

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
Sede di Forlì

Corso di Laurea in  
INGEGNERIA AEROSPAZIALE  
Classe L-9

ELABORATO FINALE DI LAUREA

in Impianti Aerospaziali

Verifica preliminare di ricezione di dati di telemetria da  
satelliti radioamatoriali mediante l'Alma Mater Ground Station

CANDIDATO  
Niccolò Cavicchioli

RELATORE  
Prof. Paolo Tortora  
CORRELATORE  
Ing. Alberto Lucci

Anno Accademico 2016/2017



## Sommario

Una missione spaziale necessita di diversi elementi tra cui il satellite, il sistema di messa in orbita e la stazione di terra, tutti di fondamentale importanza. Durante la progettazione di una missione è fondamentale considerare il ruolo svolto dalla stazione di terra, essenziale nella gestione e nella comunicazione di dati da e verso il satellite. Per sfruttare al massimo le potenzialità del satellite serve poter gestire eventuali situazioni critiche e, talvolta, evitare la compromissione della missione stessa attuando dei comandi che possano proteggere il satellite stesso. Tutto ciò è garantito da una buona robustezza dei sistemi di terra e ad un'accurata realizzazione del canale radio che consente la comunicazione. In particolare, la stazione di terra dell'Università di Bologna è stata pensata e realizzata in modo da poter supportare al meglio missioni come ESEO e  $\mu$ HETsat. attraverso un'oculata combinazione di elementi hardware e software.

Il lavoro di tesi è stato svolto presso l'Alma Mater Ground Station situata all'interno del Tecnopolo di Forlì.

L'attività svolta riguarda la verifica degli elementi hardware, della catena ricettiva e dei software necessari per la decodifica dei dati di telemetria provenienti da UNISAT-6, satellite dell'Università La Sapienza di Roma che ha caratteristiche molto simili ad ESEO.

L'elaborato è organizzato come segue:

- Nel primo capitolo viene presentato il lavoro svolto durante l'attività di tesi, i suoi obiettivi, le missioni ESEO e  $\mu$ HETsat che riguarderanno l'operatività dell'Alma Mater Ground Station;
- Nel secondo capitolo vengono descritti in dettaglio le configurazioni assunte della Ground Station durante l'intero periodo di lavoro, gli elementi hardware, quelli software e le loro connessioni e le loro interazioni;
- Nel terzo capitolo viene descritta la missione UNISAT-6: caratteristiche, obiettivi, gli enti e le università coinvolte con i rispettivi compiti, le strumentazioni di bordo;

- Nel quarto capitolo sono descritte le caratteristiche del sistema di puntamento, gli elementi costituenti, le operazioni necessarie per la movimentazione manuale ed automatica ed i metodi di calibrazione;
- Nel quinto capitolo vengono descritti le attività atte a verificare la bontà della catena ricettiva: i singoli elementi hardware, la loro interazione e infine, la ricezione di un segnale radio da UNISAT-6 e la risposta dei software utilizzati;
- Il sesto capitolo si tratta della decodifica dei dati telemetrici di UNISAT-6 sia per mezzo di un modem software sia tramite modem software e vengono presentati i risultati della decodifica;
- Il settimo capitolo si incentra sugli sviluppi futuri già programmati che andranno a modificare l'aspetto e la configurazione dell'Alma Mater Ground Station. Gli elementi che non fanno già parte della dotazione della stazione di terra vengono spiegate così come le ragioni che hanno portato a tale progetto;
- L'ottavo capitolo contiene le conclusioni e spiega in maniera complessiva l'interazione tra i vari risultati che sono presentati all'interno dei capitoli precedenti.

L'ultima parte dell'elaborato è costituita da sei appendici: la prima riporta i dati dell'antenna utilizzata; la seconda contiene le istruzioni che guidano passo a passo l'operatore nel collegamento e l'utilizzo della movimentazione manuale ed automatica del rotore; la terza è una guida di come effettuare la calibrazione dell'antenna e di come questa procedura sia di fondamentale importanza; La quarta è costituita da un approfondimento teorico riguardante le onde radio, la loro classificazione e l'effetto Doppler; la quinta approfondisce i principali metodi di modulazione di un segnale e spiega perché tale tecnica venga utilizzata; la sesta ed ultima appendice presenta la cosiddetta codifica di un segnale ed in particolare viene presentata quella utilizzata da UNISAT-6.

L'organizzazione dell'intero elaborato, la presenza di numerose descrizioni dettagliate e la presenza di appendici di approfondimento contribuiscono a conferire a questo testo una struttura manualistica. Tale elaborato, così come le altre tesi svolte presso l'Alma Mater Ground Station, andrà a costituire un manuale di utilizzo di tutte gli

elementi e le procedure relative ad essa. Questo garantirà un'importante guida per gli operatori che si troveranno a lavorare in questo ambiente.

È necessario che ogni aspetto sia trattato in modo esaustivo e nei minimi dettagli in modo tale che possa rappresentare un aiuto per tutti coloro che in futuro si troveranno ad entrare in contatto con questa realtà.

## Indice

1	Introduzione	12
2	Ground Station	15
2.1	Hardware	18
2.1.1	Controller rotore	21
2.1.2	Alimentatore industriale	21
2.1.3	Radio	23
2.1.4	Interfaccia radio-PC	24
2.1.5	TNC	24
2.2	Software	26
2.2.1	Orbitron	26
2.2.2	Gpredict	28
2.2.3	Ham Radio Deluxe	31
2.2.4	HRD Satellite Tracking	33
2.2.5	Soundmodem	37
2.2.6	HDSDR	39
2.2.7	AGWPE	42
2.2.8	AGW Online KISS Plus	44
2.2.9	Online Telemetry Forwarder	46
2.2.10	Terminal	47
2.2.11	FOX-1A Telemetry Analysis Tool	49
2.2.12	UNISAT-6 Telemetry Decoder	50
3	UNISAT-6	52
4	Puntamento	55
4.1	Calibrazione	56
5	Verifica catena ricettiva	58
5.1	Hardware	58
5.2	Ricezione segnale	68
6	Decodifica	72
6.1	Decodifica con TNC	72

6.2 Decodifica con Soundmodem	73
7 Sviluppi futuri	79
8 Conclusioni	83
Appendice A	86
Appendice B: Movimentazione	87
B.1 Movimentazione manuale	87
B.2 Movimentazione tramite Gpredict	88
Appendice C: Calibrazione	91
C.1 Calibrazione puntando il Sole:	91
C.2 Calibrazione puntando il Nord:	92
Appendice D: Onde radio	95
D.1 Effetto Doppler	98
Appendice E: Modulazione	99
Appendice F: Codifica del segnale	102
Bibliografia	104

## Indice delle figure

Figura 1.1: ESEO [1]	13
Figura 1.2 : $\mu$ HETsat [2]	13
Figura 2.1: Schema a blocchi configurazione senza TNC	16
Figura 2.2: Schema a blocchi configurazione con TNC	17
Figura 2.1.1: Outdoor segment	18
Figura 2.1.2: Elementi indoor segment	20
Figura 2.1.1.1: Rot2proG pannello frontale	21
Figura 2.1.1.2: Rot2proG pannello posteriore	21
Figura 2.1.2.1: HMP4030 pannello frontale	22
Figura 2.1.3.1: IC – 910H pannello frontale	23
Figura 2.1.3.2: IC – 910H pannello posteriore [11]	23
Figura 2.1.4.1: CT – 17	24
Figura 2.1.5.1: Kantronics KPC 9612 Plus pannello posteriore [12]	25
Figura 2.2.1.1: Orbitron	27
Figura 2.2.1.2: Aggiornamento TLE	27
Figura 2.2.1.3: Localizzazione	28
Figura 2.2.2.1: Gpredict	28
Figura 2.2.2.2: Configure	29
Figura 2.2.2.3: LTE Gpredict	30
Figura 2.2.2.4: Ground Station	31
Figura 2.2.2.5: Rotators	31
Figura 2.2.3.1: Impostazioni connessione radio	32
Figura 2.2.3.2: HRD visualizzazione radio	33
Figura 2.2.4.1: HRD Satellite Tracking	34
Figura 2.2.4.2A: Next Passes: Elevation	34
Figura 2.2.4.2B: Next Passes: World Map	34
Figura 2.2.4.2C: Next Passes: Radar	35
Figura 2.2.4.3: Localizzazione	35
Figura 2.2.4.4: Kepler Data	36

Figura 2.2.4.3: Turning Dial	36
Figura 2.2.5.1: Devices	37
Figura 2.2.5.2: Modems	38
Figura 2.2.6.1: HDSDR Input e Output	39
Figura 2.2.6.2: DDE to HDSDR	40
Figura 2.2.6.3: Orbitron WispDDE	41
Figura 2.2.6.4: Bandwidth	41
Figura 2.2.7.1: Menu AGWPE	42
Figura 2.2.7.2: TNC Setup	43
Figura 2.2.7.3: Comandi TNC	43
Figura 2.2.8.1: AGW Online KISS Plus	45
Figura 2.2.9.1: Online Telemetry Forwarder	46
Figura 2.2.10.1: Parte superiore della schermata principale di Terminal	47
Figura 2.2.10.2: Finestra principale	48
Figura 2.2.11.1: FOX-1A Telemetry Analysis Tool	49
Figura 2.2.14.1: UNISAT-6 Telemetry Decoder	51
Figura 3.1: Parametri orbitali di UNISAT-6 [24]	52
Figura 3.2: UNISAT-6 [24]	53
Figura 3.3: TLE UNISAT-6 [24]	54
Figura 5.1.1: RigExpert AA-600	58
Figura 5.1.2: Menu principale RigExpert AA-600 [26]	59
Figura 5.1.3: Scan SWR mode [26]	60
Figura 5.1.4: Show SWR mode [26]	61
Figura 5.1.5: ROS polarizzazione orizzontale	62
Figura 5.1.6: ROS polarizzazione orizzontale, LNA non alimentato	63
Figura 5.1.7: ROS polarizzazione orizzontale: LNA alimentato	63
Figura 5.1.8: ROS polarizzazione orizzontale, LNA non alimentato, cavo	65
Figura 5.1.9: ROS polarizzazione orizzontale, LNA alimentato, cavo	65
Figura 5.1.10: Cavo coassiale	66
Figura 5.1.11: Grafico R, X,  Z  cavo coassiale dopo la riparazione	67
Figura 5.2.1: RF Explorer 3G Combo	68

Figura 5.2.2: RF Explorer – impostazioni	69
Figura 5.2.3: RF Explorer UNISAT-6	70
Figura 5.2.4: RF Explorer UNISAT-6	70
Figura 6.2.1: Soundmodem UNISAT-6	74
Figura 6.2.2: AGW Online KISS Plus UNISAT-6	75
Figura 6.2.3: UNISAT-6, Magn X	75
Figura 6.2.4: UNISAT-6, Gyro X	76
Figura 6.2.5: UNISAT-6, EPS Curr 1	76
Figura 6.2.6: UNISAT-6, Magn Y	77
Figura 6.2.7: UNISAT-6, Sat_AZ	77
Figura 6.2.8: UNISAT-6, Magn Z	78
Figura 7.1: Schema a blocchi sviluppi futuri	79
Figura B.1.1: rotctl, esempio comandi “p”, “P” e “q”	87
Figura B.2.1: rotctld	89
Figura B.2.2: Gpredict Rotor Configuration	89
Figura B.2.3: Gpredict Rotator Control	90
Figura C.2.1: Declinazione magnetica AM_GS	94
Figura D.1.1: Effetto Doppler	98
Figura E.1: Modulazione: Portante, Modulante, AM e FM	100
Figura E.2: Modulazione FSK	101

## **Indice tabelle**

Tabella 2.1.1: Elementi outdoor segment	18
Tabella 2.1.5.1: Schema connessioni pin CT – 17	25
Tabella 5.2.1: Conversione potenza W - dBm	71
Tabella 7.1: Elementi schema a blocchi	80
Tabella D.1: Suddivisione spettro elettromagnetico usato per telecomunicazioni	96

## 1 Introduzione

Alma Mater Ground Station è la stazione di terra dell'Università di Bologna. Essa è nata per controllare e ricevere dati da ALMASat-1, piccolo satellite ideato e realizzato dal laboratorio di tecnologie spaziali dell'Università di Bologna. Il satellite, lanciato il 13 febbraio 2012, rimase in orbita fino all'autunno 2016. La Ground Station, non più operativa, venne spostata dalla sua sede originaria ed installata all'interno della nuova palazzina Tecnopolo, dove si trova il nuovo laboratorio di tecnologie aeronautiche e spaziali.

Il lavoro di tesi s'inserisce all'interno di un progetto più ampio che riguarda l'implementazione di una Ground Station per il monitoraggio ed il controllo di opportuni satelliti, quali ESEO e  $\mu$ HETSat, e la redazione di un manuale di utilizzo della stessa stazione di terra. Proprio per questo motivo si vuole sottolineare che il presente elaborato è stato scritto descrivendo le caratteristiche, gli aspetti positivi e negativi dei diversi elementi e software utilizzati, motivando in modo dettagliato i ragionamenti che hanno portato all'adozione della componentistica che andrà a costituire la configurazione finale della Ground Station. Le marcate descrizioni di questo elaborato sono dettate dalla volontà che le informazioni ivi contenute possano essere utili nella redazione di un manuale relativo alla Ground Station senza creare la necessità a chi dovrà redarlo di dover cercare informazioni già ricercate per la stesura di questa tesi. Inoltre, il lavoro relativo all'attività di tesi è la prosecuzione del tirocinio, che ha coperto un periodo di circa due mesi, durante il quale si è posta maggiormente attenzione sull'implementazione hardware dell'intera Ground Station.

ESEO (European Student Earth Orbiter) è frutto della missione microsatellitare sponsorizzata dall'Educational Office dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), il cui lancio è previsto nel 2018.

La missione principale di ESEO consiste nello scattare immagine ad alta risoluzione del suolo terrestre (Europa e sud America), analizzare il livello di radiazioni e testare il sistema di deorbiting. L'Università di Bologna ha il compito di sviluppare il centro di

controllo missione, la stazione di terra primaria per la ricezione dei dati di telemetria e l'invio dei comandi e del ricevitore GPS di bordo.



Figura 1.1: ESEO [1]

$\mu$ HETSat è un satellite progettato da Sitael S.p.A., un'azienda aerospaziale italiana, il cui lancio è previsto per il 2018. La missione principale di  $\mu$ HETSat è di testare un nuovo sistema di propulsione elettrico a bassa potenza HET (Hall Effect Thrusters) che sarà impiegato in missioni richiedenti un medio alto incremento della velocità orbitale del satellite istantaneamente. Anche in questa missione l'Università di Bologna ricoprirà il fondamentale ruolo di stazione di terra principale.

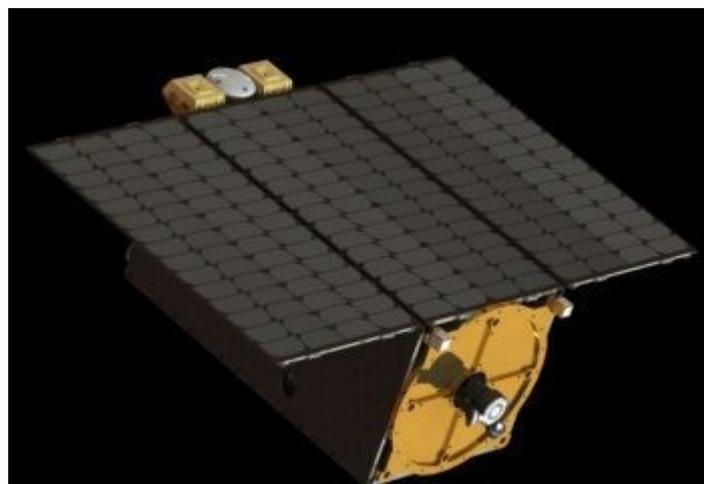


Figura 1.2 : $\mu$ HETSat [2]

Entrambi i satelliti menzionati occuperanno orbite basse (LEO) ed utilizzeranno un canale di comunicazione radio in banda UHF. I due sistemi ricettivi utilizzano frequenze di trasmissione differenti, 435 MHz per ESEO e 401 per  $\mu$ HETsat. Il lavoro descritto riguarderà esclusivamente l'implementazione e la verifica della catena ricettiva progettata per la missione ESEO, riguardante la banda UHF. Quest'ultima si è basata principalmente sull'analisi dei segnali trasmessi da UNISAT-6, satellite dell'Università La Sapienza di Roma, il quale trasmette in banda UHF su frequenze radioamatoriali (437,426 MHz).

## 2 Ground Station

La Ground Station è nata ed è stata sviluppata per essere una stazione di terra di riferimento per diversi progetti locali, nazionali ed internazionali [3]. Per poter raggiungere questo importante obiettivo è stata necessaria un'attenta valutazione di ogni suo componente: hardware e software [4]. La configurazione attuale, benché non sia ancora quella definitiva, è profondamente diversa dalla configurazione che ha caratterizzato la prima missione. Al momento si stanno implementando due sistemi di ricezioni uno in banda UHF e uno in banda S (vedi Appendice D). Il lavoro svolto ha riguardato la verifica della catena ricettiva in banda UHF e ha coinvolto principalmente l'analisi di due configurazioni (vedi Figura 2.1 e 2.2). I diagrammi a blocchi riportano gli elementi hardware, contenuti in box rettangolari o triangolari, e programmi software, elencati all'interno della parentesi graffa, necessari per il funzionamento della Ground Station.

Tra i principali elementi hardware troviamo l'antenna, grazie alla quale si è in grado di ricevere e trasmettere segnali con frequenze comprese tra i 430 e i 440 MHz. L'antenna per poter puntare correttamente il satellite che si vuole analizzare necessita di un sistema di movimentazione che consenta di seguire l'orbita del satellite. Il sistema di puntamento è composto da un rotore munito di due motori elettrici, i quali consentono di muovere l'antenna attorno all'asse di Azimut e attorno all'asse di elevazione. Il rotore è controllato ed alimentato da un controller (Rot2proG), che a differenza degli elementi descritti fino ad ora, si trova all'interno della control room: tale controller è collegato mediante cavo USB al PC il quale consente di automatizzare la movimentazione. Il PC comunica con il controller attraverso una particolare libreria, Hamlib; i valori degli angoli a cui puntare l'antenna sono forniti da un particolare software di nome Gpredict. L'antenna è collegata, tramite un cavo coassiale all'interno del quale viene trasmesso il segnale elettromagnetico ricevuto, ad un amplificatore a basso rumore (LNA) che ha il compito di amplificare il segnale a bassa potenza ricevuto, senza degradarlo. Il segnale in uscita dall'amplificatore arriva in ingresso alla radio analogica, la quale trasformerà il segnale elettromagnetico in un segnale audio (Figura 2.1) oppure in un segnale che dovrà essere elaborato da un modem, TNC

(Figura 2.2) prima di poter processato dal PC. Il PC per poter interfacciarsi con la radio (IC – 910HI) necessita di un elemento particolare, CT – 17, fornito direttamente dalla casa costruttrice della radio. Inoltre, per potersi interfacciare con la radio e con il modem si utilizzano software come AGWPE, HRD, Terminal. Una volta che il segnale è giunto al PC potrà essere demodolato e decodificato grazie all’utilizzo dei seguenti software: HSDR, Soundmodem, AGW Online KISS Plus, UNISAT-6 Telemetry Decoding. Le funzionalità di ciascun software, elemento hardware e le loro interazioni sono spiegati in modo esaustivo nei capitoli successivi (vedi Hardware e Software). Per rendere maggiormente comprensibili gli schemi a blocchi è stato inserito un numero che associa i software usati per interfacciare i diversi elementi e gli elementi stessi.

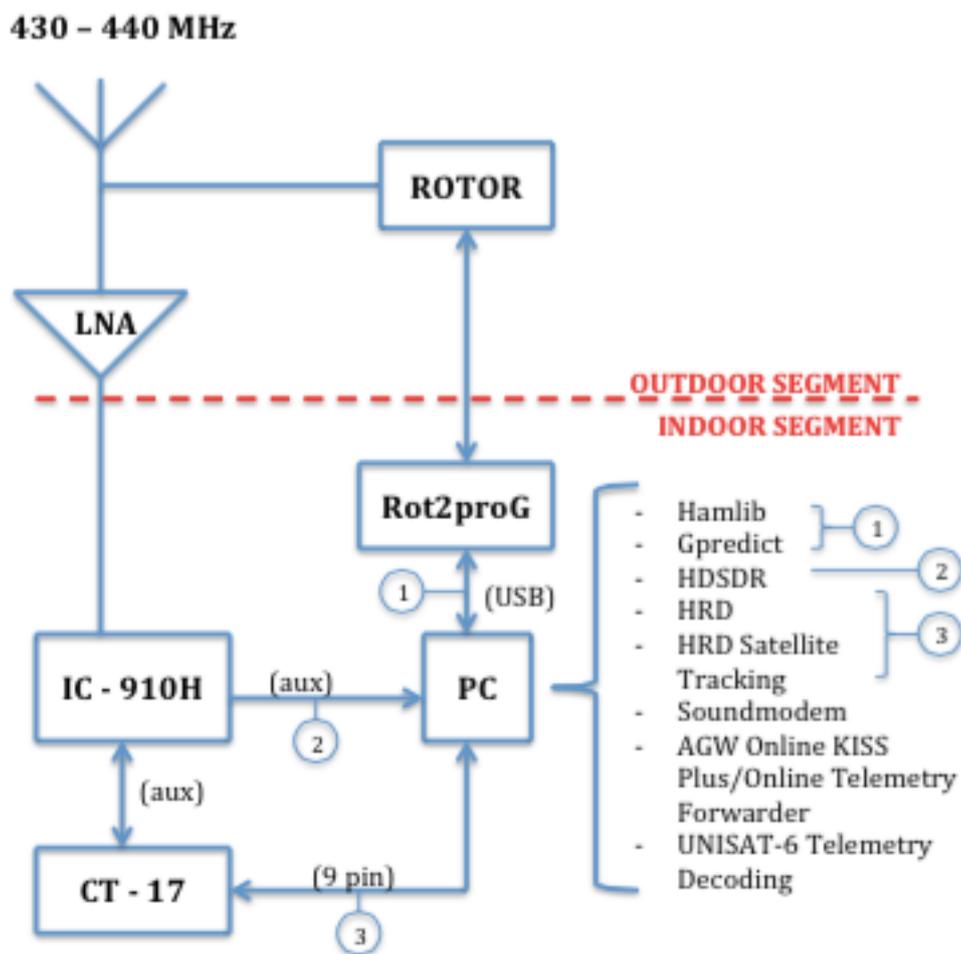


Figura 2.1: Schema a blocchi configurazione senza TNC

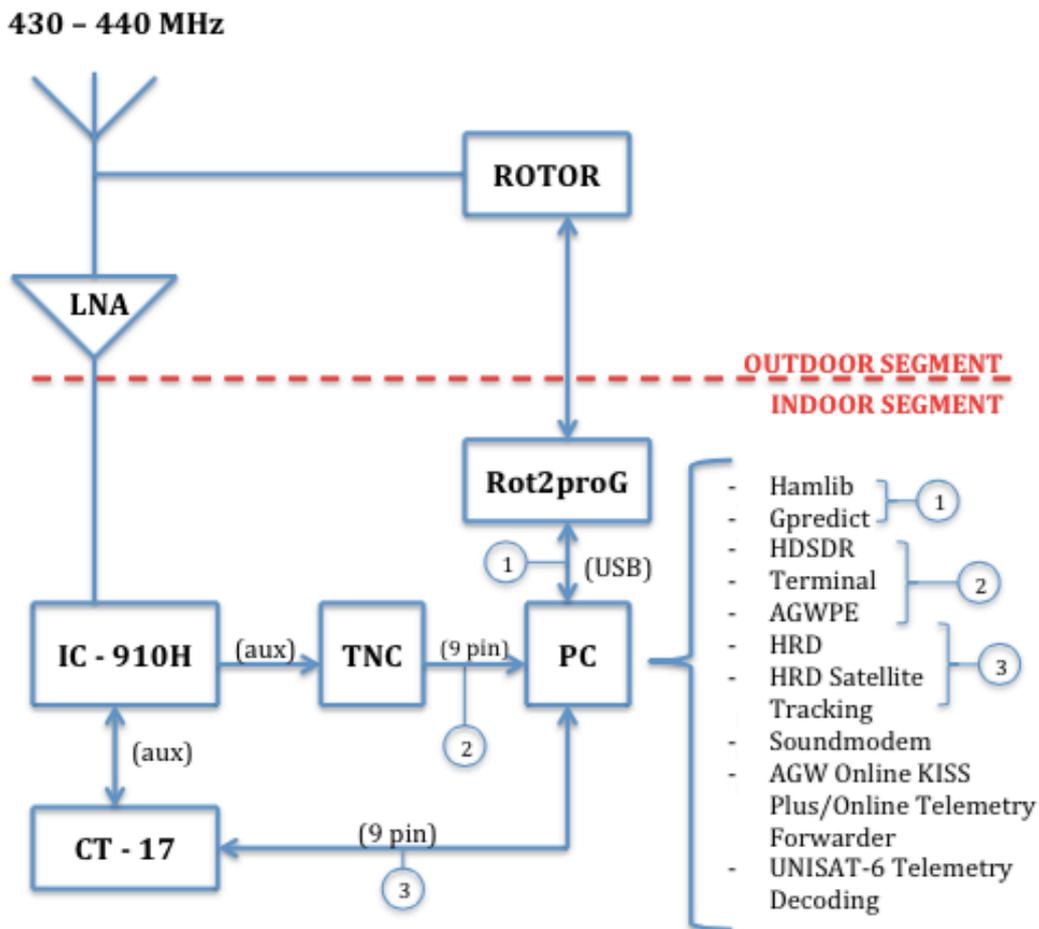


Figura 2.2: Schema a blocchi configurazione con TNC

Osservando gli schemi riportati si può notare che le modifiche hanno riguardato la parte relativa alla ricezione del segnale da acquisire per poter essere successivamente elaborato (indicato nelle figure con il numero 2). Queste modifiche sono state apportate per confrontare due catene che si differenziano per la tipologia di modem utilizzato, software nella prima, fisico nella seconda. I rami riguardanti ricezione e movimentazioni sono comuni alle due configurazioni, poiché hanno raggiunto una robustezza tale da non aver bisogno di ulteriori verifiche. Nei paragrafi successivi verranno descritti con maggior dettaglio i componenti della catena ricettiva che sarà impegnata per la missione ESEO.

## 2.1 Hardware

La Ground Station si divide principalmente in due segmenti: outdoor e indoor segment.

Gli elementi che compongono il segmento outdoor sono esclusivamente hardware e sono posizionati sul tetto della palazzina Tecnopolo:

<b>Elemento</b>	<b>Produttore</b>	<b>Modello</b>
Antenna	AFT	UHF 2x19 elements Yagi [5]
Accoppiatore a due vie	AFS	AFS 2 vie
Low Noise Amplifier (LNA)	Landwehr	N GaAs 435 MAS [6]
Rotore	Alfaradio	Alfaspid RAS (Az/El)
Traliccio	Karma	TRIO 290 (3 m)
Adattatore	Karma	SPID ADAPTATOR PLATE
Cavi	Vari	Vari

Tabella 2.1.1: Elementi outdoor segment



Figura 2.1.1: Outdoor segment

L'antenna è montata ad un'estremità del supporto tubolare movimentato dal rotore tramite quattro viti che mantengono fissa la posizione relativa tra rotore ed antenna. Al supporto sono attaccati, anch'essi tramite viti e fascette, LNA e accoppiatore a due vie. L'accoppiatore riceve in ingresso le due polarizzazioni dell'antenna (orizzontale e verticale) ed è collegato in uscita all'LNA tramite connettori di tipo N. Nella configurazione finale è prevista l'installazione di un filtro passabanda per evitare la saturazione dell'LNA. Il segnale viene elaborato dall'amplificatore e successivamente mandato tramite un cavo coassiale (50 Ohm) all'interno della control room, situata al secondo piano, dove verrà poi processato.

L'amplificatore riceve in ingresso un cavo bipolare di alimentazione (12 V DC) proveniente dall'alimentatore industriale posto al piano inferiore. Il sopracitato cavo contiene due cavi bipolari, uno che alimenta l'amplificatore dell'antenna installata, l'altro è predisposto per quando verrà montata l'altra antenna prevista nella configurazione finale. Il cavo subisce una diramazione all'altezza del rotore. Tutti i cavi presenti alla sommità del traliccio sono stati legati in modo da consentire la completa movimentazione del rotore nei limiti meccanici ed elettronici previsti.

Proseguendo la discesa della catena ricettiva si lascia il segmento outdoor e si trova quello indoor: qua è allocata la maggior parte della strumentazione necessaria e la totalità degli elementi software. Tutto ciò si trova all'interno della control room, situata nella stanza sottostante ai tralicci. La scelta della collocazione è stata dettata dalla presenza delle canaline che consentono ai cavi di poter collegare i due segmenti della Ground Station. Inoltre, si è aggiunta la necessità di utilizzare la lunghezza minima di cavi per evitare di introdurre rumore e disturbi indesiderati.

<b>Elemento</b>	<b>Produttore</b>	<b>Modello</b>
Controller rotore	SPID Elektronik	Rot2proG [7]
PC rack	Dell	Precision Rack 7910 [8]
PC decodifica	Lenovo	ThinkCentre M800 [9]
Alimentatore industriale	Rohde & Schwarz	Hameg HMP4030 [10]
Radio	ICOM	IC 910H [11]
Interfaccia Radio - PC	ICOM	CT – 17
TNC	Kantronics	Packet Communicator 9612 Plus [12]
USB Serial Converter	FTDI	FTDI 4 port Serial Adapter
Cavi	Vari	Vari

Figura 2.1.2: Elementi indoor segment

La control room è pensata per accogliere tre operatori che lavoreranno alla ricezione, decodifica, elaborazione dei segnali ricevuti dai satelliti nell'ambito delle missioni a cui parteciperà l'Università di Bologna. Si identificano chiaramente tre postazioni di lavoro; la principale si trova di fronte alla porta d'ingresso ed è pensata per controllare la movimentazione dei rotori delle antenne presenti sul tetto (due banda UHF e una banda S) e monitorare ciò che avviene legato al segmento outdoor. Questa postazione dispone di un PC, Dell Precision rack 7910, collegato a quattro monitor, al rotore Rot2proG tramite cavo a 9 pin (COM port 2) ed alla SDR tramite cavo Ethernet. La SDR verrà utilizzata nella configurazione finale quando sarà ultimata la revisione del software da parte di SITAEL S.p.A.. Le restanti postazioni ospiteranno la decodifica dei segnali ricevuti dalle diverse bande; al momento è attiva solo la postazione di decodifica della banda UHF, la quale dispone di un PC (Lenovo ThinkCentre M800) collegato alla radio IC – 910H tramite cavo audio (microfono anteriore) e all'interfaccia Radio-PC, CT – 17 tramite cavo a 9 pin.

Tutta la strumentazione hardware, a differenza dei PC, è posizionata all'interno del rack in modo da rendere il più ordinato possibile l'intero ambiente di lavoro.

### 2.1.1 Controller rotore

Il controller del rotore Alfaspid Rot2proG, alimentato a 18 V DC, è collegato al PC rack tramite cavo a 9 pin (COM port 2); questo collegamento permette di poter controllare il rotore direttamente dal PC, grazie alla libreria Hamlib installata, sia in modalità manuale (vedi Appendice B1) sia in modalità automatica controllata da Gpredict (vedi Appendice B.2). Il controller è collegato al rotore tramite due cavi quadripolari, i quali trasmettono l'alimentazione ai due motori (azimut ed elevazione) e ricevono i valori degli angoli a cui sta puntando l'antenna.



Figura 2.1.1.1: Rot2proG pannello frontale



Figura 2.1.1.2: Rot2proG pannello posteriore

### 2.1.2 Alimentatore industriale

L'alimentatore industriale, situato all'interno del rack, svolge un ruolo molto importante: alimenta ai giusti valori di tensione e corrente i vari elementi della Ground Station. È dotato di tre canali di uscita:

- CH 1: alimenta esclusivamente il controller Rot2proG (18 V DC);
- CH 2: alimenta esclusivamente la Radio IC – 910H (13,8 V DC);
- CH 3: alimenta i seguenti dispositivi (12 V DC):
  - LNA;
  - Interfaccia radio-PC, CT-17;
  - TNC: Kantronics Packet Communicator 9612 Plus.

Impostare i valori dei tre canali di alimentazione è molto veloce e richiede i seguenti passaggi:

1. Selezionare “VOLTAGE” o “CURRENT”, in base al parametro che si vuole impostare;
2. Premere il tasto relativo al canale interessato (led blu);
3. Impostare il valore numerico tramite tastierino o nottolino;
4. Premere nuovamente “VOLTAGE” o “CURRENT” per confermare il valore inserito.

Una volta impostati i valori desiderati, per fornire l'alimentazione basterà premere il bottone relativo al canale desiderato (led verde) e premere il bottone “OUTPUT” (led bianco). Al contrario, per interrompere l'alimentazione ad un singolo canale sarà sufficiente deseleggerlo (premendo il bottone corrispondente, il led si spegnerà), o premere “OUTPUT” se si desidera cessare l'alimentazione a tutti i canali.

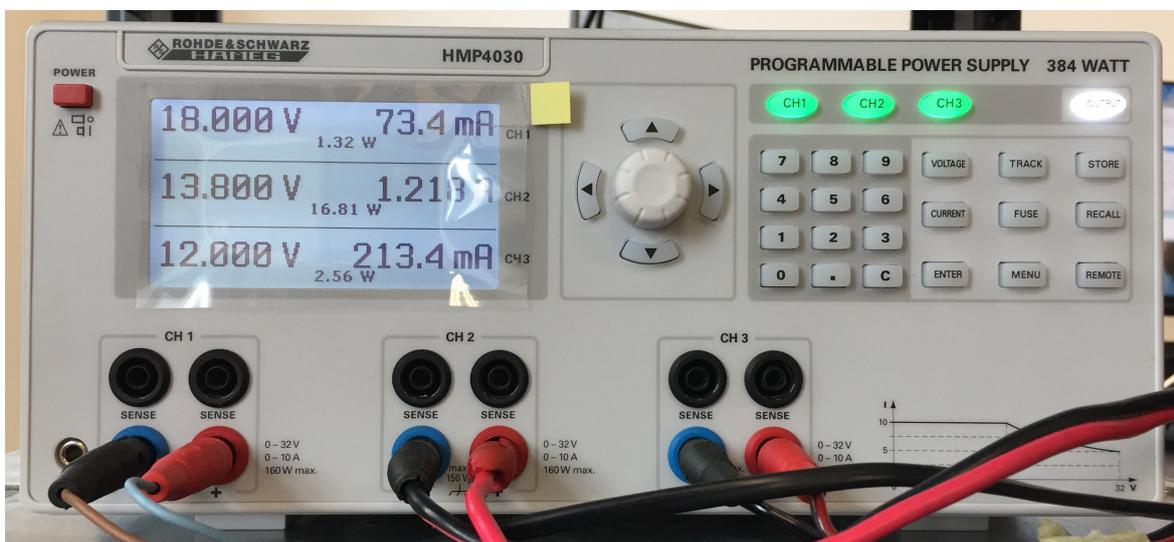


Figura 2.1.2.1: HMP4030 pannello frontale

### 2.1.3 Radio

La radio, IC – 910H, è posizionata all'interno del rack ed è collegata all'alimentatore industriale (13,8 V DC), all'antenna (tramite cavo coassiale, 50 Ohm, connettore di tipo N) e all'interfaccia radio-PC (cavo audio) ed al PC.

La connessione al PC avviene tramite CT – 17 per i dati in ingresso alla radio, mentre per quanto riguarda i dati in uscita alla radio le connessioni sono molteplici, in quanto è possibile collegare la radio direttamente al PC utilizzando un cavo audio, oppure interporre un TNC: nel primo caso la demodulazione dovrà essere effettuata da un modem software.



Figura 2.1.3.1: IC – 910H pannello frontale

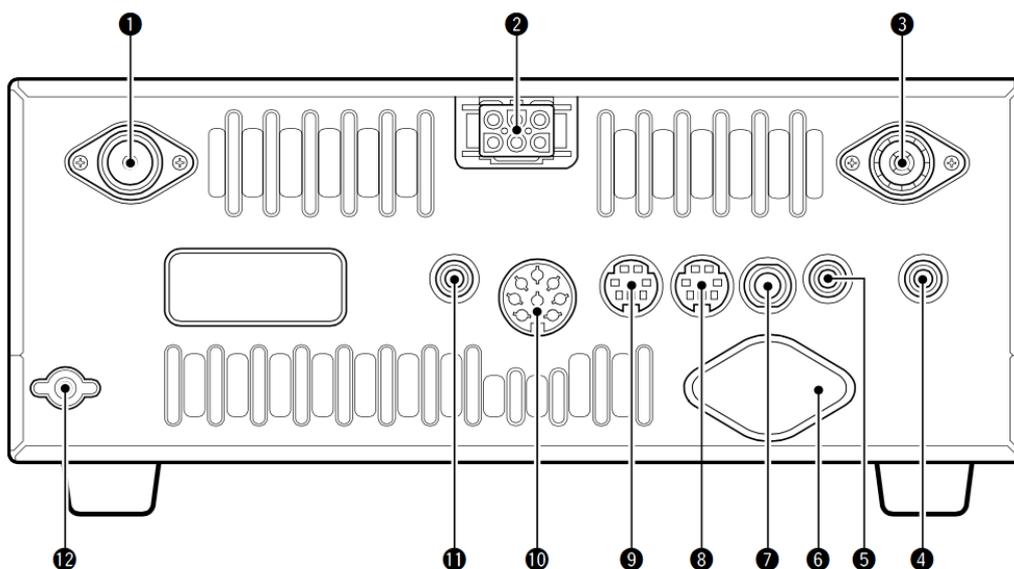


Figura 2.1.3.2: IC – 910H pannello posteriore [11]

### 2.1.4 Interfaccia radio-PC

L'interfaccia radio-PC è posizionata sul tavolo in prossimità della postazione principale ed è alimentata a 12V DC. Questo dispositivo può essere utilizzato per connettere fino a quattro dispositivi radio, ma nella configurazione utilizzata è connessa solamente alla radio IC – 910H tramite un cavo audio. Il collegamento al PC avviene tramite cavo RS-232 con connettore a 25-pin in corrispondenza dell'interfaccia e con connettore a 9-pin in corrispondenza dell'USB serial converter: il cavo è stato fornito dall'azienda costruttrice dell'interfaccia .



Figura 2.1.4.1: CT – 17

### 2.1.5 TNC

Il TNC, Kantronics Packet Communicator 9612 Plus, è situato all'interno del rack e riceve in ingresso i dati e l'alimentazione (12 V DC) rispettivamente dalla radio e dall'alimentatore. Il TNC è inoltre connesso al computer tramite cavo RS-232 con connettore a 25-pin in corrispondenza dell'interfaccia e con connettore a 9-pin in corrispondenza dell'USB serial converter (vide Figura 2.1.5.1).

KPC-9612 Plus (25-pin)	Computer (9-pin)
2	3 (TRX)
3	2 (RXD)
4	7 (RTS)
5	8 CTS)
6	6 (DSR)
7	5 (SG)
8	1 (DCD)
20	4 (DTR)
Schermatura	Schermatura

Tabella 2.1.5.1: Schema connessioni pin CT – 17

Il TNC presenta due porte d'ingresso dati che hanno caratteristiche differenti di velocità di connessione:

- per velocità non superiori a 1200bps utilizzare la Port 1 (300, 600, 1200);
- per velocità superiori a 1200bps utilizzare Port 2 (4800, 9600, 19200, 38400).

La porta d'ingresso numero 1 è predisposta per un connettore di tipo 9-pin, mentre la porta numero 2 è predisposta per un connettore a 15-pin.

In entrambi i casi, l'estremità del cavo non connessa al TNC dovrà essere collegata alla porta dati principale della radio (vedi figura 2.1.3.2, punto 9).

Per l'attività di ricezione e decodifica di UNISAT-6 sono state testate le configurazioni con TNC a 9600 bps (porta 2) e collegamento audio (senza TNC).

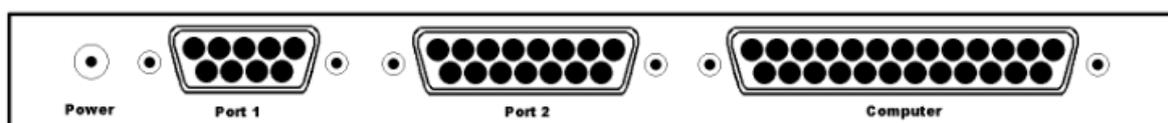


Figura 2.1.5.1: Kantronics KPC 9612 Plus pannello posteriore [12]

## **2.2 Software**

La Ground Station necessita l'utilizzo di diversi software che realizzano ben determinate funzioni. Per determinare le orbite, i passaggi e la visibilità dei satelliti vengono utilizzati principalmente tre programmi. Altri sono utilizzati per la decodifica del segnale, analisi di segnale e hardware, interfaccia terminal e supporto. I diversi software utilizzati nelle due configurazioni testate sono elencati negli schemi a blocchi precedentemente riportati (vedi Figura 2.1 e 2.2), inoltre, quando vengono utilizzati per interfacciarsi con altri elementi hardware, accanto al nome dei software, è riportato un numero che identifica il ramo in cui sono utilizzati.

### **2.2.1 Orbitron**

Orbitron ha un'interfaccia comprensibile ed è molto funzionale poiché, se opportunamente connesso al rotore ed alla radio, può gestire automaticamente il puntamento e l'effetto Doppler (vedi Appendice D.1) [13].

Esso offre la possibilità di visualizzare la posizione e l'impronta a terra di moltissimi satelliti. Quelli che si vuole visualizzare sono selezionabili dalla lista presente sulla destra della schermata. I satelliti presenti nella lista sono quelli di cui Orbitron ha i dati TLE, ovvero, i dati Kepleriani. Questi dati vanno aggiornati regolarmente poiché il propagatore utilizzato dal software ha una minima discrepanza con i dati reali. Maggiore è il tempo tra un aggiornamento ed il precedente maggiore sarà l'errore tra posizione visualizzata dal software e posizione reale. I dati TLE possono essere aggiornati sia tramite file (liste contenenti i parametri orbitali di vari satelliti) sia scaricando gli stessi dati da internet.

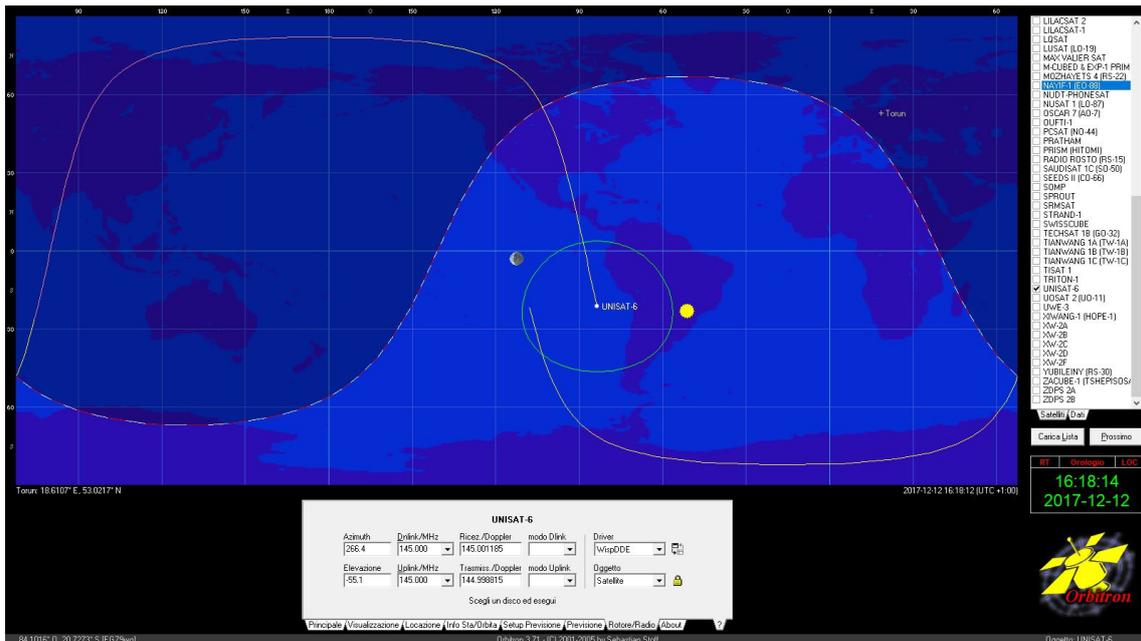


Figura 2.2.1.1: Orbitron

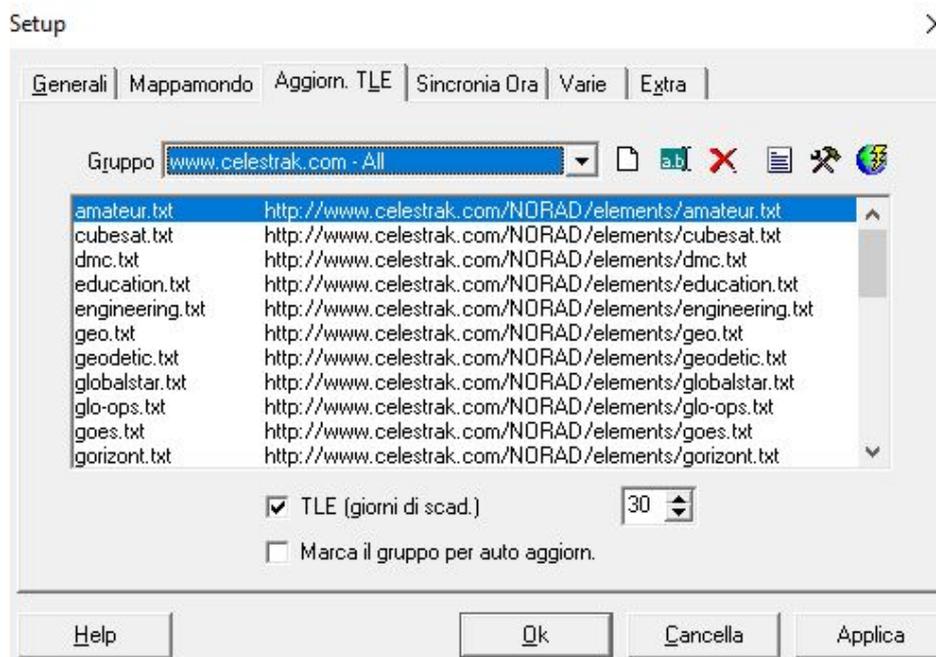


Figura 2.2.1.2: Aggiornamento TLE

Orbitron fornisce sia la posizione assoluta dei satelliti (latitudine e longitudine) sia quella relativa alla posizione locale (azimut ed elevazione). È importante immettere le coordinate locali, nella sezione “Localizzazione”, poiché in questo modo saranno

forniti dati di azimut, elevazione e segmenti di orbita visibile corretti. I dati riguardanti la posizione locale permettono di riuscire a collegare un rotore e di poter effettivamente puntare il satellite da inseguire. Inoltre, l'effetto Doppler è calcolato in base alla velocità relativa tra osservatore e satellite.

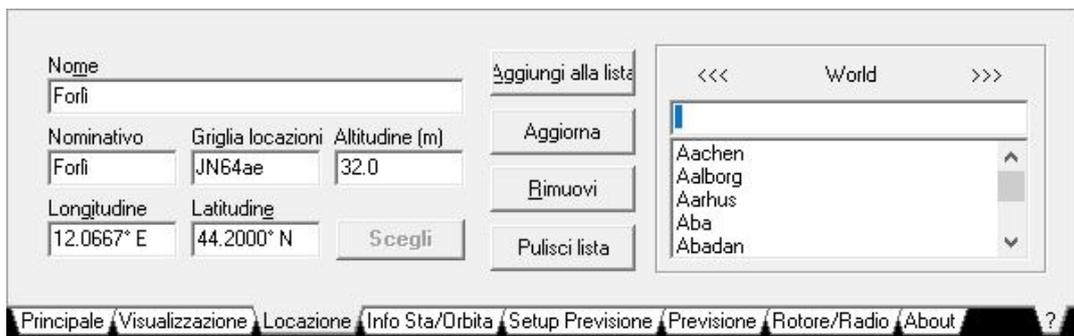


Figura 2.2.1.3: Localizzazione

## 2.2.2 Gpredict

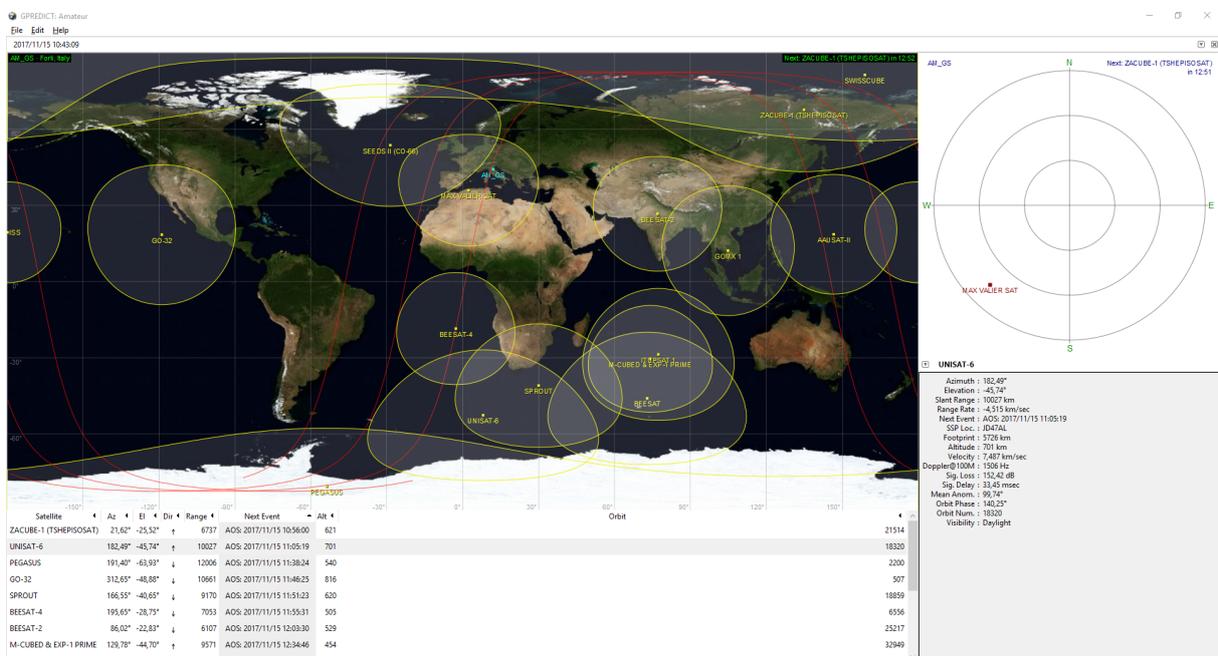


Figura 2.2.2.1: Gpredict

Gpredict differisce da Orbitron per alcune caratteristiche: l'interfaccia è molto più intuitiva e fornisce con maggior chiarezza l'elenco dei passaggi sia di uno stesso satellite sia di diversi senza dover selezionare i satelliti e la durata della previsione. Gpredict è utilizzato per la movimentazione del rotore Rot2proG poiché la libreria installata sul PC, Hamlib, s'interfaccia meglio con questo software [14].

A differenza di Orbitron, per scegliere i satelliti da visualizzare serve selezionare "Configure" dal menu principale (triangolo in alto a destra). Si aprirà una finestra con due liste: la lista di sinistra contenente tutti i satelliti di cui Gpredict ha i dati Kepleriani, quella di destra, invece, elencherà tutti i satelliti da visualizzare. Per aggiungere un satellite alla lista da visualizzare basterà selezionarlo dalla lista di sinistra e fare doppio clic. Stessa operazione per eliminarli: selezionare un satellite dalla lista visibile con doppio clic.

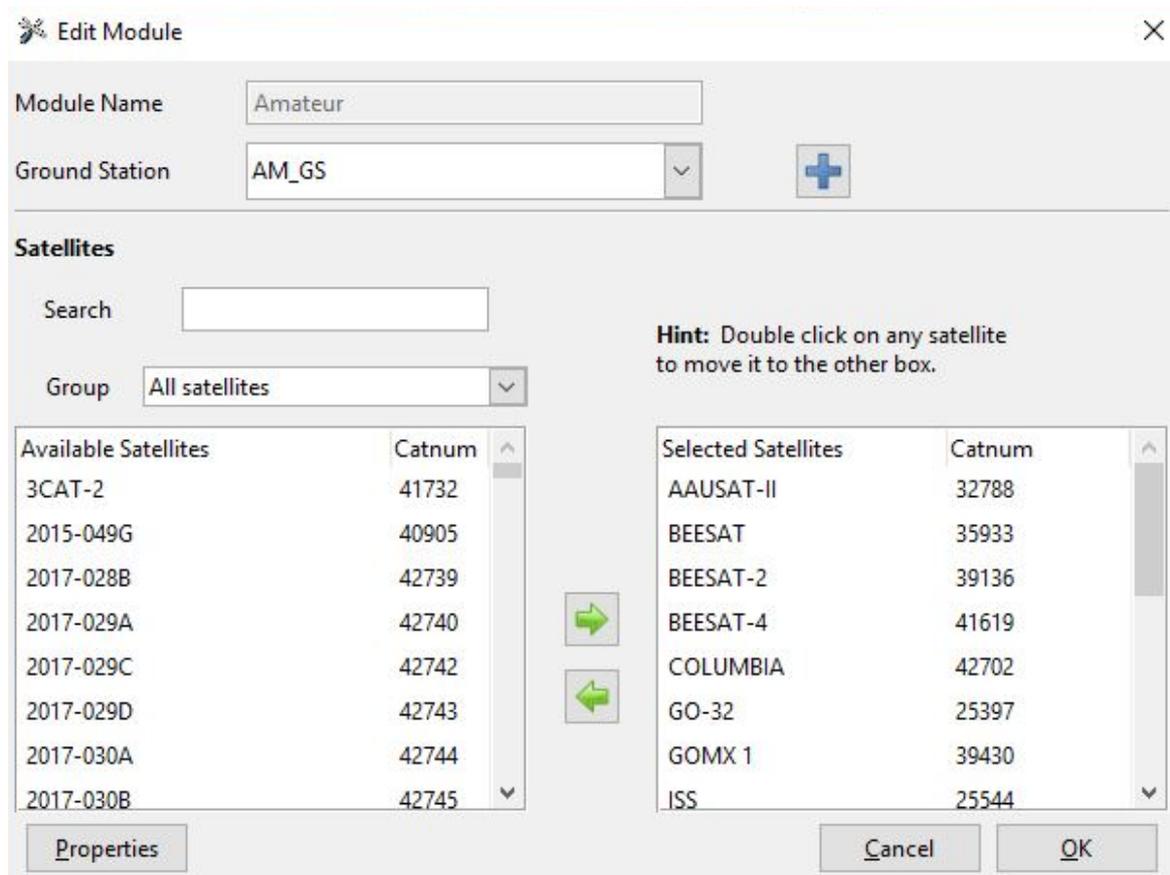


Figura 2.2.2.2: Configure

Gpredict, così come Orbitron, necessita dell'aggiornamento dei dati TLE dei satelliti, poiché adottano lo stesso propagatore. Per aggiornare i dati TLE, selezionare "Edit" -> "Update TLE" dalla barra in alto. I file e i collegamenti URL per i dati LTE possono essere consultati selezionando "Edit" -> "Preferences" dalla barra in alto.

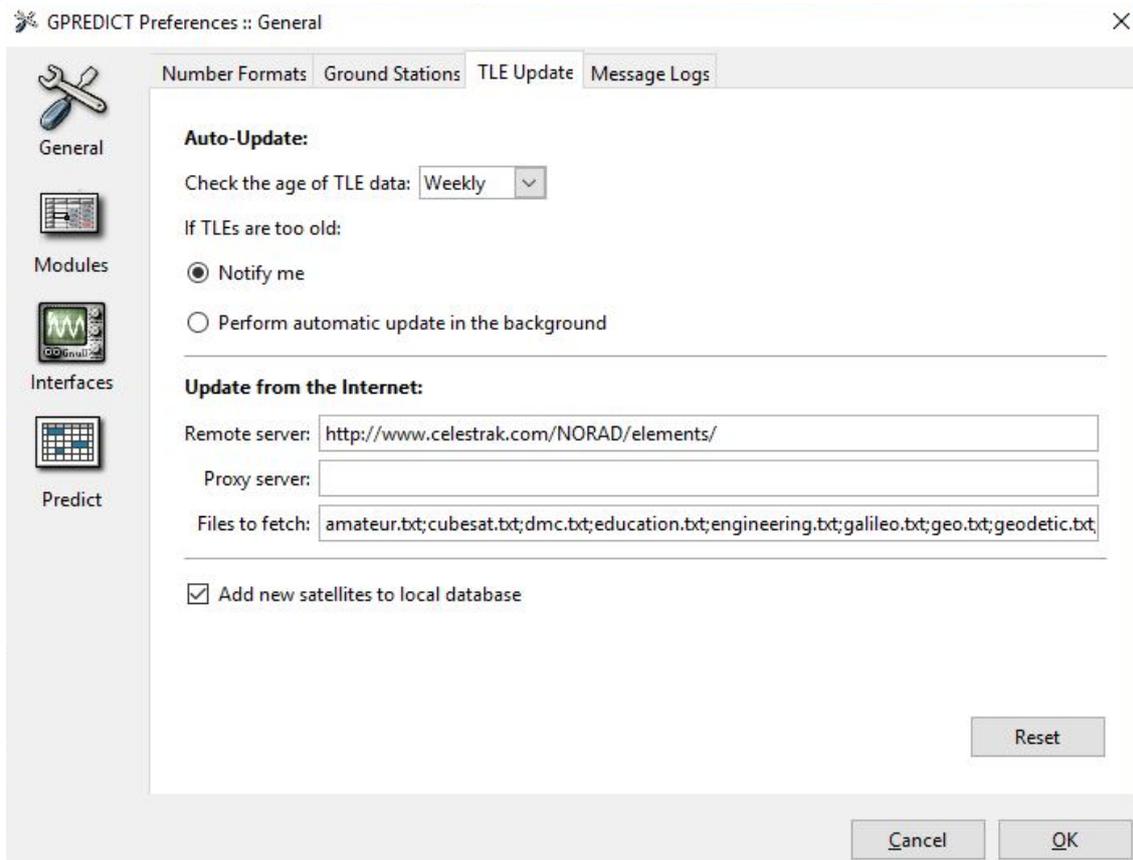


Figura 2.2.2.3: LTE Gpredict

All'interno della stessa finestra, "Preferences", si possono impostare le coordinate locali, "Ground Station", e le connessioni con rotori e radio, "Interfaces".

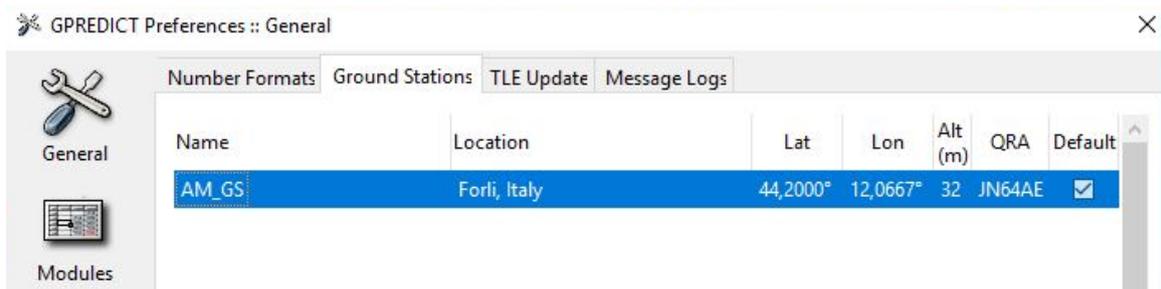


Figura 2.2.2.4: Ground Station

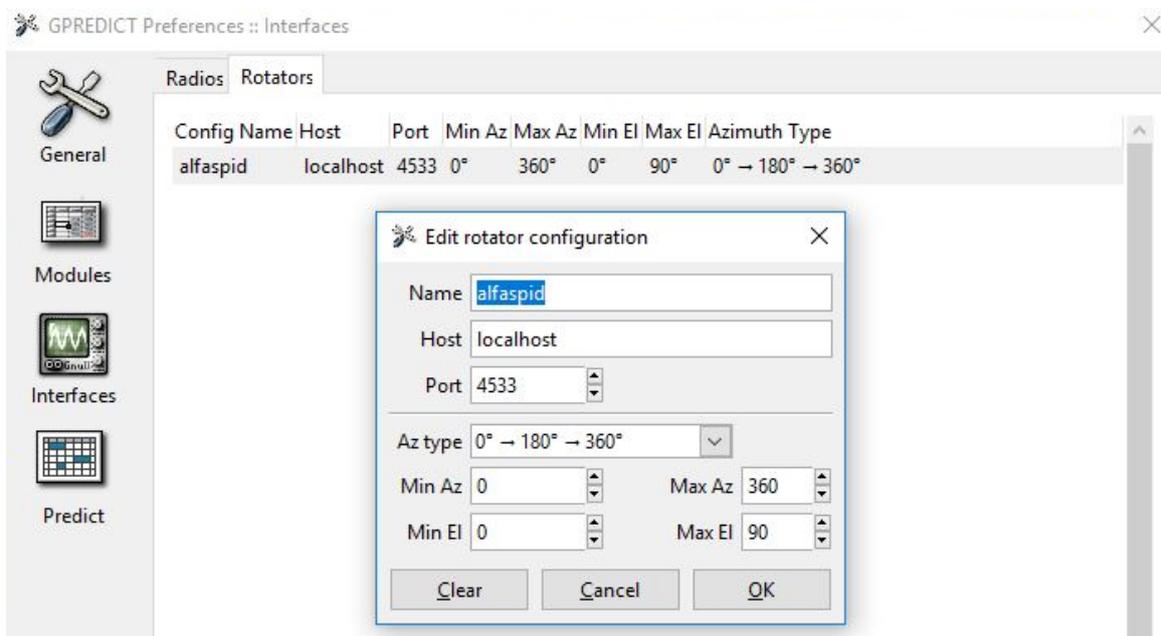


Figura 2.2.2.5: Rotators

Per la guida dettagliata alla configurazione del rotore Rot2proG vedi Appendice B.2.

### 2.2.3 Ham Radio Deluxe

Ham Radio Deluxe (HRD) è un software che al suo interno comprende diversi programmi, per questo offre innumerevoli funzionalità [15]. La caratteristica che ha inciso maggiormente per il suo utilizzo è la facilità di interfacciarsi con la radio, in quanto bastano pochi passaggi per poterla connettere. L'utilizzo di HRD è stato dettato

specialmente dalla connessione COM richiesta dall'interfaccia CT – 17. In modelli più recenti la radio è predisposta con una porta USB per la connessione diretta con il PC, il modello in dotazione alla control room invece ne è sprovvista, costringendo l'utilizzo di un'interfaccia dedicata.

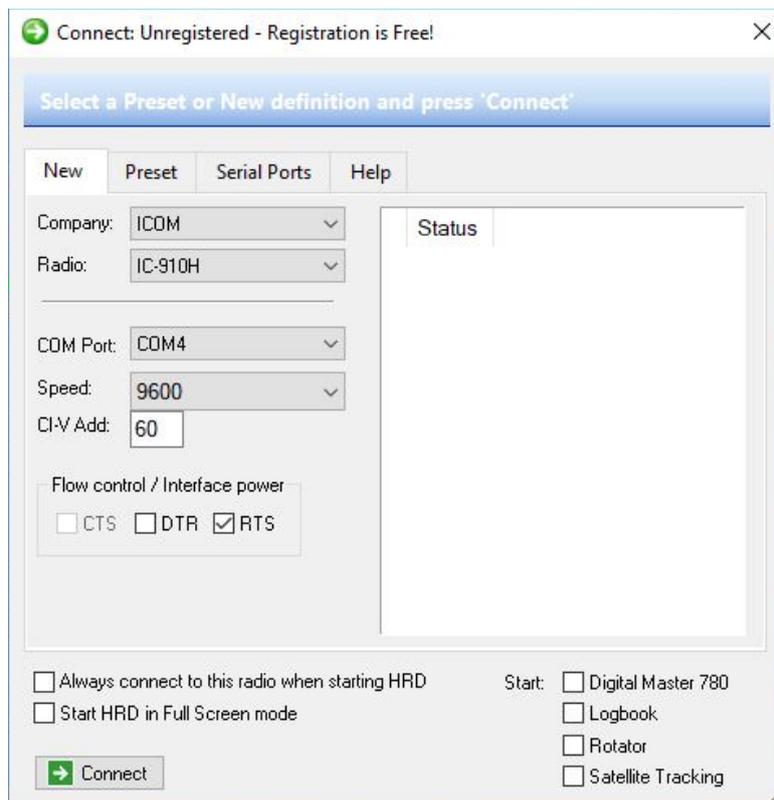


Figura 2.2.3.1: Impostazioni connessione radio

Scorrendo il menu a tendina si scopre che ci sono davvero moltissimi modelli di radio compatibili con questo programma. Avendo la radio IC – 910H è stato scelto di utilizzare una porta COM per la connessione: la velocità di connessione è stata impostata a 9600 bps sia per quanto riguarda la radio sia per la porta COM (Pannello di controllo) sia per HRD. Una volta inseriti i parametri corretti, il programma li manterrà in memoria e si conetterà automaticamente ogni volta che sarà aperto il programma. L'interfaccia di visualizzazione della radio permette di visualizzare e poter intervenire su molteplici parametri (vedi Figura 1.2.3.2).

Le modifiche apportate da HRD saranno visibili sul display della radio e viceversa.

Se si desidera cambiare la frequenza è possibile farlo velocemente posizionando il cursore del mouse sulla cifra da cambiare e usare la rotellina centrale per variarla.

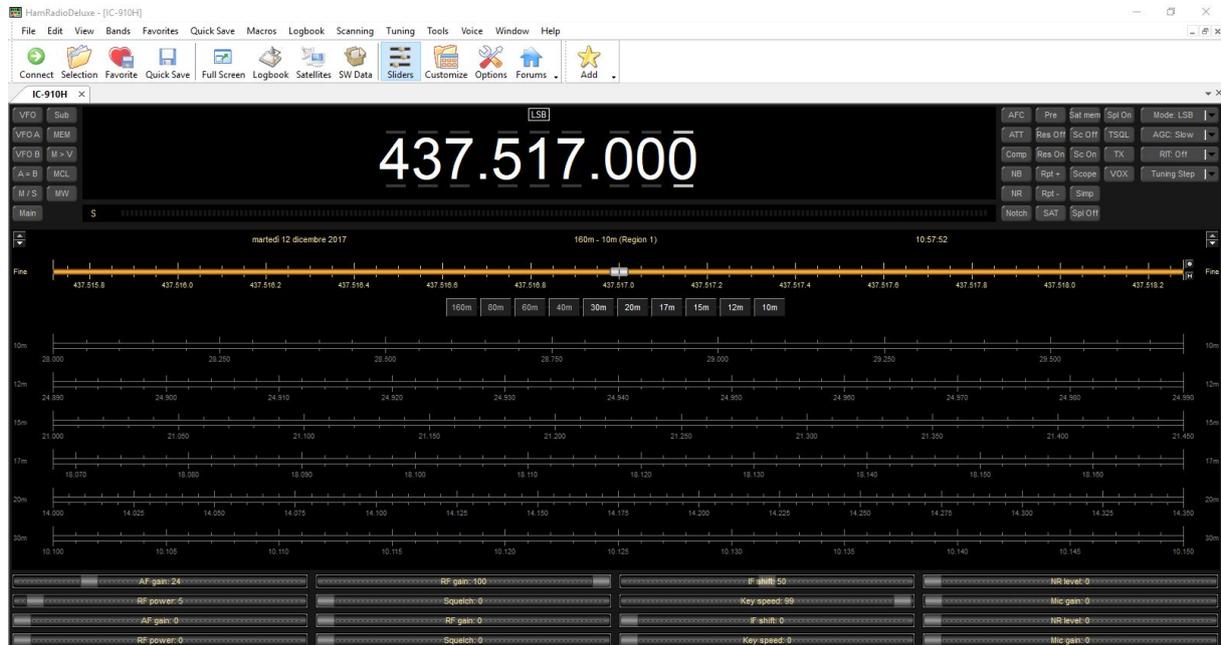


Figura 2.2.3.2: HRD visualizzazione radio

## 2.2.4 HRD Satellite Tracking

HRD Satellite Tracking è differente dai precedenti come interfaccia utente. Questo software è stato scelto per la facilità di connessione con la radio: l'importanza di questo aspetto è fondamentale in quanto permette di gestire l'effetto Doppler con un'estrema facilità. HRD Satellite Tracking è parte di un pacchetto di programmi più ampio, HRD, il quale permette di sfruttare al massimo le potenzialità della radio.

Come si può notare (vedi figura 2.2.4.1), sulla parte a sinistra c'è una piccola finestra dedicata al controllo della radio, nella quale è possibile visualizzare diversi parametri, tra cui frequenza, modalità di ricezione, squelch e guadagno. La visualizzazione dei satelliti è differente rispetto ai programmi sopra descritti poiché ogni satellite d'interesse ha una schermata dedicata. Questo rende, immediata e più chiara la visualizzazione della posizione e della zona di visibilità a terra del satellite stesso.

Inoltre, il software consente di visualizzare i passaggi successivi relativi al satellite selezionato: la finestra può essere posizionata nella zona più comoda per l'operatore e può essere scelta una tra le diverse modalità di visualizzazione (vedi Figura 2.2.4.2 A,B,C).

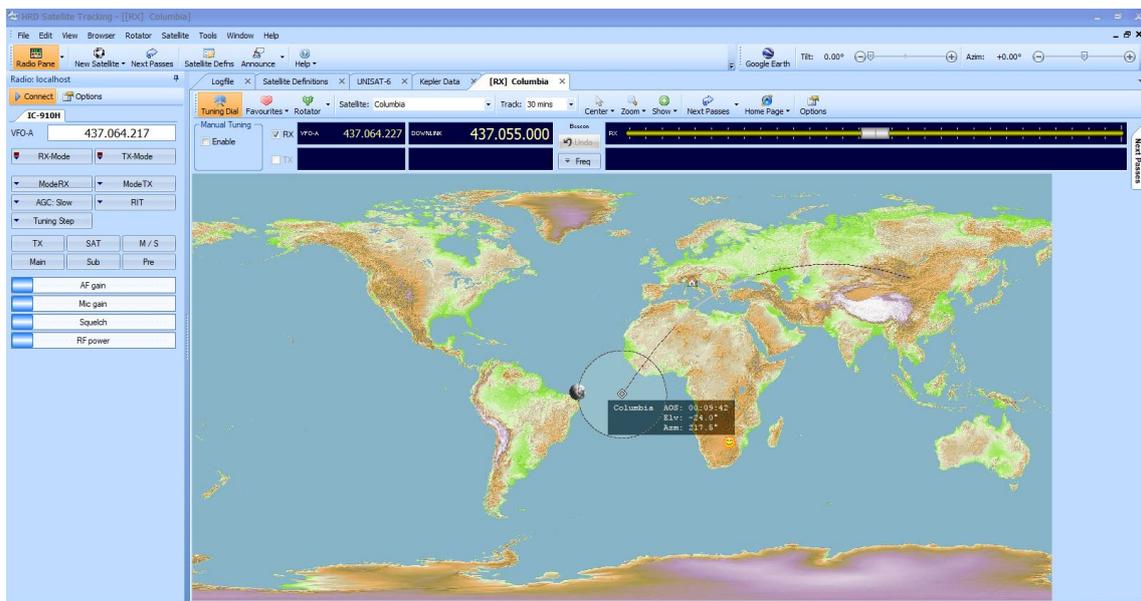


Figura 2.2.4.1: HRD Satellite Tracking

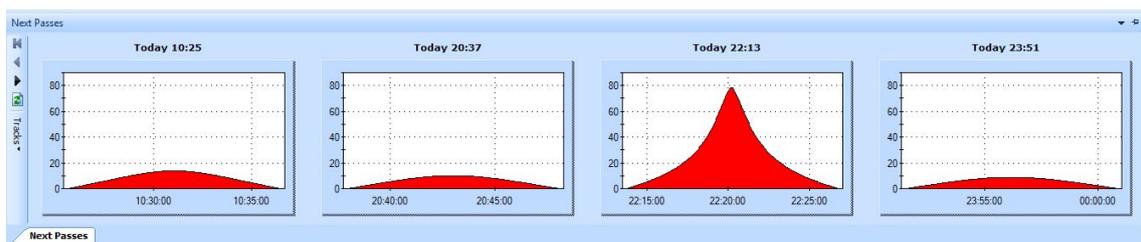


Figura 2.2.4.2A: Next Passes: Elevation

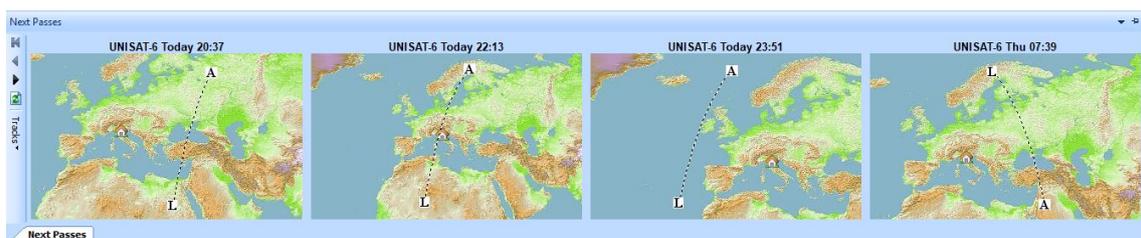


Figura 2.2.4.2B: Next Passes: World Map



Figura 2.2.4.2C: Next Passes: Radar

Per impostare le coordinate locali selezionare la sezione “Your Information” del menu “Options”.

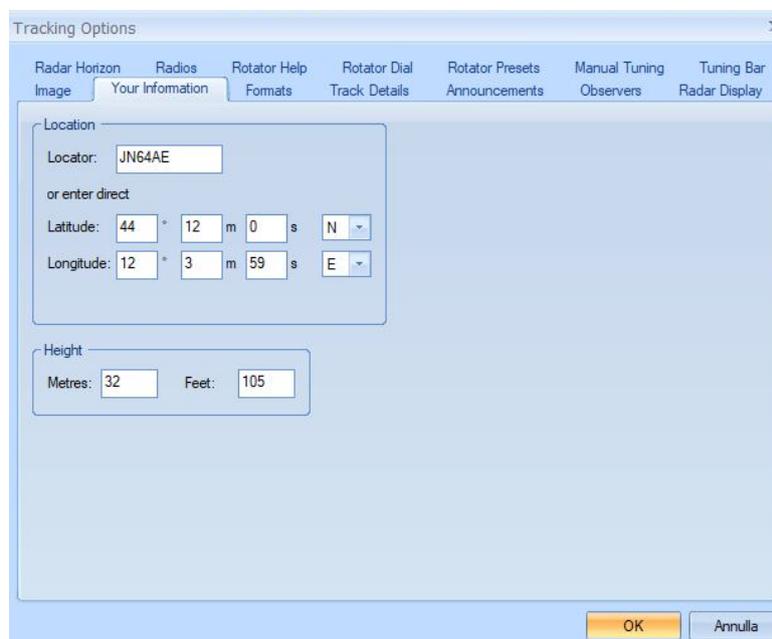


Figura 2.2.4.3: Localizzazione

Per aggiornare i dati Kepleriani, HRD Satellite Tracking ha una schermata dedicata sempre aperta, nella quale si trovano elencati tutti i file e i collegamenti URL da cui caricare i TLE. In alto alla schermata c'è un pulsante “Download Now”, con due frecce rosse, che consente l'aggiornamento.

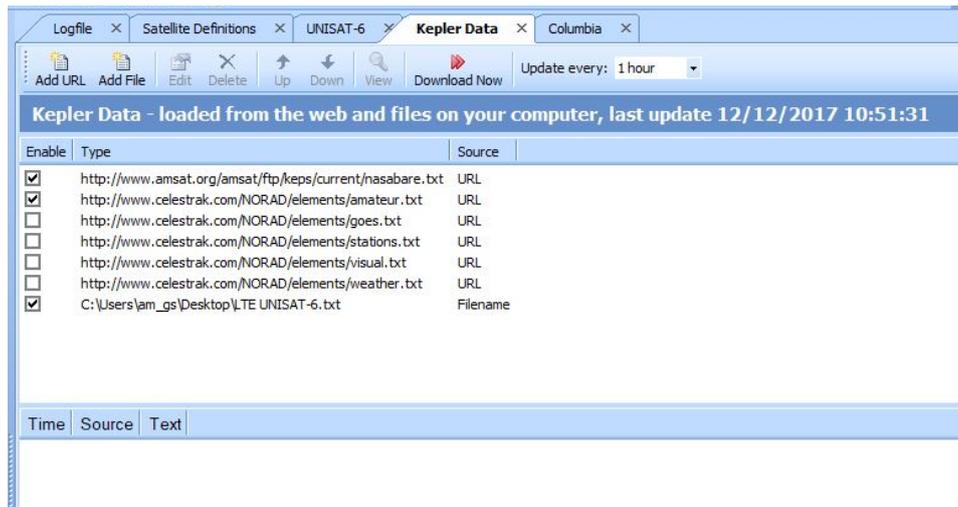


Figura 2.2.4.4: Kepler Data

Uno degli aspetti migliori di HRD Satellite Tracking è quello di poter passare l'effetto Doppler alla radio con un semplice clic:

- Selezionare la finestra relativa al satellite che si vuole ricevere;
- Premere “Turning Dial”, si aprirà un menu a barra;
- Selezionare “RX”.

Effettuando questi semplici e rapidi passaggi la radio inizierà a cambiare la frequenza di ricezione per sopperire all'effetto Doppler. È importante verificare che la frequenza di “Downlink” sia corretta. Se occorre modificarla, fare doppio clic su “Downlink”; si aprirà una finestra nella quale è possibile modificare sia la frequenza di downlink sia quella di uplink. Per non doverla cambiare ad ogni passaggio è utile memorizzarla tramite la funzione “Add”. L'effetto Doppler può essere trasmesso sia alla radio sia ad un software che acquisisce mediante SDR o ingresso audio (es. HDSDR).



Figura 2.2.4.3: Turning Dial

## 2.2.5 Soundmodem

Soundmodem è un software progettato e sviluppato da un radioamatore ucraino [16]. Esso permette di sfruttare le potenzialità della soundcard di cui è dotato il PC per effettuare la demodulazione del segnale audio. Sono disponibili varie versioni di questo software, per le necessità della Ground Station si è scelto di utilizzare la versione 0.15b in quanto supporta la modulazione adottata da UNISAT-6, FSK 9600bps [17].

Soundmodem supporta il protocollo di decodifica AX.25 e anche la versione semplificata KISS.

Prima di poter utilizzare il software, è necessario selezionare l'input corretto per la configurazione ricettiva utilizzata (Settings -> Devices) e i parametri relativi alla demodulazione (Settings -> Modems).

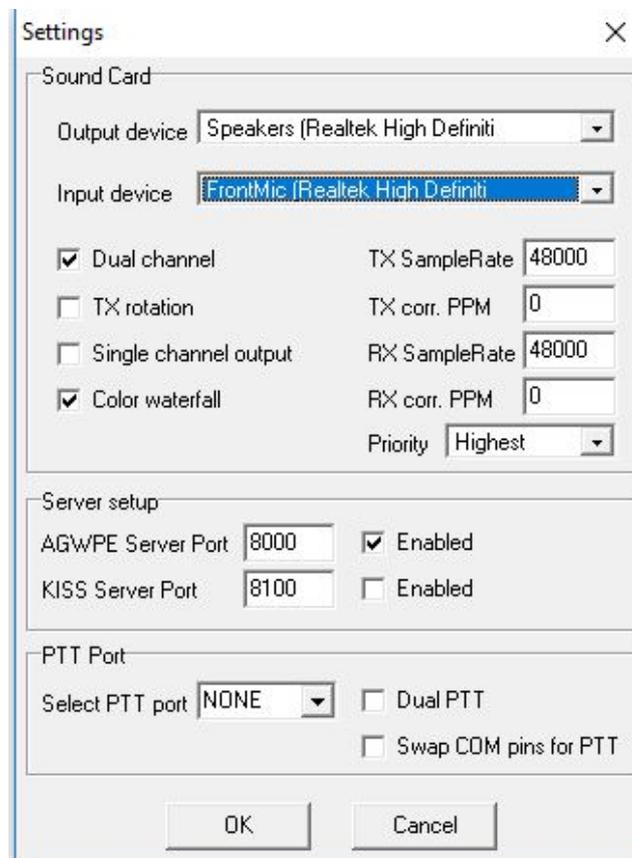


Figura 2.2.5.1: Devices

Soundmodem è stato utilizzato in due configurazioni differenti: con e senza HSDR. Nel caso in cui si voglia utilizzare il software HSDR è necessario selezionare “Line 1 (Virtual Audio Cable)” come input di soundmodem; in caso contrario il segnale verrà acquisito direttamente, selezionando l’ingresso del microfono utilizzato (“FrontMic” nell’esempio di Figura 2.2.5.1).

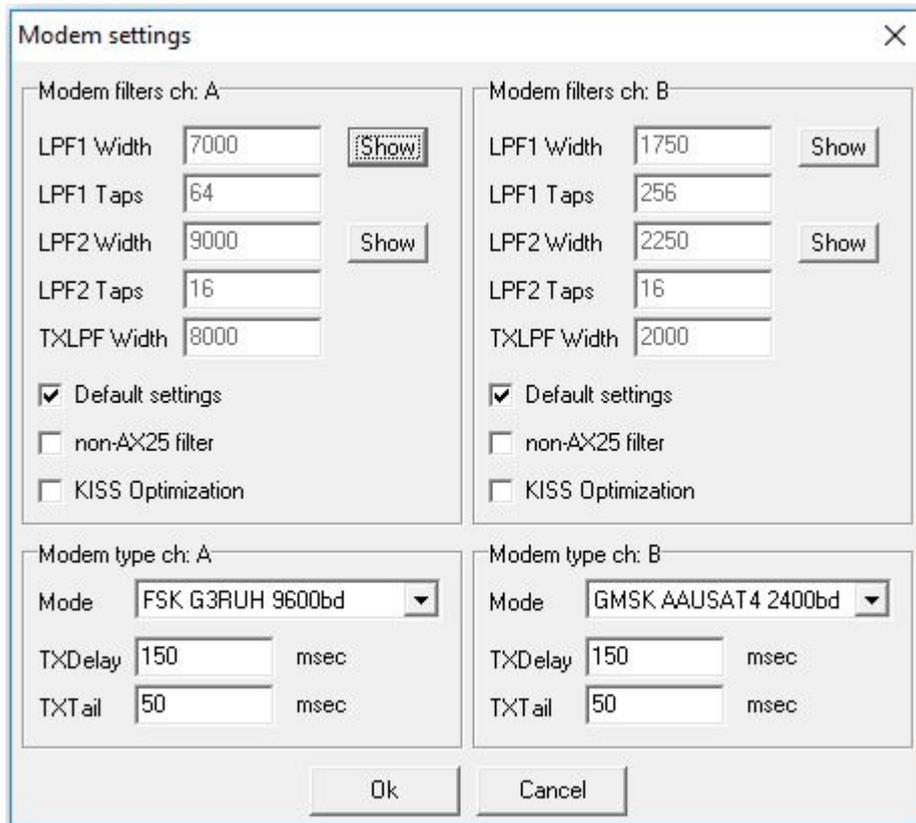


Figura 2.2.5.2: Modems

Le impostazioni della sezione “Modems” possono essere modificate direttamente dalla finestra evidenziata deselegionando “Default settings”. In questo caso, alla riapertura di soundmodem le impostazioni torneranno quelle preimpostate. Per evitare di doverle modificare in continuazione, è possibile modificarle direttamente dal file di testo (.txt) presente nella stessa cartella in cui è posizionato il file eseguibile (.exe) di soundmodem. Una volta modificate e salvato il file, le nuove impostazioni saranno visualizzate come “Default settings” permettendo all’operatore di utilizzarle attraverso

un semplice clic. La parte inferiore della finestra principale visualizza il waterfall del segnale in ingresso al software. Nel caso in cui stia avvenendo una demodulazione, compariranno delle stringhe alfanumeriche nella schermata principale: questi messaggi verranno poi trasmessi al software di decodifica per poter essere tradotte in un linguaggio comprensibile.

## 2.2.6 HSDR

HSDR è un software che permette di visualizzare lo spettro del segnale in ingresso. Può acquisire un segnale audio da una SDR esterna, da una radio, dalla soundcard del PC oppure da un file precedentemente registrato [18].

HSDR permette di poter lavorare scegliendo tra diversi ingressi ed uscite, consentendo di poter lavorare in cascata con diversi dispositivi e software.

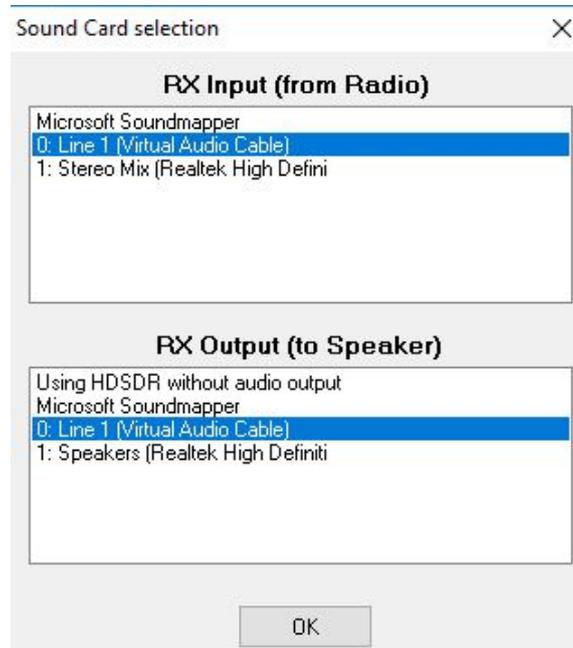


Figura 2.2.6.1: HSDR Input e Output

Se si acquisisce un segnale da un dispositivo a cui non è stata passata la correzione dell'effetto Doppler è necessario inserire questa correzione con HSDR. Quest'operazione può essere effettuata collegando HSDR con vari programmi, tra cui HRD e Orbitron. I passaggi richiesti sono davvero semplici, infatti, basta selezionare la fonte (Options -> DDE to HSDR) e cliccare "OK".

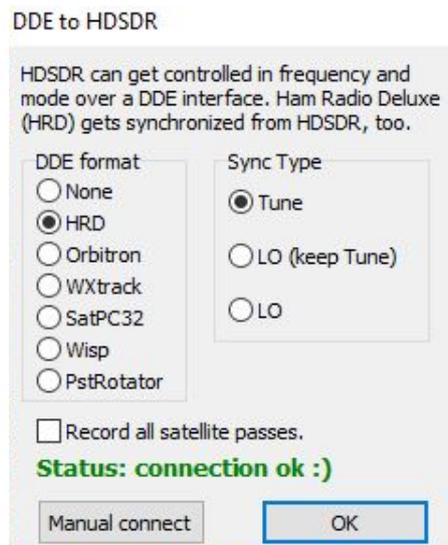


Figura 2.2.6.2: DDE to HSDR

Se l'ingresso selezionato è HRD sarà sufficiente aprire il programma prima di effettuare la connessione (in caso non si connetta automaticamente premere "Manual Connect"), in caso contrario sarà necessario installare sul PC WispDDE. Una volta installato, questo programma permette di passare dati (Dynamic Data Exchange, DDE) da un software ad un altro. Ora basterà connettere Orbitron:

- Selezionare il satellite interessato;
- Andare nella sezione "Rotore/Radio";
- Selezionare "WispDDE" dal menu a tendina "Driver";
- Premere l'icona a fianco a "Driver".

Si aprirà una finestra che rimarrà aperta durante l'intera connessione tra i due programmi, ma che non richiede nessuna operazione da parte dell'operatore.

A questo punto potremo selezionare Orbitron come input a HSDR e iniziare ad acquisire il segnale.



Figura 2.2.6.3: Orbitron WispDDE

HSDR permette di poter acquisire ed esportare un file con diversi valori di campionamento. Se si decide di registrare un file audio, durante la sua riproduzione non si potrà modificare il valore del campionamento in ingresso, ma si potrà agire su tutti gli altri parametri: campionamento in uscita, modalità di ricezione e parametri di visualizzazione dei grafici waterfall. Per registrare un segnale come file audio basterà premere il bottone tondo rosso e scegliere la cartella dove si vuole salvare il file. Una volta conclusa l'acquisizione premere stop per cessare la registrazione.

È possibile riprodurre i file audio salvati, sia da HSDR sia da altri software: Options -> Input -> WAV File.

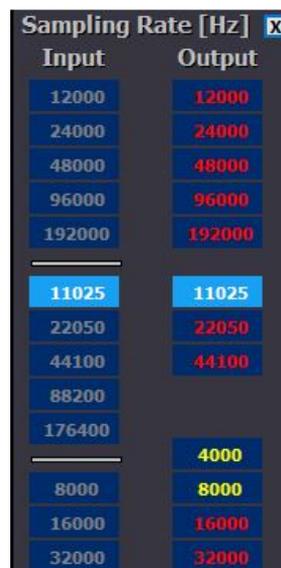


Figura 2.2.6.4: Bandwidth

## 2.2.7 AGWPE

AGWPE è un software, sviluppato da un radioamatore greco, che permette di interfacciare un dispositivo (TNC) collegato ad una COM port con la soundcard del PC [19]. L'installazione di AGWPE è piuttosto semplice, mentre l'utilizzo e il settaggio risulta leggermente più delicato. Una volta lanciato non viene visualizzata nessuna finestra, ma compare un'icona nella barra inferiore che rimane nella parte nascosta di essa. Ci si può interfacciare tramite clic destro sull'icona e comparirà un menu (vedi Figura 2.2.7.1).

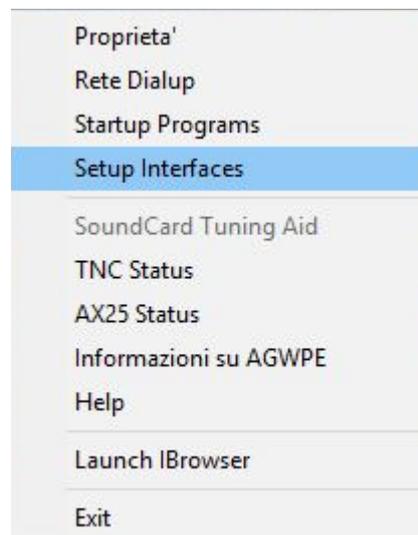


Figura 2.2.7.1: Menu AGWPE

È possibile impostare la porta e il dispositivo da interfacciare alla voce “Proprietà”; si aprirà una prima finestra riportante l'elenco di tutte le porte già impostate, selezionandone una e premendo “OK” verranno visualizzate le impostazioni dettagliate. Di seguito sono riportate le impostazioni relative all'interfaccia TNC (vedi Figura 2.2.7.2 e Figura 2.2.7.3).

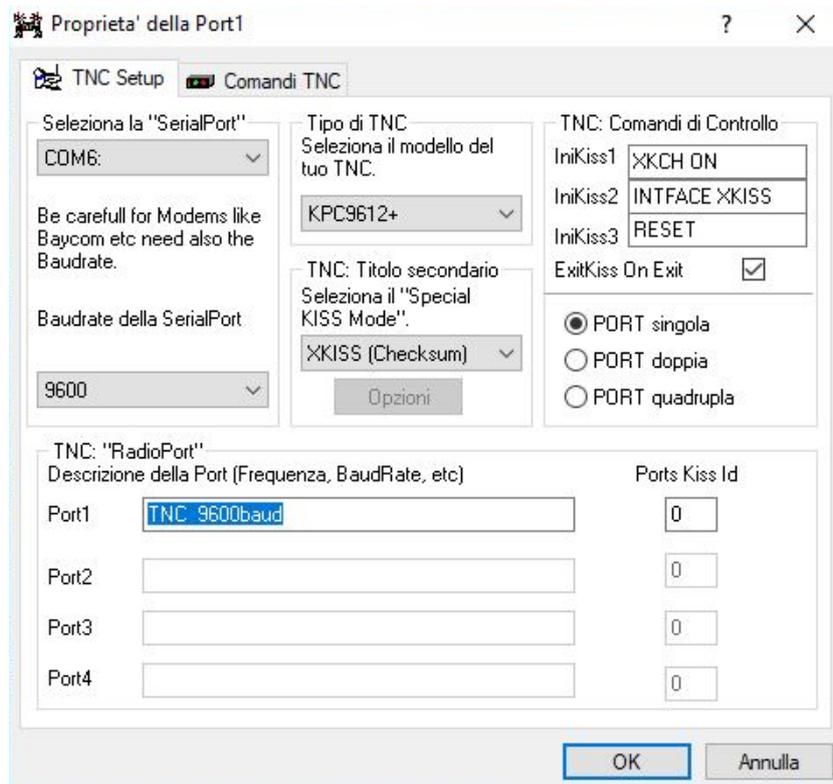


Figura 2.2.7.2: TNC Setup

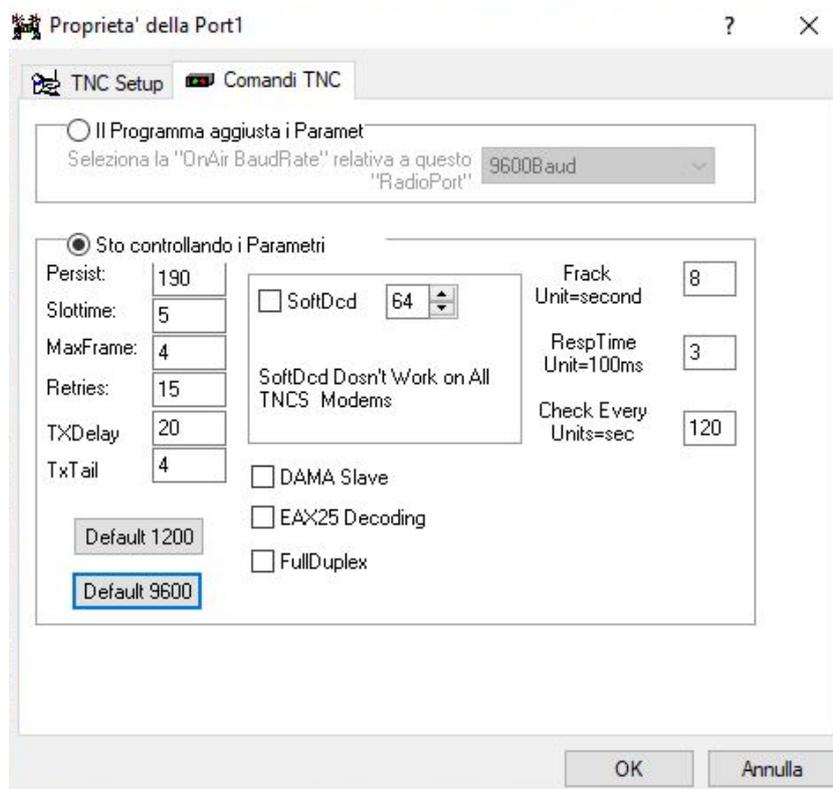


Figura 2.2.7.3: Comandi TNC

AGWWPE è stato abbandonato poiché non supporta versioni successive a Windows 7. Per questo motivo non è stato possibile utilizzare correttamente il dispositivo TNC a differenza di quanto avveniva per la vecchia configurazione della Ground Station.

Le impostazioni, così come il lavoro svolto, sono riportate per permettere una facile implementazione della suddetta configurazione nel caso in cui vengano rilasciati i driver relativi a Windows 10. In particolare viene visualizzato un errore di non compatibilità con il file di sistema, AGWTCPIP.SYS, sancendo così l'impossibilità di utilizzare la modalità TCP/IP richiesta dall'utilizzo del TNC.

### **2.2.8 AGW Online KISS Plus**

AGW Online KISS Plus è un software che permette di elaborare le stringhe fornite dal modem (TNC o soundmodem) e scrivere file che saranno in seguito utilizzati per la decodifica finale del segnale ricevuto [20]. Il software è stato sviluppato dallo stesso radioamatore che ha progettato AGWPE, ma fortunatamente non richiede l'utilizzo di AGWPE per essere utilizzato. Esistono varie versioni di AGW Online KISS, si è scelto di utilizzare la versione 2.2.4 su suggerimento di Mike Rupprecht, radioamatore tedesco. Questa versione non concede di poter cambiare la selezione dell'ingresso ma questa avviene all'installazione del software (127.0.0.1:8000). All'avvio, la schermata principale visualizza le porte disponibili e quelle connesse al software (vedi Figura 2.2.8.1).

Nella parte superiore è presente una luce che comunica lo stato di connessione del software (Windsock): verde connesso, rosso non connesso. Il software presenta un menu a tendina nella parte superiore destra, dalla quale è possibile selezionare il satellite che si sta decodificando: questo permette di visualizzare la posizione relativa ed assoluta del satellite e di salvare i file prodotti nella cartella dedicata al satellite. La scritta in basso a sinistra ci ricorda che anche questo software richiede l'aggiornamento dei dati TLE (il percorso è visualizzabile nel file di testo presente nella cartella in cui è posizionato AGWOnlineKISSPlus.exe).

Il programma presenta tre opzioni spuntabili nella parte inferiore della finestra principale:

- Decode KISS Frame: da selezionare se si utilizza una codifica KISS;
- Generate Time Frames (ext): da selezionare poiché si desiderano file .kss;
- Filter packet if elev <0: la selezione di questa opzione è ininfluente se si decodifica il segnale durante il passaggio del satellite, elevazione maggiore di zero. Se il segnale viene decodificato in un momento successivo al passaggio del satellite, tramite un file registrato, occorre deselezionare la voce affinché il programma non filtri l'intero segnale.

I file prodotti da AGW Online KISS Plus sono file KISS (.kss), pronti per la decodifica.

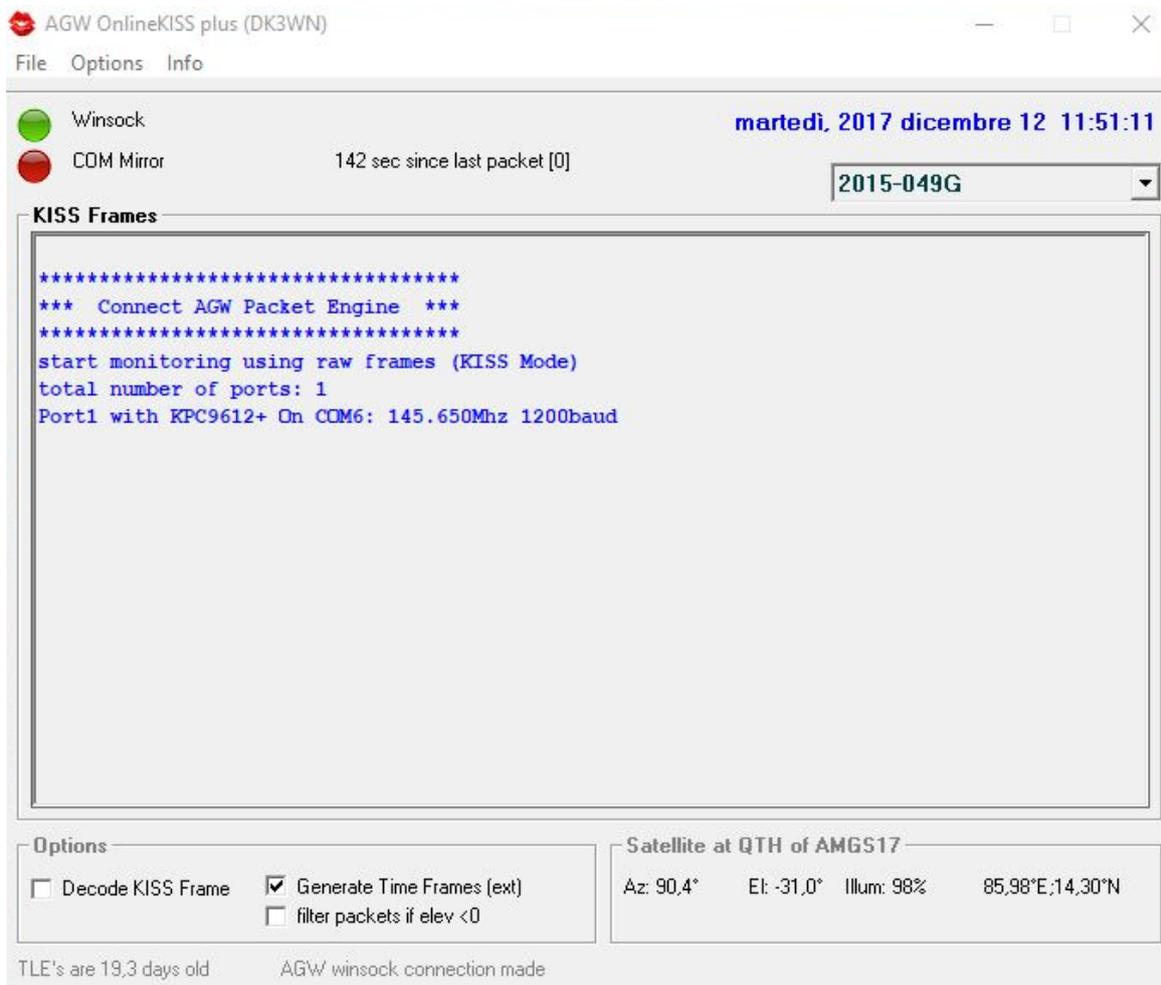


Figura 2.2.8.1: AGW Online KISS Plus

## 2.2.9 Online Telemetry Forwarder

Online Telemetry Forwarder è un software che può sostituire AGW Online KISS Plus poiché anch'esso genera file .kss prendendo in ingresso il segnale elaborato dal modem (TNC o soundmodem). A differenza del software sopra descritto Online Telemetry Forwarder visualizza graficamente il numero di pacchetti KISS ricevuti. Nella parte superiore è presente una luce che comunica lo stato di connessione del software: verde connesso, rosso non connesso.

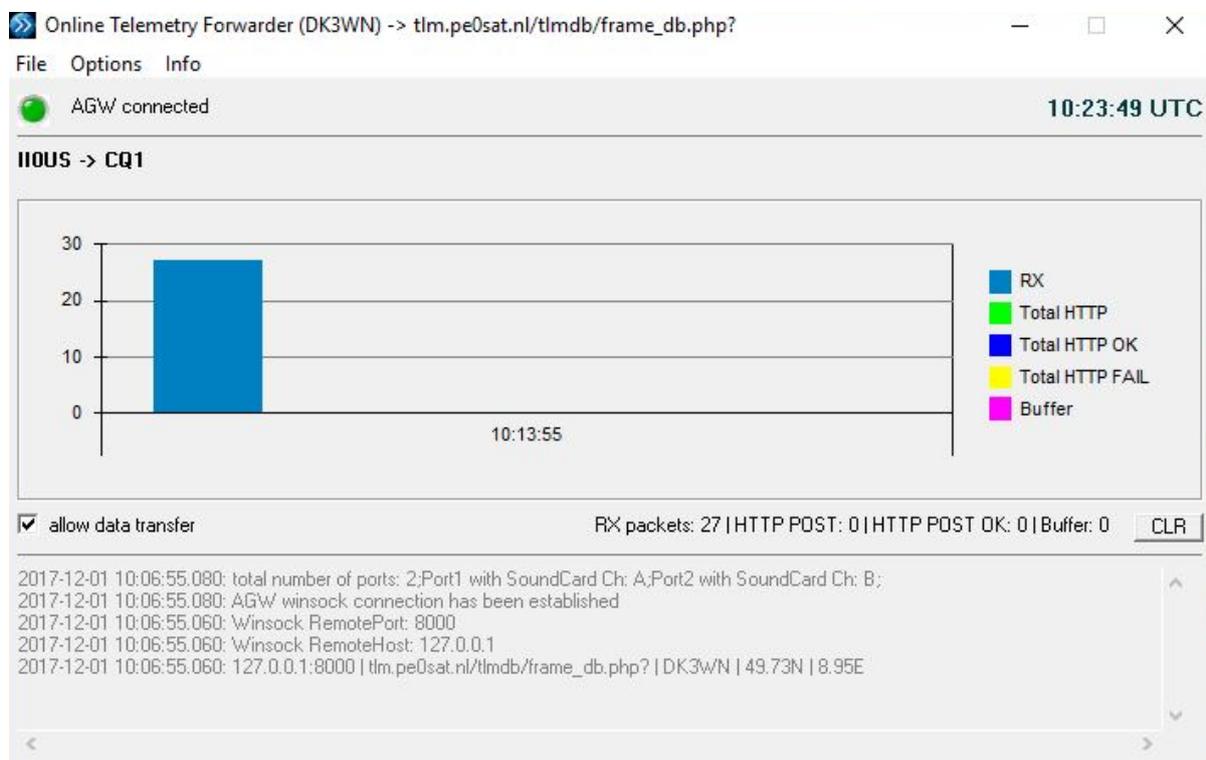


Figura 2.2.9.1: Online Telemetry Forwarder

## 2.2.10 Terminal

Terminal è un software che serve per comunicare con il dispositivo TNC e poter così cambiare impostazioni e porta d'ingresso.

La prima volta che si effettua il collegamento tra PC e TNC è necessario individuare la porta COM utilizzata (Pannello di controllo -> Dispositivi -> Porte COM) e impostare il baud rate a 9600. Ora è necessario l'uso di Terminal per poter impostare il TNC in modalità KISS. La prima volta che si utilizza Terminal è necessario impostare i parametri corretti:

- Baud rate: 9600;
- Data bit: 8;
- Parity: none.

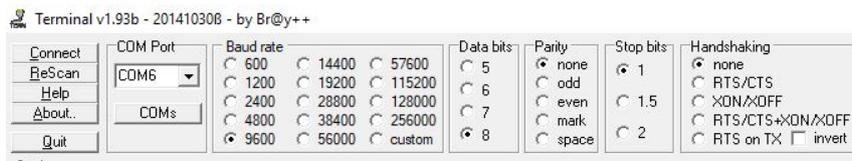


Figura 2.2.10.1: Parte superiore della schermata principale di Terminal

L'operazione sopra descritta è necessaria solamente al primo utilizzo, mentre la seguente richiede pochi passaggi, ma deve essere ripetuta ogni volta che si accende il modem poiché esce dalla modalità KISS automaticamente.

È sempre consigliato controllare i parametri di connessione. Dopo questa rapida verifica, selezionare la porta COM del PC alla quale è collegato il TNC, premere "Connect" per potervi comunicare.

Una volta connesso, procedere con l'accensione del TNC, apparirà il seguente messaggio: "PRESS (\*) TO SET BAUD RATE". Successivamente, verrà chiesto l'identificativo della Ground Station (callsign): inserire AMGS17. Ora il dispositivo è connesso e apparirà la command window (cmd) come in Figura 2.2.10.2.

Per prima cosa si bisogna selezionare la porta d'ingresso connessa alla radio digitando: "|1a" per la porta numero uno, "|2a" per la due.



## 2.2.11 FOX-1A Telemetry Analysis Tool

FOX-1A Telemetry Analysis Tool è un software sviluppato dai progettisti del satellite FOX-1A per consentire la demodulazione e la decodifica del segnale [21]. Il software in questione presenta al suo interno un soundmodem, per cui è necessario solamente selezionare l'ingresso del segnale audio (microfono anteriore, posteriore, cavo audio virtuale). Questo software è servito per validare la catena software a monte, in quanto è stato riprodotto un file audio tramite HSDR ed è stato decodificato con successo. FOX-1A è un satellite che trasmette in VHF, per questo motivo il segnale non è stato ricevuto dalla Ground Station, ma è stato fornito dal radioamatore tedesco Mike Rupprecht, il quale ha consigliato questo procedimento per verificare la bontà delle connessioni tra i vari software.

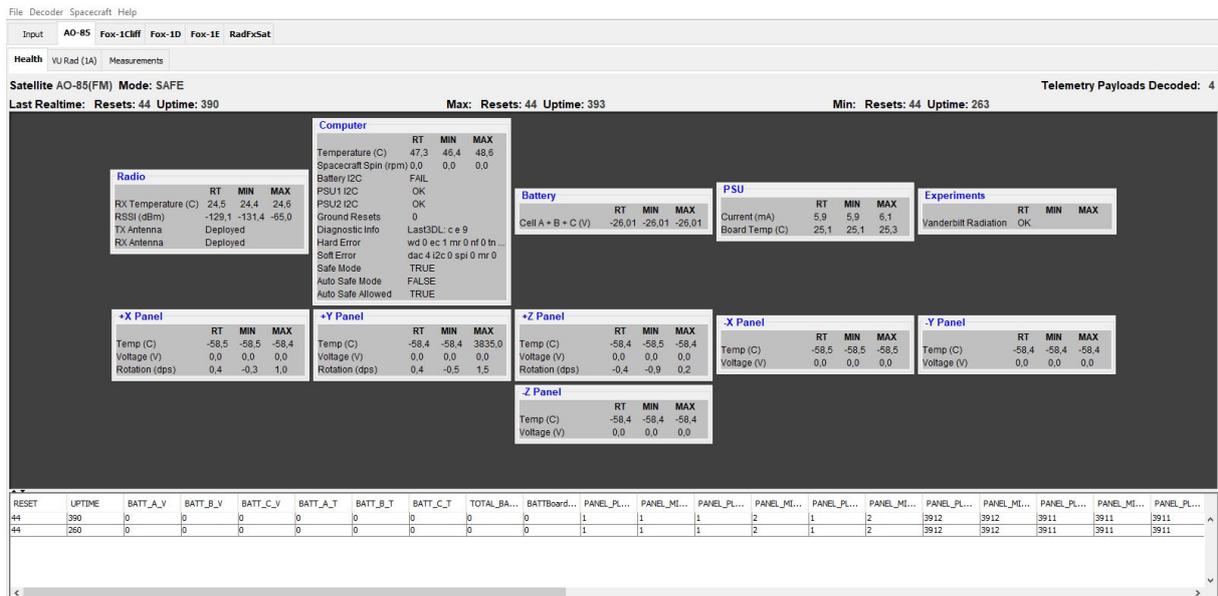


Figura 2.2.11.1: FOX-1A Telemetry Analysis Tool

### 2.2.12 UNISAT-6 Telemetry Decoder

UNISAT-6 Telemetry Decoder è un software sviluppato da Mike Rupprecht, radioamatore tedesco. Questo software permette di aprire i file KISS salvati con AGW Online KISS Plus o con Online Telemetry Forwarder e di decodificarli. I dati decodificati vengono visualizzati sia sotto forma di valori numerici, sia graficamente, potendo così valutarne l'andamento nel tempo. I file sono continuamente scritti durante l'acquisizione di un segnale, però non è possibile decodificarli in tempo reale, ma si deve aspettare di avere a disposizione il file completo. In caso contrario, saranno decodificati solo i dati salvati al momento dell'apertura con UNISAT-6 Telemetry Decoder, anche se il file viene contemporaneamente modificato dall'acquisizione del segnale.

I valori vengono inviati ogni trenta secondi, e vengono tabulati ad ogni istante di tempo in cui si riceve (frame). È possibile cambiare il frame di visualizzazione dei dati muovendo la barra in basso a destra. Per visualizzare graficamente la variazione di un valore nel tempo, bisogna selezionare il cerchio che precede la voce interessata. È possibile visualizzare graficamente una singola una selezione alla volta.

In basso a sinistra vi è un pulsante riportante una "S" che consente di catturare la schermata.

Nella parte inferiore è visualizzato il percorso in cui è salvato il file KISS che si sta decodificando.

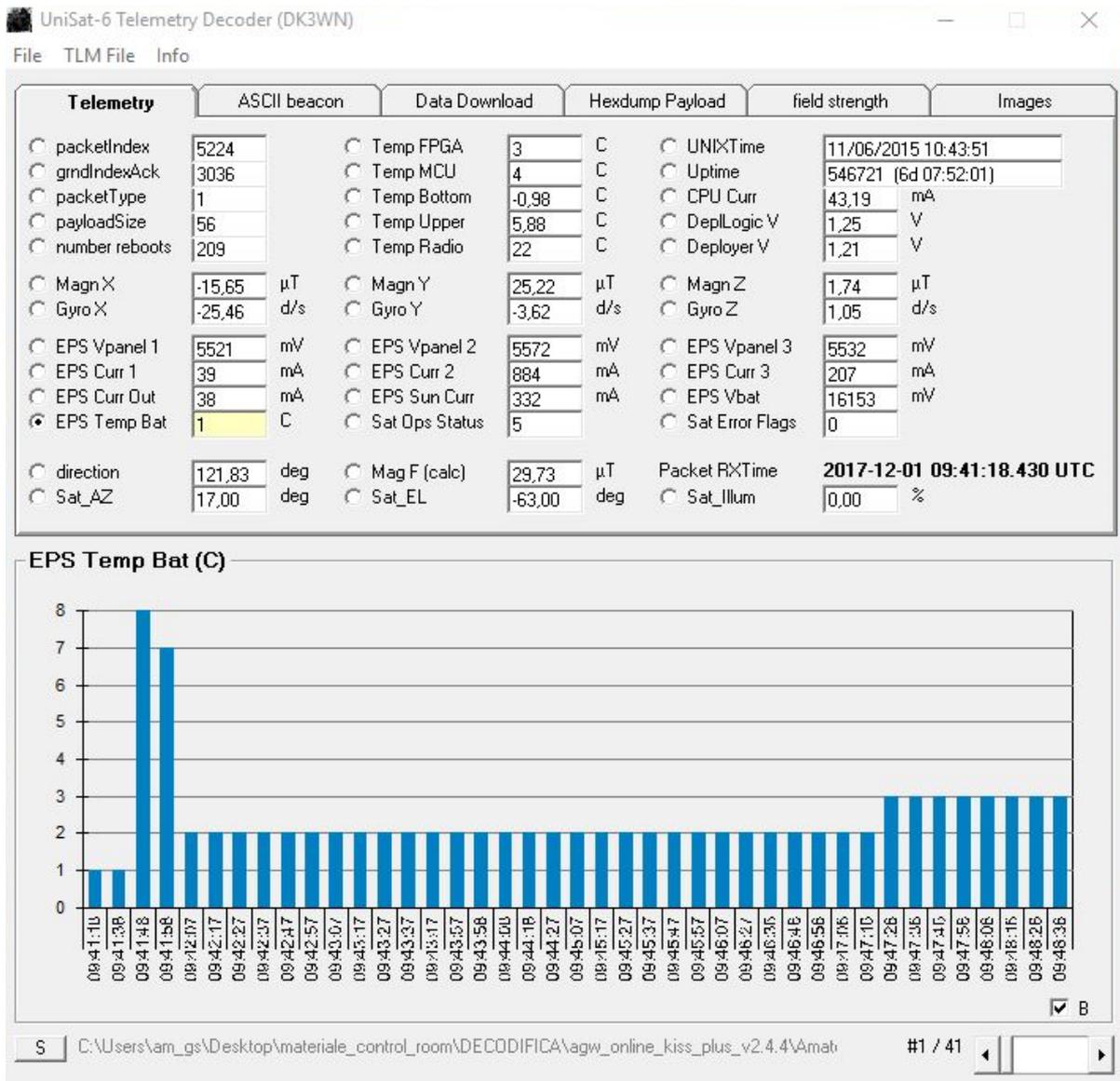


Figura 2.2.14.1: UNISAT-6 Telemetry Decoder

### 3 UNISAT-6

UNISAT-6 è un piccolo satellite costruito dall'Università La Sapienza di Roma in collaborazione con alcune università di Iraq, Stati Uniti d'America e Uruguay [22]. Il satellite, interamente costruito in Italia, ha una massa di 26 kg distribuita su di una struttura cubica (40 cm x 40 cm x 40 cm) realizzata in fibra di carbonio rinforzata in alluminio [23]. UNISAT-6 è stato lanciato il 19 giugno 2014, da Yasny (Dombrovsky Cosmodrome), a bordo del lanciatore russo DNEPR-1 ed è entrato in orbita eliosincrona 16 minuti dopo.

UNISAT-6 presenta un controllo d'assetto passivo costituito da magneti permanenti i quali mantengono il satellite stabilizzato. La produzione della potenza è garantita dai pannelli solari posti sui quattro lati (11 W) e sulla base (5 W). L'intervallo termico per cui è stato progettato è compreso tra  $-10^{\circ}$  e  $10^{\circ}$  C.

UNISAT-6 è inserito in un'orbita Eliosincrona (dati orbitali riportati in figura 3.1).

Name	UNISAT-6
NORAD	40012
COSPAR designation	2014-033-C
Inclination (degree)	97.971
RAAN	131.042
Eccentricity	0.0061375
ARGP	347.505
Orbit per day	14.71505349
Period	1h 37m 51s (97.85 min)
Semi-major axis	7 034 km
Perigee x apogee	613 x 699 km
Drag factor	0.000147630 1/ER
Mean Anomaly	12.463

Figura 3.1: Parametri orbitali di UNISAT-6 [24]

Il payload di UNISAT-6 è composto da diversi CubeSat, alcuni dei quali sono stati separati dopo circa 25 ore dal lancio:

- TigriSat (3U): costruito dall'Università La Sapienza di Roma per supportare un gruppo di studenti iracheni durante un corso di 18 mesi;
- Lemur 1 (3U): satellite costruito da NanoSatisfi Inc.;
- AntelSat: satellite costruito dalla Uruguayan Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República e da ANTEL. È il primo satellite uruguayano;
- AeroCube6 (1U): costruito e operato da Aerospace Corporation.

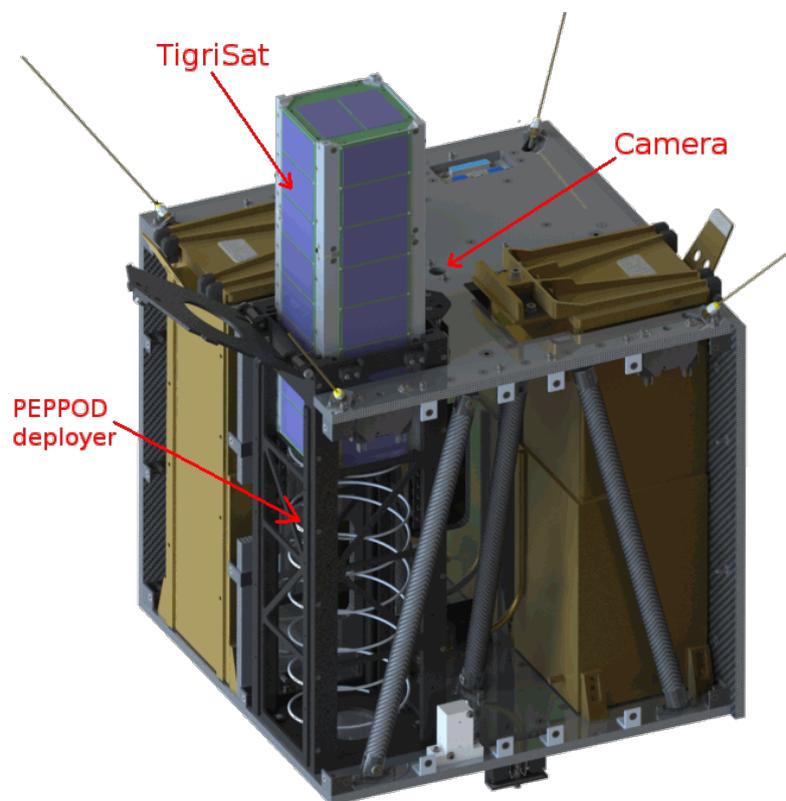


Figura 3.2: UNISAT-6 [24]

Gli obiettivi della missione relativa a UNISAT-6 sono i seguenti:

- Separazione di quattro CubeSat in orbita;
- Test in orbita di hardware elettronici per micro satelliti e componenti strutturali;
- Test del nuovo bus (Binary Unit System) di UNISAT-6;
- Test dei software e delle procedure della ground station;
- Osservazioni della superficie terrestre tramite una videocamera.

UNISAT-6 trasmette i propri dati di telemetria e di payload in banda UHF utilizzando frequenze radioamatoriale (437,426 MHz) con una potenza di 2 W. Il satellite adotta una modulazione GFSK a 9600bps utilizzando il protocollo standard AX.25. L'identificativo di UNISAT-6 è IZOVXZ.

La trasmissione dati di UNISAT-6 avviene mediante due beacon:

- Beacon numero 1: trasmette ogni 30 secondi 8 byte solamente quando non è comandato da terra;
- Beacon numero 2: trasmette pacchetti binari di 67 byte ogni 10 secondi.

L'interazione tra il satellite e gli altri corpi aventi una massa rilevante è di tipo gravitazionale e segue la legge universale di attrazione gravitazionale di Newton. La componente predominante che caratterizza l'interazione gravitazionale con un satellite in orbita bassa attorno alla Terra, come UNISAT-6, è rappresentata dalla Terra stessa. Per questo motivo si può semplificare il problema considerando con buona approssimazione la sola interazione satellite – Terra. Il suddetto problema è di facile risoluzione e si può ricavare l'orbita descritta dal satellite durante il suo moto attorno alla Terra: il moto è di tipo periodico e questo ci consente di poter conoscere la posizione occupata dal satellite ad un dato istante di tempo. La risoluzione del problema d'interazione tra i due corpi considerati porta alla determinazione di sei parametri detti kepleriani. I parametri kepleriani sono importanti quando si vuole puntare un satellite poiché ne identificano univocamente l'orbita.

I parametri kepleriani relativi a UNISAT-6 sono i seguenti:

```
UNISAT-6
1 40012U 14033C 14273.45644117 .00001867 00000-0 29999-3 0 3400
2 40012 097.9654 166.0022 0059591 231.7916 127.7912 14.71621832 15093
```

Figura 3.3: TLE UNISAT-6 [24]

## 4 Puntamento

Il sistema di puntamento è necessario in quanto i satelliti LEO (low Earth orbit) si trovano a quote comprese tra i 160 e 2000 chilometri. Il limite inferiore è imposto dall'atmosfera terrestre: satelliti orbitanti a quote minori risentirebbero fortemente dell'effetto di drag atmosferico subendo un importante riduzione di quota e conseguentemente del loro periodo in orbita. Il limite superiore, invece, coincide con la presenza delle fasce di Van Allen (fascia contenente plasma di ioni positivi ed elettroni carichi di energia): oltre a questa quota il satellite risulterebbe esposto ad attività radioattiva tale da deteriorare la sua componentistica causandone una riduzione del periodo di corretto funzionamento.

I satelliti LEO sono caratterizzati da velocità molto alte (27000 km/h) e da brevi periodi orbitali (90-100 minuti). Questi aspetti sono molto importanti nella progettazione di un buon sistema di puntamento, in quanto, le circa 14 orbite giornaliere compiute da un singolo satellite si oppongono ai brevissimi periodi di visibilità dello stesso (circa 10 minuti). Si può capire quanto sia importante riuscire a puntare e ad inseguire il proprio obiettivo durante l'intero passaggio con una buona accuratezza. La precisione del sistema di puntamento cresce con la maggior direttività dell'antenna scelta. L'antenna utilizzata, Tonna Yagi 2x19 elementi ha una buona direttività e garantisce un buon rapporto segnale/rumore e al tempo stesso permette di aver buoni risultati sia in ricezione sia in trasmissione con una tolleranza di circa 10° (vedi Appendice A).

Il rotore, Rot2proG, su cui è montata l'antenna può essere movimentato attorno all'asse verticale locale (Azimut) e all'asse orizzontale locale, grazie alla presenza di due motori elettrici. Ogni posizione è identificata da un valore angolare di Azimut ed elevazione.

Il rotore è collegato al proprio controller tramite due cavi quadripolari, rispettivamente uno per Azimut ed uno per elevazione. Due poli forniscono l'alimentazione necessaria al motore e i restanti ricevono informazioni riguardante il valore dell'angolo a cui il rotore sta puntando.

Il controller, inoltre, è collegato ad un alimentatore industriale (18 V DC) e ad un computer (DELL Precision Rack 7910) tramite un cavo a 9 pin. Questa connessione consente di poter comandare il rotore direttamente dal computer con la possibilità di scegliere tra due modalità: manuale o automatica (vedi Appendice B).

## **4.1 Calibrazione**

La calibrazione del sistema di puntamento è molto importante in quanto permette di allineare gli assi riferimento solidali al rotore con gli assi di riferimento locali.

Una buona calibrazione ci consente di sfruttare al meglio le caratteristiche dell'antenna e di massimizzare il rapporto segnale/rumore sia in ricezione, diminuendo il rumore, sia in trasmissione, consentendoci di trasmettere con una minore potenza.

Per effettuare l'operazione di calibrazione è necessario prendere un punto come riferimento per riuscire a tarare adeguatamente l'intero sistema; i punti di riferimento maggiormente utilizzati sono il Sole ed il Nord magnetico. Il primo metodo prevede di puntare il sole con l'antenna e settare i valori degli angoli visualizzati sul controller con i valori di Azimut ed elevazione ai quale si torva la nostra stella nel momento della calibrazione; nel nostro caso si è utilizzato un apposito software (Orbitron). Questo metodo permette di calibrare sia Azimut sia elevazione attraverso un unico procedimento.

Se si decide di prendere come punto di riferimento il Nord magnetico, in quanto facilmente individuabile tramite una bussola, è bene ricordare che bisogna settare i valori degli angoli da inserire tenendo conto della declinazione magnetica locale. La declinazione magnetica entra in gioco poiché tutti i software di puntamento (Orbitron, Gpredict, HRD Satellite Tracking...) forniscono i valori di angoli di Azimut riferiti al Nord geografico. Per eliminare la discrepanza tra i due sistemi di riferimento è necessario correggere i valori indicati dalla bussola riferendo anch'essi al Nord magnetico. A differenza del metodo precedente, la bussola permette di calibrare solamente l'angolo attorno all'asse di Azimut; per calibrare il sistema in elevazione è

necessaria una livella, la quale andrà appoggiata al supporto longitudinale dell'antenna. Variare l'elevazione dell'antenna finché la livella non sarà perfettamente orizzontale, ora è possibile portare a zero il valore dell'angolo di elevazione.

Per verificare la bontà della calibrazione effettuare una prova di tracking di un satellite attivo e analizzare il segnale ricevuto: se il segnale si identifica chiaramente tra il rumore ci testimonia una buona riuscita dell'operazione sopra descritta.

Entrambi i metodi descritti necessitano della conoscenza delle coordinate della Ground Station: per il settaggio dei software e per il calcolo della declinazione magnetica locale.

Latitudine: 44,2° N;

Longitudine: 12,0667° E;

Altitudine: 32 m.

Per ulteriori approfondimenti sull'operazione di calibrazione vedi Appendice C.

## 5 Verifica catena ricettiva

Sono stati effettuati numerosi test funzionali sui singoli componenti e sull'intero sistema in modo da poter affermare l'effettiva funzionalità della catena ricettiva. Le onde radio, la loro classificazione, il trasporto d'informazioni e il cosiddetto Effetto Doppler sono spiegati nell'Appendice D.

### 5.1 Hardware

In primo luogo sono stati testati i vari componenti singolarmente in modo da poter successivamente verificare la funzionalità degli stessi inseriti nella configurazione studiata per la catena ricettiva. Le verifiche sono state effettuate tramite un dispositivo (RigExpert AA-600) capace di misurare il rapporto onde stazionarie (ROS), ovvero la quantità di potenza riflessa. Tale riflessione dipende dal bilanciamento della linea: un buon bilanciamento garantisce una bassa riflessione ed un ROS vicino al valore ottimale [25].



Figura 5.1.1: RigExpert AA-600

Il rosmetro ha un connettore maschio di tipo N nella parte frontale, alla quale si collega l'elemento da analizzare, ed una porta USB-D nella parte retrostante che permette di poter visualizzare i grafici acquisiti dall'analisi direttamente sul PC. Inoltre, presenta un alloggiamento per tre batterie (1,5 V) che consente un uso maneggevole del dispositivo.

Insieme al rosmetro viene fornito il relativo software, AntScope, il quale permette di visualizzare, analizzare ed elaborare i grafici ed i parametri delle diverse misurazioni effettuate dall'analizzatore di antenna. RigExpert AA-600 ha molteplici funzioni che possono essere utili per analizzare un'antenna, cavi coassiali, connettori, accoppiatori e catene composte da questi elementi in serie [26]. Una funzione molto utile è quella che permette di memorizzare i risultati delle varie analisi per poter essere processati successivamente; al tempo stesso rende le operazioni di acquisizioni dei dati più veloci e consente di poterne effettuare un maggior numero.

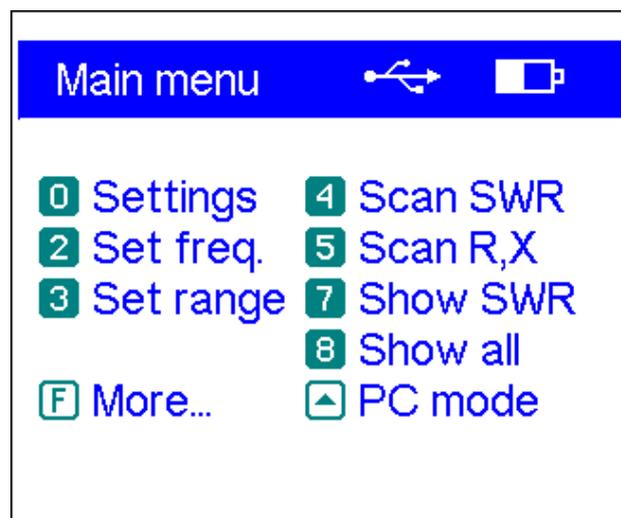


Figura 5.1.2: Menu principale RigExpert AA-600 [26]

Le principali funzioni sono selezionabili direttamente dal menu principale in modo veloce, grazie ad un'interfaccia intuitiva.

Per analizzare elementi di una catena di ricezione e trasmissione un parametro molto utile è il ROS (Rapporto Onde Stazionarie, in inglese SWR: Standing Wave Ratio), ovvero la misura del valore di discrepanza di impedenza tra la linea di trasmissione e il

carico caratteristico di ciò che si sta misurando. Il ROS viene misurato indirettamente come rapporto tra i valori di tensione massima e minima di un'onda stazionaria.

Un valore elevato del ROS indica un'elevata discrepanza tra le due grandezze e la riflessione di una parte importante delle onde trasmesse.

Un perfetto accoppiamento dell'impedenza della linea di trasmissione e del carico è identificato da un valore unitario del ROS (assenza di riflessione).

$$ROS = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

in cui  $\Gamma$  rappresenta il coefficiente di riflessione.

Il rosmetro utilizzato nell'analisi della catena ricettiva presenta due funzioni per la misurazione del ROS: Scan SWR mode e Show SWR mode.

*Scan SWR mode* misura il ROS solamente ad una specifica frequenza, impostata precedentemente dall'utente, e visualizza il valore richiesto (vedi Figura 5.1.3).

Viene, inoltre, mostrata una scala di valori. Si può notare la non linearità della scala: valori minori di 2,5 sono ritenuti accettabili.

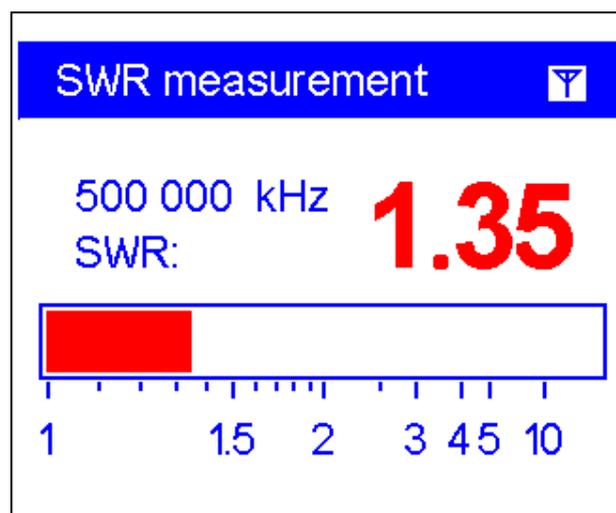


Figura 5.1.3: Scan SWR mode [26]

*Show SWR mode* mostra un grafico con l'andamento del ROS centrato in una predeterminata frequenza e con un dato intervallo (vedi Figura 5.1.4).

Questa funzione è stata maggiormente utilizzata nella verifica dell'intero impianto poiché permette di comprendere il suo comportamento con una visione più ampia.

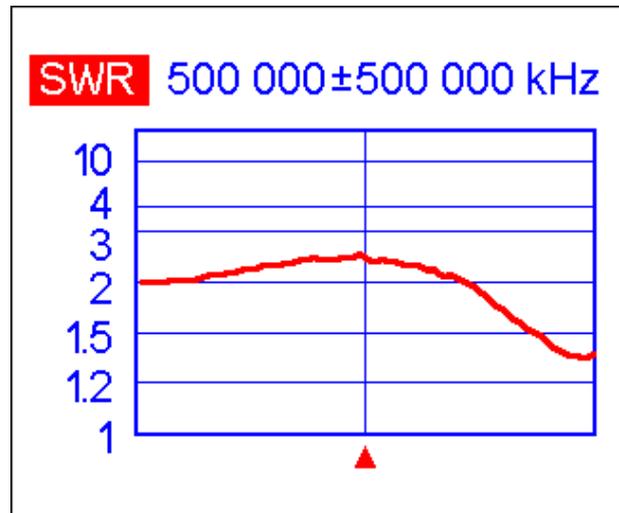


Figura 5.1.4: Show SWR mode [26]

La verifica dell'antenna e dei componenti facenti parte della catena ricettiva è stata effettuata impostando come frequenza centrale 435 MHz, poiché è il valore medio dell'intervallo di frequenze di progetto dell'antenna (430–440 MHz). Per ispezionare il comportamento ricettivo dell'intera catena ad ampio spettro è stato scelto un range di  $\pm 10$  MHz. L'intero sistema di ricezione è studiato per poter ricevere segnali a differenti frequenze, per questo motivo è importante che all'interno dell'intero intervallo di funzionamento il valore ROS rimanga accettabile (minore di 2,5).

Come si vede dal grafico sottostante (Figura 5.1.5) il comportamento dell'antenna risulta buono all'interno dell'intervallo 425 – 443 MHz: si può affermare che l'antenna rispetta pienamente i parametri di progetto. Per verificare l'antenna è stato effettuato il medesimo test su entrambe le polarizzazioni (orizzontale e verticale), viene riportato solo il risultato di una polarizzazione in quanto i risultati sono molto simili.

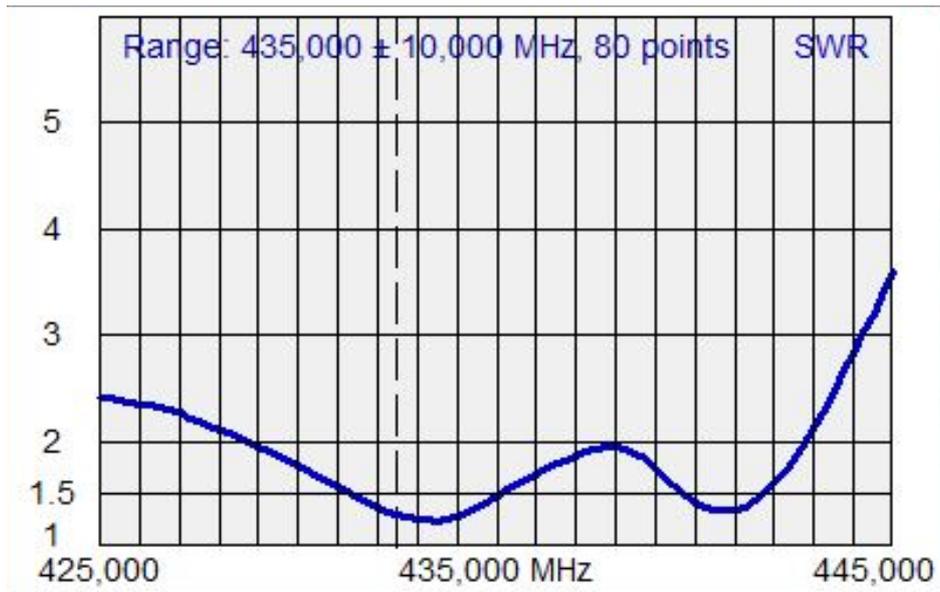


Figura 5.1.5: ROS polarizzazione orizzontale

Una volta verificato il comportamento dell'antenna, si è proceduto ad analizzare quello con entrambe le polarizzazioni accoppiate mediante un accoppiatore a quattro vie. Da progetto l'accoppiatore avrebbe dovuto essere a due vie, ma una fornitura errata ha fatto sì che i test si potessero effettuare solamente con l'accoppiatore fornito. Al momento della stesura di questo elaborato, non è ancora stato possibile effettuare la verifica con l'accoppiatore previsto dalla configurazione nominale in quanto non è stato ancora fornito dalla casa produttrice.

Si è così deciso di effettuare la verifica dei restanti elementi escludendo l'accoppiatore e ripercorrendo la stessa procedura di prima con una polarizzazione e successivamente con l'altra. Come avvenuto per la descrizione della sola antenna, anche per la descrizione d'insieme verranno mostrati e spiegati solo i risultati relativi alla polarizzazione orizzontale, in quanto simili tra loro.

Successivamente si è passati alla verifica dell'amplificatore a basso rumore (LNA). Quest'ultimo è stato collegato alla polarizzazione orizzontale dell'antenna tramite cavo coassiale di tipo N (femmina – femmina) e in uscita dall'amplificatore è stato collegato l'analizzatore di antenna.

Sono state effettuate due misurazioni: con e senza l'alimentazione in ingresso all'amplificatore. Confrontando i diversi grafici si nota che il comportamento che si

ottiene collegando l'amplificatore senza alimentarlo è molto simile a quello della sola polarizzazione orizzontale. Alimentando l'amplificatore si nota un'importante variazione nel comportamento complessivo: il ROS sale leggermente di valore, peggiorando leggermente il comportamento. Ora però all'interno dell'intervallo d'interesse il comportamento risulta maggiormente omogeneo.

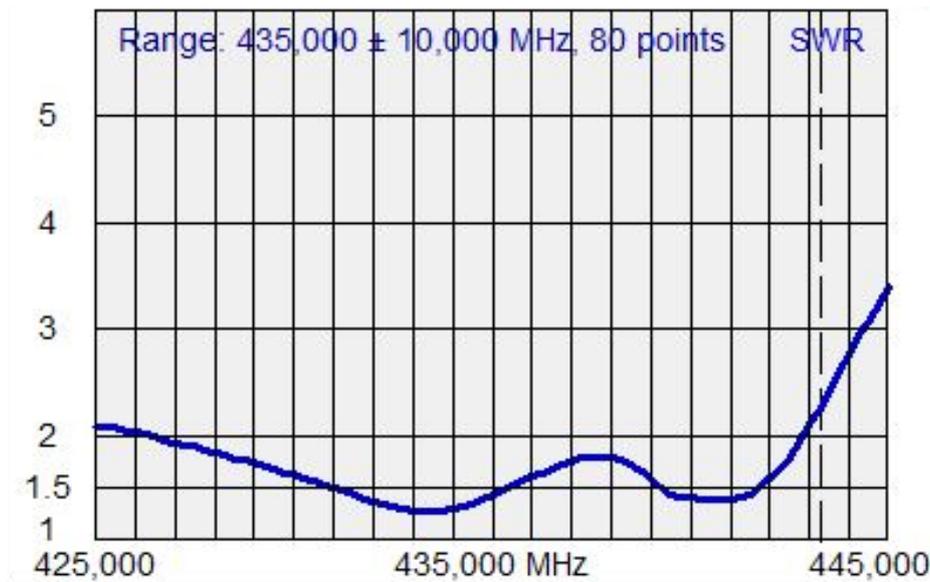


Figura 5.1.6: ROS polarizzazione orizzontale, LNA non alimentato

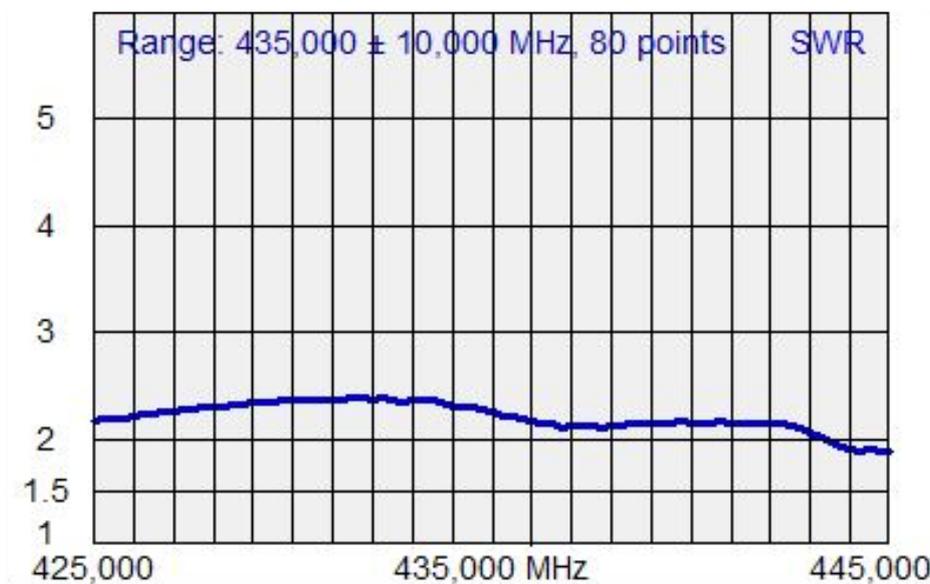


Figura 5.1.7: ROS polarizzazione orizzontale: LNA alimentato

Una volta verificato il segmento outdoor della catena ricettiva, si è collegato all'uscita dell'amplificatore a basso rumore il cavo coassiale (50 Ohm) che, passando attraverso le apposite canaline, porta il segnale all'interno della control room.

Come nel precedente caso, anche quest'analisi è stata effettuata sia senza, sia con l'alimentazione all'amplificatore. Si può notare che l'introduzione del cavo, come ogni altro elemento, modifica il comportamento complessivo del sistema. Questo è dovuto al fatto che ogni componente ha un rapporto tra impedenza della linea di trasmissione e carico differente e questi si combinano andando a definire il comportamento finale.

I valori misurati all'interno della control room sono differenti dalle misurazioni precedenti, ma mantengono caratteristiche simili in quanto il cavo introduce disturbi ma è pur sempre un componente passivo, semplice e studiato per intaccare il meno possibile il comportamento complessivo. È interessante confrontare le varie curve e notare che il comportamento è influenzato principalmente dalla presenza dell'amplificatore: questo elemento modifica significativamente il profilo di risposta del sistema soprattutto quando è presente l'alimentazione. Se si analizzano i grafici relativi alla presenza attiva dell'LNA (condizione operativa) si può identificare un comportamento più omogeneo all'interno dell'intervallo di utilizzo. In particolare più aumenta la complessità del sistema maggiore differiscono le prestazioni reali da quelle teoriche. Questo aspetto ci fa capire quanto sia importante progettare la totalità del sistema per le condizioni operative così da poter garantire la miglior performance possibile.

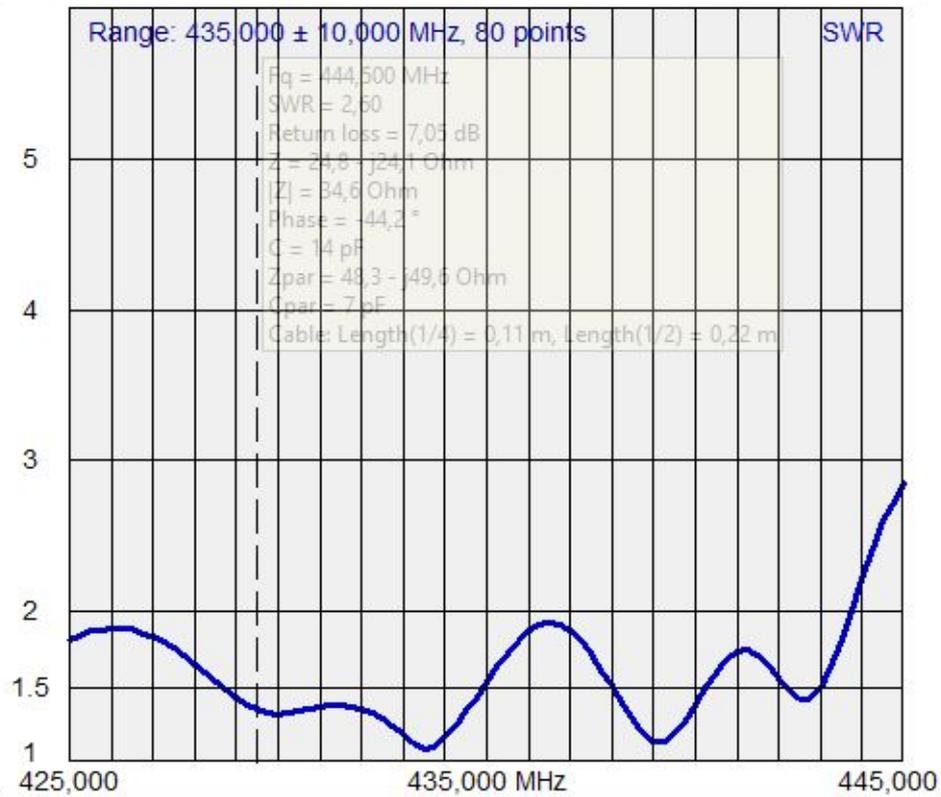


Figura 5.1.8: ROS polarizzazione orizzontale, LNA non alimentato, cavo

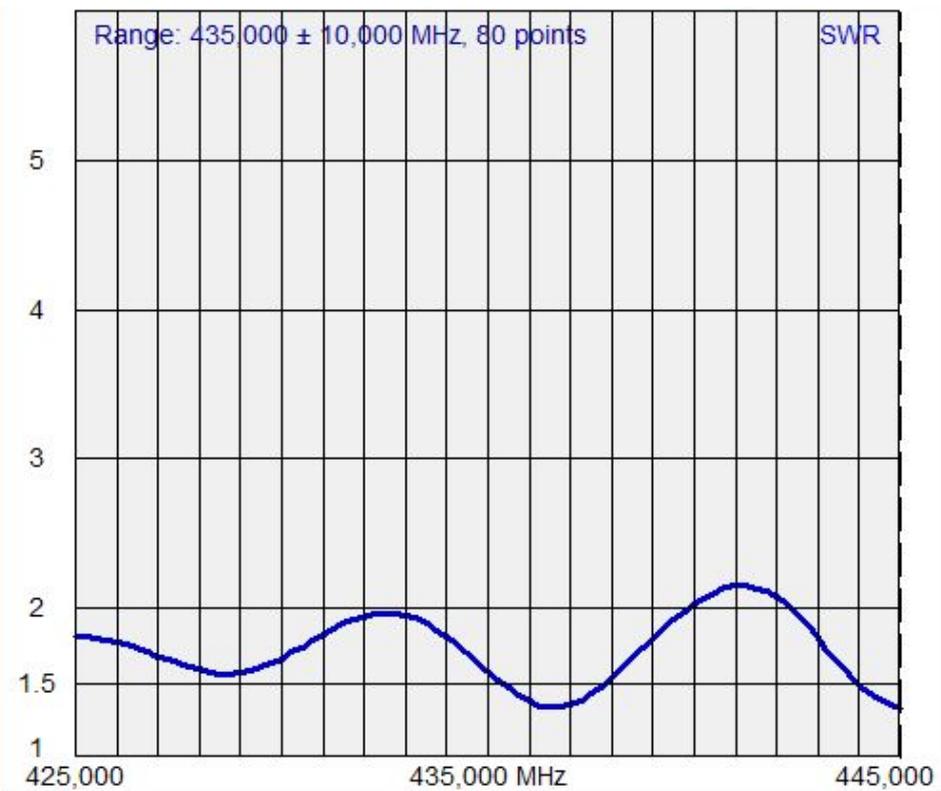


Figura 5.1.9: ROS polarizzazione orizzontale, LNA alimentato, cavo

Il cavo utilizzato per collegare il segmento outdoor a quello indoor ha subito una modifica importante poiché era stato riscontrato un cortocircuito all'altezza del connettore tra la SDR e il cavo stesso. Per questo motivo, il connettore è stato riposizionato dopo aver rimosso i pochi centimetri in cui si era localizzato il malfunzionamento. Una volta apportata la modifica è stato verificato il cavo utilizzando un'apposita funzione dell'analizzatore di antenna.

*Scan R, X mode* permette di misurare resistenza (R) e reattanza (X) di un cavo coassiale. Questa modalità è utile per capire se un cavo si trovi in condizioni di cortocircuito o di circuito aperto. La prima condizione è sintomo di un'anomalia nel cavo stesso perché l'anima interna e la schermatura metallica sono in contatto in almeno un punto; Il cavo in queste condizioni non è utilizzabile poiché non è in grado di trasmettere il segnale da un capo all'altro.

Al contrario, un cavo in circuito aperto rappresenta semplicemente l'impossibilità del segnale ad uscire dal cavo, una volta attraversato, in quanto scollegato da qualsiasi altro dispositivo.

Per riuscire a determinare lo stato del cavo coassiale è stato collegato ad un capo all'analizzatore d'antenna tramite un connettore di tipo N ed scollegato all'altro capo. La spiegazione di cavo in cortocircuito acquisisce una maggior chiarezza sottolineando l'assenza di qualunque oggetto che possa creare un collegamento tra le due parti metalliche del cavo. Il contatto deve forzatamente essere localizzato all'interno dello stesso. È possibile ricercare il punto di guasto tramite un'altra modalità di funzionamento dell'analizzatore d'antenna. Non è stato necessario utilizzarlo in quanto il guasto era visibile ad occhio in prossimità del connettore. L'analizzatore d'antenna è risultato utile per verificare la bontà della riparazione effettuata. Di seguito si riporta il risultato di tale verifica.



Figura 5.1.10: Cavo coassiale

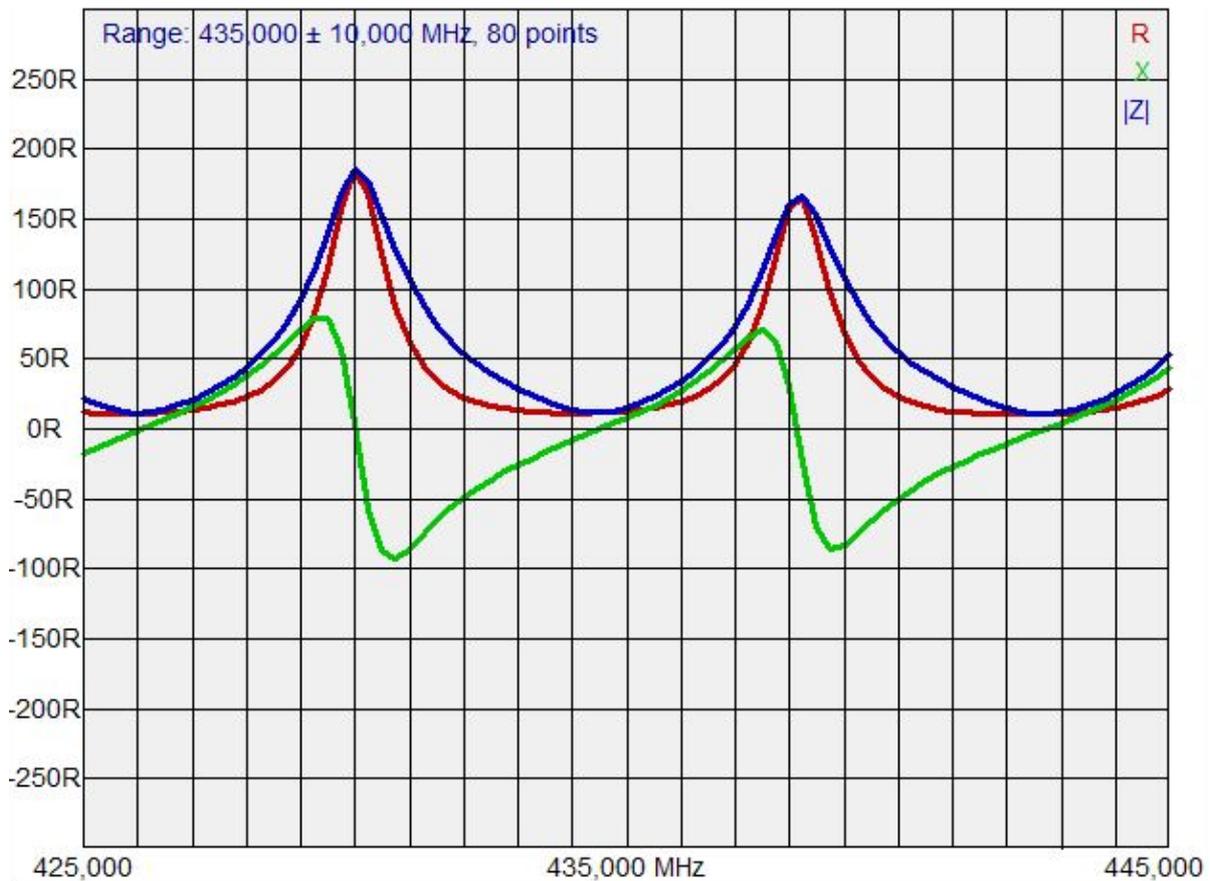


Figura 5.1.11: Grafico R, X, |Z| cavo coassiale dopo la riparazione

La curva verde rappresenta l'andamento della reattanza (X), la rossa della resistenza elettrica (R) e la blu del valore assoluto dell'impedenza (|Z|).

L'impedenza è un numero complesso e rappresenta la resistenza opposta al passaggio di corrente sinusoidale all'interno del cavo. La parte reale di Z rappresenta la quota dissipata (R), mentre la parte immaginaria e rappresenta la differenza di fase tra corrente e tensione (X) ed è dovuta alla capacità e all'induttanza del cavo stesso.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Per capire in che stato si trovi il cavo analizzato bisogna guardare la frequenza di risonanza, identificata dai punti in cui il valore di reattanza è nullo. Questi punti si ripetono periodicamente ogni  $\pi$  (corrispondendo a  $\lambda/2$ ). In caso di circuito aperto i punti che identificano la frequenza di risonanza coincidono con la frequenza centrale

di campionamento (vedi Figura 5.1.11). Al contrario, per i cortocircuiti troviamo che la frequenza di risonanza è sfasata di  $\pi/2$  rispetto alla frequenza di campionamento. Grazie a questa veloce verifica possiamo affermare che la componentistica hardware della catena ricettiva in banda UHF funziona.

## 5.2 Ricezione segnale

La verifica della parte hardware in modo teorico non è sufficiente per affermare la funzionalità dell'impianto al 100 %.

Occorre infatti verificare che il segnale radio trasportato dal cavo sia effettivamente quello proveniente dal satellite che si sta inseguendo. Ciò è stato possibile grazie all'utilizzo di un analizzatore di spettro. L'analizzatore di spettro permette di analizzare lo spettro dei segnali provenienti dall'ingresso dell'apparecchio stesso. Simile all'oscilloscopio si differisce da quest'ultimo per un maggior larghezza di banda, questo aspetto è importante perché non limita il rumore in ingresso.

Per queste analisi è stato utilizzato un analizzatore compatto, RF Explorer 3G Combo [27], ed un software dedicato fornitoci insieme al hardware, RF Explorer [28].



Figura 5.2.1: RF Explorer 3G Combo

Come si può vedere in figura, l'analizzatore di spettro presenta due ingressi (connettori di tipo SMA) nella parte superiore e una porta micro USB nella parte inferiore che permette la connessione con il PC. L'analizzatore di spettro presenta un piccolo schermo in cui si possono visualizzare le impostazioni e l'andamento nel tempo dello spettro in ingresso. Connettendolo al computer è possibile sfruttare tutte le potenzialità del software dedicato. Una volta connesso il cavo coassiale all'analizzatore di spettro tramite un adattatore N-SMA e al PC tramite cavo USB è possibile aprire RF Explorer e impostare tutti i parametri necessari per l'analisi.

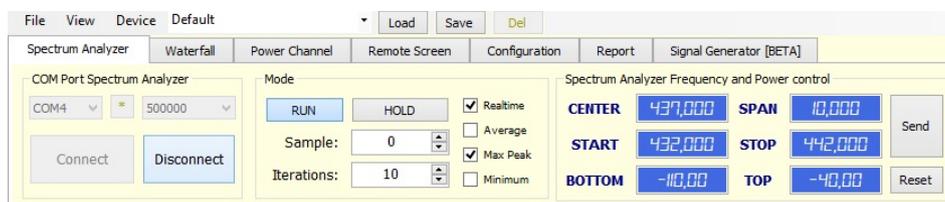


Figura 5.2.2: RF Explorer – impostazioni

Nella finestra principale di RF Explorer scegliere la porta COM a cui è connesso il dispositivo USB, selezionare “Connect” e selezionare l’intervallo di frequenza da analizzare.

La selezione può essere effettuata in diversi modi: selezionando la frequenza centrale e l’ampiezza del semi intervallo oppure selezionando le frequenze limite (inferiore e superiore) dell’intervallo interessato. Infine, è possibile scegliere l’ampiezza dello spettro visualizzabile (“Bottom” e “Top”) in dB. Ora si può cominciare l’analisi premendo “Send”: verrà visualizzato lo spettro in due finestre una riportando un piano cartesiano frequenza – ampiezza che varierà per ogni istante di tempo ed un grafico tridimensionale in cui si può vedere la variazione nel tempo del grafico precedente.

I test sono stati effettuati a valle dei singoli elementi come precedentemente fatto con la l’analizzatore di antenna. Verranno riportati due grafici relativi a UNISAT-6 nella seguente configurazione: polarizzazione orizzontale, LNA alimentato, cavo coassiale (50 Ohm).

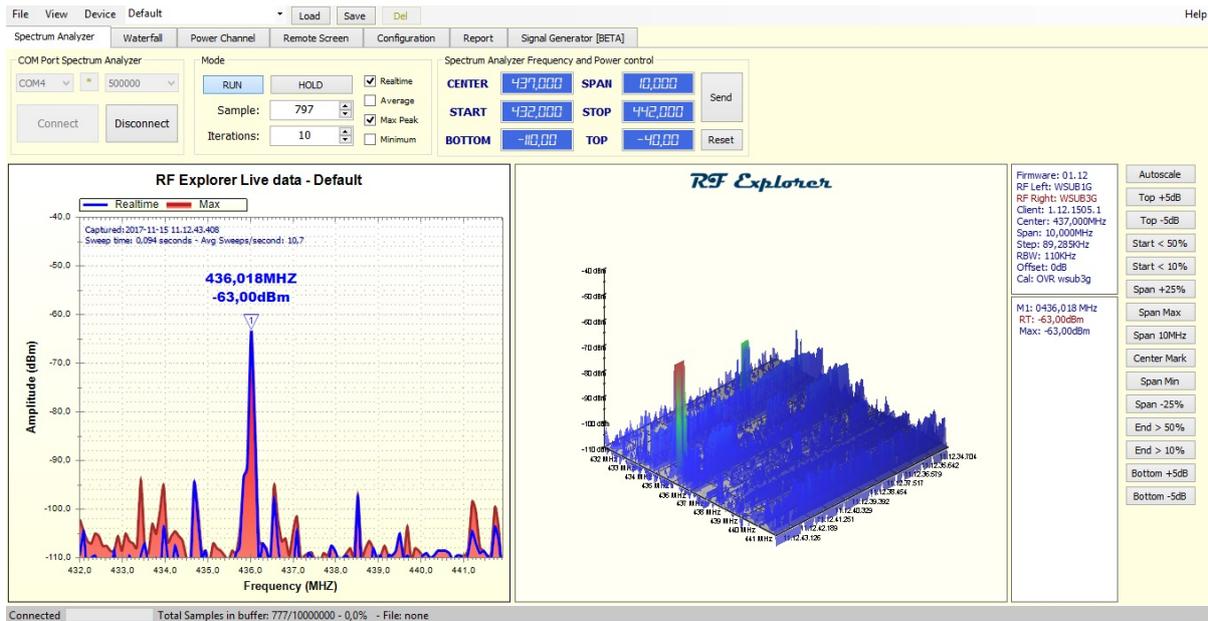


Figura 5.2.3: RF Explorer UNISAT-6

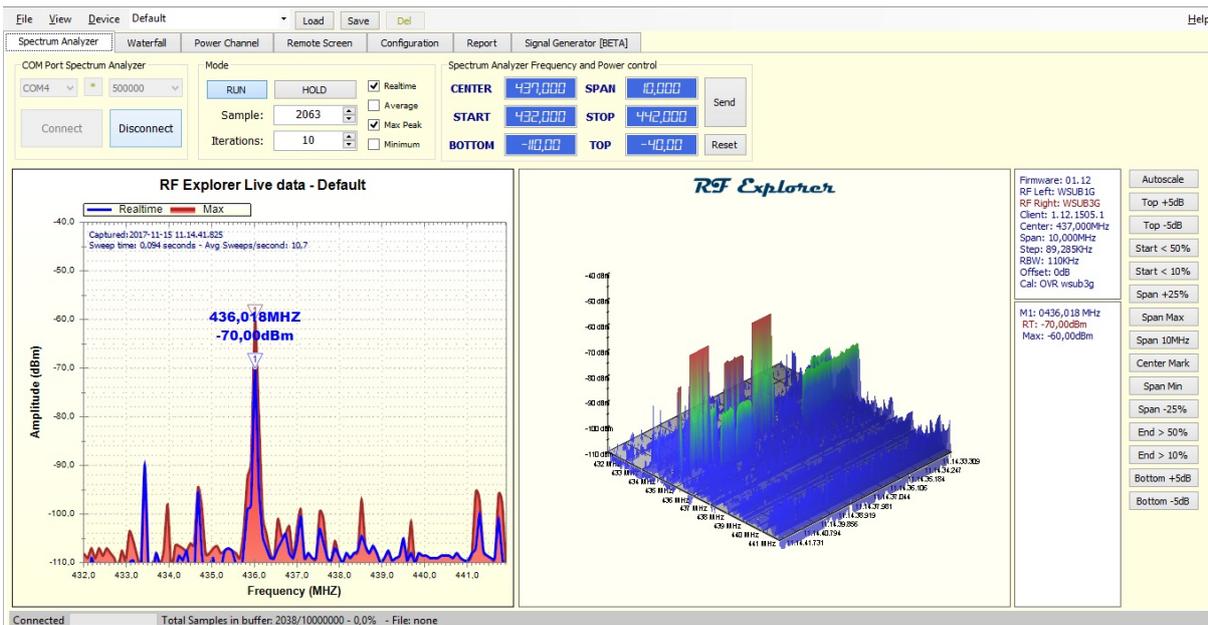


Figura 5.2.4: RF Explorer UNISAT-6

Si può notare come nella prima figura (5.2.3) si possa identificare un picco isolato di ampiezza pari a -63 dBm ad una frequenza di 436,018 MHz, molto vicina alla frequenza nominale di UNISAT-6 (436,425 MHz): la discrepanza tra le due frequenze è dovuta all'effetto Doppler (spiegato meglio in seguito). Nella zona circostante al picco ci sono tantissime onde di ampiezza minore (colore blu) che rappresentano il

rumore di fondo introdotto dall'antenna e dal resto della catena ricettiva. Come si può vedere dal grafico di sinistra il rumore di ampiezza maggiore si attesta attorno a -90 dBm, il che corrisponde ad una potenza corrispondente a 1 pW.

dBm è un'unità di misura usata per esprimere in decibel (dB) il rapporto (x) di potenza misurata rispetto ad una di riferimento (1 mW = 10<sup>-3</sup> W); è utile perché riesce ad esprimere sia potenze molto piccole sia molto grandi con l'utilizzo di valori limitati seguendo un scala logaritmica.

$$x = 10 \log_{10} \frac{P}{10^{-3}} \text{ dBm}$$

Per riconvertire in Watt una potenza espressa in dBm occorre invertire la formula, ottenendo la seguente relazione.

$$P = 10^{\frac{x}{10}} \text{ mW}$$

Grazie a quest'ultima formula matematica è possibile capire gli ordini di grandezza della potenza del segnale ricevuto.

P	1 W	1 mW	1 nW	100 pW	1 pW
x [dBm]	30	0	-60	-70	-90

Tabella 5.2.1: Conversione potenza W - dBm

La figura 5.2.4 mostra come i segnali trasmessi da un satellite non sono isolati, ma sono ripetuti. La maggior parte di essi sono periodici: per esempio quelli che trasportano informazioni sulla telemetria possono avere un periodo diverso da quelli che trasportano dati relativi al payload. Tutto questo dipende dal protocollo di comunicazione adottato nel momento del progetto del sistema radio. Questo aspetto verrà spiegato più approfonditamente in un paragrafo dedicato. Grazie a queste ulteriori verifiche riguardanti l'analisi del segnale ricevuto si può affermare la completa funzionalità degli elementi hardware componenti la catena UHF.

## **6 Decodifica**

La decodifica di un segnale radio è un'operazione che viene compiuta da chi riceve il segnale. È una sequenza di azioni che vanno svolte in maniera opposta e inversa rispetto a quelle che avvengono prima della trasmissione del segnale stesso. Potrebbe sembrare apparentemente semplice ma ogni operazione compiuta su di un segnale elettromagnetico introduce dei disturbi. Ogni operazione può deteriorare la qualità del segnale, per questo motivo, i vantaggi dell'introduzione delle operazioni di modulazione e codifica devono essere tali da apportare un beneficio nel bilanciamento finale. La modulazione, la codifica e la decodifica sono spiegati in modo approfondito relativamente all'interno di Appendice E e Appendice F.

### **6.1 Decodifica con TNC**

La ricezione e la decodifica dei segnali provenienti da UNISAT-6 sono state effettuate collegando la radio alla porta 2 del TNC, poiché quest'ultima, a differenza della porta 1, supportava la velocità di 9600 bit/s prevista dal protocollo utilizzato dal satellite inseguito. Questa configurazione prevedeva l'utilizzo dell'intera catena hardware (antenna, LNA, radio, TNC e PC) e dell'analisi del segnale mediante AGWPE, AGW Online KISS Plus e UNISAT-6 Telemetry Decoder.

Purtroppo, come anticipato, non è stato possibile completare l'operazione complessiva di decodifica per problemi legati alla compatibilità del Packet Engine. Il segnale ricevuto è stato visualizzato da AGW Online KISS Plus, ma non è stato possibile decodificare i file KISS prodotti. Il software per la decodifica del segnale di UNISAT-6 non riusciva a leggere correttamente i file in ingresso e non restituiva nessun risultato. La causa dell'impossibilità della decodifica dei dati in uscita dal TNC è stata attribuita al non corretto funzionamento del TNC stesso, il quale in modalità KISS non garantisce stabilità e introduce dei disturbi che rendono il segnale da elaborare non decodificabile. Il fatto di non aver pieno controllo del TNC fa sì che si crei una falla nella catena ricettiva che non ci può permettere la decodifica. Per questo motivo sono stati studiati metodi alternativi che permettessero di bypassare l'utilizzo del TNC

## 6.2 Decodifica con Soundmodem

I segnali ricevuti, come anticipato, possono essere decodificati sostituendo il TNC con un modem software. Tra i diversi software disponibili è stato scelto di utilizzare soundmodem, un software che sfrutta le potenzialità della soundcard integrata nel PC. Soundmodem è stato scritto e sviluppato da un radioamatore ucraino il quale ha messo a disposizione varie versioni, ognuna delle quali con caratteristiche leggermente differenti. Per la decodifica di UNISAT-6 si è scelto la versione 0.15b la quale supporta il protocollo FSK G3RUH 9600bd. Per poter utilizzare questo modem software è necessario collegare tramite cavo audio l'uscita audio della radio con l'ingresso del microfono del PC: la scelta di utilizzare l'ingresso del microfono frontale o posteriore non influisce sul risultato.

Si potrebbe selezionare come input al soundmodem il microfono utilizzato, ma per poter registrare i file audio e riprodurli in seguito si è deciso di installare un'ulteriore software, HDSDR. L'utilizzo di questo programma permette di visualizzare il grafico waterfall del segnale audio in ingresso, inoltre è stato possibile effettuare delle prove utilizzando una SDR collegata al PC tramite cavo USB. Questo software è stato fondamentale per interfacciarsi con la SDR e per poter annullare lo shift in frequenza dovuto all'effetto Doppler. Per poter utilizzare entrambi i software in cascata è necessario installare un cavo audio virtuale, operazione effettuata tramite VB Virtual Audio Cable, e selezionare l'output di HDSDR come input di soundmodem.

Come anticipato, questa configurazione permette l'analisi di un segnale sia durante la sua ricezione sia successivamente riproducendo con HDSDR il file audio registrato.

Per registrare un file audio basta premere il pulsante "rec" di HDSDR e selezionare la cartella in cui si desidera salvarlo; una volta concluso il passaggio del satellite è sufficiente premere il comando di stop per concludere l'acquisizione del file.

Per riprodurre un file precedentemente salvato basterà premere play o selezionare il file dal menu "Options" (Options -> Input -> WAV file).

Il waterfall del segnale visualizzato da HDSDR veniva riprodotto nella parte bassa di soundmodem e in corrispondenza di un segnale con decodifica KISS, inviato dal satellite, comparivano stringhe alfanumeriche nella finestra principale. Queste stringhe

riportano l'identificativo di UNISAT-6 (IIOUS) e l'identificativo della stazione di terra che lo controlla: i segnali radio inviati dal satellite sono chiaramente indirizzati al proprio centro di controllo. Questi byte standard sono seguiti dai dati di telemetri, la loro visualizzazione non è comprensibile guardando soundmodem. Questi dati vengono passati a AGW Online KISS Plus che traduce le stringhe precedenti in una sequenza ordinata di numeri, inoltre alla fine della sequenza numerica viene visualizzato una specie di messaggio, che una volta elaborato dal software per la decodifica assumerà un senso.

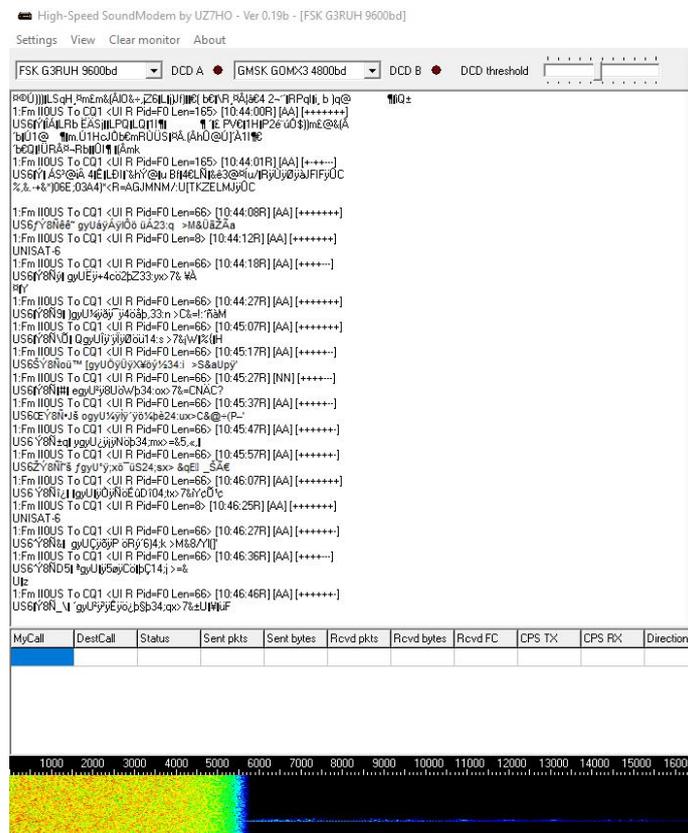


Figura 6.2.1: Soundmodem UNISAT-6

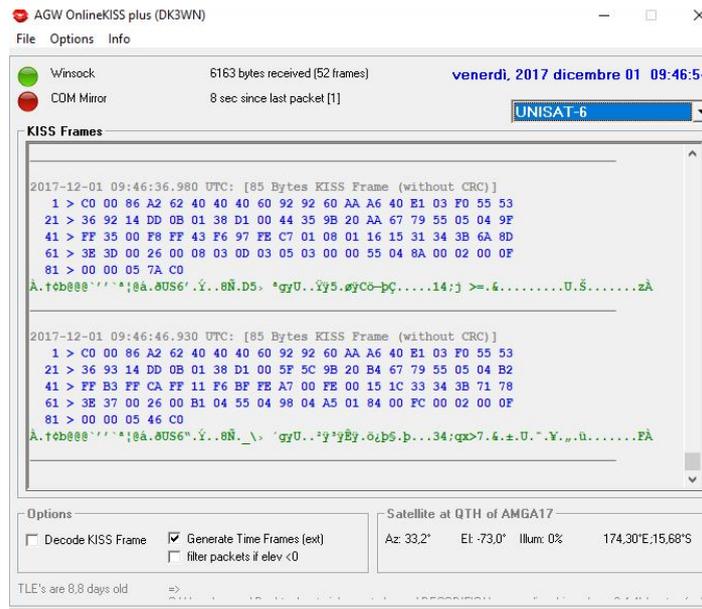


Figura 6.2.2: AGW Online KISS Plus UNISAT-6

Una volta prodotti i file KISS si è proceduto alla decodifica per mezzo di UNISAT-6 Telemetry Decoder; di seguito sono riportati alcuni dei risultati ottenuti.

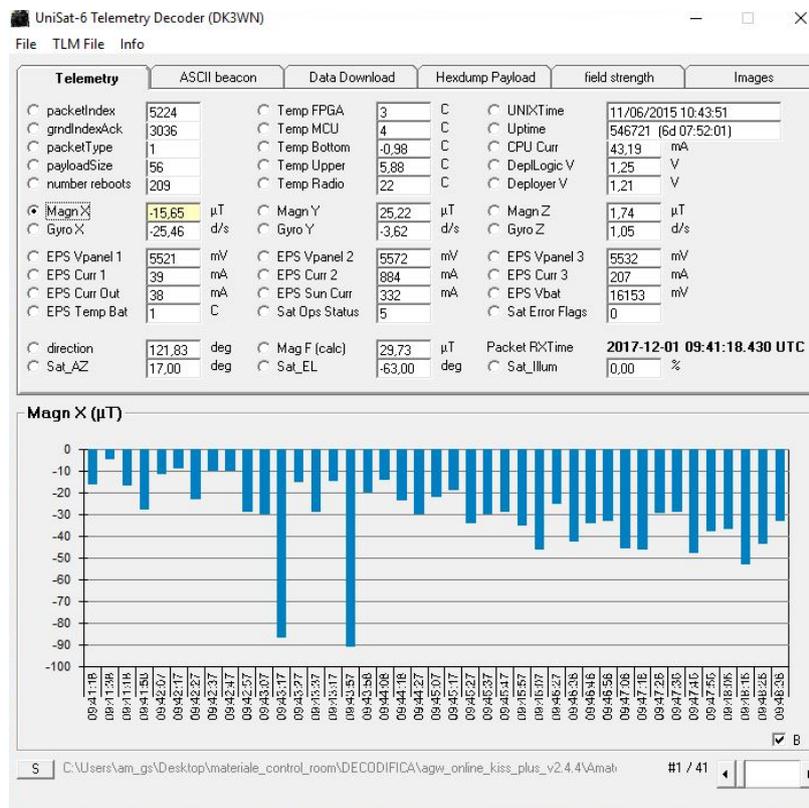


Figura 6.2.3: UNISAT-6, Magn X

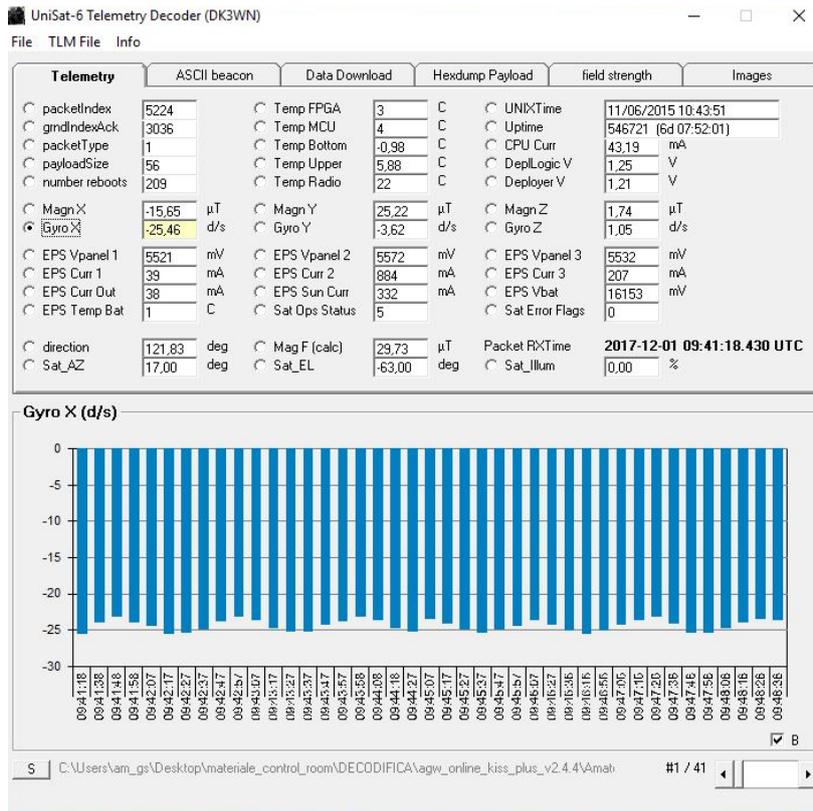


Figura 6.2.4: UNISAT-6, Gyro X

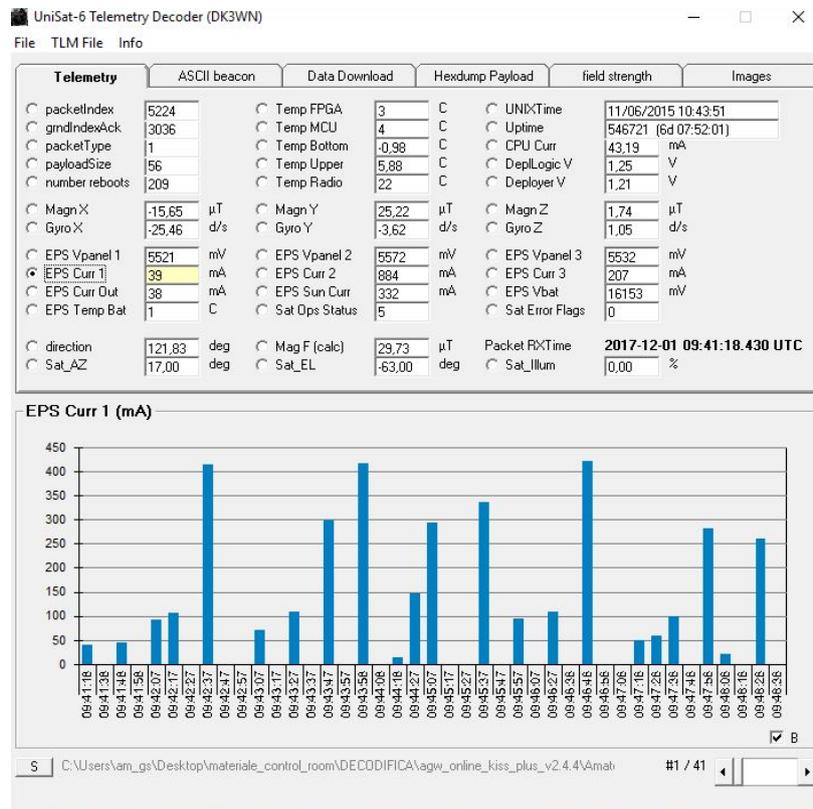


Figura 6.2.5: UNISAT-6, EPS Curr 1

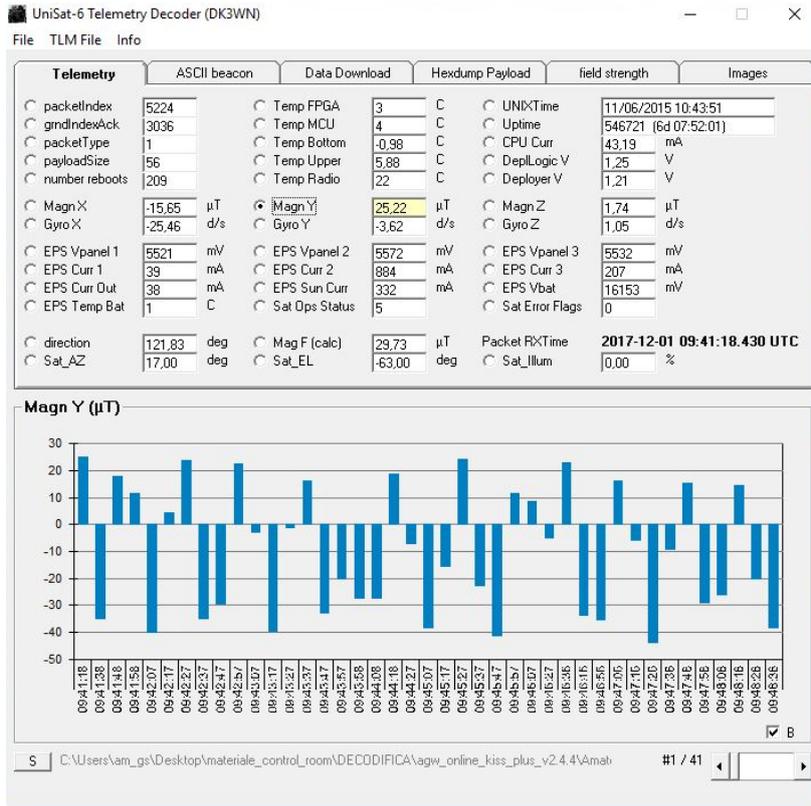


Figura 6.2.6: UNISAT-6, Magn Y

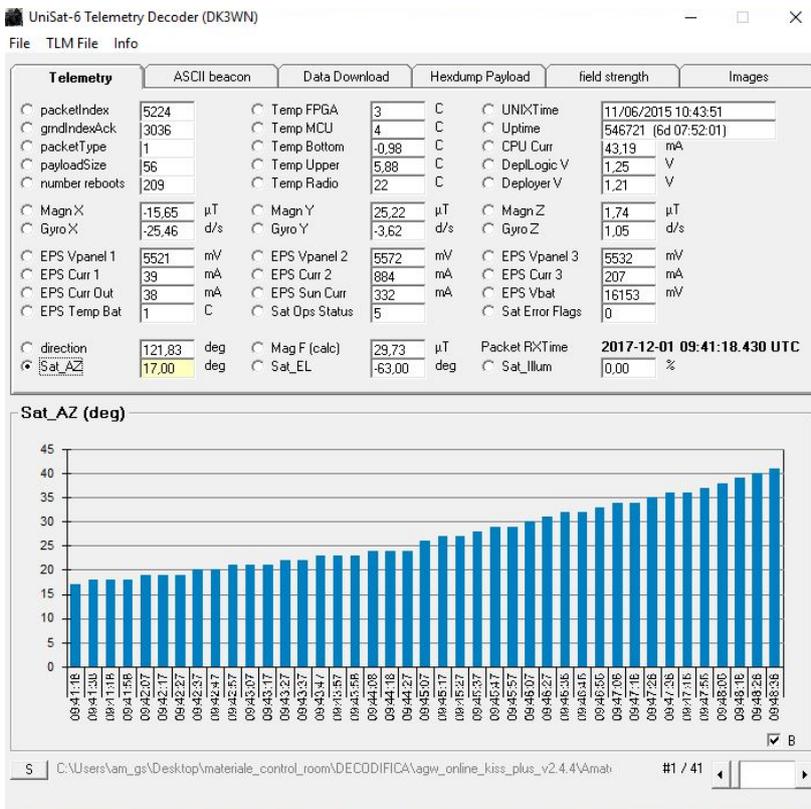


Figura 6.2.7: UNISAT-6, Sat\_AZ

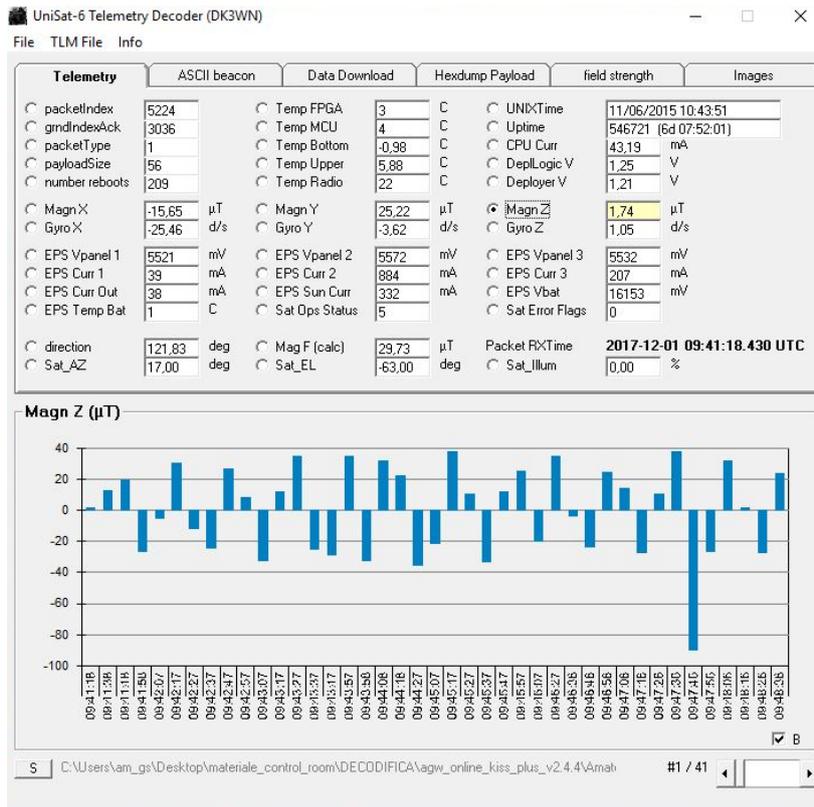


Figura 6.2.8: UNISAT-6, Magn Z

## 7 Sviluppi futuri

La Ground Station non presenta la configurazione nominale e per ciò verranno effettuati lavori in un futuro relativamente prossimo. Per favorire la continuità tra il lavoro svolto a ciò che avverrà in futuro è doveroso inserire un riferimento agli sviluppi futuri già programmati. Dopo aver verificato la funzionalità e l'utilità di elementi già presenti all'interno della Ground Station, è stato ordinato del materiale che al momento della stesura di questo elaborato non era ancora disponibile fisicamente, ma delle quali sono riportate le specifiche e lo schema a blocchi del progetto (vedi Figura 7.1).

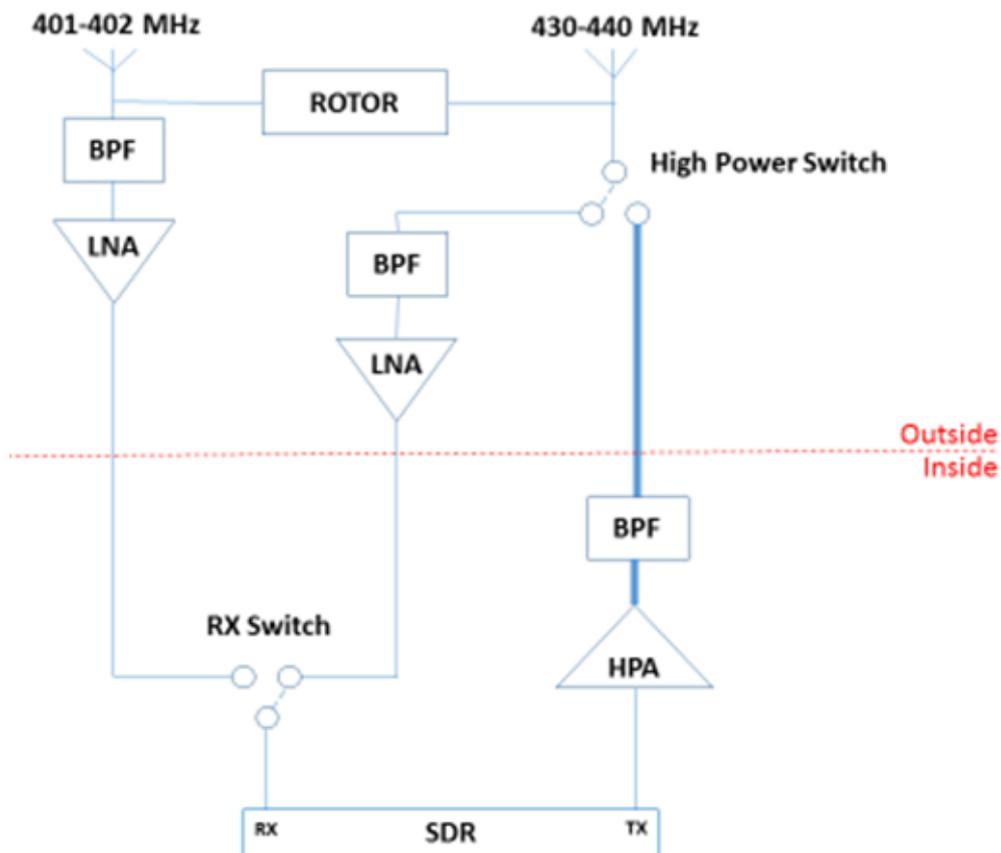


Figura 7.1: Schema a blocchi sviluppi futuri

La configurazione rappresentata graficamente è piuttosto diversa dalle configurazioni descritte in questo elaborato, infatti, lo schema finale prevede di poter sostenere due

missioni con la possibilità supportare la comunicazione tra i satelliti e la stazione di terra sia in ricezione sia in trasmissione utilizzando una sola SDR. Inoltre, è prevista l'aggiunta di alcuni filtri passa banda (BPF), due interruttori (RX e High Power Switch) e la sostituzione degli amplificatori a basso rumore (LNA). I filtri passa banda hanno lo scopo di attenuare il più possibile il segnale nelle frequenze appena inferiori e appena superiori rispetto a quella nominale. Il segnale in uscita da un filtro di questo tipo risulta più pulito e con una banda ristretta, questo apporta dei benefici sia in ricezione, evitando la saturazione degli LNA, sia in trasmissione, eliminando armoniche secondarie che si creano dall'amplificazione del segnale. In particolare, il filtro passa banda relativo alla ricezione dell'antenna a frequenza minore deve essere molto selettivo, andando praticamente ad eliminare le frequenze che potrebbero essere trasmesse dalla linea di alta potenza. Gli interruttori servono per selezionare una linea escludendo le altre, permettendo di collegare entrambe le linee ricettive all'unico ingresso della SDR. In aggiunta consentono di sfruttare la stessa linea sia in trasmissione sia in ricezione.

I modelli e le case costruttrici degli elementi raffigurati nello schema a blocchi sono riportati nella seguente tabella.

<b>Elemento</b>	<b>Casa costruttrice</b>	<b>Modello</b>
High Power Switch	Fairview Microwave	FMSW2038
HPA (50 W)	MiniCircuits	ZHL-50W-52
BPF (402 – 402 MHz)	K&L Microwave	3B110-415/T130-O/O
BPF (TX)	K&L Microwave	6B110-401.5/U20-O/O
BPF (430 – 440 MHz)	K&L Microwave	4B110-435/U20-O/O
LNA (402 – 402 MHz)	Fairview Microwave	FMAM63003
LNA (430 – 440 MHz)	Fairview Microwave	FMAM63003
RX Switch	Fairview Microwave	SR18-SMA2
SDR	Ettus Research	USRP N210 + SBX daughterboard
Rotor	RF Hamdesign	Alfaspid

Tabella 7.1: Elementi schema a blocchi

Nello schema riportato si notano le due differenti antenne (401 – 402 e 430 – 440 MHz) dedicate relativamente a  $\mu$ HETsat e ESEO. Le due antenne saranno controllate dalla stesso rotore, perciò saranno installate sullo stesso supporto tubolare uscente dal rotore stesso. Questa particolare configurazione farà sì che le due antenne punteranno agli stessi valori di Azimut ed Elevazione.

L'antenna relativa alla frequenza minore sarà utilizzata solamente per la ricezione (RX) dei segnali provenienti  $\mu$ HETsat, mentre l'antenna relativa alla frequenza maggiore sarà utilizzata per la ricezione dei segnali provenienti da ESEO e per la trasmissione (TX) dei comandi relativi ad entrambi i satelliti. ESEO utilizza frequenze molto vicine sia per la ricezione sia per la trasmissione, invece,  $\mu$ HETsat utilizzerà due frequenze differenti poiché l'azienda costruttrice ha la necessità che i dati trasmessi occupino una frequenza non accessibile a chiunque e perciò non radioamatoriale. Sullo schema si traduce nella presenza di una sola linea relativa all'antenna con frequenza minore che la collega con il canale ricettivo della SDR. Al contrario, l'altra antenna presenta due linee di collegamento con la SDR, una per la trasmissione e una per la ricezione.

Per quanto riguarda la ricezione si è deciso che la ricezione simultanea non rappresenta, al momento, un aspetto utile poiché i satelliti occuperanno orbite che presentano intervalli di visibilità differenti. Nonostante non ci sia la possibilità di ricevere segnali simultanei dai due satelliti, le linee di ricezione necessitano alcuni elementi con specifiche dedicate, i quali non possono essere utilizzati alternativamente su una linea che sta effettivamente ricevendo un segnale. Per spiegare meglio quanto detto precedentemente si può considerare il seguente esempio: entrambe le catene ricettive necessitano di un filtro passa banda (BPF) e di un amplificatore a basso rumore (LNA) ma queste non possono essere spostate da una linea ricettiva all'altra poiché presentano delle specifiche molto stringenti. La necessità di avere dei filtri passa banda così selettivi, soprattutto per l'antenna relativa a  $\mu$ HETsat, nasce dalla volontà di voler proteggere questa linea da eventuali segnali di alta potenza derivanti dalla trasmissione dei comandi dalla stazione di terra verso i satelliti. Un eventuale segnale ad alta potenza, necessario per poter giungere al satellite, rovinerebbe in modo irreparabile la strumentazione coinvolta nella ricezione. Infatti, la catena ricettiva

presenta un'alta sensibilità poiché deve essere in grado di reagire ad un segnale molto debole come quelli ricevuti dal satellite (il data budget sulla dallo scopo primario di questo elaborato). La strumentazione che può essere utilizzata per entrambe le catene ricettive come la SDR ed il PC, a valle di essa, viene sfruttata grazie a due interruttori. Gli interruttori utilizzati sono molto diversi tra loro. L'interruttore relativo alla ricezione (RX Switch) è attuato elettronicamente e necessita di tempi di commutazione elevati e serve per selezionare il canale dal quale si desidera ricevere il segnale, mettendo in collegamento solamente una linea di ricezione con la SDR. L'interruttore di alta potenza (High Power Switch) relativo alla trasmissione è di tipo automatico e deve poter cambiare molto velocemente dalla linea di trasmissione a quella di ricezione per poter ricevere eventuali segnali di risposta trasmessi dal satellite a seguito dei comandi inviati. La velocità operativa di questo interruttore è molto importante per la funzionalità dell'intera Ground Station. Infine, l'ultimo elemento presente nello schema è l'amplificatore di alta potenza (HPA): la sua funzionalità è amplificare il segnale trasmesso ad una potenza tale da poter essere ricevuto e decodificato correttamente dal satellite. Dall'amplificazione del segnale nascono delle armoniche secondarie che non si vuole che siano trasmesse al satellite poiché non sono segnali generati volontariamente. Per eliminare questi segnali secondari è necessario installare un filtro passa banda. L'interruttore di alta potenza deve essere progettato e realizzato in modo tale da poter lavorare alternatamente con segnali di alta e di bassa potenza senza che questo ne causi problemi. La linea di alta potenza è rappresentata sullo schema a blocchi con uno spessore maggiore.

Il rotore che movimenterà le antenne sarà collegato al PC e controllato dal Gpredict e potrà essere movimentato con un accuratezza di  $\pm 1$  grado e con le seguenti velocità angolari:

- 6 deg/sec attorno all'asse di Azimut;
- 4,5 deg/sec attorno all'asse di Elevazione.

L'installazione di questi elementi e dei cablaggi è previsto che avvenga nel mese di marzo. L'ultima attività programmata è la verifica che tutti questi nuovi elementi funzionino correttamente.

## 8 Conclusioni

L'attività di tesi svolta si è focalizzata principalmente sul collaudo delle capacità ricettive dell'insieme di componenti, hardware e software, della banda UHF. Inoltre, è stata svolta un'importante attività d'installazione e verifica del sistema di demodulazione e decodifica del segnale, arrivando ad ottenere la tabulazione dei dati telemetrici da un segnale trasmesso da un satellite.

La verifica ha riguardato ogni componente, sia singolarmente per testare le effettive caratteristiche, sia inserito nella configurazione prevista per l'operatività della Ground Station. I componenti hardware hanno subito un'approfondita analisi grazie a strumentazioni apposite: analizzatore d'antenna e di spettro. Gli elementi software sono stati testati in modo diverso, ma avendo sempre come obiettivo la verifica della possibilità di poterli interfacciare in diverse configurazioni, senza la necessità di dover stravolgere l'assetto della Ground Station.

Le verifiche hanno portato alla risoluzione di problemi importanti che nelle prime fasi hanno impedito la corretta ricezione del segnale. Inoltre, alcune difficoltà incontrate hanno permesso di arrivare a percorrere una strada diversa ma che potesse assicurare migliori risultati.

L'intera attività si è svolta riferendosi ad UNISAT-6, un satellite con caratteristiche simili ad ESEO. Questo ha permesso di simulare una condizione operativa molto simile a quella che si verificherà durante la missione. Infatti, l'intera catena ricettiva, progettata per ESEO, è stata resa compatibile con UNISAT-6 cambiando alcuni parametri.

A conclusione del lavoro di tesi, si può affermare che la catena ricettiva installata, sebbene non sia perfettamente coincidente con le specifiche di progetto, funzioni correttamente e che sia possibile ricevere segnali radio dai satelliti visibili in orbita bassa con frequenze compatibili con quelle dell'antenna. Inoltre, è possibile decodificare i segnali radio a partire da file audio contenenti le registrazioni dei segnali ricevuti. Tuttavia, non è stato possibile decodificare i segnali ricevuti direttamente dalla stazione di terra: questo aspetto è stato attribuito agli eccessivi disturbi entranti nel canale ricettivo. In particolare, sottolineiamo l'assenza dell'accoppiatore, il quale

garantirebbe di accoppiare i segnali ricevuti da due polarizzazioni, rendendo sicuramente più efficace la ricezione; l'assenza del filtro passa banda che eviterebbe la saturazione del LNA consentendo l'analisi di un segnale più pulito. Una volta implementata la configurazione nominale si dovrebbe riuscire a congiungere le due fasi consentendo la decodifica del segnale ricevuto già prima dell'inizio delle operazioni riguardanti ESEO.

Una volta che l'intera Ground Station riceverà e decodificherà i primi segnali trasmessi da ESEO il lavoro svolto acquisterà ulteriore valore, poiché verrà realizzato qualcosa che ora è presente solo sulla carta. Infatti, ogni volta che si cambiano le impostazioni del sistema, nasce la necessità di calibrare il tutto al meglio per quella determinata attività. La positiva decodifica di ESEO certificherà il livello delle ore di lavoro spese all'interno della control room.

Le prossime attività che saranno svolte in relazione con la Ground Station riguarderanno l'implementazione del sistema di trasmissione dei comandi e dello sviluppo del software che gestirà la SDR. È importante evidenziare che non è stato possibile coinvolgere la SDR nella catena ricettiva poiché il software non è stato ancora sviluppato a dovere. Questo aspetto ha inciso significativamente nell'attività realmente svolta, infatti, per poter testare i restanti elementi, si è dovuto ricorrere alla radio analogica che come anticipato non verrà utilizzata nella configurazione finale. La configurazione utilizzata potrà rappresentare un'importante via di backup, con la consapevolezza del suo corretto funzionamento. La Ground Station presenta operative solamente due postazioni delle tre previste. Le due postazioni gestiscono autonomamente il puntamento e la decodifica del segnale. È possibile gestire l'intera attività mediante un solo operatore, ma per rendere più fluida e ottimale le operazioni, è necessaria la coordinazione di due persone.

La descrizione del lavoro svolto in questo elaborato contiene informazioni dettagliate che saranno utilizzate per redigere un manuale della Ground Station. La funzione principale del manuale è dare supporto agli operatori che saranno chiamati a lavorare all'interno della stazione di terra dell'Università di Bologna e che dovranno eseguire operazioni precedentemente descritte in modo accurato. Questo elaborato sarà un importante supporto per rendere il periodo necessario per familiarizzare con la

strumentazione il più breve possibile, nell'ottica di riuscire ad rendere la Ground Station operativa qualora ne nascesse la necessità prima del previsto. Inoltre, rappresenterà un importante fonte d'informazioni riguardante tutti i processi decisionali, di implementazione e verifica degli elementi hardware, software utilizzati e della loro interazione.

In conclusione, per dare continuità tra il lavoro svolto e quello che porterà alla configurazione finale della Ground Station è stato doveroso riportare gli sviluppi futuri già pianificati (vedi capitolo 7).

## Appendice A

### 2x19 elements crossed yagi antenna

430 to 440 MHz

Part Nr. 220938



#### Electrical data

##### Radiation at 432 MHz

Effective electrical length .....	: 4.02 $\lambda$
Isotropic gain .....	: 16.0 dBi
Aperture angle @ -3 dB	
- E-plane .....	: 2 x 14.8°
- H-plane .....	: 2 x 14.7°
First side lobe set	
- E-plane .....	: - 16.0 dB @ 38°
- H-plane .....	: - 12.9 dB @ 38°
Rear protection .....	: - 23.6 dB
Average stray radiation	
- E-plane .....	: - 36 dB
- H-plane .....	: - 28 dB

#### Bandwidth

Gain @ -1 dB .....	: 416 to 442 MHz
Nominal impedance .....	: 50 $\Omega$
Impedance match bandwidth @ SWR <1.3/1.....	: 431 to 439 MHz
Acceptable RF power (continuous duty) .....	: 1000 W
Required phase delay between frontmost and rearmost driven element .....	: 14°

#### Array of 2 or 4 antennas

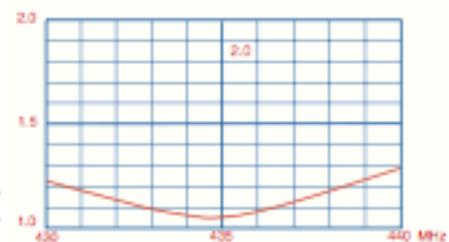
(optimized stacking distance, from center to center of elements, for minimal side lobe radiation)

- E plane - Electrical distance .....	: 1.80 $\lambda$
- Pratical distance .....	: 1.25 m
- H plane - Electrical distance .....	: 1.80 $\lambda$
- Pratical distance .....	: 1.25 m

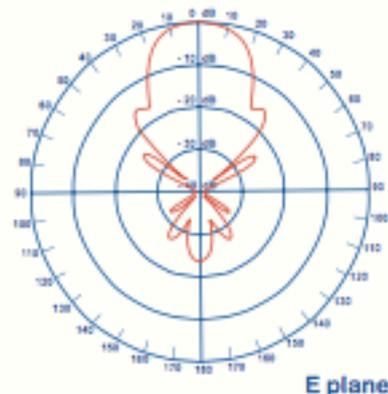
#### Mechanical data

Connector .....	: N
Overall length .....	: 3.25 m
Mass .....	: 2.2 kg
Effective wind load .....	: 0.09 m <sup>2</sup>
Approximate wind load (25 m/s - 55 mph) .....	: 3.5 daN
Approximate wind load (45 m/s - 100 mph) .....	: 11.3 daN

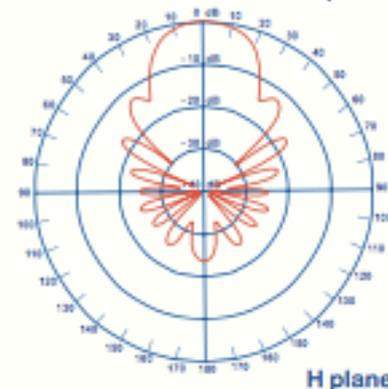
#### SWR curve



#### Radiation patterns



E plane



H plane



## Appendice B: Movimentazione

### B.1 Movimentazione manuale

La movimentazione manuale del rotore da Pc necessita dei seguenti passaggi:

1. Verifica dei cablaggi, dati e alimentazione;
2. Accendere l'alimentatore industriale e selezionare il canale dedicato a Rot2proG;
3. Accendere il controller Rot2proG;
4. Verificare che il controller sia in modalità automatica "A", altrimenti premere "F";
5. Verificare la porta di connessione tra il controller e il Pc e che il baud rate sia 600\*;
6. Aprire il Prompt dei comandi (cmd.exe);
7. Posizionarsi nella seguente cartella: C:\...\Hamlib\hamlib-w32-3.0.1\bin;
8. Digitare: `rotctl -m 901 -r COM2 -t 4533*`.



```
GA C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versione 10.0.15063]
(c) 2017 Microsoft Corporation. Tutti i diritti sono riservati.

C:\Users\am_gs\Desktop\Hamlib\hamlib-w32-3.0.1\bin>rotctl -m 901 -r COM2 -t 4533

Rotator command: p
Azimuth: 381.000000
Elevation: 0.000000

Rotator command: P
Azimuth: 270
Elevation: 0

Rotator command: p
Azimuth: 270.000000
Elevation: 0.000000

Rotator command: P
Azimuth: 195
Elevation: 0

Rotator command: p
Azimuth: 195.000000
Elevation: 0.000000

Rotator command: q
C:\Users\am_gs\Desktop\Hamlib\hamlib-w32-3.0.1\bin>
```

Figura B.1.1: rotctl, esempio comandi "p", "P" e "q"

\*COM2 si riferisce alla configurazione attuale. Verificare dal "Pannello di controllo" la porta effettivamente utilizzata per il collegamento con il controller Rot2proG.

Inserire numeri da tastiera, non da tastierino numerico.

Ora si può movimentare il rotore manualmente da Pc, introducendo i valori degli angoli di Azimut ed Elevazione ai quali si vuole puntare l'antenna. Una volta finito di utilizzare questa modalità di movimentazione introdurre il comando "q" per uscire.

I principali comandi utilizzabili sono:

- "p": visualizza i valori degli angoli di Azimut ed Elevazione a cui l'antenna sta puntando al momento del comando;
- "P": consente di cambiare i valori degli angoli di Azimut ed Elevazione e di inserire i valori a cui si vuole puntare l'antenna;
- "S": annulla i comandi in esecuzione, fermando la movimentazione;
- "q": uscita dalla modalità di movimentazione manale.
- Vi sono altri comandi oltre a quelli sopra elencati: i comandi e la loro descrizione sono presenti nei datasheet all'interno della cartella "Hamlib".

Per confermare il comando inserito è necessario premere INVIO ogni volta.

## **B.2 Movimentazione tramite Gpredict**

La movimentazione automaticamente dell'antenna tramite le coordinate fornite da Gpredict necessita dei seguenti passaggi:

1. Verifica dei cablaggi, dati e alimentazione;
2. Accendere l'alimentatore industriale e selezionare il canale dedicato a Rot2proG;
3. Accendere il controller Rot2proG;
4. Verificare che il controller sia in modalità automatica "A", altrimenti premere "F";
5. Verificare la porta di connessione tra il controller e il Pc e che il baud rate sia 600\*;
6. Aprire il Prompt dei comandi (cmd.exe);
7. Posizionarsi nella seguente cartella: C:\...\Hamlib\hamlib-w32-3.0.1\bin;
8. Digitare: rotctld -m 901 -r COM2 -t 4533 -T 127.0.0.1;\*

```
C:\Windows\System32\cmd.exe - rotctld -m 901 -r COM2 -t 4533 -T 127.0.0.1
C:\Users\am_gs\Desktop\Hamlib\hamlib-w32-3.0.1\bin>rotctld -m 901 -r COM2 -t 4533 -T 127.0.0.1
```

Figura B.2.1: rotctld

\*COM2 si riferisce alla configurazione attuale. Verificare dal “Pannello di controllo” la porta effettivamente utilizzata per il collegamento con il controller Rot2proG. Inserire numeri da tastiera, non da tastierino numerico.

9. Aprire Gpredict;
10. Aggiornare i LTE tramite internet;
11. Verificare la ground position: am\_gs, Forlì (Edit -> Preferences -> Ground Stations);
12. Impostare le seguenti opzioni per il rotore Alfaspic (Edit -> Preferences -> Interfaces):
  - A. Name: alfaspic;
  - B. Host: localhost;
  - C. Port: 4533;
  - D. Azimut type: 0° -> 180° -> 360°;
  - E. Azimut min:0° max:160°;
  - F. Elevation min: -90° max: 90.

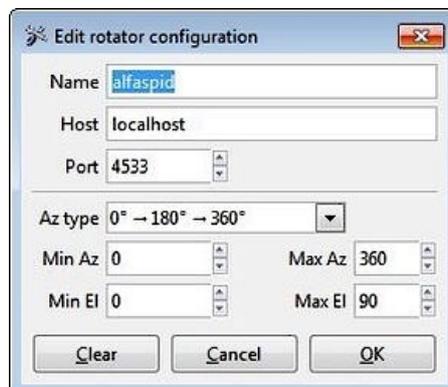


Figura B.2.2: Gpredict Rotor Configuration

13. Selezionare il satellite d'interesse "Target";
14. Impostare le seguenti opzioni per l'antenna (triangolo in alto a destra -> Antenna control):
  - A. Device: alfaspid;
  - B. Cycle: 3000 ms;
  - C. Tolerance: 1°.
15. Muovere il rotore fino agli angoli della posizione in cui il satellite entrerà nel nostro campo di visibilità (usare le frecce per modificare i valori degli angoli);
16. Selezionare "Engage": il rotore seguirà automaticamente il satellite una volta visibile.

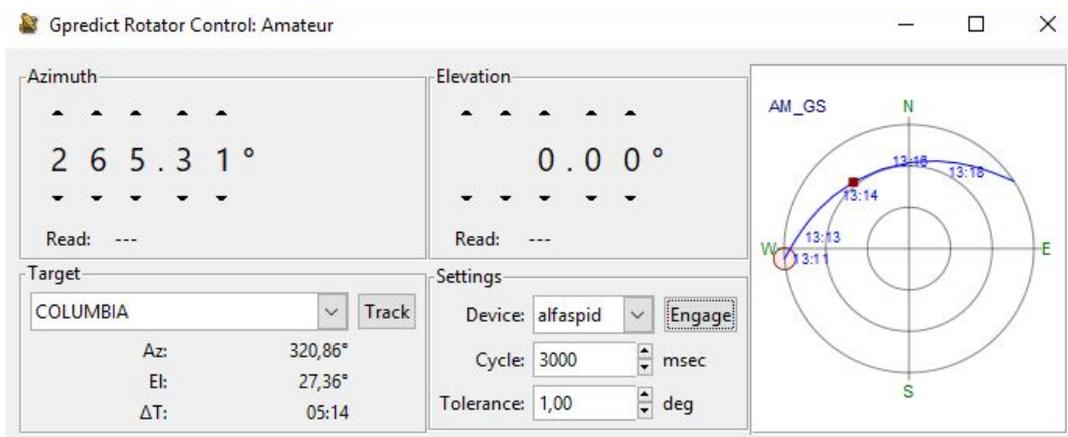


Figura B.2.3: Gpredict Rotator Control

Una volta finito il tracking del satellite selezionare "Disengage" e chiudere il Prompt dei comandi.

## **Appendice C: Calibrazione**

La calibrazione è un'operazione molto importante perché consente di allineare gli assi di riferimento solidali al rotore con gli assi di riferimento locali.

Una volta effettuata quest'operazione, potremmo conoscere con una buona accuratezza (dipende dalla precisione in fase di calibrazione) dove stiamo puntando la nostra antenna. Una verifica piuttosto veloce è rappresentata da una prova di puntamento, o tracking: identificato un satellite che utilizzi una banda radio compatibile con quella della nostra catena ricettiva, si prova a puntarlo durante la sua fase di passaggio. Una calibrazione efficace consente di ricevere un segnale durante il passaggio del satellite, nel caso in cui non si riceva nulla, si dovrà ripetere l'operazione di calibrazione poiché l'errore di puntamento è tale da non permettere la ricezione del segnale trasmesso da satellite.

La calibrazione può essere effettuata prendendo un punto di cui sono note le coordinate di Azimut ed Elevazione.

Il rotore della banda UFH utilizzato al Tecnopolo è stato calibrato puntando il Sole e il Nord.

Importante: la calibrazione necessita della collaborazione di almeno due persone: una persona che si occupi della movimentazione all'interno della control room e una seconda persona che verifichi la precisione del puntamento, azione da svolgere sul tetto.

### **C.1 Calibrazione puntando il Sole:**

1. Verificare che il controller sia in modalità automatica (CPU Mode). (identificata dalla visualizzazione della lettera "A" sul display di sinistra posizionato sul lato frontale del controller). Nel caso in cui il controller sia impostato in una modalità differente, premere il tasto "F" finché non viene visualizzata la lettera "A";
2. Mediante l'uso delle frecce sul pannello frontale del controller, allineare l'antenna con il Sole, in modo che guardando l'antenna da dietro (lato bipolo)

copra il Sole. Ci si può aiutare guardando l'ombra proiettata a terra dall'antenna stessa;

3. Premere "F" finché sul display non verrà visualizzata nessuna lettera (Normal Operations Mode);
4. Premere "S" finché sul display a sinistra verranno visualizzate le lettere "PP" (Heading Adjust);
5. Verificare che cambiando i valori degli angoli di Azimut ed Elevazione mediante le frecce, l'antenna non si muova. In caso contrario ripartire dal punto numero 1;
6. Cambiare il valore dell'angolo di Azimut (frecce su e giù) fino a raggiungere il valore intero più vicino alla coordinata del Sole visualizzato su Orbitron, o Gpredict;
7. Cambiare il valore dell'angolo di Elevazione (frecce destra e sinistra) fino a raggiungere il valore intero più vicino alla coordinata del Sole visualizzato su Orbitron, o Gpredict;
8. Riportare il controller in modalità automatica (CPU Mode), premendo il tasto "F" finché non apparirà la lettera "A".
9. Verificare che cambiando i valori degli angoli di Azimut ed Elevazione mediante le frecce, l'antenna si muova. In caso contrario ripartire dal punto numero 1;

## **C.2 Calibrazione puntando il Nord:**

1. Verificare che il controller sia in modalità automatica (CPU Mode). (identificata dalla visualizzazione della lettera "A" sul display di sinistra posizionato sul lato frontale del controller). Nel caso in cui il controller sia impostato in una modalità differente, premere il tasto "F" finché non viene visualizzata la lettera "A";
2. Mediante l'uso delle frecce (destra e sinistra) sul pannello frontale del controller, puntare l'antenna verso Nord, in modo che l'antenna sia allineata con l'ago di una bussola;

3. Mediante l'uso delle frecce (su e giù) sul pannello frontale del controller, muovere l'antenna finché non sarà orizzontale. Aiutarsi posizionando una livella sopra l'antenna;
4. Premere "F" finché sul display non verrà visualizzata nessuna lettera (Normal Operations Mode);
5. Premere "S" finché sul display a sinistra verranno visualizzate le lettere "PP" (Heading Adjust);
6. Verificare che cambiando i valori degli angoli di Azimut ed Elevazione mediante le frecce, l'antenna non si muova. In caso contrario ripartire dal punto numero 1;
7. Settare il valore dell'angolo di Azimut (frecce su e giù) pari al valore di declinazione magnetica locale\*\*;
8. Azzerare il valore dell'angolo di Elevazione (frecce destra e sinistra);
9. Riportare il controller in modalità automatica (CPU Mode), premendo il tasto "F" finché non apparirà la lettera "A".
10. Verificare che cambiando i valori degli angoli di Azimut ed Elevazione mediante le frecce, l'antenna si muova. In caso contrario ripartire dal punto numero 1;

\*\*Per un accurata calibrazione riferendosi al Nord è necessario ricordare che la bussola, allineandosi con le linee del campo magnetico terrestre, punterà il Nord magnetico, invece il sistema i software utilizzati (Orbitron e Gpredict) si riferiscono al Nord geografico.

Per assicurarsi che l'antenna punti realmente il Nord geografico sarà necessario considerare la declinazione magnetica locale e ruotare il sistema di questo valore.

I valori di declinazione magnetica sono stati calcolati inserendo i valori di Latitudine e longitudine della stazione di terra all'interno del sito di NOAA.

Declination	
Model Used:	WMM2015
Latitude:	44.2° N
Longitude:	12.0667° E
Date	Declination
2017-10-06	3.04° E ± 0.34° changing by 0.11° E per year

Figura C.2.1: Declinazione magnetica AM\_GS

Confrontando i due metodi si è evidenziato che riferendosi al Nord la calibrazione è più precisa poiché gli errori in gioco sono minori. L'utilizzo di strumenti (bussola e livella) è più preciso dell'allineamento con il Sole effettuato solamente a livello visivo. Fissando il Sole, dopo poco tempo, la vista risulta leggermente annebbiata e sopraggiunge una sensazione di fastidio che inficia l'operazione di calibrazione. Inoltre nelle ore in cui il Sole è alto nel cielo gli errori di allineamento vengono amplificati, mentre se ci fosse la necessità di ricalibrare il sistema durante giornate con il cielo coperto, o nelle ore notturne, non ci sarebbe la possibilità.

## Appendice D: Onde radio

La comunicazione di dati riguardanti telemetria e payload vengono inviati dal satellite tramite onde radio trasmesse ad una determinata frequenza.

Le onde radio sono radiazione elettromagnetiche e vengono caratterizzate per frequenza e/o lunghezza d'onda. Queste due grandezze sono legate tra di loro attraverso la seguente formula:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

in cui:  $\lambda$  = lunghezza d'onda;  $c$  = velocità della luce ( $3 \cdot 10^8$  m/s nel vuoto;  $2,8 \cdot 10^8$  m/s in atmosfera);  $\nu$  = frequenza.

Le onde radio sono state convenzionalmente suddivise in varie intervalli di frequenze (bande) in accordo con i più importanti enti internazionali di questo settore: ITU (International Telecommunication Union) e IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Gli intervalli di suddivisione seguono l'andamento decrescente delle potenze di 10 della lunghezza d'onda (da  $10^5$  a  $10^{-2}$  m).

Per onde con lunghezza inferiore a 10 cm si parla di micro onde e non più di onde radio. Questa è un'importante linea di demarcazione tra suddivisione teorica e pratica dello spettro elettromagnetico, infatti, i due enti adottano la medesima suddivisione per  $\lambda \geq 10$  cm invece per frequenze maggiori i due organi hanno proposto suddivisioni differenti: ITU mantiene la regolarità di suddivisione degli intervalli. Al contrario, IEEE identifica maggiori bande: questa filosofia è dettata dall'effettiva applicazione pratica delle alte frequenze.

La tabella sottostante riposta la suddivisione dello spettro radiomagnetico secondo la suddivisione adottata da IEEE:

<b>Banda</b>	<b>Intervallo di frequenza</b>	<b>Lunghezze d'onda</b>
VLF	3 – 30 kHz	10 – 100 km
LF	30 – 300 kHz	1 – 10 km
MF	300 – 3000 kHz	100 – 1000 m
HF	3 – 30 MHz	10 – 1000 m
VHF	30 – 300 MHz	1 – 10 m
UHF	0,3 – 1 GHz	30 – 100 cm
L	1 – 2 GHz	15 – 30 cm
S	2 – 4 GHz	7,5 – 15 cm
C	4 – 8 GHz	3,75 – 7,5 cm
X	8 – 12 GHz	2,5 – 3,75 cm

Tabella D.1: Suddivisione spettro elettromagnetico usato per telecomunicazioni

La tendenza del mondo delle telecomunicazioni, satellitari e non, è di spingersi in alto con le frequenze. Ciò permette di ridurre l'ingombro delle antenne utilizzate, in quanto proporzionale alla lunghezza d'onda utilizzata. Inoltre, le bande con le frequenze maggiori risentono meno di disturbi dovuti a rumori generici, al passaggio attraverso l'atmosfera e sono poco utilizzate rispetto a bande come VHF e UHF. Di contro troviamo una maggior potenza necessaria per la trasmissione di dati ed una maggior direttività del segnale, aspetto che necessita di una calibrazione di precisione. Non si può però estremizzare questa ricerca di frequenze più elevate in quanto se ci avvicina troppo alla banda ottica (390 – 700 nm; 430 – 770 THz) si rischia di non riuscire a ricevere in condizioni di cielo limpido, poiché le onde verrebbero fermate da nuvole e corpi fraposti come accade con il segmento visibile. Questo spiega perché alte frequenze, che risentono meno di disturbi ma che necessitano di maggiore potenza, vengono utilizzate in uplink (da terra al satellite); al contrario in downlink (dal satellite

a terra) vengono impiegate frequenze richiedenti una minor potenza trasmissiva, le quale subiscono una bassa attenuazione dovuta all'attraversamento atmosferico.

La catena di ricezione realizzata per la Ground Station è stata progettata per la ricezione i banda UHF ed è composta da diversi elementi che assemblati permettono la corretta ricezione del segnali radio trasmessi dai satelliti.

## D.1 Effetto Doppler

L'effetto Doppler è un fenomeno fisico che si manifesta nella trasmissione di un'onda elettromagnetica tra una sorgente ed un ricevente che si trovano in moto relativo.

L'effetto Doppler causa una variazione della frequenza percepita dal ricevente rispetto alla reale frequenza dell'onda a cui è stata emessa dalla sorgente. Nella ricezione di un segnale emesso da un satellite l'effetto Doppler è importante poiché il satellite orbita a velocità molto elevate.

$$f' = f \left( \frac{v}{v \pm v_s} \right)$$

$f'$  rappresenta la frequenza ricevuta,  $f$  rappresenta la frequenza trasmessa,  $v$  è la velocità di trasmissione dell'onda nel mezzo.

Per poter ricevere il segnale alla frequenza realmente trasmessa è necessario effettuare una correzione della frequenza stessa. Sia Orbitron sia HRD Satellite Tracking sono predisposti per questa operazione. È possibile collegare questi software con la radio sia con HSDR.

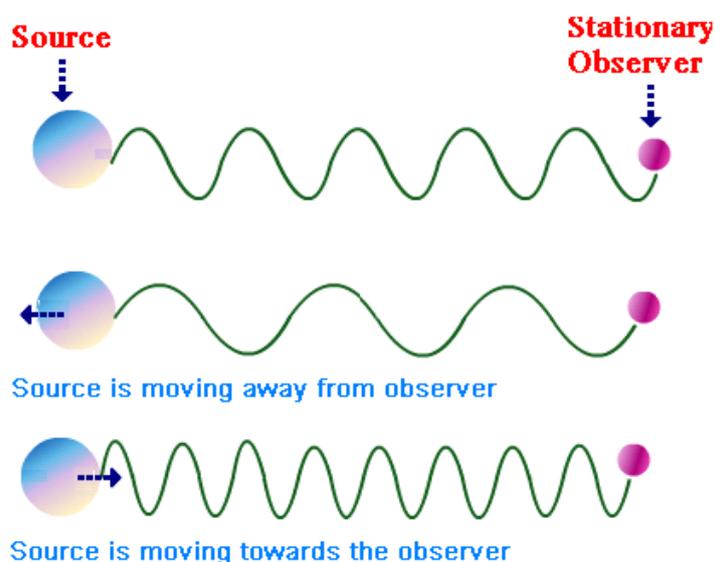


Figura D.1.1: Effetto Doppler

## Appendice E: Modulazione

La comunicazione tra satellite e Ground Station avviene attraverso la trasmissione di un segnale elettromagnetico variabile nel tempo (analogico o digitale). Il segnale elettromagnetico utilizzato per trasmissioni satellitari è di tipo radio. Le onde radio devono riuscire a contenere vari tipi d'informazioni quali telemetria, dati relativi ai payload e comandi. Per fare ciò si ricorre alla modulazione del segnale, una tecnica che consiste nell'imprimere un segnale elettromagnetico, variabile nel tempo, contenente l'informazione che si vuole trasmettere (modulante) su di un altro segnale elettromagnetico sviluppato ad alta frequenza (portante). La modulazione converte il segnale modulante della banda base alla cosiddetta banda traslata (segnale modulato).

I motivi che portano alla modulazione di un segnale sono molteplici:

- traslazione della banda del segnale contenente l'informazione (tipicamente bassa) nella banda del canale comunicativo (alta);
- riduzione dimensioni delle antenne (proporzionale alla lunghezza d'onda del segnale): ordine di grandezza dei segnali radio di circa  $\nu = 20$  kHz,  $\lambda = 15$  km;
- possibilità di codificare il segnale modulato in modo da ridurre gli effetti dovuti al rumore;
- semplificazione dei circuiti necessari alla ricezione e alla trasmissione.

Le modulazioni principali riguardano:

- ampiezza: AM (Amplitude Modulation, analogica), ASK (Amplitude-Shift Keying, digitale);
- frequenza: FM (Frequency Modulation, analogica), FSK (Frequency-Shift Keying, digitale);
- fase: PM (Phase Modulation, analogica), PSK (Phase-Shift Keying, digitale).

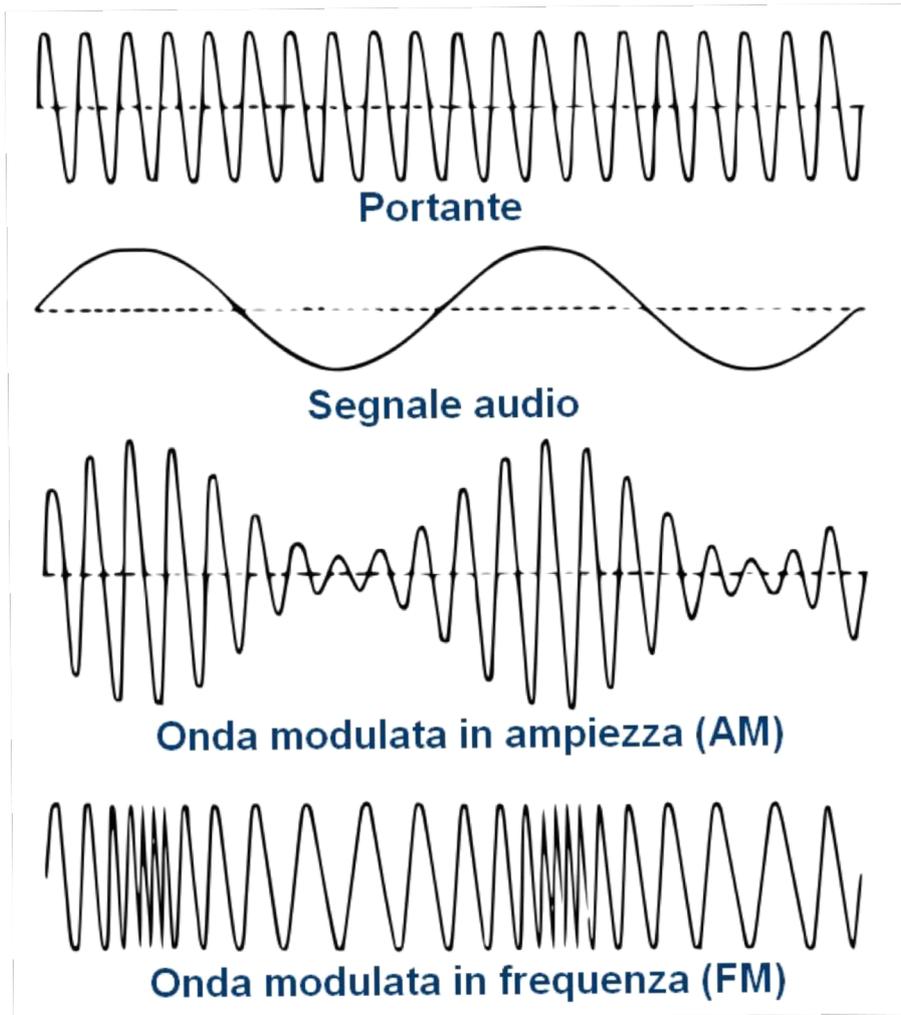


Figura E.1: Modulazione: Portante, Modulante, AM e FM

Combinando le modulazioni ASK e PSK si ottiene una modulazione QAM (modulazione di ampiezza in quadratura), ovvero formata da due portanti aventi la medesima frequenza sommate in quadratura di fase (ortogonali,  $\pi/2$ ).

In particolare, la modulazione adottata da UNISAT-6 è di tipo GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying), una variante della più ampia FSK (riportata in figura E.2), la quale prevede un filtro gaussiano per rendere più snella l'operazione. L'introduzione del filtro gaussiano consente di limitare la potenza della banda laterale necessaria e di ridurre l'interferenza creata da canali vicini.

A differenza di ciò che avviene per una modulazione analogica, in cui il segnale modulante è continuo, in una modulazione digitale (o numerica), la modulante è rappresentata da una sequenza di 0 e 1. Il segnale modulato risultante essere un

segnale che varia ad intervalli ben determinati (intervallo di campionamento, 9600bps per UNISAT-6).

Se il valore della modulante, al momento del campionamento, corrisponde a 1 il segnale modulato corrisponde alla portante, al contrario se il valore della modulante è uguale a 0 il segnale modulato subirà una variazione in frequenza.

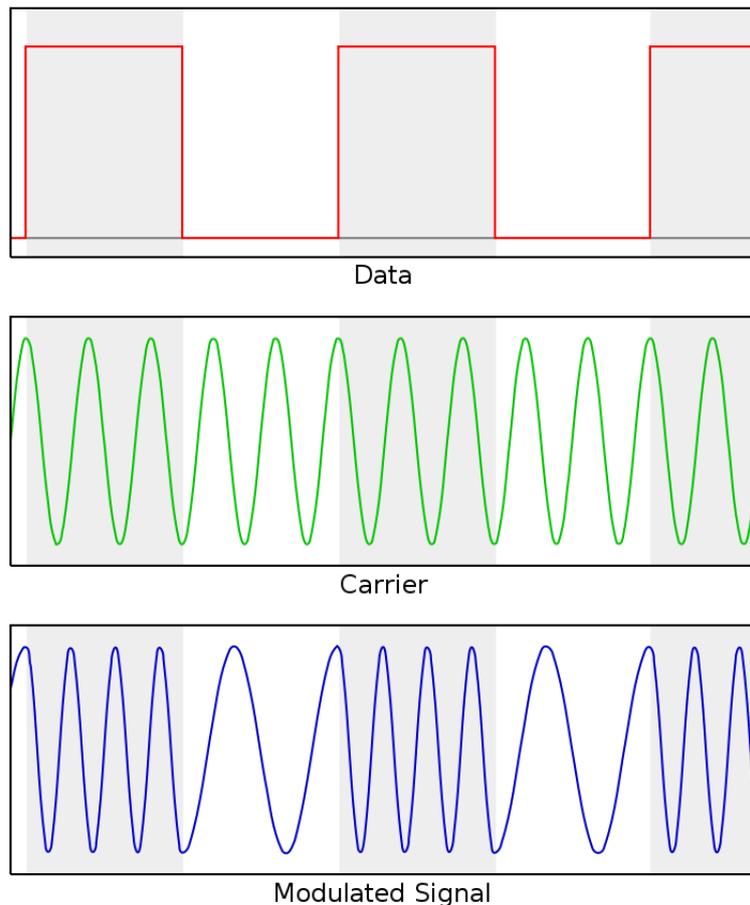


Figura E.2: Modulazione FSK

Poiché lo scopo primario della comunicazione è riuscire ad ottenere le informazioni alla base della modulante, una volta che il segnale verrà ricevuto dovrà essere demodulato per poter estrarre tutte le informazioni in esso contenute. Per effettuare le operazioni di modulazione e demodulazione sarà sufficiente utilizzare un modem (MODulatore e DEModulatore) che operi secondo appositi parametri.

## Appendice F: Codifica del segnale

Il segnale prima di essere modulato può subire una codifica per limitare ulteriormente l'introduzione di rumore al suo interno, inoltre, la codifica permette di comprimere i pacchetti dati trasmessi, snellendo il processo comunicativo.

La codifica necessita della definizione di un codice, ovvero, un insieme di segni o simboli (stringhe ben definite di 0 e 1) designati convenzionalmente per rappresentare un'informazione. È importante il codice utilizzato sia definito in maniera univoca, in modo che durante la codifica e la successiva decodifica sia possibile mantenere invariata la natura delle informazioni trasmesse. La necessità dell'introduzione di codici nasce dall'impossibilità di trasmettere direttamente una comunicazione verbale.

Il codice utilizzato da UNISAT-6, e molto frequentemente per trasmissioni radioamatoriali, è definito dal protocollo di comunicazione AX.25. Le modulazioni supportate da questo protocollo sono ASK e FSK, a diverse velocità: 1200 e 9600 bit/s. In particolare, UNISAT-6 utilizza una codifica FM 9600 FSK AX.25.

Per la codifica e la decodifica del segnale vengono utilizzati dei TNC (Terminal Node Controller), apparecchi simili a modem composti da microprocessori contenenti un software che implementa il protocollo selezionato. È possibile effettuare la decodifica del segnale direttamente su un PC, evitando l'utilizzo del TNC, tramite l'uso di appositi modem software.

Il protocollo AX.25 prevede la possibilità di utilizzare un protocollo semplificato, KISS, il quale permette l'implementazione di un sistema di decodifica più semplice. Questo consente a molti radioamatori di poter compiere la decodifica di segnali provenienti da differenti satelliti senza dover ricorrere ad apparecchiature complesse e costose. Chiaramente questo protocollo deve essere adottato anche nella fase di trasmissione del segnale. L'utilizzo del protocollo KISS viene impiegato in larga scala specialmente per la trasmissione di dati telemetrici, i quali sono più snelli rispetto a quelli relativi ai payload. La conoscenza dell'esatto protocollo utilizzato è necessaria per capire in quale modalità impostare il TNC oppure per sapere quale sia il modem software installare sul proprio PC.

All'interno della Ground Station sono stati effettuati prove di decodifica sia utilizzando un TNC, Kantronics KPC-9612 Plus, sia utilizzando un modem software, Soundmodem, che sfrutta le potenzialità della Soundcard del PC. La decodifica dei dati di telemetria di UNISAT-6 e FOX-1A è stata effettuata tramite l'utilizzo del TNC e di soundmodem in KISS mode.

## Bibliografia

- [1] *European Space Agency*, <http://www.esa.int/Education>;
- [2] *SITAEEL S.p.A.*, <http://www.sitael.com>;
- [3] Luca Bellavista, *Design, assembly and test of the Relocated Alma Mater Ground Station*;
- [4] Marca Bosco, *Design and implementation of software solutions for satellite ground segment with application to ESEO mission*;
- [5] AFT, *Technical booklet Antennes*;
- [6] *Radio Amateur*,  
[http://www.radiomanual.info/schemi/ACC\\_preampl/Landwehr\\_2m\\_sch.pdf](http://www.radiomanual.info/schemi/ACC_preampl/Landwehr_2m_sch.pdf);
- [7] *SPID Elektronik*, <https://www.spid.net.pl/en/manuals>;
- [8] *DELL*, <http://www.dell.com/en-us/precision-rack-7000-series-7910>;
- [9] *Lenovo*, <https://www3.lenovo.com/us/en/thinkcentre/M800-Tower>;
- [10] *Rohde & Schwartz*, <https://www.rohde-schwarz.com/it/hmp4030>;
- [11] *ICOM*,  
[http://www.icom.co.jp/world/support/download/manual/pdf/IC-910H\\_9a.pdf](http://www.icom.co.jp/world/support/download/manual/pdf/IC-910H_9a.pdf);
- [12] *Kantronics*,  
[https://www.kantronics.com/documents/KPC-9612PMX\\_Manual.pdf](https://www.kantronics.com/documents/KPC-9612PMX_Manual.pdf);
- [13] *Orbitron*, <http://www.stoff.pl/downloads.php>;
- [14] *Gpredict*,  
<http://www.w1npp.org/events/2010/2010-f~1/SATELL~1/GPREDI~1.PDF>;
- [15] *Ham Radio Deluxe*, <https://cdn.ham-radio-deluxe.com/files/manual.pdf>;
- [16] *UZ7HO*, <http://uz7.ho.ua/packetradio.htm>;
- [17] *UZ7HO*, [http://uz7.ho.ua/modem\\_beta/user\\_guide\\_v045b\\_EN.pdf](http://uz7.ho.ua/modem_beta/user_guide_v045b_EN.pdf);
- [18] *HSSDR*, [http://hdsdr.de/HSDR\\_Manuale\\_ITA\\_vers\\_1\\_1.pdf](http://hdsdr.de/HSDR_Manuale_ITA_vers_1_1.pdf);
- [19] *AGWSoft*, <http://users.libero.it/andy71/Download/radio/Manuali/agw-manuale%20italiano.pdf>;
- [20] *DK3WN*, <http://www.dk3wn.info/software.shtml>;
- [21] *AMSAT*, [http://www.amsat.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/09/foxtelem\\_manual\\_100a.pdf](http://www.amsat.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/09/foxtelem_manual_100a.pdf);

- [22] *GAUSS s.r.l.*, <https://www.gaussteam.com/unisat-6-mission>;
- [23] *AMSAT*, <https://www.amsat.org/beaconclosed-satellites/unisat-6>;
- [24] *PEØSAT*, <http://www.pe0sat.vgnet.nl/satellite/commercial-scientific/unisat-6>;
- [25] *RigExpert*,  
<https://www.rigexpert.com/files/manuals/aa1000/aa-600-1000-1400-manual.pdf>;
- [26] *RigExpert*, [https://www.rigexpert.com/files/manuals/software/aa\\_software.pdf](https://www.rigexpert.com/files/manuals/software/aa_software.pdf)
- [27] *RFExplorer*,  
<http://j3.rf-explorer.com/download/docs/RF%20Explorer%20Spectrum%20Analyzer%20User%20Manual.pdf>;
- [28] *RFExplorer*,  
<http://j3.rf-explorer.com/40-rfe/article/61-rf-explorer-windows-pc-client>;