

Un'antenna per lo spazio

LE FREQUENZE IN GIOCO

Lo spettro elettromagnetico è molto vasto ed è suddiviso in diverse *gamme*. Le frequenze che ci riguardano maggiormente sono quelle comprese tra i 0.43 e 0.75 PHz infatti, questo piccolo range di frequenze corrisponde all'unica porzione di spettro che riusciamo a decifrare: la luce visibile. Per questa attività però ci si concentrerà su frequenze ben più basse, relative alle onde radio. Le onde radio costituiscono una porzione molto ampia dello spettro elettromagnetico e di conseguenza è necessario suddividere la gamma radio in diverse porzioni chiamate "bande", identificate da diverse sigle, alcune con nomi molto esplicativi. Partendo dalle bande più basse troviamo le ELF, SLF, VLF, LF mentre nelle bande più alte si trovano le HF, MF, VHF, UHF, SHF, EHF, THF. La tabella sottostante riassume tutte le bande radio.

banda	Frequenze	lunghezza d'onda
Extremely Low Frequency	3 – 30 Hz	100 000 km – 10 000 km
Super Low Frequency	30 – 300 Hz	10 000 km – 1000 km
Ultra Low Frequency	300 – 3000 Hz	1000 km – 100 km
Very Low Frequency	3 – 30 kHz	100 km – 10 km
Low Frequency	30 – 300 kHz	10 km – 1 km
Medium Frequency	300 – 3000 kHz	1000 m – 100 m
High Frequency	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
Very High Frequency	30 – 300 MHz	10 m – 1 m
Ultra High Frequency	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm
Super High Frequency	3 – 30 GHz	10 cm – 1 cm
Extremely High Frequency	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm
Tremendously High Frequency	300 – 3000 GHz	1 mm – 0.1 mm

Grazie alla loro varietà di frequenze, le onde radio sono utilizzate per la trasmissione di segnali nei più svariati campi, dalle comunicazioni con sottomarini per le ELF ad applicazioni radioamatoriali

specifiche per le THF passando per le telecomunicazioni, la normale radio FM, i radar, il forno a microonde e il Wi-Fi.

Poiché le onde radio sono onde elettromagnetiche, esse possono dare luogo a fenomeni di riflessione, diffrazione, diffusione, scattering ed assorbimento, esattamente come una qualunque

onda. Per questo motivo in base all'applicazione, bisogna scegliere la banda radio più opportuna.

Per fare un esempio, le lunghezze d'onda utilizzate per le comunicazioni radio

intercontinentali sono quelle della banda HF poiche a quelle frequenze, e possibile far rimbalzare il segnale radio sulla ionosfera terrestre raggiungendo cosi distanze notevoli. Generalmente le trasmissioni radio in campo satellitare avvengono nelle bande VHF o superiori poiche a queste frequenze, tutti gli strati dell'atmosfera terrestre risultano trasparenti e permettono di trasmettere (o ricevere) da e verso lo spazio.

Per la facilità nell'utilizzo e nel dimensionamento delle antenne, per questo progetto si è scelto di utilizzare la banda delle VHF ed in particolare la gamma di frequenze comprese tra 137 e 146 Mhz corrispondenti a onde radio con lunghezza d'onda nell'ordine dei 2 metri.

Si può ascoltare sui 2 metri? E che cosa?

In Italia, le trasmissioni in qualunque banda sono fortemente regolamentate e soltanto chi è in possesso di specifiche autorizzazioni e abilitato alla trasmissione di segnali radio pertanto, l'emissione radio è riservata ai soli possessori di una patente, i così detti radioamatori. Per quando riguarda l'ascolto invece, le cose cambiano.

A qualunque cittadino Italiano è sempre permesso il radioascolto a patto che questo si concentri su frequenze radioamatoriali o commerciali (broadcasting). È di conseguenza vietata la ricezione di trasmissioni specifiche o di ambito professionale come per esempio quelle per la navigazione aerea o per la diffusione di notizie stampa.

Dedotto che è possibile ascoltare, che cosa si può ascoltare?

Nella banda dei 2 metri è possibile ascoltare le trasmissioni dei radioamatori nelle vicinanze ma, anche segnali radio dallo spazio ed in particolare quelle di alcuni satelliti meteorologici o le trasmissioni della Stazione Spaziale Internazionale.

Esistono diversi tipi di trasmissioni radio ma le più semplici che si possono ascoltare sono sicuramente quelle in fonia con le quali, si trasmettono comunicazioni vocali "tra esseri umani". In questo tipo di trasmissioni rientrano le comunicazioni radio tra gli astronauti della ISS e la terra che normalmente avvengono ad una frequenza di 145.800 MHz. Su questa frequenza, la ISS comunica spesso con le scuole di tutto il mondo effettuando i cosiddetti "contatti ARISS" (Amateur Radio International Space Station) ed in occasione di eventi particolari, gli astronauti della ISS lasciano il microfono della radio per trasmettere digitalmente delle immagini commemorative. Questo tipo di trasmissione è chiamato SSTV (Slow Scanning Television).

Al di fuori di occasioni particolari o dei contatti con le scuole, la ISS trasmette costantemente la sua posizione e il suo identificativo radioamatoriale su una frequenza di 145.825 MHz utilizzando un sistema digitale automatico chiamato APRS (Automatic Packet Reporting System).

Rimanendo su questa banda ma abbassando la frequenza intorno ai 137-139 MHz si potranno ricevere le trasmissioni dei satelliti meteorologici americani NOAA-15, NOAA-18 e NOAA-19 e il satellite russo METEOR-M2.

Questi satelliti trasmettono in tempo reale l'immagine di quello che in ogni momento è nel loro campo visivo. La trasmissione, modulata in frequenza (FM), è chiamata APT (Automatic Picture Transmission) per i satelliti NOAA e LRPT (Low Rate

Picture Transmission) per il satellite METEOR-M2.

A differenza delle trasmissioni in fonia che sono trasmissioni analogiche e facilmente decodificabili, le trasmissioni digitali SSTV, APT e LRPT richiedono l'ausilio di software aggiuntivi per la decodifica. Nelle sezioni successive verrà descritto nel dettaglio come ricevere e decodificare sia le trasmissioni analogiche che digitali.

Come ricevere

Per ricevere qualunque tipo di segnale radio è essenziale possedere almeno due elementi: un ricevitore e un'antenna e per entrambi esistono diverse soluzioni più o meno economiche, versatili ed accessibili.

Ricevitore

Per questo progetto è stato scelto un ricevitore SDR (Software Defined Radio) facilmente interfacciabile ad un PC tramite la porta USB. Questo tipo di ricevitore trasforma il segnale radio captato dall'antenna in un segnale audio facilmente elaborabile dalla scheda audio del PC.

Normalmente un ricevitore SDR per frequenze radioamatoriali, quindi anche le VHF, se di buona qualità ha un costo superiore ai 100€ ed è quindi di difficile reperimento per progetti *low-budget*.

Fortunatamente in questa banda di frequenze, rientrano le trasmissioni televisive e per queste applicazioni è possibile acquistare i ben più economici ricevitori TV-USB. Questo tipo di ricevitori, normalmente utilizzato per ricevere appunto segnali televisivi, è basato sulla stessa tecnologia dei ricevitori SDR. Con un opportuno software gratuito è quindi possibile trasformarlo in un ricevitore radio a largo spettro (da 50 a 1700 MHz), con una spesa inferiore ai 20€.

Inoltre, utilizzando un ricevitore collegato al PC, è possibile decodificare facilmente non soltanto le trasmissioni analogiche (fonia) ma anche quelle digitali.

Antenna

Analogamente al ricevitore, sono disponibili diverse soluzioni anche per quanto riguarda l'antenna.

In questo caso però con una buona manualità e qualche conoscenza tecnica è possibile autocostruirsi un'ottima antenna per il radioascolto.

Il dimensionamento dell'antenna dipende dalla lunghezza d'onda del segnale da captare la quale è direttamente proporzionale alla lunghezza dell'antenna. Fortunatamente le trasmissioni che ci interessano coinvolgono lunghezze d'onda nell'ordine dei 2 metri e pertanto, l'antenna avrà una dimensione ragionevole. Nel caso delle VLF l'antenna può raggiungere lunghezze di 10 Km !!

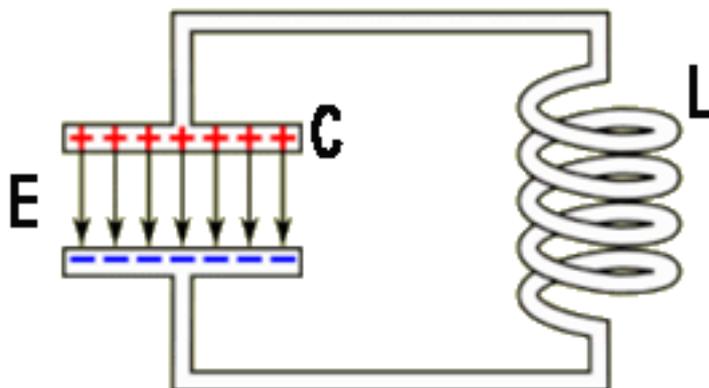
Successivamente verrà descritto nel dettaglio come costruire un'antenna per le VHF. Semplicemente con un ricevitore e con un'antenna correttamente dimensionata, è quindi possibile ricevere numerose trasmissioni radio ed effettuare diverse misurazioni e/o esperimenti, con una spesa davvero contenuta e alla portata di tutti. Se necessario però è anche possibile migliorare la ricezione con strumentazioni aggiuntive come filtri o amplificatori in grado di aumentare l'intensità dei segnali

ricevuti mantenendo un basso rumore di fondo e riducendo le interferenze dovute da altre trasmissioni.

Cos'è e come funziona un'antenna

Per poter ricevere un'onda radio, è necessario realizzare un circuito elettrico in grado di "risuonare" alla stessa frequenza che si vuole captare.

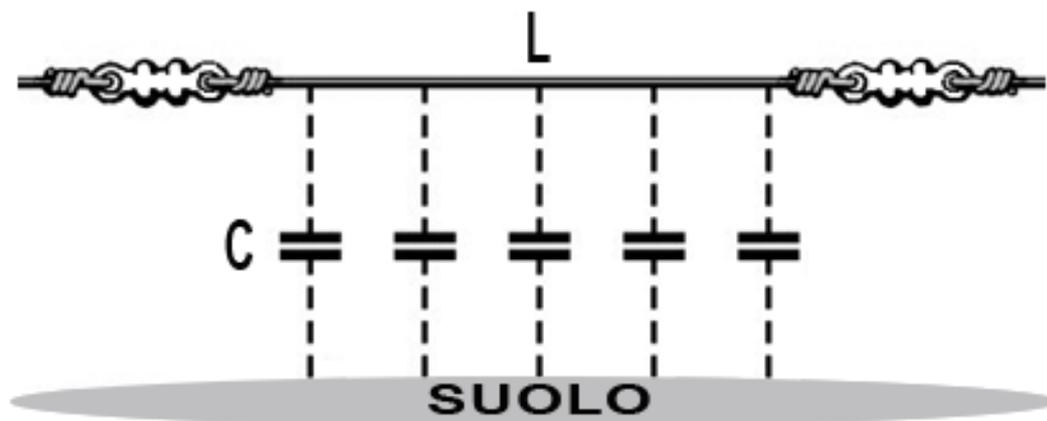
Il più semplice circuito di questo tipo è il cosiddetto circuito LC costituito da una induttanza (L) posta in parallelo ad un condensatore (C). In figura, l'induttanza è rappresentata da una bobina costituita da una serie di spire avvolte in aria



Questa tipologia di circuito però, a causa delle sue ridottissime dimensioni non riesce ad irradiare (e quindi anche ricevere) in maniera efficiente, nessun tipo di segnale radio. Per questo motivo non può essere utilizzato come antenna.

Ma quindi, che cos'è un'antenna?

Immaginiamo di srotolare una bobina in modo da ricavare un lungo filo di materiale conduttore, abbiamo creato la nostra antenna. Tale filo infatti avrà una sua induttanza (L) che permetterà di "accordarsi" ad una specifica gamma di frequenze. Per ottenere un circuito risonante in grado di oscillare (e quindi ricevere e trasmettere) occorre però una certa capacità.



La capacità necessaria per sintonizzare questo filo su una ben precisa frequenza è sempre presente anche se non facilmente identificabile.

Una qualsiasi antenna infatti, si comporta come l'armatura di un condensatore

rispetto al suolo, anch'esso conduttivo e a tutti i corpi metallici nelle immediate vicinanze.

Il comportamento delle onde radio è analogo a quello di tutti i fenomeni ondulatori come per esempio i pendoli o le onde acustiche. Consideriamo un diapason intonato sulla nota *LA*. Questo avrà una specifica lunghezza dei bracci che, se messi in vibrazione, genereranno un'onda di pressione con una frequenza specifica di 440 Hz corrispondente al *LA*.

Se adesso avviciniamo il diapason vibrante ad un altro diapason, anch'esso accordato sul *LA*, il secondo diapason inizierà a vibrare alla sua frequenza fondamentale (440 Hz) diventando acusticamente accoppiato al primo.

Questo fenomeno detto risonanza, si verifica soltanto se entrambi i diapason sono "accordati" alla stessa identica frequenza. Analogamente, la nostra antenna sarà efficiente solo se la sua lunghezza fisica sarà tale da permetterle di risuonare sulla stessa lunghezza d'onda che si desidera ricevere o trasmettere.

Un'antenna risulta risonante ad una data frequenza, quando un'onda radio intera compie un ciclo completo su tutta la sua lunghezza.

Per conoscere la lunghezza d'onda di un'onda, ci possiamo affidare alla relazione di Einstein:

$$C = \lambda * f$$

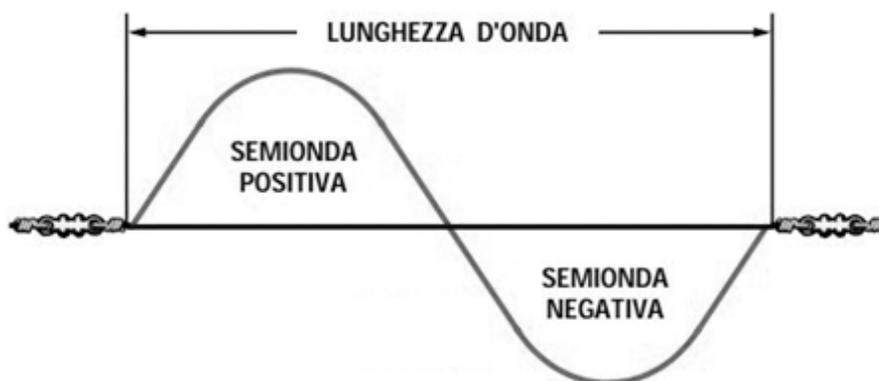
Quindi un'antenna che risuona ad una frequenza di 145 MHz dovrà avere una lunghezza di

$$\frac{3 * 10^8 \text{ m/s}}{145 * 10^6 \text{ Hz}} = 2.07 \text{ m}$$

Acquistando un'antenna commerciale per questa frequenza però ci si accorge che la sua lunghezza è esattamente metà della lunghezza d'onda. Per quale motivo?

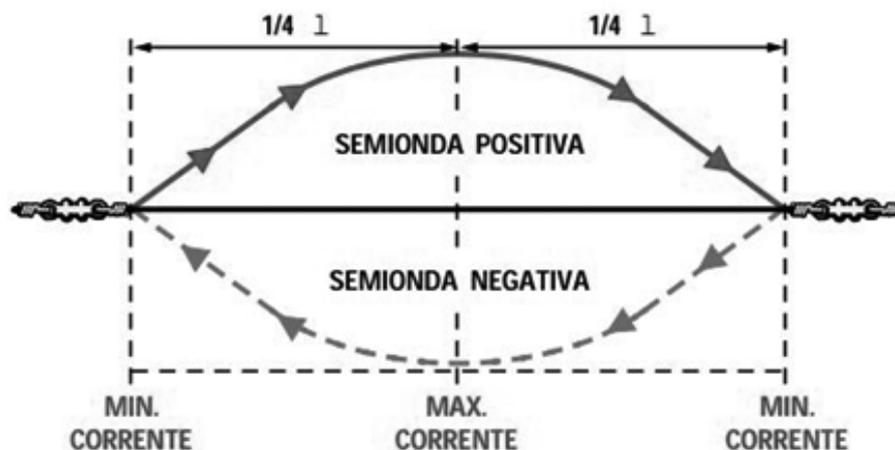
Un'onda intera è sempre composta da due parti: una pancia (semionda positiva) e da un ventre (semionda negativa) che si alternano con una certa frequenza.

Immaginando un filo lungo λ (che funge da antenna), saranno presenti sia la pancia che il ventre dell'onda.



Poiché le onde radio sono costituite anche da una componente elettrica, la nostra

antenna sarà parte di un circuito elettrico nel quale, variare della posizione lungo il filo si apprezzeranno diversi valori di tensione e corrente. In particolare, usando un'antenna lunga meta lunghezza d'onda, l'intera antenna sarà percorsa da una sola semionda, per esempio quella positiva. All'estremità sinistra dell'antenna si avrà un valore di corrente nullo così come all'estremità destra dell'antenna. Al centro invece, in corrispondenza del massimo della semionda positiva, si avrà anche il valore massimo di corrente.



Concentrandosi sulla semionda negativa avremo un comportamento analogo ma inverso, al centro del percorso la corrente sarà massima ma con segno negativo.

Di conseguenza, meta lunghezza d'onda è più che sufficiente per far scorrere sullo stesso filo sia le semionde positive che le semionde negative.

Utilizzando un'antenna lunga esattamente meta lunghezza d'onda, sul suo punto centrale si otterrà sempre una corrente massima ed un'impedenza compresa tra 52 e 75 ohm.

Detto questo, concentriamoci sull'antenna più semplice da realizzare ovvero il dipolo, costituito da due bracci identici lunghi $1/4 \lambda$.

I due bracci sono elettricamente isolati e collegati al cavo di collegamento con il ricevitore, tipicamente un cavo coassiale.

Il braccio collegato al conduttore centrale del cavo coassiale costituirà l'elemento attivo dell'antenna mentre il braccio collegato al calca del coassiale costituirà il piano di massa dell'antenna. Con questa configurazione, si avrà un'antenna lunga mezz'onda al centro della quale il valore massimo di corrente generata dall'onda elettromagnetica verrà direttamente raccolto dal ricevitore, attraverso il cavo coassiale.

Per quanto riguarda la tensione, questa si dispone sull'antenna in maniera "sfasata" rispetto alla corrente. Si avranno quindi valori massimi di tensione alle estremità dell'antenna e valori molto bassi in prossimità del centro dell'antenna.

Per questo motivo non bisogna avvicinarsi alle estremità delle antenne durante le trasmissioni, le tensioni in gioco sono nell'ordine di centinaia se non migliaia di volt.

La polarizzazione

Immaginiamo un dipolo posto in orizzontale che sta trasmettendo. Al centro del dipolo arriverà attraverso il cavo coassiale, un impulso di corrente che genererà un'onda elettromagnetica con una data frequenza. Questa onda verrà irradiata dall'antenna secondo un'orientazione orizzontale e si propagerà quindi in orizzontale. Al contrario, quando il dipolo viene posto in verticale la radiazione elettromagnetica sarà orientata verticalmente. Se per ricevere una trasmissione radio polarizzata orizzontalmente utilizzassimo un dipolo posto in verticale, non riceveremmo alcun segnale o comunque molto debole. Per ottimizzare la ricezione, la nostra antenna deve essere orientata nella stessa direzione della polarizzazione del segnale da ascoltare.



Concentriamoci ora sulle trasmissioni satellitari. La maggior parte dei satelliti che orbitano intorno alla terra, ruotano anche su se stessi e di conseguenza anche l'antenna installata sul satellite ruota su se stessa, irradiando il segnale con una polarizzazione circolare, spesso destrorsa. Se usiamo un dipolo orizzontale per captare trasmissioni polarizzate circolarmente riusciamo a ricevere solamente la componente orizzontale del segnale e la maggior parte del segnale verrà persa.

Il dipolo orizzontale o verticale, rappresenta la soluzione più semplice per effettuare questo tipo di radioascolto e, anche se poco efficiente, permette di ricevere comunque "qualcosa".

Per migliorare la ricezione di segnali circolari si può adottare un'antenna costituita da due dipoli posti a 90° tra di loro (a croce o *turnstile*). Con questa antenna, che ha un'ampio angolo di ricezione, si riescono a captare i segnali dei satelliti in maniera efficiente anche quando questi transitano a basse elevazioni.

I due dipoli dell'antenna ricevono i segnali "sfasati" e sarà quindi necessario "rifasarli" prima di trasferirli al ricevitore. Per fare ciò sono possibili due possibilità, entrambe di facile realizzazione. Per sommare in fase il segnale captato da due dipoli potremo distanziarli fisicamente di $1/4\lambda$ o in alternativa, potranno essere distanziati "elettricamente" utilizzando spezzoni di cavo coassiale di opportuna lunghezza.

Nel secondo caso, ad uno dei due dipoli andrà collegato uno spezzone di cavo lungo $1/4\lambda$ mentre il secondo dipolo andrà collegato ad uno spezzone lungo $1/2\lambda$. Le

estremita libere di entrambi gli spezzoni dovranno essere collegate insieme e costituiranno i poli dell'antenna.

NOTA: I ricevitori radio in genere, funzionano in maniera ottimale se i segnali in ingresso arrivano da linee con un'impedenza di 50 Ohm. Di conseguenza, sia l'impedenza dell'antenna che del cavo coassiale di collegamento devono avere questo valore. Un'antenna come la *turnstile* presenta un'impedenza di 75 Ohm pertanto, non puo essere direttamente collegata al ricevitore. E necessario quindi utilizzare un trasformatore di impedenza per potre raggiungere il valore di 52 Ohm.

I cavi coassiali generalmente utilizzati per gli impianti d'antenna televisivi hanno un'impedenza di 75 Ohm e di conseguenza non possono essere utilizzati per collegare il ricevitore radio all'antenna.

E necessario procurarsi appositi cavi per trasmissioni radio.

Costruiamo l'antenna

Di seguito verra descritto nel dettaglio la progettazione e successivamente la costruzione, di una semplice ma efficace antenna, per la ricezione dei satelliti meteorologici e della ISS. Per i motivi descritti precedentemente si e scelto di optare per un'antenna a doppio dipolo incrociato o "*turnstile*".

LA PROGETTAZIONE

Per realizzare un'antenna l'obiettivo primario e scegliere il range di frequenze che si desidera ascoltare.

Nel nostro caso, siamo interessati a frequenze che vanno dai 137 MHz per la ricezione dei satelliti meteorologici fino ai 146 MHz per la ricezione della ISS. Detto questo possiamo calcolare il centro della banda che ci interessa e dimensionare la nostra antenna per un'accordatura su quella frequenza.

Limite di banda inferiore: 137,00 MHz

Limite di banda superiore: 146,00 MHz

Centro banda: $(137,00 + 146,00)/2 = 141,5$ MHz

Poiche l'antenna che andremo a costruire ha una larghezza di banda di circa 10% rispetto alla frequenza fondamentale, anche se ottimizzata per i 141.5 MHz funzionera egregiamente anche sui 137 e 146 MHz.

Calcoliamo ora le lunghezze dei bracci dei due dipoli che ricordiamo, dovranno corrispondere ad $1/4\lambda$.

Lunghezza d'onda centro banda $= c/f = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{141,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 2.12 \text{ m}$

Lunghezza bracci dei dipoli $= 1/4 \lambda = 2.12 / 4 = 0.53 \text{ m} = 53 \text{ cm}$

E necessario ricordare che le onde elettromagnetiche si propagano alla velocita della luce **solo nel vuoto**, all'interno di un conduttore metallico come la nostra antenna o il

cavo coassiale, la loro velocità sarà ridotta e di conseguenza l'accordo dell'antenna avverrà ad una frequenza leggermente diversa da quella calcolata. Nel caso delle antenne, questo rallentamento è dovuto alla resistività del conduttore e può essere ridotto aumentandone il diametro (effetto pelle). Nel nostro caso, se non si vogliono raggiungere precisioni elevatissime, l'aumento del diametro riduce la resistività in maniera trascurabile pertanto, un conduttore di qualche millimetro di diametro è più che sufficiente per la nostra antenna.

Per quanto riguarda il cavo coassiale invece, entrano in gioco diversi fattori che limitano la velocità di propagazione come per esempio le capacità parassite o le perdite intrinseche dovute al materiale del cavo. Per questo motivo il cosiddetto *fattore di velocità* (V_f) di un cavo coassiale non può essere trascurato, pena l'attenuazione del segnale ricevuto che si disperde nel tragitto dall'antenna al ricevitore.

Per ogni tipologia di cavo, il costruttore fornisce il relativo fattore di velocità ma ai fini di questo progetto possiamo considerare dei valori medi di 0.66 per il cavo da 50 Ohm e 0.80 per il cavo da 75 Ohm.

Tale valore dovrà essere considerato per il calcolo della lunghezza effettiva del cavo coassiale che sarà sicuramente differente dalla lunghezza d'onda del segnale ricevuto o trasmesso.

Calcolata la lunghezza alla quale tagliare i conduttori dei dipoli e dopo le considerazioni sul fattore di velocità possiamo ora passare al dimensionamento degli spezzoni "rifasatori" e del trasformatore di impedenza.

Per sommare in fase i segnali dei dipoli sarà necessario preparare 2 spezzoni di cavo coassiale da 50 Ohm lunghi rispettivamente $1/4\lambda$ e $1/2\lambda$.

Frequenza di centro banda: 141.5 Mhz

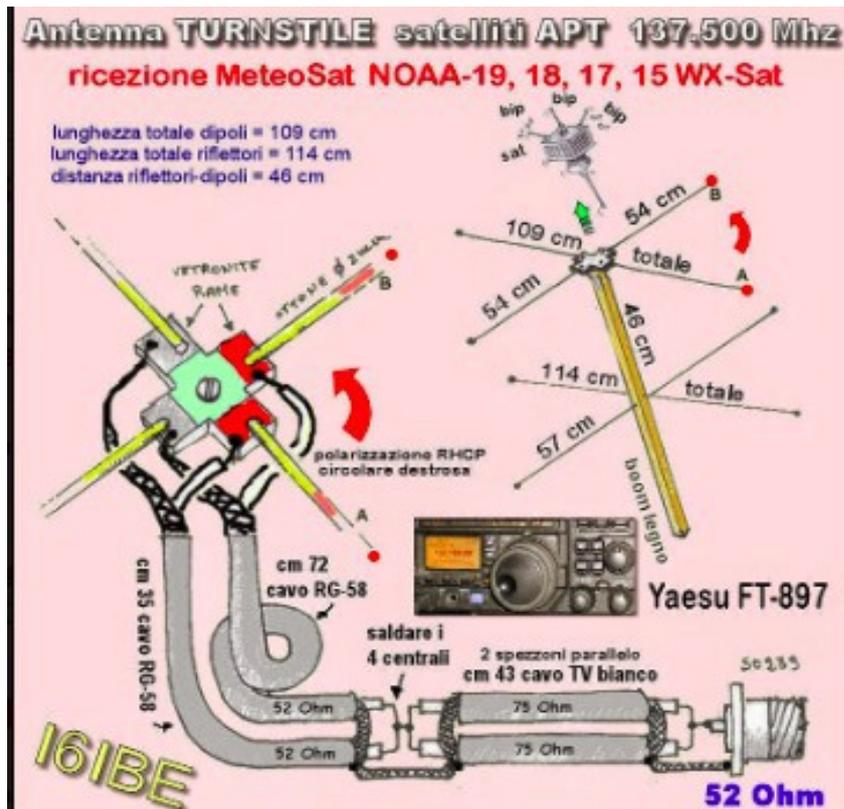
$$\text{lunghezza spezzone } 1/4\lambda: \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{141,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}} / 4 * V_f = 2,12 / 4 * 0,66 = 0,35 \text{ m} = 35 \text{ cm}$$

$$\text{lunghezza spezzone } 1/2\lambda: \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{141,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}} / 2 * V_f = 2,12 / 2 * 0,66 = 0,70 \text{ m} = 70 \text{ cm}$$

Lo spezzone da $1/4\lambda$ dovrà essere collegato ai due bracci di un dipolo, un braccio al conduttore centrale e l'altro braccio alla calza.

Lo spezzone da $1/2\lambda$ dovrà essere collegato allo stesso modo ma al secondo dipolo.

IMPORTANTE: per ottenere un'antenna con polarizzazione destrorsa (o RHCP) è necessario disporre i dipoli come mostrato in figura.



Adattatore di impedenza

Ora i due dipoli riceveranno correttamente il segnale inviato dal satellite ma l'impedenza dell'antenna risulta ancora di 75 Ohm, valore inadatto per il ricevitore. Per trasformare l'impedenza dell'antenna è necessario preparare un trasformatore di impedenza. La teoria che sta dietro la progettazione di questo componente esula dagli obiettivi di questo articolo pertanto, si rimanda il lettore ad approfondire l'argomento su testi specifici.

Tralasciando la teoria, fortunatamente questo trasformatore è di facile costruzione, basta infatti collegare in parallelo tra loro due spezzoni di cavo coassiale da 75 Ohm (cavo TV) lunghi entrambi $1/4\lambda$.

Considerando il diverso fattore di velocità dovremo preparare due spezzoni lunghi 42 cm.

$$\frac{3 * 10^8 \text{ m/s}}{141,5 * 10^6 \text{ Hz}} / 4 * Vf = 2,12/4 * 0,80 = 0,42\text{m} = 42\text{cm}$$

Il trasformatore così creato andrà posto immediatamente dopo l'antenna. Racchiudendo il tutto in un apposito contenitore, si sarà completata la costruzione dell'antenna che ora avrà un'impedenza vicina ai 52 Ohm richiesti dal ricevitore.

Per costruire l'antenna sarà necessario procurarsi il seguente materiale:

• **4 tubi di alluminio (o rame) di lunghezza opportuna e 6mm di diametro:**

va bene qualsiasi materiale conduttore che sia un tubo, un tondino pieno o un cavo di un certo spessore. Si consiglia di non utilizzare il ferro poiché ha una scarsa conduzione elettrica.

Un tubo di 6mm di diametro è un ottimo compromesso tra leggerezza e robustezza.

Utilizzare conduttori più lunghi del necessario, verranno tagliati a misura soltanto dopo aver controllato i calcoli più volte! Rivedere la sezione "progettazione" per essere sicuri.

Per velocizzare la lavorazione è possibile utilizzare delle barre filettate di acciaio inox o zincato poiché danno la possibilità di effettuare i collegamenti elettrici con gli appositi "dadi". Questa soluzione però, anche se molto comoda, presenta diversi problemi quali la suscettibilità alla corrosione/ossidazione nel lungo periodo. Pertanto la sconsiglio.

• **Asta di supporto:**

va bene sia di legno che di metallo. Costituirà il supporto dell'antenna e ne permetterà il fissaggio. Se si sceglie un supporto metallico questo dovrà essere elettricamente isolato dagli elementi dell'antenna.

• **Cavo coassiale da 50 Ohm:**

da acquistare in negozi specializzati o su internet. La lunghezza del cavo dipende da dove si posizionerà l'antenna. In generale però è da tenere a mente che maggiore è la distanza tra antenna e ricevitore, maggiori saranno le perdite di segnale. Il cavo di discesa quindi, si dovrà tagliare e giuntare (o acquistare già pronto) soltanto dopo aver deciso la posizione definitiva dell'antenna.

Per applicazioni "mobili" consiglio di procurarsi un cavo non più lungo di 5 metri, ottimo compromesso tra versatilità e attenuazione del segnale.

• **Cavo coassiale da 75 Ohm:**

il normale cavo bianco dell'antenna TV, ne servirà meno di 1 metro.

• **Connettore SMA da pannello femmina:**

da utilizzare per l'antenna, ne faciliterà il collegamento

• **Connettore SMA maschio:**

da utilizzare ai capi del coassiale di collegamento servirà per facilitare la connessione tra antenna e ricevitore

• **Scatola di derivazione:**

costituisce il supporto per i bracci dei dipoli e proteggerà i collegamenti elettrici dalle intemperie. In alternativa si può usare un qualunque contenitore stagno purché di materiale isolante. In alternativa, dopo essersi assicurati del corretto funzionamento dell'antenna, è possibile "affogare" tutti i collegamenti elettrici in abbondante silicone o resina. In questo modo l'antenna sarà completamente sigillata ma non sarà più possibile intervenire sui collegamenti.

• **Capicorda:**

non estremamente necessari ma consigliatissimi per effettuare un lavoro di qualità

• **Materiale accessorio:**

oltre al materiale in elenco sarà necessario disporre di comune attrezzatura da laboratorio come un saldatore a stagno, viti e cacciaviti, trapano, crimpatrice, lima e guaine termorestringenti ...

Costo del progetto

Ricevitore SDR: 15 €

Tubi di alluminio D6mm L2m: $2 \times 6€ = 12€$

20 metri cavo coassiale 50 Ohm: 20 € (1 €/m)

cavo coassiale 75 Ohm: recuperato da un vecchio cavo antenna (pochi euro)

connettore SMA femmina: 3.50€

connettore SMA maschio: $2 \times 1.80 € = 3.60€$

scatola di derivazione: 5€

La maggior parte dei ricevitori SDR, compreso quello utilizzato in questo progetto, hanno un connettore per l'antenna di tipo SMA.

In commercio è possibile trovare cavi coassiali da 50 Ohm di varie lunghezze comprensivi di connettori di vario genere, inclusi i connettori SMA.

Il dettaglio dei materiali per il calcolo del costo, e solo una stima effettuata cercando i vari componenti online, i vari prezzi sono sovrastimati. È possibile infatti reperire il materiale occorrente anche a prezzi inferiori in negozi specializzati in telecomunicazione, elettronica o ferramenta. Detto questo, la spesa totale per la costruzione dell'antenna e l'acquisto del ricevitore resta **inferiore ai 60€**

Riccardo IU1PZJ