

**Calibrazione segmento UHF
di una stazione di terra satellitare**

Candidato:
Luca Adanti
Matricola 692423

Relatore:
Prof. Paolo Tortora
Correlatori:
Ing. Alberto Lucci
Ing. Alfredo Locarini

Indice

Indice	3
Elenco delle figure	4
Elenco delle tabelle	5
1 Introduzione	7
2 ESEO	9
2.1 Il satellite	9
2.2 Segmento di terra	11
3 Assemblaggio stazione di terra	13
3.1 Antenna	13
3.2 LNA	14
3.3 Rot2Prog	16
3.4 Alfaspid Rotator Az/EL	18
3.5 Software Defined Radio	20
4 Programmi utilizzati	23
4.1 LabVIEW	23
4.2 Gpredict	25
4.3 Orbitron	27
5 Verifica ramo di ricezione	29
5.1 Test di movimentazione rotore	29
5.2 Test di ricezione segnale	30
6 Conclusioni e sviluppi futuri	33
A Analizzatore di spettro	35
B Effetto Doppler	37

Elenco delle figure

2.1	Configurazione payload ESEO [1]	10
2.2	Il satellite ESEO [1]	10
2.3	Schema segmento di terra [2]	11
3.1	Schema collegamenti strumentazione	14
3.2	Rack con una parte della strumentazione	15
3.3	Antenna Yagi	15
3.4	Grafici di emissione antenna	16
3.5	Schema LNA	16
3.6	Controller Rot2Prog	16
3.7	Connettore Db9	17
3.8	Schema librerie Hamlib [4]	17
3.9	Rotore AlfaSpid AZ/EL RAS	19
3.10	SDR	20
4.1	Applicazione labview per controllo SDR	23
4.2	Finestra dedicata alla correzione doppler	25
4.3	Finestra principale di Gpredict	26
4.4	Finestra di controllo del rotore	27
4.5	Finestra principale di Orbitron	28
4.6	Finestra "Rotore/Radio"	28
5.1	Test ricezione	31
6.1	Schema stazione di terra con inclusione del ramo di trasmissione	34
A.1	RF-Explorer	35
A.2	Finestra principale di utilizzo RF-Explorer	36

<i>Elenco delle tabelle</i>	5
B.1 Esempio effetto doppler	37

Elenco delle tabelle

2.1 Parametri orbitali ESEO	10
---------------------------------------	----

Capitolo 1

Introduzione

Le attività svolte durante il seguente lavoro di tesi hanno riguardato l'implementazione e la validazione preliminare della catena di ricezione della stazione di terra situata nel Tecnopolo di Forlì. L'attività svolta va considerata all'interno della missione ESEO (European Students Earth Orbiter) promossa dall'Educational Office dell'agenzia spaziale europea (ESA). In tale progetto (maggiori dettagli nel capitolo 2) l'Università di Bologna sarà la stazione primaria per l'invio di telecomandi e la ricezione di dati di telemetria.

Il lavoro si articola in quattro fasi principali:

- assemblaggio strumentazione;
- installazione software necessario a svolgere le varie operazioni;
- verifica movimentazione dell'antenna;
- verifica della ricezione di segnali trasmessi da satelliti.

In particolare l'implementazione della strumentazione riguarda il fissaggio dell'antenna, in quanto è stato deciso di sostituire quella già presente, il montaggio del LNA e il cablaggio dei vari strumenti.

I software utilizzati (e che è stato necessario installare) sono stati scelti, per le loro funzionalità e facilità di utilizzo, durante lavori svolti precedentemente ([2] e [3]) e questi sono:

- NI LabVIEW, con il quale è stata sviluppata l'applicazione per il controllo della SDR;
- Gpredict, un software per eseguire il tracciamento di satelliti, utilizzato per il controllo del rotore;
- Orbitron, dedicato anch'esso al tracciamento di satelliti, è stato utilizzato per il passaggio della correzione in frequenza dovuta all'effetto doppler.

Il fulcro dell'attività svolta ha riguardato la verifica preliminare del funzionamento della catena di ricezione della stazione di terra, soffermandosi prima sui test di movimentazione e in seguito sull'effettiva verifica di ricezione di segnali. Raccogliere in maniera quanto più rigorosa possibile il tutto in un manuale che sarà poi un riferimento per l'esecuzione di tutte le operazioni è stato altrettanto fondamentale.

Oltre ad illustrare il funzionamento dei vari strumenti, l'utilizzo dei vari software e le varie procedure di montaggio e verifica della strumentazione, nei paragrafi successivi verranno riportate anche le soluzioni implementate per risolvere gli inaspettati problemi sorti durante le varie attività.

Infine saranno quindi esposti i risultati ottenuti e indicate alcune possibili migliorie da implementare in futuro.

Capitolo 2

ESEO

Promosso dall'Educational Office dell'Agenzia Spaziale Europea , ESEO è un micro-satellite in orbita bassa (LEO) sviluppato, integrato e testato da studenti delle università europee.

Prossimo al lancio (previsto nel 2018), gli obiettivi di questa missione sono [1]:

- Scattare fotografie della Terra e/o altri corpi celesti usando una microcamera nello spettro del visibile sviluppata dal DTU Space, Danimarca;
- Fornire misurazioni dei livelli di radiazioni magnetiche nelle orbite LEO sfruttando una sonda Langmuir, progettata dall'università di Budapest, la quale permette di ottenere delle misure di densità e temperatura di elettroni, e un dosimetro triassiale per misurare la quantità di radiazione assorbita e una misurazione del trasferimento di energia LET (Linear Energy Transfer);
- Acquisire esperienza sulle tecnologie che potranno essere utilizzate per possibili future missioni educative di ESA: a bordo saranno presenti anche un sistema di comunicazione in banda S, un ricevitore GPS per la determinazione d'assetto, un software per determinazione e controllo di assetto (AOCS) e un payload di deorbitamento.

2.1 Il satellite

Oltre all'equipaggiamento già citato, il satellite avrà a bordo uno strumento proposto da AMSAT che permetterà di comunicare attraverso frequenze UHF con la comunità di radioamatori.

L'intero satellite consiste in due moduli separati: quello del bus e quello del payload. Il primo consiste in tutti i sottosistemi necessari al volo:

- AOCS (Attitude and Orbit Control System);
- OBDH (On Board Data Handling);
- EPS (Electrical Power Subsystem);
- TMTC (TeleMetry and TeleCommand);

L'orbita obiettivo di ESEO è un'orbita eliosincrona (SSO) con un LTAN (Local Time Ascending Node) di 10:30 ore (nella tabella 2.1 sono riassunti tutti i parametri).

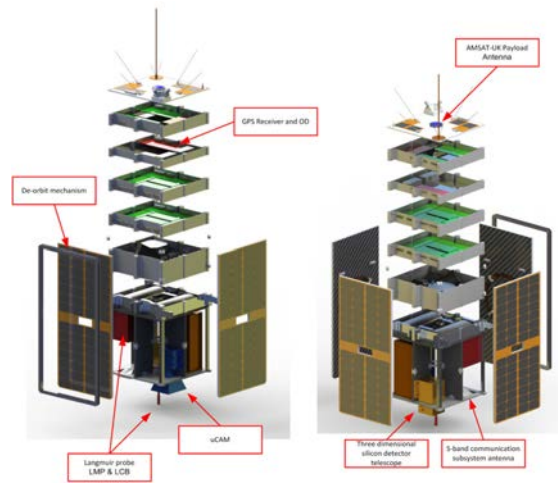


Figura 2.1: Configurazione payload ESEO [1]

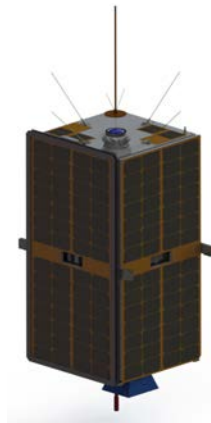


Figura 2.2: Il satellite ESEO [1]

Semiassse maggiore	609,82699
Eccentricità	0,001314779
Inclinazione	97,47884°
Nodo ascendente	137,34203°
Argomento del perigeo	67,74183°
Anomalia vera	292,25995°

Tabella 2.1: Parametri orbitali ESEO

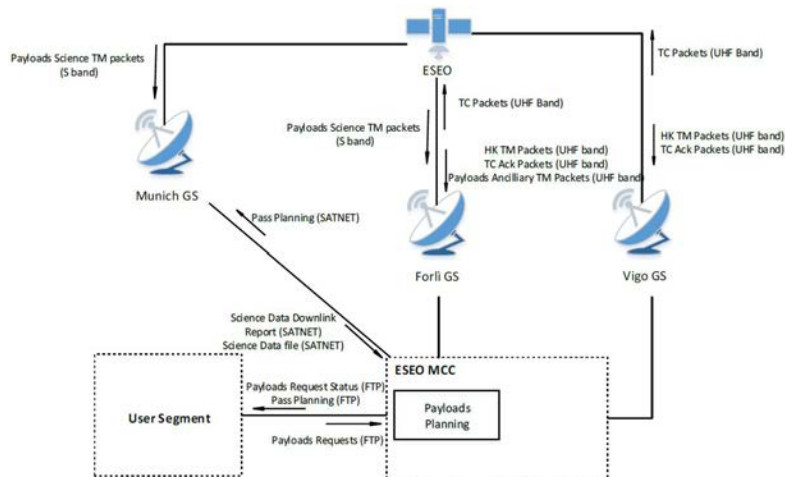


Figura 2.3: Schema segmento di terra [2]

2.2 Segmento di terra

Lo scopo del progetto è anche quello della progettazione e realizzazione del segmento di terra per la missione. Questo dovrà garantire le funzioni base necessarie a stabilire una comunicazione radio affidabile con il satellite. I requisiti presenti per il suo funzionamento sono:

- Supporto in termini di comando e controllo del satellite, monitoraggio della telemetria e gestione del link di comunicazione;
- Supporto alla ricezione dei dati scientifici provenienti dai payload;
- Gestione dell'intera missione;
- Gestione delle richieste dell'utente e dai dati dal satellite ESEO usando stazioni di acquisizione multiple.

È possibile dividere il segmento di terra in due aree principali: una dedicata allo sfruttamento delle risorse del satellite, l'altra è l'area dedicata alla programmazione e al controllo. La prima include MIEX (Mission Exploitation Control) e gli utenti, mentre la seconda implementerà MCC (Mission Control Center), MPS (Mission Planning System), FDS (Flight Dynamic System) e le stazioni di terra.

Il segmento di terra comprende le seguenti stazioni (vedi Figura 2.3):

- *GSF* Ground Station Forlì. È la stazione principale per ricezione della telemetria e invio di comandi. È usata per ricevere tutti i dati di telemetria, trasmettere telecomandi in banda UHF e come stazione di supporto per ottenere i dati del payload in banda S;
- *GSV* Ground Station Vigo. È una stazione di backup per GSF;
- *GSM* Ground Station Munich. Il compito principale di questa stazione è la ricezione dei dati del payload in banda S.

L'università CalPoly ha sviluppato SATNet, un sistema che permette di coordinare tutte le strutture dal MCC di Forlì. È composto di due client e un nodo centrale:

- il nodo è il fulcro del sistema ed è chiamato Network System (N-System). Implementa i servizi che permettono la connessione con il network della stazione di terra;
- i client sono software che vengono utilizzati per accedere al N-System. Uno è utilizzato dagli operatori delle GS (G-Client), l'altro dagli operatori di missione (M-Client).

Capitolo 3

Assemblaggio stazione di terra

In figura 3.1 si può vedere uno schema del montaggio di tutta la strumentazione utilizzata in questo momento nella stazione di terra.

Dallo schema oltre ai collegamenti tra i vari strumenti si possono vedere anche i tipi di cavi con i quali sono fatti questi collegamenti e come è gestita l'alimentazione. In particolare: PC e USRP sono collegati ad una presa a muro, mentre LNA e controller sono alimentati da un alimentatore Hameg P4030. Si può vedere che è anche presente un adattatore: questo serve soltanto per collegare il cavo proveniente dal LNA con quello diretto verso la SDR. Abbiamo adottato questa soluzione perché la radio ha un connettore di tipo SMA, mentre il cavo proveniente dall'antenna ha un connettore di tipo N maschio.

Alimentatore, controller e PC (di tipologia rack), che si trovano tutti all'interno, sono stati sistemati all'interno di un rack (vedi Figura 3.2).

3.1 Antenna

L'antenna (Fig. 3.3) è una Yagi 2x19 elementi e lavora nella banda 430-440 MHz. L'abbiamo montata mentre tutto il traliccio non era ancora posizionato sulla piattaforma per ragioni di sicurezza e comodità. Per fissarla in maniera corretta è stato necessario prima calibrare il rotore in elevazione, in questo modo abbiamo potuto sfruttare i blocchi meccanici presenti per avere una misura certa dell'angolo di elevazione. Una volta fatta la calibrazione, abbiamo portato il rotore ad una elevazione di 90° e poi fissato l'antenna, in modo che risultasse parallela al pavimento. Abbiamo prestato particolare attenzione anche al "verso" in cui è stata montata, in quanto ci deve essere corrispondenza tra la movimentazione in elevazione del rotore e la direzione di puntamento dell'antenna: quando il rotore aumenta il suo angolo di elevazione l'antenna deve seguire il movimento di conseguenza.

Dopo aver fissato l'antenna abbiamo montato su questa un accoppiatore, il quale ci permette appunto di accoppiare il segnale derivante dagli elementi verticali e orizzontali. Da questo parte poi un cavo che andrà collegato al LNA che dovrà essere il più corto possibile per evitare troppe perdite.

In figura 3.4 è possibile vedere i grafici di emissione dell'antenna. Come si può notare l'ampiezza del raggio è di circa 20°, questo ci permette di riuscire a ricevere un segnale anche in presenza di precisioni di puntamento non elevate, giustificando l'incertezza nel sistema di calibrazione adottato.

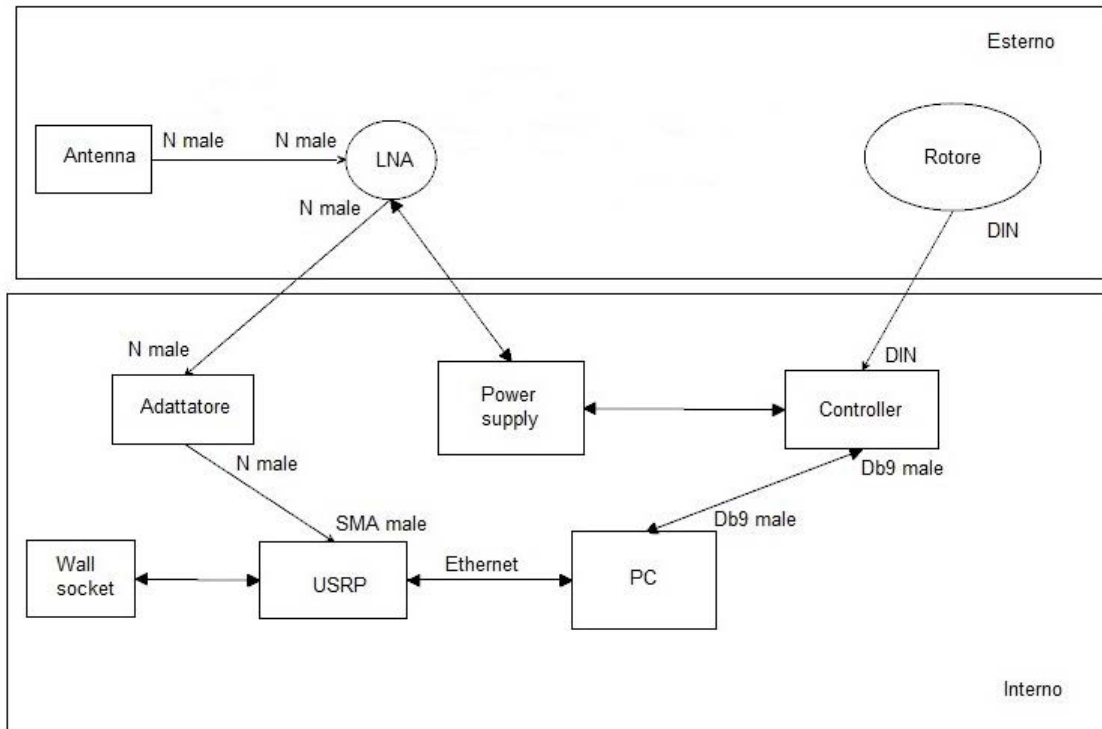


Figura 3.1: Schema collegamenti strumentazione

3.2 LNA

Il compito del Low Noise Amplifier è quello di amplificare il segnale ricevuto dall'antenna, per questo motivo è opportuno che sia montato il più vicino possibile all'antenna in modo tale da utilizzare un cavo il più corto possibile e diminuire quindi le perdite. In fig 3.5 si può vedere il datasheet del LNA. Seguendo questo schema abbiamo potuto collegare tutti i cavi per il corretto funzionamento, in particolare:

- "ANT" si riferisce al connettore al quale andrà poi collegato il cavo proveniente dall'accoppiatore dell'antenna;
- "TRX" a quello che verrà collegato al ricevitore;
- al centro si vede lo schema dei pin per l'alimentazione.

Mentre i connettori dedicati ad antenna e trasmettitore sono degli standard N, per l'alimentazione si è resa necessaria una saldatura per il collegamento del pin 5 (12-14V) e 3 (GND). Questo componente per il funzionamento necessita di 12V e 180mA di corrente massima permessa. Come si può vedere nel datasheet, sono presenti altri 3 pin, ma questi vengono usati per il PTT (Push-To-Talk): un sistema per cambiare la modalità di funzionamento dell'amplificatore tra trasmissione e ricezione. Questa funzione non è però stata ancora implementata, ma potrebbe essere utilizzata in futuro per poter fare sia ricezione che trasmissione. Tutti i cavi sono poi stati fatti passare attraverso delle canaline per poterli collegare alla strumentazione presente



Figura 3.2: Rack con una parte della strumentazione



Figura 3.3: Antenna Yagi

all'interno della stanza di controllo. In seguito abbiamo collegato il cavo proveniente dall'uscita "TRX" alla radio e quello dell'alimentazione ad una griglia di alimentazione.

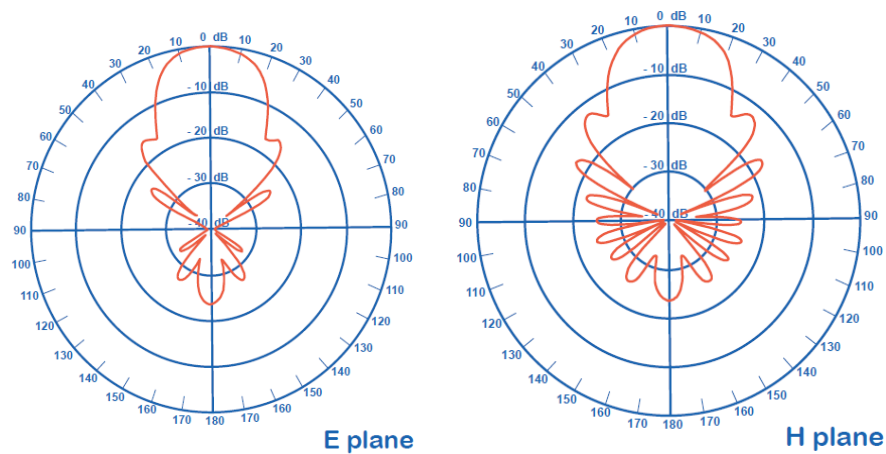


Figura 3.4: Grafici di emissione antenna

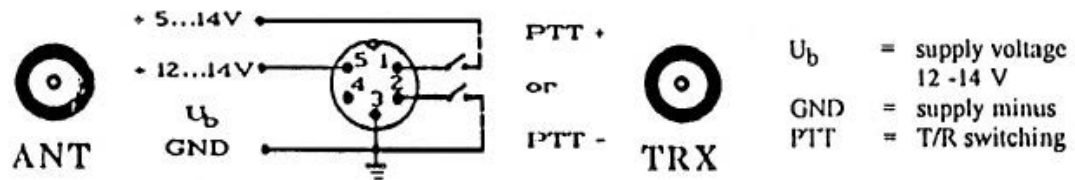


Figura 3.5: Schema LNA

3.3 Rot2Prog

Il rotore viene controllato tramite il controller Rot2Prog in Fig 3.6.



Figura 3.6: Controller Rot2Prog

Questo viene alimentato direttamente dall'alimentatore Hameg 4030, con 18V e 6A di massima corrente ammissibile. Il range di movimentazione va da -15 a 90 gradi in elevazione e da -180 a +540 gradi in azimuth. In particolare i valori legati agli angoli di elevazione sono importanti durante la calibrazione perché in questo caso sono presenti dei blocchi meccanici nel rotore che tolgono corrente una volta che è stato raggiunto il fondo corsa.

Una cosa importante da tenere a mente durante la movimentazione del rotore è che il controller raggiunge la posizione designata seguendo un percorso di minima corsa. Questo potrebbe diventare un problema nel momento in cui ci siano dei cavi troppo corti che collegano rotore e controller. E' bene inoltre tenere presente che nel display del controller gli angoli vengono visualizzati sempre tra 0° e 360°: per esempio un angolo di -150° sarà visualizzato come 210°, oppure un angolo di 400° con 40°. Per questo motivo sul display che mostra l'angolo di azimuth è presente un led che si illumina in caso di angoli negativi (luce fissa) oppure lampeggiante per angoli superiori a 360°.

Il collegamento al PC viene poi fatto tramite un cavo con connettori di tipo Db9 (Fig. 3.7)



Figura 3.7: Connettore Db9

Librerie Hamlib

Per poter utilizzare il controller (e di conseguenza il rotore) in maniera automatica attraverso il PC è necessario installare delle librerie Hamlib. Queste librerie sono state pensate per garantire una interfaccia per i programmatori che vogliono incorporare controllo di radio all'interno dei loro programmi. Non sono delle applicazioni per gli utenti, ma piuttosto un livello di software per facilitare l'utilizzo di radio e altri strumenti. In questo modo gli sviluppatori di software possono concentrarsi sull'interfaccia del loro programma e le sue funzioni base piuttosto che sul controllo della radio. In fig. 3.8 si può vedere a che livello interagiscono queste librerie.

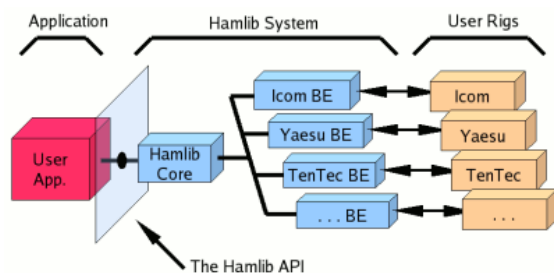


Figura 3.8: Schema librerie Hamlib [4]

Il problema principale risiede nel fatto che i comandi di controllo possono cambiare sostanzialmente all'interno di una linea di prodotti della stessa azienda manifatturiera, ma soprattutto

tra aziende concorrenti. Hamlib cerca di ovviare a questo problema creando una "radio virtuale", garantendo delle API (Application Programming Interface) per eseguire certe azioni [4]. Altri dispositivi come rotori e controller possono essere inseriti all'interno dello schema di controllo hamlib (abbiamo infatti utilizzato proprio per poter controllare questo tipo di dispositivi).

Queste librerie possono essere scaricate dal sito, all'interno del quale si può trovare anche tutta la documentazione relativa all'utilizzo dei vari comandi.

Hamlib consente il controllo del controller secondo due modalità: la prima tramite l'invio di comandi da tastiera, la seconda tramite la connessione con applicazioni terze.

La modalità di comando tramite tastiera viene impostata tramite l'utilizzo di "rotctl". E' quindi necessario utilizzare il prompt dei comandi di Windows per poter eseguire questa applicazione. Per lanciare l'esecuzione è necessario inserire il comando "rotctl -m 901 -r com2 -t 4533" (ovviamente la porta COM dovrà essere individuata in precedenza). Una volta eseguita l'applicazione è possibile utilizzare dei comandi per poter controllare il rotore, in particolare quelli più utilizzati sono stati:

- "p", per ricevere la posizione attuale del rotore;
- "P", per mandare un comando di movimento;
- "S", permette di fermare il rotore in caso di necessità;
- "q", per l'uscita dal controllo del rotore.

Inizialmente abbiamo usato questi comandi per testare la corretta connessione con il pc. Infatti nei primi tentativi di collegamento, fatti utilizzando il comando 'p', apparivano degli errori di "time-out": il tentativo di connessione era durato troppo tempo e quindi era stato annullato. Controllando di nuovo gli errori erano dovuti principalmente da due fattori: il primo era un errore di digitazione della porta COM, mentre il secondo era dovuto alla versione troppo datata dei driver dei dispositivi.

Una volta accertata la connessione e movimentazione del rotore tramite invio di comandi da tastiera è possibile utilizzare la modalità automatica per il controllo da software terzi. In questo caso è necessario eseguire il comando "rotctld -m 901 -r com2 -t 4533 -T 127.0.0.1". Una volta premuto "invio" il controller è pronto per ricevere comandi.

3.4 Alfaspid Rotator Az/EL

Il rotore utilizzato per la movimentazione dell'antenna è un AlfaSpid AZ/EL RAS, visibile in figura 3.9.

Questo rotore ha un range di movimentazione che va da -180° a $+540^{\circ}$ in azimuth, mentre in elevazione è possibile muoverlo tra -15° e $+180^{\circ}$. E' importante tenere presente che sono presenti dei blocchi elettronici su entrambi i motori, ma in quello dedicato alla movimentazione in elevazione sono presenti anche dei blocchi meccanici. Questo fatto andrà ad influire sulla modalità di calibrazione, in quanto quella legata all'elevazione non è arbitraria.

A causa dall'ampio range di movimentazione in azimuth abbiamo ritenuto necessario porre molta attenzione nel fissaggio dei cavi. Sono infatti sorti dei problemi durante la verifica della movimentazione proprio legati a questo fatto che verranno affrontati più avanti (vedi capitolo 5.1).

Calibrazione

La calibrazione può essere fatta secondo due metodologie diverse: il metodo della bussola e il puntamento del sole. Nel nostro caso sono state verificate entrambe le possibilità e abbiamo



Figura 3.9: Rotore AlfaSpid AZ/EL RAS

notato uno scostamento minore di 5° tra le due calibrazioni. Abbiamo quindi accettato entrambi i metodi come validi, ma per i nostri scopi è stato utilizzato quasi esclusivamente il metodo della bussola in quanto di più immediata applicazione.

Come già accenato precedentemente i grafici di figura 3.4 mostrano un raggio molto ampio, cosa che consente anche di avere un errore di qualche grado della calibrazione senza perdere potenza del segnale in ricezione.

Metodo della bussola

Questo metodo sfrutta il campo magnetico terrestre per individuare il nord magnetico e quindi la posizione di azimuth uguale a 0° (per questo può risultare errato nel caso ci siano delle fonti di campo magnetico vicino all'antenna). È quindi necessario utilizzare una bussola per verificare l'attuale posizione in azimuth del rotore allineando l'indicatore della bussola con la direzione dell'antenna e quindi modificare il valore presente sul controller con quello letto dalla bussola attraverso la modalità di aggiustamento del controller.

Per l'elevazione invece si possono utilizzare due strategie: la prima richiede l'impiego di una livella, mentre la seconda sfrutta appunto il blocco meccanico del rotore. Per utilizzare la livella è necessario salire su una scala ed allinearla con l'antenna per verificare che sia orizzontale e, in caso non lo sia, effettuare le opportune correzioni. Ovviamente questo metodo è un po' più lungo in quanto richiede di salire sopra una scala, modificare i valori mostrati sul display del controller, ripetere la procedura fino a che non si sia raggiunta una certa precisione e non sempre comodo.

Il secondo metodo ci è risultato essere più rapido in quanto è sufficiente portare il rotore fino al blocco meccanico in elevazione e quindi calibrare il controller sapendo che questo valore deve essere -21° . La semplicità di questo metodo risiede anche nel fatto che è possibile svolgere il tutto all'interno della stanza con il controller, semplicemente premendo i tasti su di esso, ed uscendo solo al termine della procedura per verificare che la calibrazione sia corretta.

Puntamento del Sole

Questo metodo (a differenza del precedente) richiede la presenza di almeno due operatori: uno dovrà muovere il rotore attraverso i pulsanti del controller, l'altro dovrà posizionarsi dietro l'antenna e assicurarsi che punti direttamente verso il Sole. Questa è una prima difficoltà nell'utilizzo di questo metodo. Inoltre per un accurato puntamento è necessario che ci sia una giornata soleggiata e quindi non è sempre possibile utilizzarlo.

Una volta puntato il centro della sfera solare è necessario ottenere gli angoli di azimuth ed elevazione attraverso un software (ad esempio Orbitron o Gpredict) ed apportare le opportune correzioni nella calibrazione del controller.

Non abbiamo utilizzato particolarmente questo metodo nelle prove di calibrazione fatte, ma ci è risultato utile per verificare la discrepanza rispetto alla calibrazione con il metodo della bussola, la quale poteva essere affetta da disturbi elettromagnetici. Dato che le due misurazioni erano circa uguali¹ abbiamo deciso di utilizzare principalmente il metodo della bussola.

3.5 Software Defined Radio

Una SDR (figura 3.10) è una radio in cui i parametri di funzionamento vengono definiti principalmente attraverso software. Per la GSF viene sfruttata utilizzando LabVIEW. Il vantaggio di questa tipologia di radio è che risulta molto flessibile, è infatti possibile per esempio variare la frequenza di ricezione/trasmisione per adattarla alle specifiche. Lo svantaggio principale risiede nel fatto che il segnale in uscita risulta molto attenuato ed è quindi necessario utilizzare un amplificatore per riuscire a trasmettere un segnale.



Figura 3.10: SDR

La SDR viene alimentata a 6V e 1.3A tramite un alimentatore collegato alla presa a muro. Il cavo coassiale proveniente dall'antenna è collegato all'ingresso Rf1 tramite un connettore di tipo SMA.

E' inoltre collegata al PC tramite un cavo Ethernet. Per poter essere utilizzata attraverso il PC è però necessario cambiare indirizzo IP del computer in 192.168.10.1. Questo perché la SDR viene individuata di default con l'indirizzo IP 192.168.10.2, ed è necessario che il PC abbia un indirizzo specifico. La configurazione del PC può essere fatta semplicemente attraverso il "Pannello di controllo", mentre per poter configurare la radio è necessario utilizzare la "NI-USRP Configuration Utility". La configurazione della SDR è risultata fondamentale ad un certo punto del lavoro in quanto abbiamo deciso di utilizzare l'ultima versione di LabVIEW (NILab-

¹La discrepanza è dovuta all'errore umano e il puntamento in entrambi i casi non può mai essere corretto

VIEW 2017[®]) e dato che la radio era configurata per una versione precedente abbiamo dovuto necessariamente modificare certe impostazioni.

Configurazione SDR

Come già detto la configurazione viene fatta attraverso la "NI-USRP Configuration Utility". E' necessario selezionare la FPGA Image e il firmware adatti sfogliando le varie possibilità fino a che non si trovano i file dedicati alla tipologia di radio utilizzata. Una volta scelti entrambi i file è sufficiente premere "Write Image".

Per precauzione abbiamo deciso di avere due PC con due differenti versioni di LabVIEW (2013 e 2017). Questa strada è stata percorribile in quanto abbiamo in dotazione due SDR, di conseguenza una è stata lasciata con la configurazione precedente per poter essere utilizzata attraverso LabVIEW 2013, mentre l'altra è stata configurata per l'utilizzo con LabVIEW 2017. Abbiamo pensato di mantenere entrambe le versioni per evitare che con quella più recente possano sorgere dei problemi, quindi in caso di necessità abbiamo mantenuto la possibilità di una soluzione di riserva rapida e di cui avevamo già accertato il funzionamento.

Capitolo 4

Programmi utilizzati

4.1 LabVIEW

Il software dell'SDR, precedentemente pensato e progettato per la missione ESEO [2], è sviluppato in LabVIEW con un'interfaccia grafica di facile comprensione e utilizzo (vedi fig. 4.1).

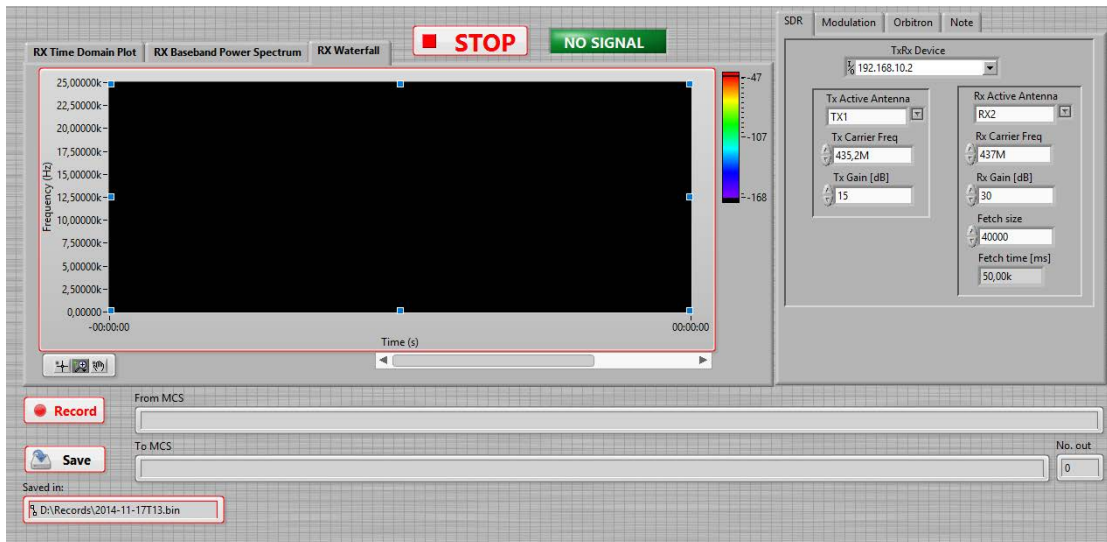


Figura 4.1: Applicazione labview per controllo SDR

La parte sinistra della finestra è dedicata alla visualizzazione dei dati ricevuti dall'antenna. Per i nostri scopi abbiamo utilizzato principalmente il grafico waterfall (vedi par. 4.1). Nella parte destra invece sono presenti tutti i parametri relativi alla SDR. Si possono notare varie finestre: SDR, Modulation e Orbitron. Al fine di verificare la catena di ricezione abbiamo utilizzato soltanto le finestre "SDR" e "Orbitron", in quanto la finestra "Modulation" gestisce i parametri per la codifica/decodifica dei segnali di trasmissione/ricezione per ESEO e non è quindi adatta per decodificare segnali con algoritmi di codifica diversi. In seguito vengono quindi descritte più nel dettaglio l'utilizzo delle componenti sfruttate durante le fasi di verifica.

Durante lo svolgimento del lavoro abbiamo sostituito il PC con il quale si stava lavorando e per garantire il corretto funzionamento di questa applicazione è stato necessario installare

nuovamente i pacchetti con varie estensioni, in particolare¹:

- "Advanced signal process toolkit 2017";
- "Spectral measurements toolkit 2017";
- "Sound and vibration toolkit 2017";
- "NI-USRP 1700";
- "RF Driver".

L'installazione di questi pacchetti è fondamentale in quanto vengono utilizzate funzioni e driver² che non sono presenti nella versione base di LabVIEW.

Grafico waterfall

Per interpretare il segnale in ingresso è innanzitutto necessario capire cos'è un grafico waterfall. Si può notare che nel grafico in figura 4.1 l'asse delle ordinate rappresenta una scala in frequenze, mentre l'asse orizzontale rappresenta il tempo. La frequenza indicata con "0 Hz" non rappresenta la frequenza assoluta di 0 Hz ma quella relativa del segnale, che è quindi pari a quella che viene scelta nel pannello di destra dedicato alla radio (vedi 4.1). Di conseguenza le frequenze indicate nella scala delle ordinate rappresentano tutte frequenze relative a quella del segnale portante (si può notare inoltre che sono riportate tutte frequenze positive, di conseguenza saranno visualizzate solo frequenze superiori a quella del segnale portante). La scala a colori gioca un ruolo fondamentale nella comprensione del grafico in quanto rappresenta l'intensità con cui viene ricevuto un segnale e ci da quindi una informazione in decibel della potenza di questo segnale. E' importante sottolineare che questa scala è relativa, cosa che potrebbe creare confusione durante i test.

Fatte queste premesse è possibile introdurre il concetto di grafico waterfall: è una rappresentazione grafica del segnale in un certo intervallo di frequenze, generalmente con un codice di colori per indicare l'ampiezza, mostrato in un intervallo di tempo. Quindi durante la ricezione di un segnale ci si aspetta di vedere sul grafico delle linee verticali che variano di colore lungo l'asse delle frequenze, in particolare che siano più tendenti al rosso nell'intorno della frequenza del segnale e sfumino verso colori come verde/blu lontano da questa (rosso rappresenta una intensità maggiore).

Finestra "SDR"

Passando alla finestra dedicata al controllo dei parametri della radio si può notare innanzitutto l'indirizzo IP di questa il cui valore predefinito, 192.168.10.2, risulta modificabile tramite la "NI-USRP Configuration Utility"³.

Sotto questa si possono vedere due "gruppi" di parametri: uno legato alla trasmissione e l'altro alla ricezione. Per le verifiche sono stati utilizzati solo quelli riguardanti la ricezione quindi verranno spiegati esclusivamente questi ⁴:

- "Rx Active Antenna": indica la porta per la trasmissione. Sono possibili due scelte: RX1 per half-duplex, e RX2 per full-duplex. Nel nostro caso è stata utilizzata solo la modalità half-duplex in quanto è l'unica implementata fino a questo momento;

¹I pacchetti di seguito riportati si riferiscono alla versione di LabVIEW 2017

²I driver vengono utilizzati per stabilire una connessione con i vari strumenti e di conseguenza poterli utilizzare

³Sarà necessario modificare l'indirizzo in caso vengano utilizzate più SDR contemporaneamente

⁴Quelli legati alla trasmissione seguono la stessa logica di quelli per la trasmissione

- "Carrier frequency": è la frequenza del segnale portante di interesse;
- "Rx Gain (dB)": rappresenta l'amplificazione del segnale prima della digitalizzazione;
- "Fetch Size": specifica quanti campioni al secondo devono essere presi ad ogni iterazione;
- "Fetch size [ms]": è un parametro di sola lettura (perché si ricava da "Fetch Size") che indica ogni quanto si preleva un campione.

Finestra "Orbitron"

In figura 4.2 è mostrata una tipica configurazione per la correzione in frequenza dovuta all'effetto Doppler. I parametri visti in figura saranno poi passati attraverso Orbitron. Una volta avviata l'applicazione bisognerà premere il pulsante per attivare la correzione doppler e sarà anche necessario assicurarsi che si sia stabilita la connessione tra Orbitron e LabVIEW, altrimenti non si avranno le giuste frequenze e quindi non si riuscirà a ricevere il segnale. Durante i test è capitato che questa connessione non funzionasse, ma probabilmente questo era dovuto al fatto che venivano fatte delle modifiche/aggiornamenti a vari componenti per i quali era poi necessario un riavvio del PC, infatti una volta riavviato il computer tutto tornava a funzionare.

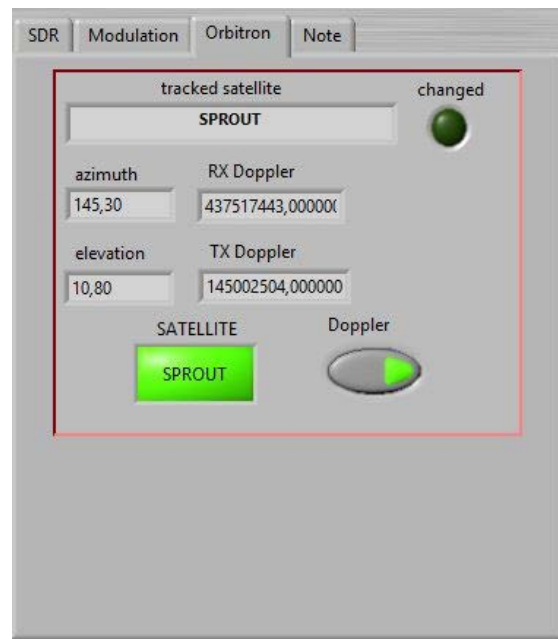


Figura 4.2: Finestra dedicata alla correzione doppler

4.2 Gpredict

Gpredict è un software utilizzato per il tracciamento di satelliti in quanto permette di avere una traccia a terra degli stessi e inoltre, una volta fissata una stazione di terra, calcola angoli di azimuth ed elevazione per il puntamento. Un ulteriore utilizzo è quello del controllo di radio, ma per i nostri scopi non è stata sfruttata questa possibilità in quanto avevamo già un'applicazione

sviluppata appositamente per le nostre esigenze. Il motivo per cui è stato scelto questo software è la sua semplicità di utilizzo e intuitività.

Per la possibilità di controllo del rotore abbiamo però utilizzato le librerie Hamlib (vedi par 3.3) che come già spiegato permettono il controllo tramite programmi terzi. In fig. 4.3 si può vedere la schermata principale una volta aperto il software, creato un modulo per la stazione di terra e aver selezionato dei satelliti. In questa configurazione particolare si possono notare tre aree principali: una mappa, una lista dei satelliti selezionati e una lista di parametri.

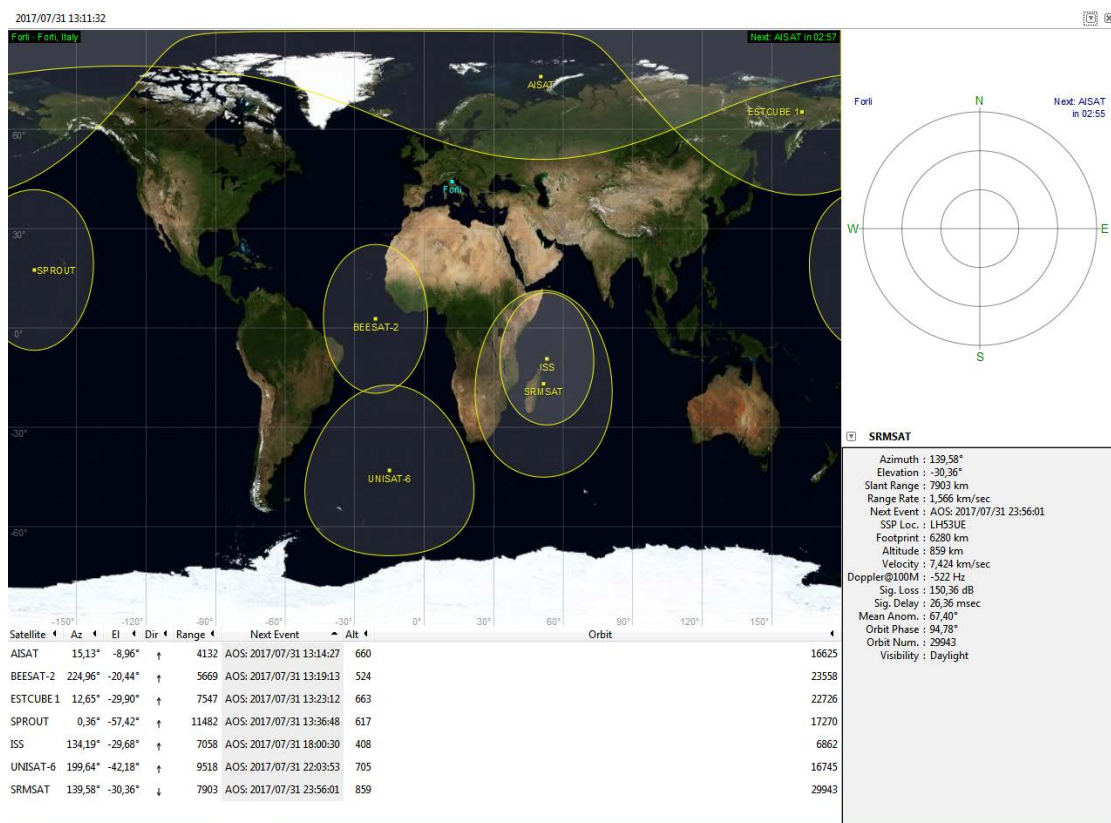


Figura 4.3: Finestra principale di Gpredict

Nella mappa sono rappresentate le tracce a terra dei satelliti selezionati. Gli ovali attorno alla proiezione a terra del satellite indicano i punti sulla superficie terrestre nei quali il satellite è in vista.

Sotto questa si può trovare una lista dei satelliti selezionati seguiti da varie informazioni tra cui: azimuth, elevazione, AOS, ecc. Questi ci permettono di avere un'idea del prossimo passaggio in vista della nostra stazione di terra.

A destra invece è possibile selezionare un satellite e verranno mostrati tutti i parametri orbitali relativi a quello selezionato.

In fig. 4.4 si può vedere la finestra dedicata al controllo del rotore. Sulla destra si può vedere una sorta di "radar" nel quale viene raffigurato la traccia del satellite mentre è in vista della stazione di terra. A sinistra invece sono presenti i comandi per il controllo del rotore.

All'interno del pannello "settings" si trovano le impostazioni:

- 'device' indica il tipo di dispositivo che viene utilizzato;
- 'cycle' rappresenta l'intervallo di tempo in millisecondi che intercorre tra un controllo di posizione e il successivo;
- 'tolerance' il grado di tolleranza per aggiustare la posizione del rotore.

Premendo 'engage' si instaura la connessione con il controller e di fianco alla scritta 'read' dovrebbero apparire i valori presenti sul controller. Per sicurezza durante tutte le prove abbiamo inserito i valori in cui si trovava il rotore quando volevamo iniziare la connessione, in modo tale da evitare movimenti indesiderati.

Nella finestra 'target' invece si possono vedere i dati relativi al satellite selezionato per il puntamento. Nel menu a tendina si può selezionare il satellite del quale si vuole fare il puntamento. Una volta selezionato verranno visualizzati gli angoli di azimuth ed elevazione relativi. Più sotto si trova un delta T che può avere due significati:

- se il satellite non è ancora in vista rappresenta il tempo che deve trascorrere affinché sia in vista della stazione di terra;
- se invece il satellite è già in vista indica per quanto tempo ancora è possibile eseguire il puntamento prima che la sua elevazione scenda sotto 0.

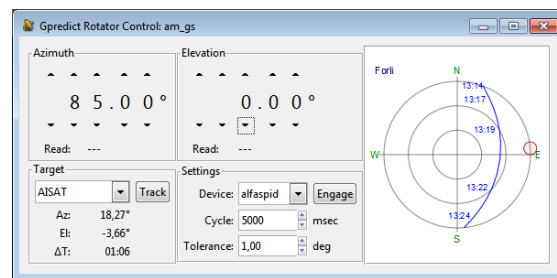


Figura 4.4: Finestra di controllo del rotore

4.3 Orbitron

Orbitron è un altro software dedicato al puntamento di satelliti. Nel nostro caso è servito ad un altro scopo: passaggio della correzione in frequenza dell'effetto doppler (vedi appendice B).

Come si può vedere dalla figura 4.5 è presente anche in questo software una mappa in cui vengono rappresentate le tracce a terra dei satelliti selezionati. Sulla destra è presente una lista con tutti i satelliti. I vari satelliti sono divisi in varie liste, di conseguenza vengono visualizzati tutti i satelliti relativi alla lista selezionata. Per cambiare lista è necessario caricarne una nuova e cercare i satelliti di interesse. In basso è presente un menu con varie opzioni, in particolare è stata utilizzata "Rotore/radio" (Fig. 4.6).

In questa finestra si può vedere che vengono visualizzati i valori di azimuth ed elevazione relativi al satellite selezionato, ma nel nostro caso abbiamo utilizzato solo il dato relativo alla frequenza in downlink (in quanto il puntamento è stato fatto con Gpredict). Grazie a WispD-DE abbiamo potuto quindi comunicare questo valore all'applicazione LabVIEW per effettuare la correzione doppler. Per poter utilizzare un client DDE (in particolare WispDDE) è necessario

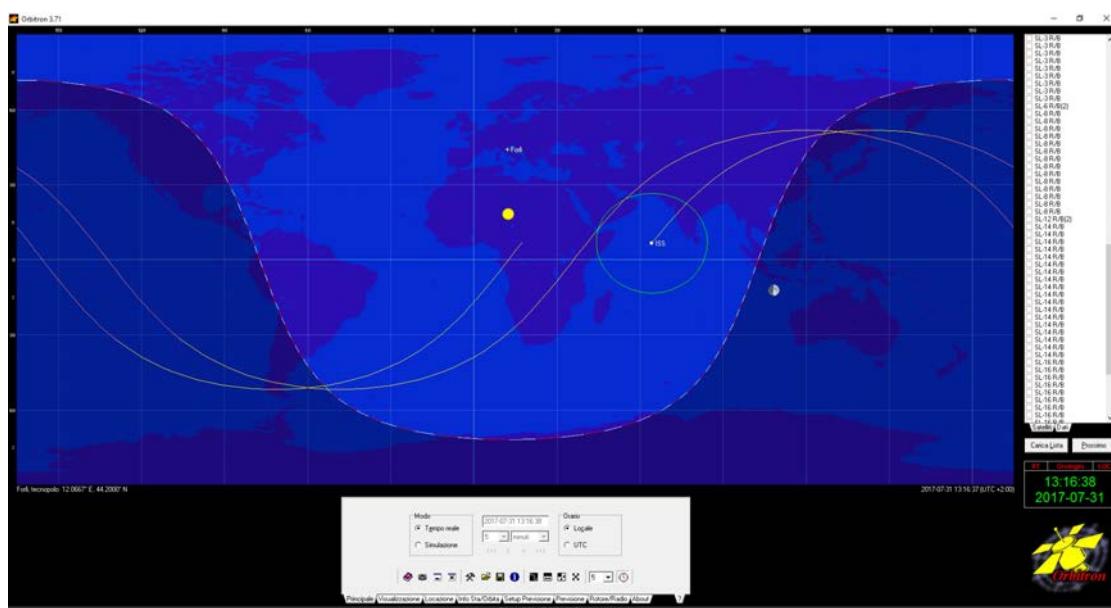


Figura 4.5: Finestra principale di Orbitron



Figura 4.6: Finestra "Rotore/Radio"

innanzitutto scaricarlo, installarlo e infine configurarlo. Una volta eseguiti questi passaggi, attraverso la finestra 'Rotore/Radio' premendo il pulsante a fianco del menu a tendina con scritto 'client' si può iniziare la comunicazione DDE (Dynamic Data Exchange).

Inizialmente abbiamo riscontrato delle discrepanze tra la posizione del satellite calcolata da Orbitron e quella indicata da Gpredict. Controllando su siti internet che mostravano la reale posizione di certi satelliti abbiamo appurato che Gpredict era quello più preciso. Dato che entrambi i software utilizzano lo stesso propagatore orbitale, l'errore nel calcolo dell'orbita di Orbitron sembrava alquanto strano. La prima idea a cui abbiamo pensato è stata quella di aggiornare i TLE, ma non ha portato ad alcun miglioramento. Abbiamo poi deciso di verificare che fosse installata la versione più recente di Orbitron, disinstallando quindi la versione attuale ed installando quella più aggiornata, risolvendo così il problema iniziale.

Capitolo 5

Verifica ramo di ricezione

Una volta aver assemblato correttamente la strumentazione ed aver installato e configurato tutti i programmi necessari abbiamo potuto iniziare le verifiche di hardware e software. Per poter ricevere un buon segnale è necessario aver verificato di avere un buon sistema di puntamento, quindi la cosa più logica è stata iniziare con i test di movimentazione del rotore.

5.1 Test di movimentazione rotore

Per prima cosa abbiamo eseguito dei movimenti attraverso i pulsanti presenti sul controller. Qui è sorto il primo problema in quanto il rotore si muoveva solo in elevazione. Dato che i cavi di alimentazione sono stati scelti in modo tale da avere un codice di colori che ci permettesse di riconoscere univocamente la funzione svolta da ogni cavo, inizialmente abbiamo ritenuto opportuno iniziare dalla verifica dei collegamenti. Ricontrollando però i collegamenti abbiamo notato che due cavi collegati all'alimentazione dei motori di azimuth erano stati invertiti. A differenza dei cavi dedicati ai sensori, per i cavi che alimentano i motori è necessario garantire la giusta polarizzazione e quindi abbiamo invertito questi all'interno della stanza di controllo (in quanto sarebbe stato molto più complicato andare ad agire direttamente sul rotore) e questo problema non è più sorto.

Il secondo passo è stato quello di verificare la movimentazione attraverso il comando "rotctl" delle librerie Hamlib. Questo comando deve essere eseguito attraverso il prompt dei comandi. Una volta avviato è possibile inviare vari comandi di lettura della posizione oppure di movimentazione. Durante un test in cui abbiamo eseguito una movimentazione molto ampia in azimuth il rotore si è improvvisamente bloccato. Sapendo abbiamo notato che i cavi si erano tesi, attorcigliati attorno alla piastra e se ne era scollegato uno all'interno della scatola di protezione del rotore. Abbiamo quindi dovuto aggiustare la connessione e poi cercare un modo per evitare che questo possa succedere in futuro. I cavi sono stati quindi racchiusi all'interno di un corrugato in plastica che garantiva una maggior rigidità e quindi un minor rischio di rottura.

Continuando però a fare prove abbiamo notato che questo problema (anche se attenuato) non era del tutto scomparso. Abbiamo pensato di implementare un'altra soluzione che garantisse un buon compromesso tra facilità di montaggio ed efficienza: abbiamo creato una guida attraverso una fascetta che garantisse che il corrugato con i cavi si trovasse sempre al di sopra della piastra su cui era fissato il rotore. Una volta implementata anche questa soluzione il problema non è più sorto.¹

¹Abbiamo comunque eseguito sempre dei controlli dopo aver fatto dei tesi con una movimentazione molto ampia in azimuth

La fase successiva consiste in un vero e proprio test di puntamento e dato che non è necessario ricevere alcun segnale, abbiamo potuto selezionare qualsiasi satellite. Per questa parte abbiamo utilizzato il comando "rotctld" delle librerie Hamlib. Abbiamo quindi pianificato dei test con satelliti che passassero in vista della stazione. Prima di tutto abbiamo stabilito la connessione tra PC e Gpredict. Abbiamo quindi modificato all'interno della finestra di controllo del rotore i parametri 'cycle' e 'tolerance', in particolare per il primo test sono stati fissati a valori non troppo bassi di 3000ms e 1°. Una volta che il satellite di interesse era in vista abbiamo premuto "Track" e iniziando l'inseguimento. Quando il satellite stava per completare il passaggio abbiamo interrotto il puntamento. Durante la movimentazione non abbiamo notato nessun inconveniente in quanto il rotore si muoveva in maniera coerente con gli angoli di azimuth ed elevazione indicati da Gpredict.

Abbiamo poi deciso di eseguire diverse prove modificando i parametri cycle e tolerance per avere una maggiore precisione nella fase di puntamento. Dopo aver eseguito prove con diverse configurazioni ritenuto opportuno fissare il parametro cycle a 1000ms e tolerance a 1°.

Una volta terminati i test, riportando il rotore nella posizione di azimuth ed elevazione pari a 0 abbiamo notato un offset rispetto alla posizione calibrata precedentemente. Sulla base di prove eseguite in precedenza [3] abbiamo pensato di utilizzare un PC con Windows7 come sistema operativo e questo problema è scomparso. Dato però che volevamo sfruttare il PC rack sul quale è installato Windows10, abbiamo pensato di risolvere questa incongruenza. Inizialmente pensavamo fosse un problema di driver e quindi abbiamo aggiornato tutti i driver della strumentazione collegata alla movimentazione del rotore. Ma questo non ha funzionato. L'idea successiva a cui abbiamo pensato è stata quella di aumentare il voltaggio dell'alimentazione. Il primo cambiamento che abbiamo notato è stato un aumento della velocità di rotazione del rotore. Successivamente abbiamo controllato che la posizione del rotore una volta riportato ad angoli di azimuth ed elevazione pari a 0° fosse quella calibrata prima del test e con una tensione di alimentazione di 18V questo offset non si presentava, ed abbiamo quindi scelto questo valore come tensione di alimentazione.²

5.2 Test di ricezione segnale

Dopo esserci assicurati del corretto puntamento siamo passati ai test di ricezione. A questo punto però era necessario scegliere dei satelliti che trasmettessero in frequenze e con protocolli adatti alla nostra strumentazione. In particolare i requisiti erano: una frequenza di trasmissione compresa tra 430 e 440 MHz e un protocollo di trasmissione AX.25.

Durante la procedura di puntamento abbiamo quindi acceso anche la SDR, avviato l'applicazione LabVIEW attivando la correzione doppler premendo il pulsante 'doppler' e avviato anche il client WispDDE per il passaggio della frequenza da Orbitron.

In figura 5.1 si può vedere un esempio di grafico waterfall del segnale ricevuto durante i test. Le parti di colore più rosso rappresentano i segnali ricevuti, non ancora ben definiti (causa la mancata ottimizzazione del cablaggio dell'hardware), mentre il verde e il blu indicano il rumore di fondo.

Nei primi test effettuati erano presenti delle barre verticali attribuite inizialmente a disturbi di natura elettromagnetica o difettosità nel cavo coassiale. In ogni caso, dato che nei grafici mostrati attraverso l'analizzatore di spettro queste bande non sono presenti e inoltre il software scritto in LabVIEW è ancora in via di aggiornamento, abbiamo ritenuto opportuno posticipare ad un momento successivo tale problema.

²In ogni caso questo non spiega perché a tensioni più basse funzioni con Windows7 e non con Windows10.

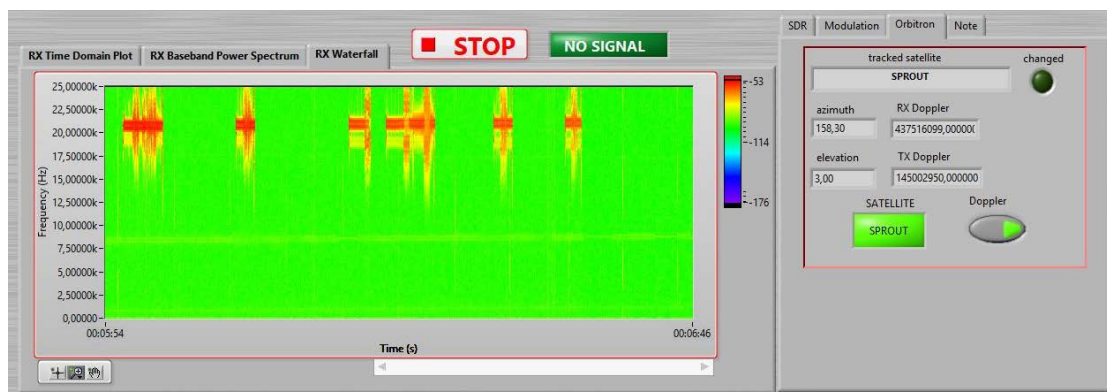


Figura 5.1: Test ricezione

Abbiamo effettuato una verifica preliminare per testare il corretto inseguimento/ricezione del segnale proveniente dal satellite in esame anche attraverso Rf-Explorer (vedi app. A) confermando l'effettiva ricezione di segnali radio.

Capitolo 6

Conclusioni e sviluppi futuri

Il lavoro svolto ha riguardato principalmente l'implementazione della strumentazione dedicata alla catena di ricezione della stazione di terra. A seguito della calibrazione e dell'aggiornamento dei software necessari per lo svolgimento delle varie operazioni si sono presentati dei problemi inaspettati e quindi abbiamo effettuato una verifica preliminare della calibrazione attraverso l'utilizzo di un analizzatore di spettro (vedi appendice A) controllando che i picchi dei segnali ricevuti si trovassero alle frequenze caratteristiche del segnale trasmesso dal satellite che si stava inseguendo in quel momento.

Abbiamo raccolto tutti i passaggi riguardanti sia il collegamento della strumentazione che delle procedure per effettuare test, movimentazione, ecc. all'interno di un manuale d'istruzioni che andrà ampliato in itinere con l'aggiunta di ulteriori funzionalità per garantire che le operazioni possano essere replicate sempre nella stessa maniera e, in caso ce ne sia bisogno, modificate per apportare migliorie. La stesura di questo manuale ha richiesto un notevole impegno, ma è stata necessaria per poter garantire un certo ordine delle operazioni da eseguire, mostrare le modalità con le quali sono state collegate le attrezzature e inoltre presentare le soluzioni da noi implementate per risolvere imprevisti che si sono presentati durante il lavoro.

In futuro a seguito dell'aggiornamento della strumentazione della stazione di terra saranno da apportare diverse migliorie:

- trovare una migliore sistemazione dei cavi collegati al rotore per assicurarsi che non ci sia nessun problema di interferenza con la struttura;
- ottimizzare lunghezza dei cavi e tipologia dei connettori, in modo tale da ridurre al minimo le perdite della catena di ricezione.
- effettuare una decodifica completa per garantire al cento per cento il corretto funzionamento di tutto l'impianto;
- valutare la possibilità di gestire la movimentazione del rotore e l'invio della correzione doppler tramite lo stesso software in modo tale da rendere tutte le operazioni più agevoli;
- assemblare il ramo di trasmissione per l'invio di telecomandi e lo schema finale dovrà essere quello in figura 6.1.

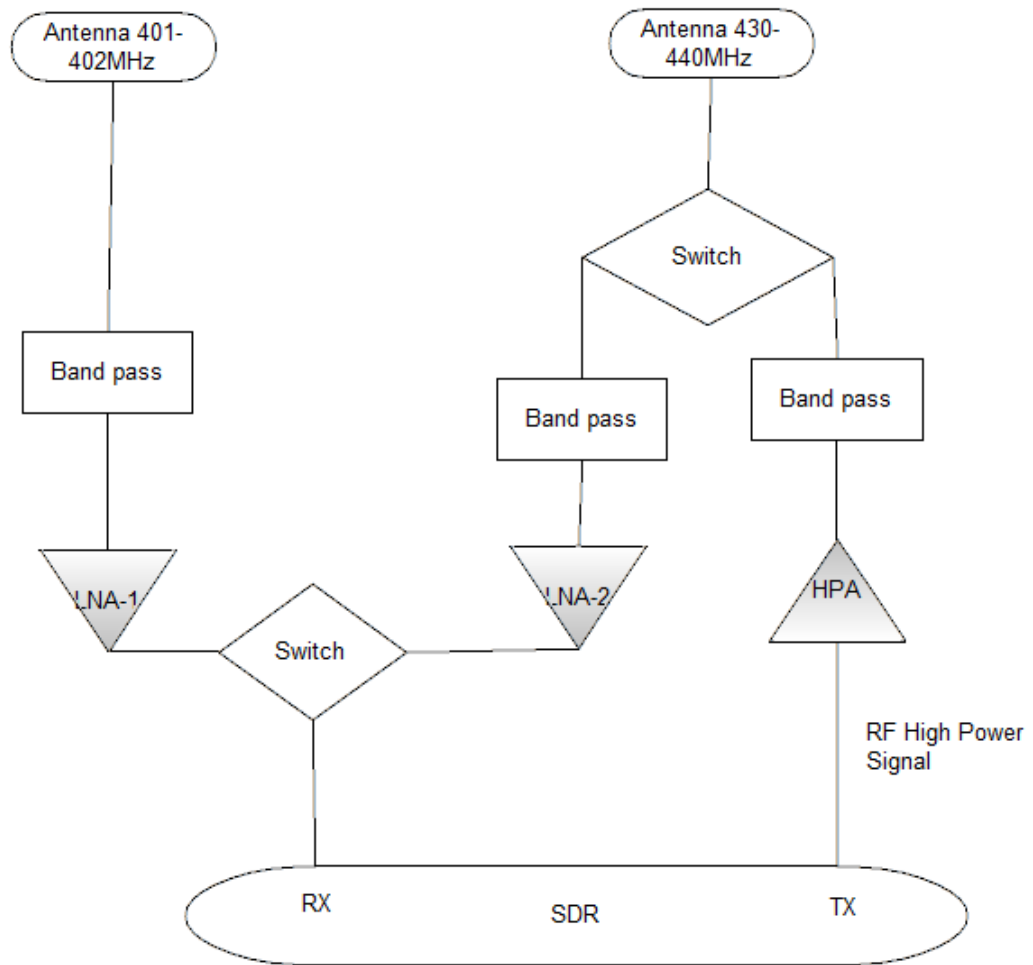


Figura 6.1: Schema stazione di terra con inclusione del ramo di trasmissione

Appendice A

Analizzatore di spettro

L'analizzatore di spettro utilizzato per ottenere il segnale (grazie al quale è stata poi possibile fare una comparazione con il segnale visualizzato attraverso l'applicazione LabVIEW) è RF-Explorer. In figura A.1 si può vedere l'hardware utilizzato per la conversione dei segnali in digitale.

Il compito principale di questo strumento è quello di ricevere un segnale in determinate bande di frequenza, fare una conversione per ottenere un segnale digitale e mostrarlo sul display.



Figura A.1: RF-Explorer

In figura A.2 si può invece vedere la schermata principale di utilizzo del software RF-Explorer per l'analisi dei segnali. Nei riquadri a sfondo blu presenti nella parte alta dell'immagine si può modificare la frequenza portante del segnale e l'ampiezza di banda.¹

Sono poi presenti due grafici: uno in 2D (a sinistra) e l'altro in 3D (destra). Il grafico più a destra presenta sui tre assi frequenze, ampiezze e tempo, mentre quello a sinistra si può considerare una sezione di questo ad un determinato istante di tempo. Per questo motivo il grafico

¹In alternativa è anche possibile inserire limite superiore ed inferiore della banda passante

3D presenta un maggior numero di informazioni in quanto è possibile valutare la periodicità di un segnale, il quale viene individuato dai "picchi".

Si può anche vedere una scala di colori che stanno ad indicare l'intensità del segnale: i colori più tendenti al blu rappresentano delle intensità minori, mentre quelli più tendenti al rosso dei segnali più "forti". Si può notare infatti che i segnali di colore blu si trovano a valori di intensità bassi in dBm e sono dovuti al rumore di fondo. Questo rumore di fondo può essere nascosto modificando la scala dei valori di ampiezza visibili nel grafico.



Figura A.2: Finestra principale di utilizzo RF-Explorer

Abbiamo potuto effettuare una ricezione del segnale attraverso questo sistema grazie al fatto che lo strumento di figura A.1 era collegato direttamente con il cavo proveniente dall'antenna, ed era collegato al PC tramite un cavo USB. Di conseguenza il segnale ricevuto dall'antenna viene convertito in un segnale digitale e mostrato attraverso i due grafici nella schermata principale del software.

Appendice B

Effetto Doppler

Per poter ricevere un buon segnale durante il puntamento di satelliti è necessario tenere in considerazione la variazione in frequenza dovuta all'effetto doppler, in quanto i satelliti si muovono ad una velocità sostenuta rispetto alla stazione di terra.

In figura B.1 si può vedere questo fenomeno in una situazione quotidiana. Un evento classico in cui si può apprezzare questo fenomeno è quando sentiamo per esempio avvicinarsi una ambulanza con le sirene accese: mentre si avvicina sentiamo una variazione nel suono di queste (come se emettessero un suono più acuto), quando si allontana invece percepiamo l'effetto opposto. Questo è dovuto proprio ad una variazione in frequenza delle onde sonore.

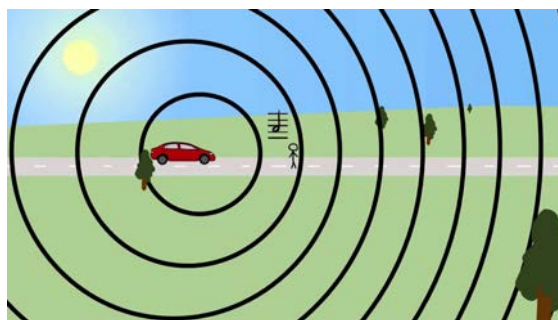


Figura B.1: Esempio effetto doppler

Il fatto che ci siano due diverse variazioni in frequenza a seconda che la fonte si avvicini o si allontani si spiega grazie alla formula con cui si calcola l'effetto doppler:

$$f - f_0 = (v_r - v_s) * f_0 / c \quad (\text{B.1})$$

Dove $f - f_0$ indica la variazione in frequenza, c la velocità del suono e $v_r - v_s$ la velocità relativa tra ricevitore e sorgente. E' proprio quest'ultima che ci dà il segno della variazione in quanto è l'unica variabile nella equazione (una volta fissata f_0). Questo spiega anche perché a seconda che la sorgente si allontani o si avvicini abbiamo dei "fenomeni diversi".

Bibliografia

- [1] European Student Earth Orbiter: ESA's educational Microsatellite Program.
- [2] Bosco, Marco "Design and implementation of software solutions for satellite ground segment, with application to the ESEo mission.
- [3] Bellavista, Luca "Design, assembly and test of the relocated Alma Mater ground station".
- [4] <https://sourceforge.net/p/hamlib/wiki/Hamlib/>.