frequency | Frequenza in ricezione |
| path calibration files | Path del file relativo alla scena di riferimento |
| path Measure | Path del file relativo alla misura |
| Not Used | Non usato |
| Not Used | Non usato |
| DIRECTION | Indica la direzione di rotazione del rotore d'antenna |
| DEGREE | Indica di quanti gradi deve essere effettuata la rotazione. |

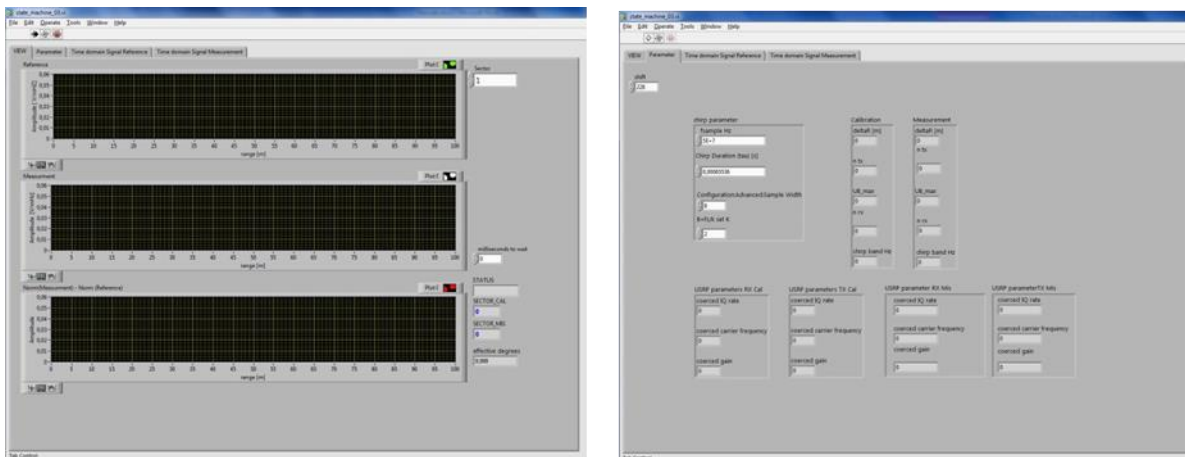


Figura 15. Screen-shot dell'applicazione software

3.3.7.B Formato dei dati acquisiti

Il sistema radar ad ogni scansione effettua il salvataggio automatico dei dati in formato file di testo (.txt). Le acquisizioni vengono salvate in un'apposita cartella e presentano la seguente nomenclatura:

K_N_dd-mm-aaaa_hh-mm-ss_M.txt

in particolare, K indica il K-esimo settore ed N il numero totale dei settori; le sigle a seguire indicano la data e l'ora in cui è stata fatta l'acquisizione. ad esempio:

il file 2_3_23-01-2014_10-16-58_M.txt

indica che la misura è relativa al secondo settore (2 di 3) ed è stata effettuata il 23 gennaio del 2014 alle 10 e 16 minuti.

Nella figura 16 viene mostrata la cartella con i file di misura all'interno.

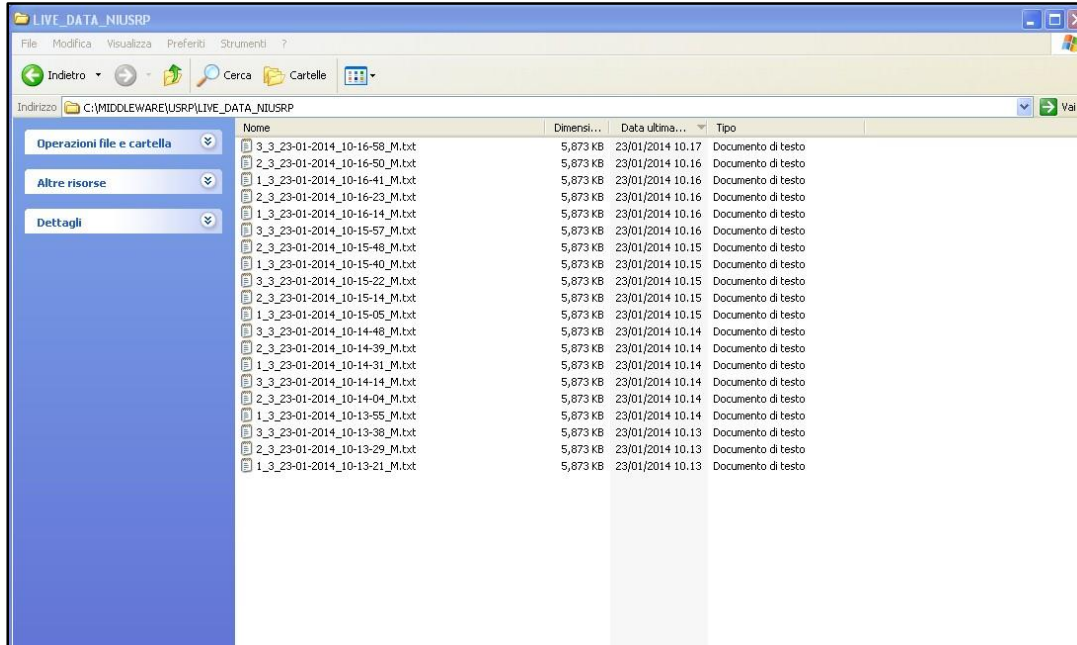


Figura 16: Screenshot della cartella LIVE_DATA_NIUSRP.txt

Il file di misura è organizzato in 8 colonne rispettivamente:

| Range [m] | FFT_MEASURE | Diff | T_TX | T_RX | FFT_CALIBRATION | T_TX_CAL | T_RX_CAL |
|---------------------|-------------------------------|---|------------------------------|----------------------------------|--|---|---|
| Asse delle distanze | Esito dell'elaborazione radar | Norm(FFT_MEASURE)-NORM(FFT_CALIBRATION) | Segnale tx nel dominio tempo | Segnale rx nel dominio del tempo | Esito dell'elaborazione radar relativa alla scena di riferimento | Segnale TX nel dominio del tempo relativo alla scena di riferimento | Segnale RX nel dominio del tempo relativo alla scena di riferimento |

inoltre, presenta il seguente Header:

%dd/mm/aaaa10.16

%MEASURE FILE k_N_deltaR_UB_max_n_K.

- k indica il k-esimo settore di N;
- deltaR è la radar slant resolution;

- UB_max limite superiore dei dati inviati al CAED
- n numero di punti per colonna
- $K = B = fs/k$ set k (vedi figura 6)

nell'immagine in figura 17 è riportato un esempio del file di misura relativo ad un solo settore.

3_3_23-01-2014_10-16-58_M.txt - Blocco note

```

%23/01/2014_10.16
%MEASURE FILE 3_3_6_1000_32768_2
%Range [m] FFT_MEASURE Diff T_TX T_RX FFT_CALIBF
-98552.000000 0.000012 0.033663 1.000000 0.000000 0.000001
-98526.000000 0.000017 0.037816 1.000000 -0.031282 0.000004
-98520.000000 0.000009 0.009045 1.000000 0.000000 0.000001
-98514.000000 0.000007 0.006253 1.000000 -0.031282 0.000004
-98508.000000 0.000011 0.007418 0.999999 0.000000 0.000007
-98502.000000 0.000007 0.011475 0.999999 0.000000 0.000002
-98496.000000 0.000009 0.021339 0.999997 0.000000 0.000002
-98490.000000 0.000010 0.019449 0.999995 0.000000 0.000003
-98484.000000 0.000008 0.013004 0.999992 0.000000 0.000003
-98478.000000 0.000013 0.021854 0.999989 0.000000 0.000005
-98472.000000 0.000013 0.020873 0.999983 0.000000 0.000005
-98466.000000 0.000007 0.002459 0.999976 0.000000 0.000005
-98460.000000 0.000004 0.000000 0.999967 0.000000 0.000015
-98454.000000 0.000009 0.000000 0.999956 0.000000 0.000010
-98448.000000 0.000009 0.000000 0.999942 0.000000 0.000008
-98442.000000 0.000012 0.015965 0.999925 0.000000 0.000006
-98436.000000 0.000012 0.025772 0.999904 0.000000 0.000003
-98430.000000 0.000005 0.000000 0.999879 0.000000 0.000007
-98424.000000 0.000013 0.014950 0.999850 0.000000 0.000007
-98418.000000 0.000012 0.010361 0.999816 0.000000 0.000007
-98412.000000 0.000009 0.020906 0.999777 0.000000 0.000002
-98406.000000 0.000011 0.004313 0.999731 0.000000 0.000008
-98400.000000 0.000010 0.014935 0.999678 0.000000 0.000004
-98394.000000 0.000013 0.000000 0.999619 0.000000 0.000012
-98388.000000 0.000006 0.000000 0.999551 0.000000 0.000013
-98382.000000 0.000014 0.027000 0.999475 0.000000 0.000006
-98376.000000 0.000011 0.000000 0.999389 0.000000 0.000010
-98370.000000 0.000014 0.033523 0.999294 0.000000 0.000003
-98364.000000 0.000016 0.034402 0.999187 0.000000 0.000004
-98358.000000 0.000005 0.000000 0.999069 0.000000 0.000011
-98352.000000 0.000013 0.007428 0.998939 0.000000 0.000009
-98346.000000 0.000005 0.000000 0.998795 0.000000 0.000007
-98340.000000 0.000011 0.006887 0.998638 0.000000 0.000007
-98334.000000 0.000010 0.021155 0.998465 0.000000 0.000003
-98328.000000 0.000012 0.001425 0.998276 0.000000 0.000010
-98322.000000 0.000009 0.002674 0.998071 0.000000 0.000007

```

Figura 17. Esempio di file di misura acquisito.

Sviluppo del software di ricostruzione delle immagini

3.3.8.A ALGORITMO PER LA RICOSTRUZIONI DI IMMAGINI RADAR

Durante il SAL è stato implementato via software un algoritmo per l'acquisizione di dati radar tramite scansione. L'algoritmo sarà parte centrale del software di ricostruzione delle immagini.

Il modello di algoritmo proposto permette la scansione, attraverso l'uso del rotore d'antenna, dell'area sotto osservazione. L'algoritmo è articolato in quattro step fondamentali di seguito riportati.

1. Definizione dei parametri principali:

footprint

Tale parametro corrisponde all'area illuminata a terra dall'antenna.

Il footprint dipende da diversi fattori quali: la larghezza di fascio (antenna beam-width) in elevazione ed in azimut dell'antenna, l'angolo di incidenza dell'onda sul fronte montuoso (Grazing Angle) e la frequenza di funzionamento.

Finestra di ricezione

La finestra di ricezione corrisponde alla differenza tra la distanza massima e la distanza minima che si vuol misurare. La definizione di tale parametro assicura un corretta identificazione della zona sotto osservazione.

Dimensione totale dell'area sotto osservazione

La conoscenza e quindi il settaggio nell'algoritmo di tale parametro permette di definire il numero di scansioni necessarie da effettuare per la completa copertura della zona da monitorare da parte del sistema Radar.

2. Definizione della Matrice delle scansioni

La matrice delle scansioni è una matrice utile alla raccolta dati durante l'acquisizione. Da tale matrice si ricava l'immagine della zona sotto osservazione. Il numero di righe corrisponde al numero di scansioni che il sistema effettua ed il numero di colonne è funzione della finestra di ricezione definita precedentemente.

3. Inizio del ciclo di scansione

Per ogni singola scansione, ottenuta dalla rotazione prodotta dal motore, la matrice viene riempita per riga, con dati pre-elaborati ottenuti dalla tecnica Stretch Processor.

4. Completato il ciclo di scansione e quindi riempita la matrice si procede con l'assegnazione dei colori; procedura utile nel controllo remoto della topologia di superficie sotto osservazione.

Nella figura 18 è riportato lo schema a blocchi dell'algoritmo; mentre, nella figura 19 è mostrata una prima immagine ottenuta da un test effettuato nel laboratorio di microonde dell'Università della Calabria. Il test è stato effettuato ponendo tre target a tre differenti distanze tra 0 e 6 m tra 6 e 12m e 12 e 18m. Nell'immagine ottenuta dall'algoritmo si notano i target contrassegnati da tre colori differenti.

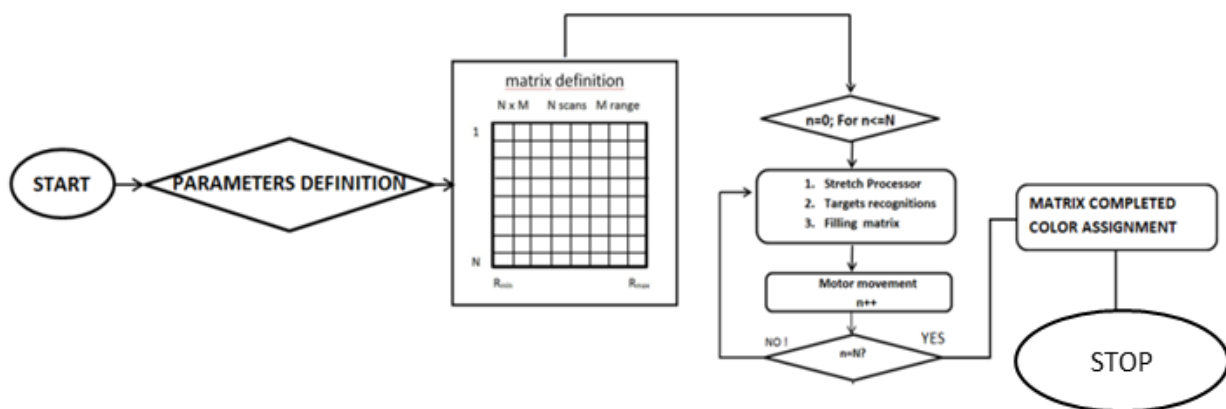


Figura 18. Schema a blocchi dell'algoritmo di scansione.

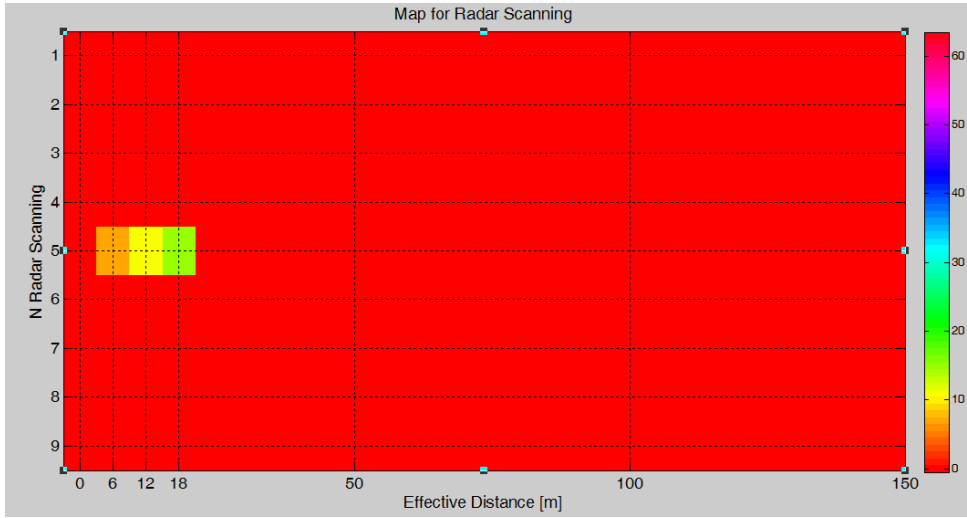


Figura 19. Esempio di immagine ottenuta dall'algorithm.

Prima implementazione hardware

3.3.9.A ASSEMBLAGGIO DEI VARI COMPONENTI E PRIMA IMPLEMENTAZIONE HARDWARE

Al fine di rendere il sistema robusto e quindi, adatto per il tipo di applicazione scelta, è stato necessario assemblare i principali componenti che compongono il radar in un case per strumentazione dedicato.

La tipologia di case scelta è mostrata in figura 20.



Figura 20. Contenitore SCHROFF COMPACT PRO U 84HP 511D

Tabella 1 Caratteristiche tecniche del case.

| | |
|---------------------------------|------------------------------|
| ✓ Altezza esterna | 191,6 mm |
| ✓ Colore | Grigio, bianco |
| ✓ Dimensioni esterne | 191.6 x 471 x 511mm |
| ✓ Larghezza esterna | 471 mm |
| ✓ Materiale esterno contenitore | Alluminio, alluminio estruso |
| ✓ Profondità esterna | 511mm |
| ✓ Unità Rack | 4U |
| ✓ Ventilato | Sì |

I principali componenti montati all'interno del case sono il trasmettitore ricevitore Software Defined NI USRP 2920, il Pc embedded MXE 5302 per il controllo e la memorizzazione dei dati ed il circuito di amplificazione (figura 21).



Figura 21. A sinistra l'interno del case di strumentazione a destra il pannello frontale

I componenti del rotore in azimuth, riportati in figura 7, sono stati assemblati anch'essi in un case per strumentazione dedicato, il sistema radar completo è mostrato in figura 22.



Figura 22. Sistema radar software defined in banda L

Test del radar in camera anecoica

3.3.10.A TEST DEL SISTEMA IN CAMERA ANECOICA

Per verificare il corretto funzionamento del sistema Radar, è stato predisposto un setup di misure nella camera anecoica presente nel laboratorio di Microonde.

Le misure effettuate in camera anecoica, essendo un ambiente privo di interferenze, permettono di verificare il corretto funzionamento del sistema radar.

Il test è stato effettuato in due fasi principali la calibrazione e la misura effettiva.

Fase di Calibrazione

La calibrazione è l'operazione in cui uno strumento di misura viene regolato in modo da migliorarne l'accuratezza. L'operazione richiede il confronto con delle misure di riferimento prodotte.

Il sistema radar si basa sulla misurazione di ritardi temporali tra l'onda trasmessa e l'onda riflessa; di conseguenza è stata effettuata una prima calibrazione utilizzando un cavo da 50 cm collegato alle porte Tx ed RX della scheda USRP NI 2920 al fine di valutare e considerare i ritardi interni della scheda.

Una seconda calibrazione è stata effettuata in camera anecoica senza considerare un eventuale target posizionato.

Lo scopo di questa operazione è quello di andare a calibrare i ritardi temporali dovuti alle riflessioni dei segnali sui componenti del il sistema.

Fase di misura

Completata la fase di taratura dello strumento ed ottenuto, quindi, un riferimento adeguato per poter testare il sistema si è proceduto alla fase di misura.

Il test è stato eseguito posizionando un target noto (schermo metallico) a varie distanze comprese tra 0 e 12 metri. Un ulteriore prova è stata effettuata posizionando 2 target tra sempre tra 0 e 12m.

Nei grafici riportati in figura 23,24 e 25 è mostrato il risultato ottenuto dal software di gestione del SDRadar.

Nel primo grafico, corrispondente alla misura in cui il target è stato posto tra 0 e 6m si nota il picco maggiore esattamente a 6m; nel secondo caso il picco è spostato a 12m in quanto il target è posto tra 6 e 12m; nel terzo ed ultimo test nella figura si notano 2 picchi uno a 6m e uno a 12m dovuti alla presenza di 2 target posizionati tra 0 e 12m.

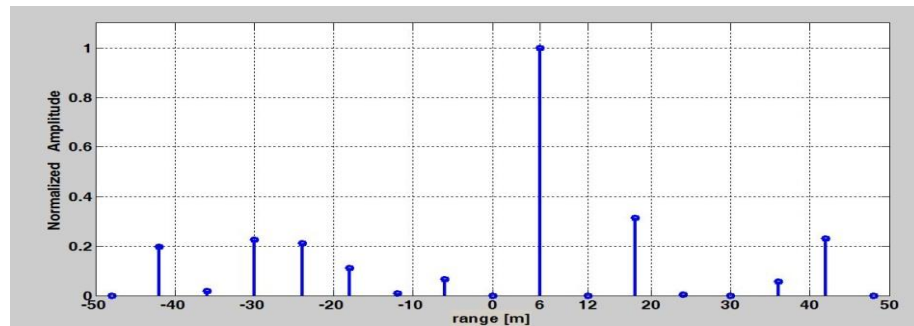


Figura 23. Esito ottenuto dal software con il target posto a 6m

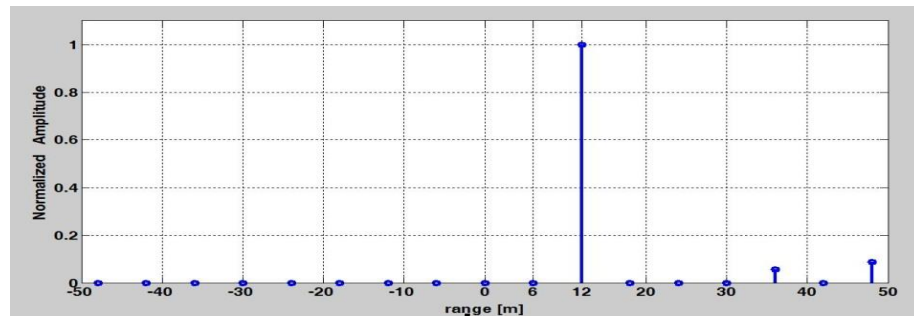


Figura 24. Esito ottenuto dal software con il target posto a 12m

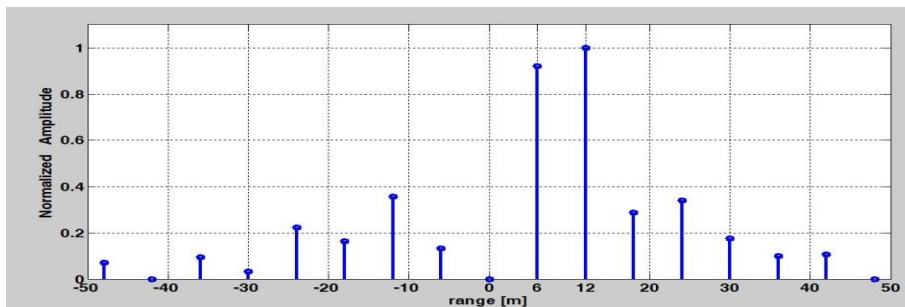


Figura 25. Esito ottenuto dal software con due targets posti tra 6 e 12m

ATTIVITÀ ELEMENTARE 3.3.11

Integrazione software con l'unità di RC e test in campo aperto

3.3.11.A INTEGRAZIONE SOFTWARE CON L'UNITÀ DI RC

L'unità operativa di Reggio Calabria ha sviluppato un algoritmo di elaborazione di segnali radar per l'osservazione di fenomeni relativi alle deformazioni. Tale algoritmo, basato su tecniche interferometriche, riduce notevolmente la risoluzione in range (attualmente pari a 6m) del sistema radar portandola nell'ordine dei centimetri.

L'attività da svolgere consiste principalmente nella scrittura dell'algoritmo in codice LabVIEW al fine da poter effettuare una completa integrazione col sistema radar progettato.

Per una corretta esecuzione dell'algoritmo in uno scenario reale è necessaria la predisposizione del sistema di scansione; una volta completata questa parte si potrà procedere con la validazione sperimentale dell'algoritmo in campo aperto.

Attualmente, l'attività svolta si è basata sull'individuazione e quindi, l'adattamento delle principali caratteristiche della board NI USRP 2920 a tale tecnica di elaborazione dei segnali radar. In particolare, uno dei punti cruciali è la caratterizzazione della forma d'onda da trasmettere. Inoltre, è opportuno

evidenziare che la tecnologia Software Defined, appartenente alla board NI USRP 2920 che costituisce la parte centrale del sistema radar, garantisce un'elevata flessibilità e adattabilità a diversi algoritmi e tecniche radar.

3.3.11.B TEST IN CAMPO APERTO

I test in campo aperto effettuati hanno garantito il corretto funzionamento del sistema, durante la sperimentazione sono stati individuati le tematiche ed i vari punti da affrontare negli sviluppi futuri.

L'obiettivo del test è basato sull'individuazione di un target metallico. Durante l'esperimento il target è stato posizionato in diversi punti, in particolare, è stata verificata la penetrazione dello strato vegetativo da parte dei segnali in banda L, posizionando il target dietro ad alcuni alberi. Nella figura 26 viene mostrato il sistema montato durante il test, nelle figura 27 e 28 vengono riportati alcuni risultati ottenuti dalla sperimentazione.



Figura 26. Sistema Radar durante i test in campo aperto

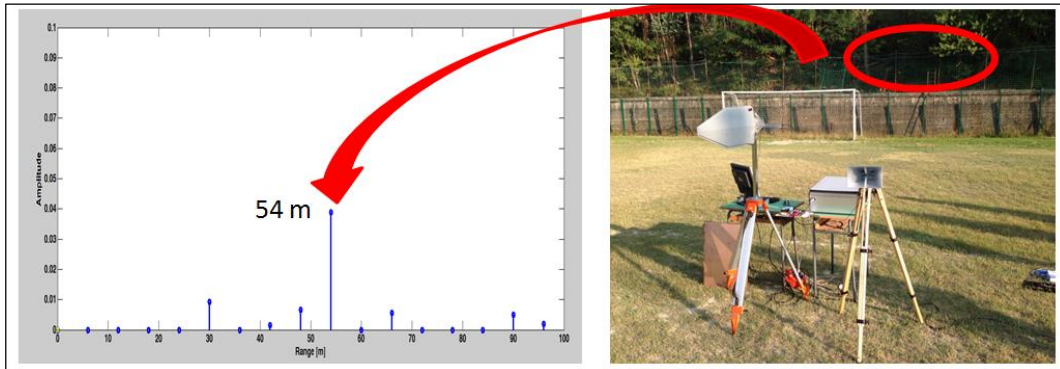


Figura 27. Misura con Target posizionato dietro lo strato vegetazione.

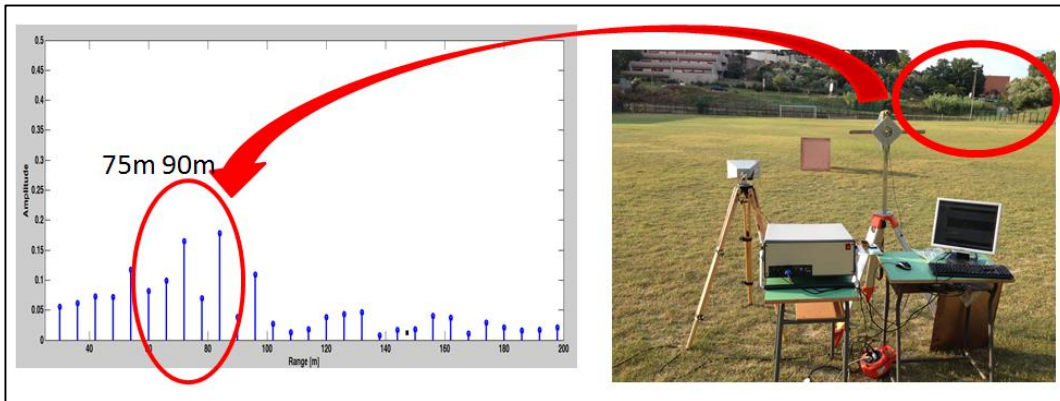


Figura 28. Misura effettuata orientando le antenne in direzione della zona trafficata.

