

# Capitolo4

89

[ninux.org](http://ninux.org)

# Contents

<b><u>1 Antenne &amp; Linee di Trasmissione.....</u></b>	<b><u>1/34</u></b>
<u>1.1 Cavi.....</u>	<u>1/34</u>
<u>1.2 Guide di onde.....</u>	<u>2/34</u>
<u>1.3 Connettori e adattatori.....</u>	<u>4/34</u>
<u>1.3.1 Scelta del connettore adeguato.....</u>	<u>5/34</u>
<u>1.4 Antenne &amp; diagrammi di radiazione.....</u>	<u>6/34</u>
<u>1.4.1 Glossario dei termini dell'antenna.....</u>	<u>6/34</u>
<u>1.4.2 Tipi di Antenne.....</u>	<u>12/34</u>
<u>1.5 Teoria del riflettore.....</u>	<u>16/34</u>
<u>1.6 Amplificatori.....</u>	<u>16/34</u>
<u>1.7 Pratici progetti di antenna.....</u>	<u>17/34</u>
<u>1.7.1 USB dongle come alimentazione del disco.....</u>	<u>18/34</u>
<u>1.7.2 Antenna collineare omnidirezionale.....</u>	<u>18/34</u>
<u>1.7.3 Antenna a barattolo.....</u>	<u>27/34</u>
<u>1.7.4 L'antenna a barattolo come alimentazione del disco.....</u>	<u>33/34</u>
<u>1.7.5 NEC2.....</u>	<u>34/34</u>

# 1 Antenne & Linee di Trasmissione

Il trasmettitore che genera l'alimentazione RF per guidare l'antenna è situato solitamente ad una certa distanza dai terminali dell'antenna. Il link di collegamento fra i due è la **linea di trasmissione RF**. Il suo scopo è di trasportare l'alimentazione RF da un posto ad un altro e fare ciò il più efficientemente possibile. Dal lato ricevente, l'antenna è responsabile della selezione di ogni segnale radiofonico nell'aria e del loro passaggio alla ricevente con la minima quantità di distorsione, in modo che l'apparato radio abbia la migliore possibilità di decodificare il segnale. Per questi motivi, il cavo RF ha un ruolo molto importante nei sistemi radiofonici: deve effettuare l'integrità dei segnali in entrambi i sensi.

Ci sono due categorie principali di linee della trasmissione: cavi e guide di onde. Entrambi i tipi funzionano bene per trasportare efficientemente l'alimentazione RF a 2.4GHz.

## 1.1 Cavi

I cavi RF sono, per le frequenze più alte dell'HF, quasi esclusivamente cavi coassiali (o più brevemente **coax**, derivato dalle parole "of common axis"). I cavi coassiali hanno un nucleo centrale **conduttore** circondato da un materiale non conduttivo denominato **dielettrico** o semplicemente **isolamento**. Il dielettrico a sua volta è circondato completamente da una protezione che è fatta spesso di fili intrecciati. Il dielettrico impedisce il collegamento elettrico fra il nucleo e la protezione. Per concludere, il coassiale è protetto da una copertura esterna che è fatta generalmente da un materiale PVC. Il conduttore interno trasporta il segnale RF e lo schermo esterno protegge il segnale RF dalle radiazioni dell'atmosfera ed inoltre impedisce ai segnali esterni di interferire con il segnale trasportato dal nucleo. Un altro fatto interessante è che il segnale elettrico viaggia sempre lungo lo strato esterno del conduttore centrale: più grande è il conduttore centrale, meglio sarà il segnale che fluirà. Ciò è denominata "Effetto pelle".

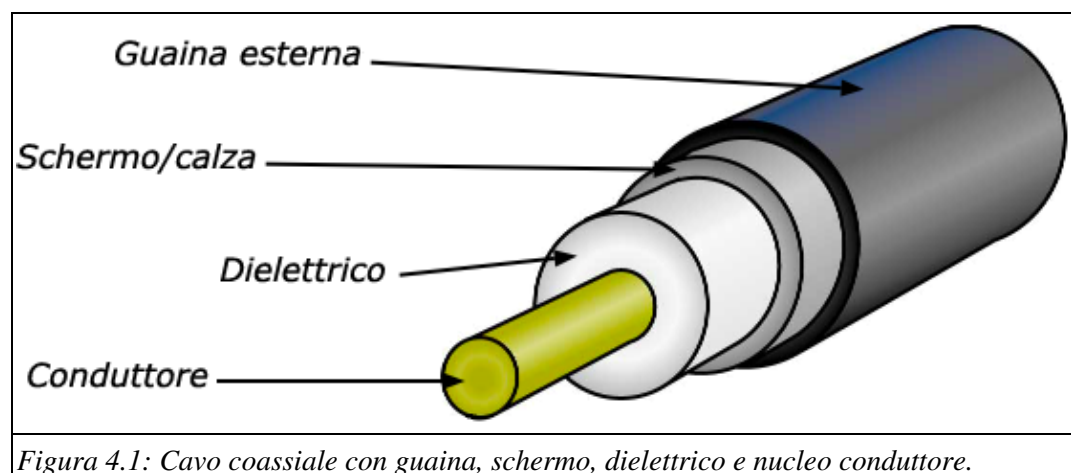


Figura 4.1: Cavo coassiale con guaina, schermo, dielettrico e nucleo conduttore.

Anche se la costruzione coassiale è buona a mantenere il segnale sul filo del nucleo, c'è una certa resistenza al flusso elettrico: quindi mentre il segnale viaggia attraverso il nucleo, esso diminuirà. Questa diminuzione è conosciuta come **attenuazione** e per le linee di trasmissione è misurato in decibels al metro (**dB/m**). Il tasso di attenuazione è funzione della frequenza del segnale e della costruzione fisica del cavo stesso. A mano a mano che la frequenza del segnale aumenta, aumenta anche la relativa attenuazione. Ovviamente, occorre minimizzare l'attenuazione del cavo il più possibile mantenendo il cavo molto corto ed usando cavi di alta qualità.

Qui ci sono alcuni punti da considerare quando si sceglie un cavo da usare con i dispositivi a microonde:

1. "Più corto è meglio è!" La prima regola quando installate una parte di cavo è di provare a renderlo il più corto possibile. La perdita di potenza non è lineare, così raddoppiare la lunghezza del cavo significa perdere molto più del doppio la potenza. Nello stesso modo, ridurre la lunghezza del cavo

della metà significa raddoppiare la potenza all'antenna. La soluzione migliore è disporre il trasmettitore il più vicino possibile all'antenna, anche quando questo significa posizionarlo su una torre.

2. "Più è economico più è peggiore!" La seconda regola d'oro è che qualunque cifra investiate per acquistare un cavo **di buona qualità** è un affare. I cavi economici sono adatti per essere usati alle frequenze basse, come il VHF. Le microonde richiedono cavi della più alta qualità disponibile. Tutte le altre opzioni sono solo fatica sprecata.
3. Evitare sempre RG-58. E' adatto alle reti thin Ethernet , radiofrequenze CB o VHF, ma non per microonde.
4. Evitare sempre RG-213. E' adatto alle radiofrequenze CB e HF. In questo caso il diametro del cavo non corrisponde ad un'alta qualità, o ad un basso livello di attenuazione.
5. Per quanto possibile, usare i cavi **Heli**ax (anche chiamato "foam") per il collegamento del trasmettitore all'antenna. Quando Heli
- ax non è disponibile, usate il miglior cavo LMR che possiate trovare. I cavi Heli
- ax hanno un conduttore centrale solido o tubolare con un conduttore esterno solido ondulato per permettere loro di flettere. Heli
- ax può essere costruito in due modi, usando l'aria o la gomma piuma come dielettrico. L'heli
- ax con aria come dielettrico è più costoso e garantisce la perdita minima, ma è molto difficile da maneggiare. L'heli
- ax con dielettrico in gomma piuma è di qualità minore, ma è meno costoso e di più facile ad installazione. Una procedura speciale è richiesta quando si saldano i connettori per mantenere il dielettrico in gomma piuma asciutto e intatto. LMR è una marca di cavo coassiale disponibile in vari diametri che funziona bene alle frequenze delle microonde. LMR-400 e LMR-600 sono un'alternativa ad Heli
- ax comunemente usata.
6. Per quanto possibile, usare i cavi che pre-crimped e testati in un laboratorio adeguato. L'installazione dei connettori ai cavi è un problema complesso ed è difficile da fare correttamente anche con gli attrezzi adeguati. A meno che non possiate disporre di un'apparecchiatura che possa verificare un cavo fatto da voi stessi (come un analizzatore di spettro e un generatore di segnale, o un time domain reflectometer), fare un'analisi dei guasti di una rete che usa tale cavo può essere difficile.
7. Non abusare della vostra linea della trasmissione. Mai calpestare un cavo, piegarlo troppo, o provare a disconnettere un connettore tirando direttamente il cavo. Tutti questi comportamenti possono cambiare la caratteristica meccanica del cavo e quindi la sua impedenza, possono accorciare il conduttore interno allo schermo, o persino interrompere la linea. Questi problemi sono difficili da trovare e riconoscere e possono condurre ad un comportamento imprevedibile del collegamento radiofonico.

## 1.2 Guide di onde

Essendo superiore a 2 gigahertz, la lunghezza d'onda è abbastanza corta da permettere un trasferimento di energia pratico ed efficiente attraverso mezzi differenti. Una guida di onde è un condotto tramite cui l'energia è trasmessa sotto forma di onde elettromagnetiche. Il condotto funge da contorno che limita le onde nello spazio incluso. L'effetto pelle impedisce a tutti gli effetti elettromagnetici di uscire fuori della guida. I campi elettromagnetici sono propagati tramite la guida di onde per mezzo di riflessioni contro le sue pareti interne, che sono considerate conduttori perfetti. L'intensità dei campi è più grande al centro lungo la dimensione X e deve diminuire a zero sulle pareti perché l'esistenza di ogni campo parallelo alle pareti della superficie entrando nel conduttore perfetto causerebbe una corrente infinita. Le guide di onde, naturalmente, non possono trasportare RF in questa situazione.

Le dimensioni X, Y e Z di una guida di onde rettangolare possono essere viste nella seguente figura:

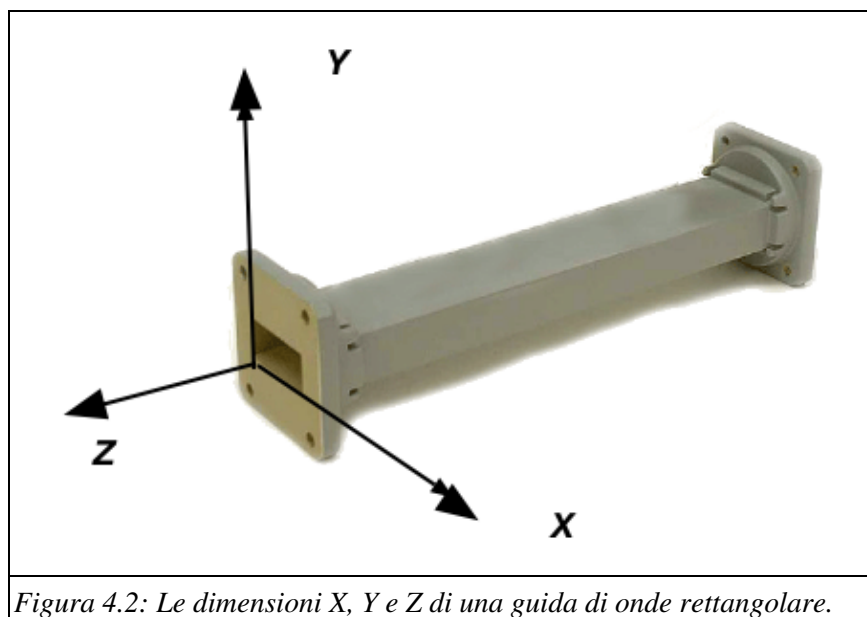


Figura 4.2: Le dimensioni  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  di una guida di onde rettangolare.

C'è un numero infinito di maniere in cui i campi elettrici e magnetici possono organizzarsi in una guida di onde per frequenze sopra la frequenza di taglio basso. Ciascuna di queste configurazioni del campo è denominata **modo**. I modi possono essere separati in due gruppi generali. Un gruppo, indicato **TM** (Transverse Magnetic), ha il campo magnetico interamente trasversale al verso della propagazione, ma ha una componente del campo elettrico nel verso della propagazione. L'altro tipo, indicato **TE** (Transverse Electric) ha il campo elettrico interamente trasversale, ma ha una componente del campo magnetico nel verso della propagazione.

Il modo di propagazione è identificato dalle lettere del gruppo seguite da due numeri. Per esempio, TE<sub>10</sub>, TM<sub>11</sub>, ecc. Il numero di modi possibili aumenta con la frequenza per un data grandezza della guida e vi è soltanto un possibile modo, denominato il **modo dominante**, associato alla frequenza più bassa che possa essere trasmessa. In una guida rettangolare, la dimensione critica è  $X$ . Questa dimensione deve essere più grande di  $0.5\lambda$  alla frequenza più bassa da trasmettere. In pratica, la dimensione di  $Y$  solitamente è resa circa uguale a  $0.5X$  per evitare la possibilità di operare in modi diversi da quelli del modo dominante. Possono essere usate forme a sezione trasversale in alternativa al rettangolo, e la forma più importante è il tubo circolare. Le stesse considerazioni si applicano come nel caso rettangolare. Le dimensioni di lunghezza d'onda per le guide rettangolari e circolari sono date nella seguente tabella, in cui  $X$  è la larghezza di una guida rettangolare ed  $r$  è il raggio di una guida circolare. Tutte le figure si applicano al modo dominante.

Tipo di guida	Rettangolare	Circolare
Taglio della lunghezza d'onda	$2X$	$3.41r$
La più lunga lunghezza d'onda trasmessa con poca attenuazione	$1.6X$	$3.2r$
La più corta lunghezza d'onda prima che il modo seguente divenga possibile	$1.1X$	$2.8r$

L'energia può essere introdotta o essere estratta da una guida di onde per mezzo di un campo elettrico o magnetico. Il trasferimento di energia tipicamente accade attraverso una linea coassiale. Due metodi possibili per l'accoppiamento ad una linea coassiale consistono nell'usare il conduttore interno della linea coassiale, o attraverso una spira. Una sonda che è semplicemente una piccola estensione del conduttore interno della linea coassiale può essere orientata in modo che sia parallela alle linee elettriche di forza. Una spira può essere organizzata in modo che includa alcune delle linee magnetiche di forza. Il punto in cui l'accoppiamento massimo è ottenuto dipende dal modo della propagazione nella guida o nella cavità. L'accoppiamento è massimo quando il dispositivo dell'accoppiamento è nel campo più intenso.

Se una guida di onde è lasciata aperta ad un'estremità, irradierà l'energia (cioè può essere usata come antenna piuttosto che come linea della trasmissione). Questa radiazione può essere aumentata svasando la guida di onde per formare un'antenna a tromba piramidale. Vedremo un esempio di una pratica antenna da una guida di

onde per [WiFi](#) più avanti in questo capitolo.

Tipo di Cavo	Nucleo	Dielettrico	Schermo	Guaina
RG-58	0.9 mm	2.95 mm	3.8 mm	4.95 mm
RG-213	2.26 mm	7.24 mm	8.64 mm	10.29 mm
LMR-400	2.74 mm	7.24 mm	8.13 mm	10.29 mm
3/8" LDF	3.1 mm	8.12 mm	9.7 mm	11 mm

Questa è una tabella contenente varie grandezze di comuni linee di trasmissione. Scegliete il cavo migliore che possiate permettervi con la più bassa attenuazione possibile alla frequenza che intendete usare per il vostro collegamento wireless.

## 1.3 Connettori e adattatori

I connettori permettono di connettere un cavo ad un altro cavo o a un componente della catena RF. Vi è una grande varietà di adattatori e connettori progettati per i vari formati e tipi di linee coassiali. Ne descriveremo alcuni più dei popolari.

I **connettori BNC** furono progettati verso la fine degli anni 40. BNC significa Bayonet Neill Concelman dal nome degli uomini che lo inventarono: Paul Neill and Carl Concelman. La serie di prodotti BNC comprende un connettore miniaturizzato di connessione/sconnessione veloce. E' caratterizzato da due alette a baionetta sul connettore femmina, e si blocca con soltanto un quarto di giro del dado di aggancio. I BNC sono idealmente adatti per terminazioni di cavi miniature e subminiature di cavi coassiali (da RG-58 a RG-179, RG-316, ecc.). Hanno prestazioni accettabili fino a pochi gigahertz. Sono trovati più comunemente sulle attrezzature di prova e sui cavi coassiali Ethernet 10base2.

Anche i **connettori TNC** sono stati inventati da Neill e da Concelman ed sono una variazione filettata del BNC. A causa della migliore interconnessione fornita dal connettore filettato, i connettori TNC funzionano bene con circa 12GHz. I TNC significa Threaded Neill Concelman.

Il **tipo N** (ancora di Neill, anche se a volte attribuito a "Navy") originalmente è stato sviluppato durante la seconda guerra mondiale. Arrivano fino a 18 gigahertz e sono comunemente molto usati per applicazioni con microonde. Sono disponibili per quasi tutti i tipi di cavi. Sia i giunti della spina/cavo che della spina/presa sono impermeabili, fornendo una morsa per filo elettrico efficace.

**SMA** è un acronimo per [SubMiniature](#) versione A ed è stato sviluppato negli anni 60. I connettori SMA hanno precisione, unità di miniatura che forniscono prestazioni elettriche eccellenti fino a 18 gigahertz. Questi connettori ad alto rendimento sono compatti nel formato e meccanicamente hanno durata eccezionale.

**SMB** deriva da [SubMiniature](#) B ed è il secondo disegno di subminiature. SMB è una versione più piccola dello SMA con l'aggancio a scatto. Fornisce la possibilità a banda larga attraverso 4 gigahertz con un connettore progettato a scatto.

I connettori **MCX** sono stati introdotti negli anni 80. Sebbene MCX abbia contatti ed isolanti di dimensioni interne identiche dell'SMB, il diametro esterno della spina è il 30% più piccolo dell'SMB. Questa serie fornisce ai progettisti opzioni con peso e spazio fisico limitati. MCX fornisce la possibilità a banda larga sebbene solo a 6 gigahertz con un connettore progettato a scatto.

Oltre che questi connettori standard, la maggior parte dei dispositivi [WiFi](#) usano una varietà di connettori proprietari. Spesso, questi sono semplicemente connettori standard a microonde con le parti centrali invertite, o con la filettatura tagliata in senso opposto. Queste parti sono integrate spesso in un sistema a microonda usando un ponticello corto denominato **ponticello flessibile** che converte il connettore non standard in

qualcosa di più robusto e facilmente disponibile. Alcuni di questi connettori includono:

**RP-TNC.** Questo è un connettore TNC con i terminali maschio/femmina invertiti. Questi sono comunemente usati sull'apparecchiatura Linksys, come il WRT54G.

**U.FL** (anche conosciuto come **MHF**). L'U.FL è un connettore brevettato fatto da Hirose, mentre il l'MHF è un connettore meccanicamente equivalente. Questo è attualmente il più piccolo connettore a microonde maggiormente usato. U.FL/MHF è usato tipicamente per collegare una scheda radiofonica mini-PCI ad un'antenna o ad un connettore più grande (come N o TNC).

La serie **MMCX**, anche chiamata [MicroMate](#), è una tra le più piccole linee di connettori RF ed è stata sviluppata negli anni 90. MMCX è una serie di connettori micro-miniaturizzata con un meccanismo di sicurezza a scatto permettendo la flessibilità di una rotazione di 360 gradi. I connettori MMCX sono comunemente usati sulle schede radiofoniche di PCMCIA, come quelli prodotte da Senao e da Cisco.

I connettori **MC-Card** sono ancora più piccoli e più fragili degli MMCX. Hanno un connettore esterno spaccato che si rompe facilmente dopo appena alcuni collegamenti. Questi sono comunemente usati sull'apparecchiatura di Lucent/Orinoco/Avaya.

Gli adattatori, che sono anche denominati adattatori coassiali, sono connettori corti, a due vie utilizzati per unire due cavi o componenti che non possono essere collegati direttamente. Gli adattatori possono essere utilizzati per collegare dispositivi o cavi di differenti tipi. Per esempio, un adattatore può essere utilizzato per collegare un connettore SMA ad uno BNC. Gli adattatori possono anche essere utilizzati per collegare connettori dello stesso tipo, ma che non possono essere uniti direttamente a causa del loro delle differenti terminazioni maschio/femmina. Per esempio un adattatore molto utile è quello che permette di unire due tipi di connettori N, con terminazione femminile da entrambi i lati.



Figura 4.3: Un adattatore avvolgifilo femminile di tipo N.

### 1.3.1 Scelta del connettore adeguato

1. "La questione del genere." Virtualmente tutti i connettori hanno un genere ben definito consistente di un perno (l'estremità "maschio,") o di uno zoccolo (l'estremità "femminile,."). I cavi hanno solitamente connettori maschili su entrambe le estremità, mentre i dispositivi RF (cioè trasmettitori ed antenne) hanno connettori femminili. I dispositivi come gli accoppiatori direzionali e i dispositivi di misurazione line-through possono avere sia connettori maschili che femminili. Occorre essere sicuri che ad ogni connettore maschile nel vostro sistema corrisponda un connettore femminile.
2. "Minimizzare è la cosa migliore!" Provare a minimizzare il numero di connettori e di adattatori nella catena RF. Ogni connettore introduce una certa perdita supplementare (fino agli alcuni dB per ogni collegamento, secondo il connettore!)
3. "Comprare, non costruire!" Come accennato precedentemente, voi avete bisogno per quanto possibile di cavi comprati che sono già completi di connettori. La saldatura dei connettori non è un'operazione facile e fare questo lavoro correttamente è quasi impossibile per i piccoli connettori come U.FL e MMCX. Neppure terminare i cavi "Foam" è un'operazione facile.

4. Non usare BNC per 2.4GHz o più. Usare il tipo di connettori N (o SMA, SMB, TNC, ecc.)
5. I connettori a microonde hanno parti fatte con alta precisione e possono essere danneggiati facilmente se maltrattati. Come regola generale, dovrete ruotare il manicotto esterno per stringere il connettore, lasciando il resto del connettore (e del cavo) stazionario. Se altre parti del connettore sono torte mentre si stringono o si allentano, si possono verificare facilmente dei danni.
6. Non calpestare mai i connettori, o abbandonare i connettori sul pavimento quando si staccano i cavi (questo accade più spesso di quello che potete immaginare, particolarmente quando si lavora al supporto di un'antenna sopra un tetto).
7. Non utilizzare mai attrezzi come pinze per stringere i connettori. Utilizzare sempre le vostre mani. Nel funzionare all'esterno, ricordarsi che i metalli si espandono alle temperature elevate e che si riducono alle temperature basse: un connettore molto stretto in estate può saldarsi o persino rompersi in inverno.

## 1.4 Antenne & diagrammi di radiazione

Le antenne sono un componente molto importante nei sistemi di comunicazione. Per definizione, un'antenna è un dispositivo utilizzato per trasformare un segnale RF che viaggia su un conduttore in un'onda elettromagnetica nello spazio libero. Le antenne dimostrano una proprietà conosciuta come *reciprocità*, che significa che un'antenna manterrà le stesse caratteristiche sia se si stia trasmettendo che ricevendo. La maggior parte delle antenne sono dispositivi risonanti, e funzionano efficientemente sopra una fascia di frequenza relativamente stretta. Un'antenna deve essere sintonizzata alla stessa fascia di frequenza del sistema radiofonico a cui è collegata, altrimenti la ricezione e la trasmissione saranno alterate. Quando un segnale si inserisce in un'antenna, l'antenna emette una radiazione distribuita nello spazio in una determinata direzione. Una rappresentazione grafica della relativa distribuzione della potenza irradiata nello spazio è denominata *diagramma di radiazione*.

### 1.4.1 Glossario dei termini dell'antenna

Prima di parlare di specifiche antenne, ci sono alcuni comuni termini che devono essere definiti e spiegati:

#### 1.4.1.1 Impedenza dell'input

Per un trasferimento efficiente di energia, l'*impedenza* della radio, dell'antenna ed del cavo della trasmissione che li collega deve essere la stessa. I ricetrasmittitori e le loro linee di trasmissione sono progettati tipicamente per l'impedenza di 50  $\Omega$ . Se l'antenna ha un'impedenza differente da 50  $\Omega$ , allora vi è un disadattamento ed è richiesto un circuito di adattamento di impedenza. Quando qualcuno di questi componenti sono sottoposti a disadattamento, l'efficienza della trasmissione diminuisce.

#### 1.4.1.2 Attenuazione di adattamento

*Attenuazione di adattamento* è un altro modo di esprimere il disadattamento. È un rapporto logaritmico misurato in dB che confronta la potenza riflessa dall'antenna con quella che è inserita nell'antenna dalla linea della trasmissione. La relazione fra SWR e attenuazione di adattamento è la seguente:

$\text{Attenuazione di adattamento (in dB)} = 20 \log_{10} \frac{\text{SWR} + 1}{\text{SWR} - 1}$
---

- Mentre una certa quantità di energia sarà sempre riflessa indietro nel sistema, un'alta attenuazione di adattamento renderà inaccettabili le prestazioni dell'antenna.



### 1.4.1.3 Larghezza di banda

La **larghezza di banda** di un'antenna si riferisce all'intervallo di frequenze sopra le quali l'antenna può funzionare correttamente. La larghezza di banda dell'antenna è il numero di hertz per cui l'antenna esibirà uno SWR minore di 2:1.

La larghezza di banda può anche essere descritta in termini di percentuale della frequenza centrale della banda.

$$\text{Larghezza di banda} = 100 \times \frac{F_H - F_L}{F_C}$$

...dove  $F_H$  è la più alta frequenza della banda,  $F_L$  è la frequenza più bassa della banda e  $F_C$  è la frequenza centrale nella banda.

In questo modo, la larghezza di banda è costante relativamente alla frequenza. Se la larghezza di banda fosse espressa in unità assolute di frequenza, essa sarebbe differente a secondo della frequenza centrale. Differenti tipi di antenne hanno differenti limitazioni di larghezza di banda.

### 1.4.1.4 Direttività e guadagno

La **direttività** è la capacità di un'antenna di focalizzare l'energia in una particolare direzione quando trasmette, o di ricevere l'energia proveniente da una direzione particolare. Se un collegamento wireless usa posizioni fisse in entrambi i finali, è possibile usare la direttività dell'antenna per concentrare il fascio di radiazione nella direzione desiderata. In un'applicazione mobile dove il ricetrasmittitore non è fisso, può essere impossibile da prevedere dove il ricetrasmittitore sarà e così l'antenna dovrebbe irradiarsi idealmente nel miglior modo possibile in tutte le direzioni. Un'antenna omnidirezionale è utilizzata in queste applicazioni.

Il **guadagno** non è una quantità che possa essere definita in termini di quantità fisica come il watt o l'Ohm, ma è un rapporto senza dimensioni. Il guadagno è dato nel riferimento ad un'antenna standard. Le due antenne di riferimento più comuni sono l'**antenna isotropica** e l'**antenna risonante a dipolo**. L'antenna isotropica si irradia ugualmente bene in tutte le direzioni. Antenne isotropiche reali non esistono, ma forniscono modelli teorici utili e semplici con cui confrontare antenne reali. Ogni antenna reale irradierà più energia in alcune direzioni che in altre. Poiché le antenne non possono generare energia, la potenza totale irradiata è la stessa di un'antenna isotropica. Qualsiasi energia supplementare irradiata nella direzione favorita è compensata da uguale meno energia irradiata in tutte le altre direzioni.

Il guadagno di un'antenna in una data direzione è la quantità di energia irradiata in quella direzione confrontata con l'energia che un'antenna isotropica irradierebbe nella stessa direzione una volta portata alla stessa potenza di input. Siamo solitamente soltanto interessati al guadagno massimo, che è il guadagno nella direzione in cui l'antenna sta irradiando la maggior parte della potenza. Un guadagno dell'antenna di 3dB confrontato con un'antenna isotropica sarebbe scritto come **3dBi**. L'antenna risonante a dipolo può essere un utile standard per il confronto con altre antenne ad una frequenza o sopra una banda molto stretta di frequenze. Confrontare il dipolo con un'antenna sopra un intervallo di frequenze richiede un certo numero di dipoli di lunghezze differenti. Un guadagno dell'antenna di 3dB confrontato con un'antenna a dipolo sarebbe scritto come **3dBd**.

Il metodo di misurazione del guadagno confrontando l'antenna sotto test con un'antenna standard conosciuta, che ha un guadagno calibrato, è conosciuto tecnicamente come tecnica del **trasferimento di guadagno**. Un altro metodo per la misurazione del guadagno è il metodo delle 3 antenne, dove la potenza trasmessa e ricevuta ai terminali dell'antenna è misurata fra tre antenne arbitrarie ad una distanza fissa conosciuta.

### 1.4.1.5 Diagramma di radiazione

Il *diagramma di radiazione* o *diagramma dell'antenna* descrive la intensità relativa del campo irradiato nelle varie direzioni dall'antenna, ad una distanza costante. Il diagramma di radiazione è anche un diagramma di ricezione, poiché descrive inoltre le proprietà di ricezione dell'antenna. Il diagramma di radiazione è tridimensionale, ma solitamente i diagramma di radiazione misurati sono una fetta bidimensionale del diagramma tridimensionale, nei piani orizzontali o verticali. Queste misure del diagramma sono presentate in un formato *rettangolare* o *polare*. La seguente figura mostra una rappresentazione rettangolare del grafico di una tipica antenna Yagi a dieci elementi . Il dettaglio non è affidabile perché è difficile prevedere il comportamento dell'antenna nelle differenti direzioni.

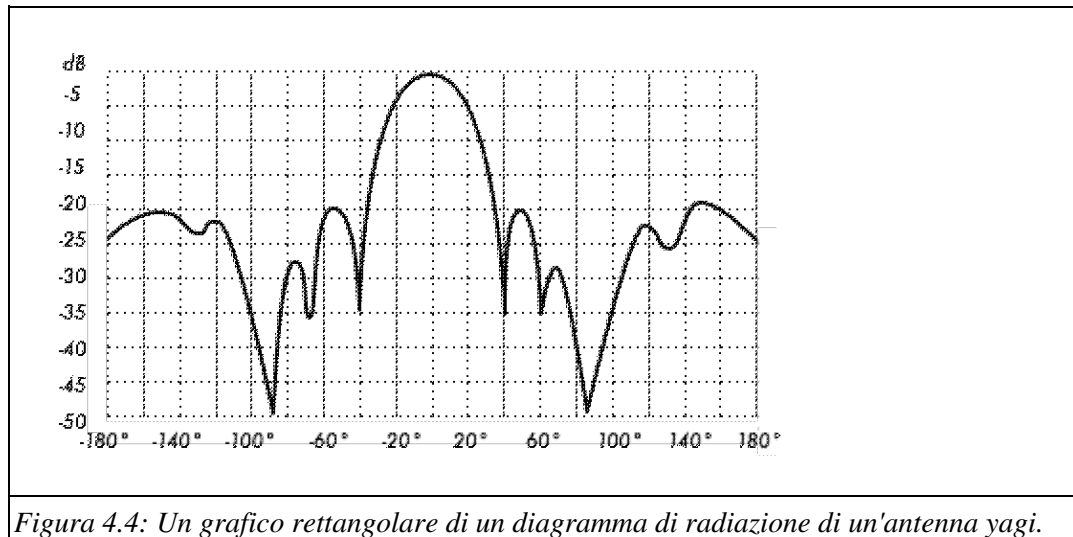
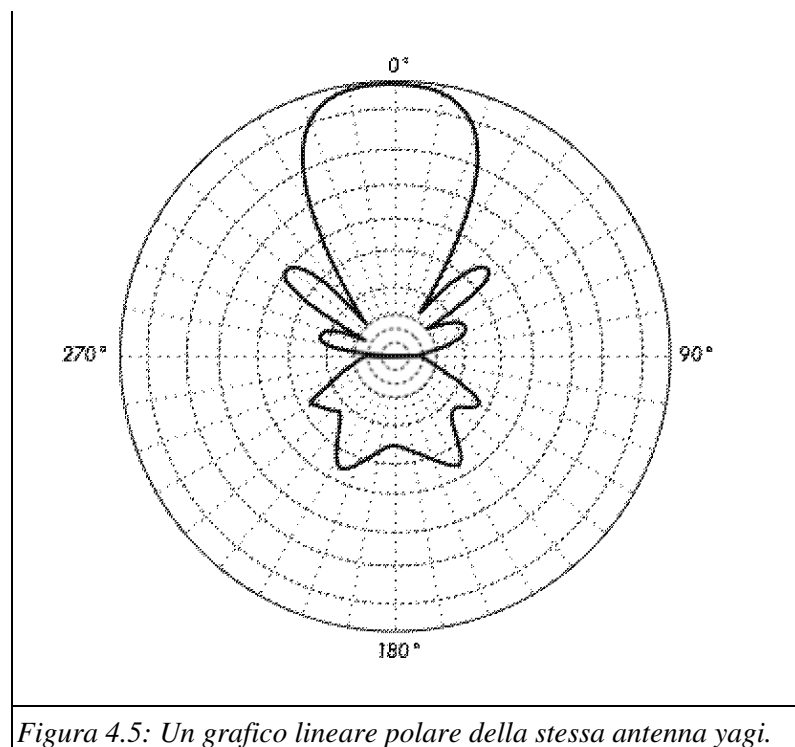


Figura 4.4: Un grafico rettangolare di un diagramma di radiazione di un'antenna yagi.

I sistemi a coordinate polari sono usati quasi universalmente. Nel grafico a coordinate polari, i punti sono localizzati tramite proiezione lungo un asse di rotazione (raggio) ad un'intersezione con uno di parecchi cerchi concentrici. Ciò che segue è un diagramma polare della stessa antenna di Yagi a 10 elementi.

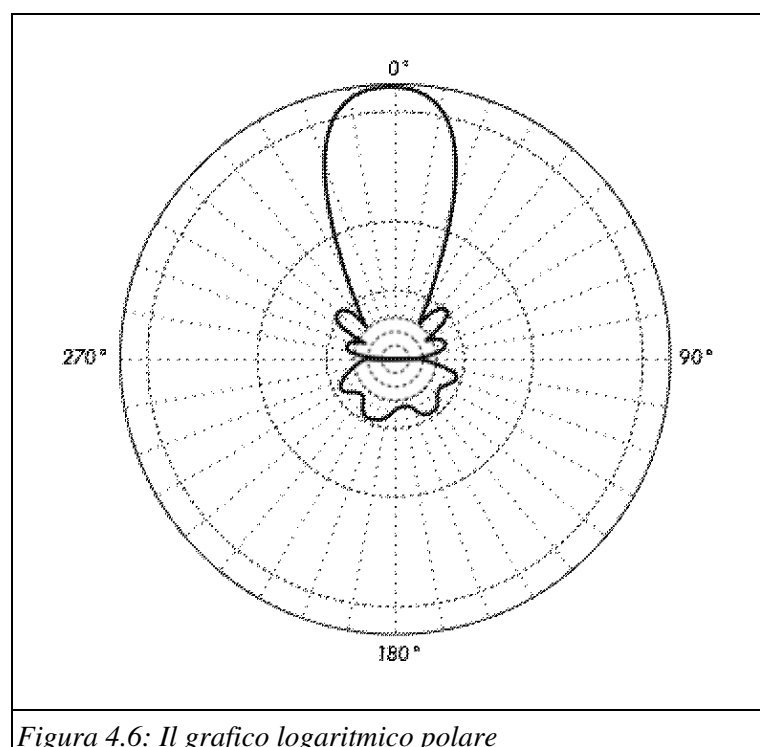
I sistemi a coordinate polari possono essere divisi generalmente in due classi: *lineare* e *logaritmico*. Nel sistema a coordinate lineari, i cerchi concentrici sono equidistanti e sono graduati. Una tale griglia può essere usata per preparare un grafico lineare della potenza contenuta nel segnale. Per facilità di confronto, i cerchi concentrici equidistanti possono essere sostituiti con cerchi disposti propriamente che rappresentano la risposta in decibel, corrispondente a 0 dB sul bordo esterno del grafico. In questo genere di grafici i lobi minori sono soppressi. I lobi con picchi di più di 15 dB o sotto il lobo principale spariscono a causa del loro piccola dimensione. Questa griglia aumenta i grafici in cui l'antenna ha un alta direttività e piccoli lobi minori. La tensione del segnale, piuttosto che la potenza, può anche essere tracciata su un sistema a coordinate lineare. In questo caso, anche, la direttività è aumentata ed i lobi minori sono soppressi, ma non nello stessa quantità come nella griglia di potenza lineare.



Nel sistema a coordinate polari logaritmiche le linee di griglia concentriche sono spaziate periodicamente secondo il logaritmo della tensione del segnale. I valori differenti possono essere usati per la costante logaritmica della periodicità e questa scelta avrà un effetto sull'apparenza dei diagrammi tracciati.

Generalmente è usato il riferimento di 0 dB per il bordo esterno del grafico. Con questo tipo di griglia, i lobi che sono 30 o 40 dB sotto il lobo principale sono ancora distinguibili. La distanza fra i punti 0 e -3 dB è più grande della distanza fra -20 e -23 dB, che è più grande della distanza fra -50 e -53 dB. La distanza corrisponde così all'importanza relativa di tali cambiamenti nelle prestazioni dell'antenna.

Una scala logaritmica modificata aumenta la forma del fascio principale mentre comprime ad un livello molto basso (> dB 30) i lobi laterali verso il centro del diagramma.



Ci sono due generi di diagrammi di radiazione: **assoluto** e **relativo**. I diagrammi di radiazione assoluti sono presentati in unità assolute d'intensità o di potenza del campo. I diagrammi di radiazione relativi si riferiscono nelle unità relative d'intensità o di potenza del campo. La maggior parte delle misure dei diagrammi di radiazione riguardano l'antenna isotropica ed il metodo di trasferimento di guadagno allora è usato per stabilire il guadagno assoluto dell'antenna.

Il diagramma di radiazione nella regione vicino all'antenna non è la stessa del diagramma alle grandi distanze. Il termine near-field si riferisce al diagramma del campo che esiste vicino all'antenna, mentre termine far-field si riferisce al diagramma del campo alle grandi distanze. Il far-field inoltre è denominato radiation field, che è il più comunemente usato. In genere, è la potenza irradiata che più interessa e così i diagrammi dell'antenna sono misurati solitamente nella regione far-field. Per la misura del diagramma è importante scegliere una distanza sufficientemente grande da essere nel far-field, ben fuori dal near-field. La distanza ammissibile minima dipende dalle dimensioni dell'antenna rispetto alla lunghezza d'onda. La formula accettata per questa distanza è:

$$r_{\min} = \frac{2d^2}{\lambda}$$

dove  $r_{\min}$  è la distanza minima dall'antenna, la  $d$  è la più grande dimensione dell'antenna e il  $\lambda$  è la lunghezza d'onda.

#### 1.4.1.6 Larghezza di fascio

Usualmente per **larghezza di fascio** dell'antenna si intende la larghezza di fascio a metà potenza. Quando il picco dell'intensità di radiazione è conosciuto allora i punti da ciascun lato del picco che rappresenta la metà di potenza dell'intensità sono individuati. La distanza angolare fra i punti di metà potenza è definita come la larghezza di fascio. La metà di potenza espressa in decibel è -3dB, così la larghezza di fascio a metà potenza a volte si riferisce alla larghezza di fascio 3dB. Usualmente sono considerate sia le larghezze del fascio orizzontali che verticali.

Assumendo che la maggior parte di potenza irradiata non è divisa nei lobi laterali, il guadagno di direttività è inversamente proporzionale alla larghezza di fascio: mentre la larghezza di fascio diminuisce, il guadagno di direttività aumenta.

#### 1.4.1.7 Lobi laterali

Non c'è nessun'antenna capace di irradiare tutta l'energia in una direzione desiderata. Un po' di energia è irradiata inevitabilmente in altre direzioni. Questi più piccoli picchi sono conosciuti come **lobi laterali**, misurati comunemente in dB più piccoli rispetto al lobo principale.

#### 1.4.1.8 Nulls

In un diagramma di radiazione dell'antenna, un **null** è una posizione in cui la potenza del segnale irradiata efficace è ad un minimo. Una posizione di segnale minimo ha spesso un angolo di direttività più di quello del fascio principale. Quindi, la posizione di segnale minimo è utile per parecchi scopi, come la soppressione dei segnali interferenti in una data direzione.

#### 1.4.1.9 Polarizzazione

La **polarizzazione** è definita come l'orientamento del campo elettrico di un'onda elettromagnetica. La polarizzazione generalmente è descritta da un'ellisse. Due casi speciali di polarizzazione ellittica sono **polarizzazione lineare** e **polarizzazione circolare**. La polarizzazione iniziale di un'onda radio è determinata

dall'antenna.

Con la polarizzazione lineare, il vettore del campo elettrico rimane nello stesso piano tutto il tempo. Il campo elettrico può lasciare l'antenna in un orientamento verticale, un orientamento orizzontale, o ad un certo angolo fra i due. La radiazione **polarizzata verticalmente** è influenzata piuttosto di meno dalle riflessioni sul percorso di trasmissione. Le antenne omnidirezionali hanno sempre una polarizzazione verticale. Con la **polarizzazione orizzontale**, tali riflessioni causano variazioni nell'intensità del segnale ricevuto. E' meno probabile che le antenne orizzontali risentano dell'interferenza industriale, che ordinariamente è polarizzata verticalmente.

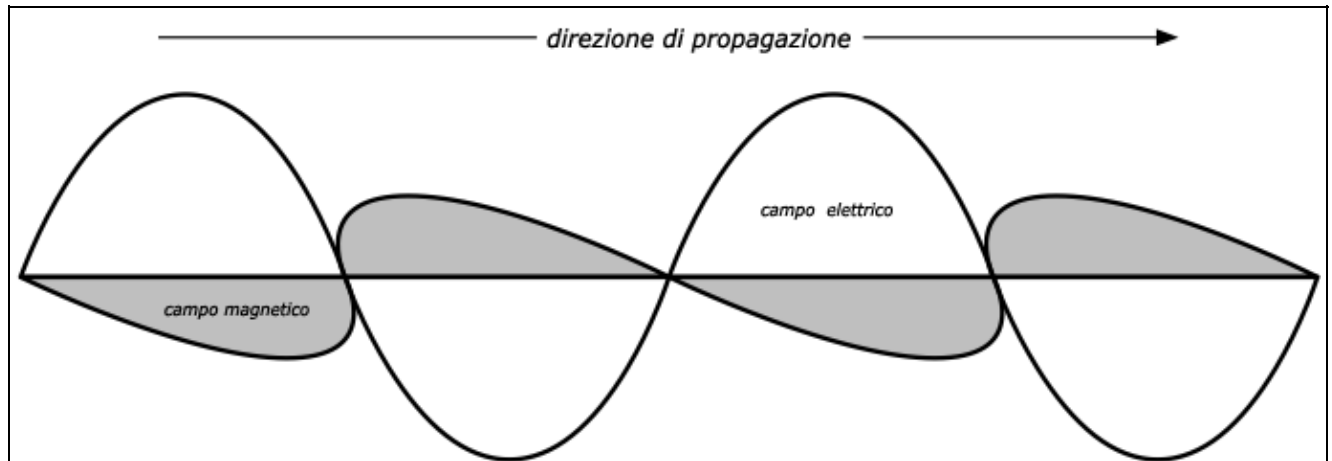


Figura 4.7: L'onda sinusoidale elettrica si sposta perpendicolarmente all'onda magnetica nel verso della propagazione.

Nella polarizzazione circolare il vettore del campo elettrico ruota con movimento circolare nel verso della propagazione, facendo un giro completo per ogni ciclo RF. Questa rotazione può essere destrorsa o sinistrorsa. La scelta della polarizzazione è una delle scelte di progettazione disponibili al progettista del sistema RF.

#### 1.4.1.10 Disadattamento di polarizzazione

Per trasferire la massima potenza del segnale fra un'antenna trasmittente e una ricevente, entrambe le antenne devono avere lo stesso orientamento spaziale, lo stesso verso di polarizzazione e lo stesso rapporto assiale.

Quando le antenne non sono allineate o non hanno la stessa polarizzazione, ci sarà una riduzione del trasferimento di potenza fra le due antenne. Questa riduzione del trasferimento di potenza diminuirà l'efficienza e le prestazioni del sistema totale.

Quando le antenne trasmittente e ricevente sono entrambe polarizzate linearmente, il disallineamento fisico delle antenne provocherà una perdita da disadattamento di polarizzazione, che può essere determinata usando la seguente formula:

$$\text{Loss (dB)} = 20 \log (\cos \theta)$$

...dove  $\theta$  è l'angolo della differenza di allineamento fra le due antenne. Per  $15^\circ$  la perdita è approssimativamente 0.3dB, per  $30^\circ$  si perdono 1.25dB, per  $45^\circ$  si perdono 3dB e per  $90^\circ$  si ha una perdita infinita.

In breve, più grande è il disadattamento nella polarizzazione fra un'antenna trasmittente e di ricezione, più grande è la perdita apparente. Nella realtà, un disadattamento di  $90^\circ$  nella polarizzazione è abbastanza grande ma non infinito. Alcune antenne, come le yagis o le antenne can, possono essere semplicemente ruotate di  $90^\circ$  per uguagliare la polarizzazione dall'altra parte del collegamento. Potete usare l'effetto di polarizzazione a

vostro vantaggio su un collegamento punto-a-punto. Utilizzare uno strumento di monitoraggio per osservare l'interferenza tra le reti adiacenti e ruotare un'antenna fino a che non vedete il più basso segnale ricevuto. Allora collegatevi ed orientate l'altra parte in modo da eguagliare la polarizzazione. Questa tecnica può a volte essere usata per mantenere i collegamenti stabili, anche negli ambienti radiofonici rumorosi.

#### 1.4.1.11 Rapporto fronte-retro

È spesso utile confrontare il **rapporto fronte-retro** delle antenne direzionali. Questo è il rapporto del massima direttività di un'antenna rispetto alla direttività nel verso opposto. Per esempio, quando il diagramma di radiazione è rappresentato con una scala relativa di dB, il rapporto fronte-retro è la differenza in dB fra il livello della massima radiazione nel verso di andata ed il livello di radiazione a 180 gradi.

Questo numero è insignificante per un'antenna omnidirezionale, ma dà un'idea della quantità di potenza diretta in avanti su un'antenna assolutamente direzionale.

### 1.4.2 Tipi di Antenne

La classificazione delle antenne può essere basata su:

- **Frequenza e grandezza.** Le antenne utilizzate per l'HF sono differenti dalle antenne utilizzate per il VHF, che a loro volta sono differenti dalle antenne per le microonde. La lunghezza d'onda è diversa a frequenze differenti, di modo che le antenne devono essere differenti nel formato per irradiare i segnali alla lunghezza d'onda corretta. In particolare noi siamo interessati in antenne che funzionano in un intervallo di microonde, specialmente alle frequenze di 2.4 GHz e di 5 GHz. A 2.4 GHz la lunghezza d'onda è 12.5cm, mentre a 5 GHz è 6cm.
- **Direttività.** Le antenne possono essere omnidirezionali, settoriali o direttive. Le **antenne omnidirezionali** irradiano approssimativamente nello stesso modo interamente intorno all'antenna in un diagramma completo a 360°. I tipi più popolari di antenne omnidirezionali sono il **dipolo** e il **piano di massa**. Le **antenne settoriali** irradiano soprattutto in una zona specifica. Il fascio può essere largo fino a 180 gradi, o stretto fino a 60 gradi. Le **direzionali** o **antenne direttive** sono antenne in cui la larghezza di fascio è molto più stretta delle antenne settoriali. Hanno il più alto guadagno e quindi sono usate per i collegamenti interurbani. Tipi di antenne direttive sono la Yagi, la biquad, l'antenna a tromba, l'elicoidale, l'antenna patch, il disco parabolico e molte altre.
- **Costruzione fisica.** Le antenne possono essere costruite in molti differenti modi, che variano dai semplici fili, ai dischi parabolici, ai barattoli di caffè.

When considering antennas suitable for 2.4 GHz WLAN use, another classification can be used:

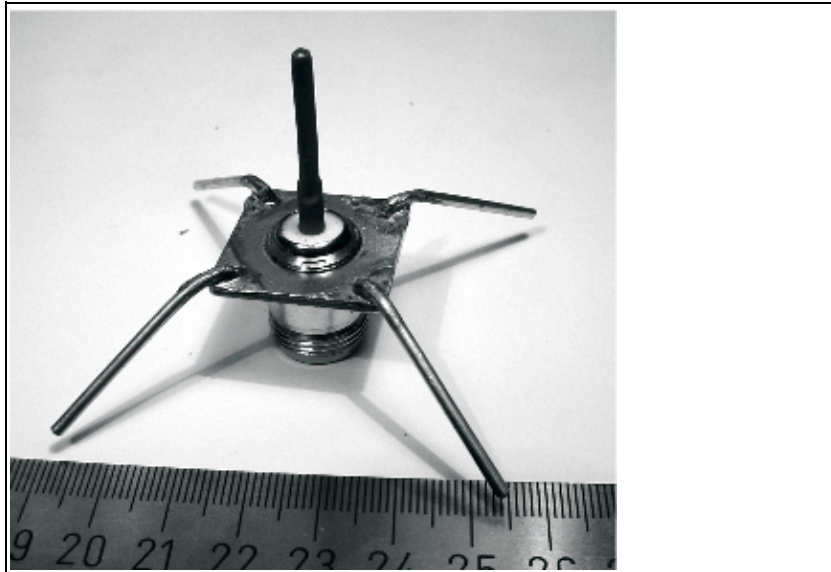
- **Application.** Access points tend to make point-to-multipoint networks, while remote links are point-to-point. Each of these suggest different types of antennas for their purpose. Nodes that are used for multipoint access will likely use omni antennas which radiate equally in all directions, or sectorial antennas which focus into a small area. In the point-to-point case, antennas are used to connect two single locations together. Directive antennas are the primary choice for this application.

Ora sarà presentata una breve lista di antenne di tipo comune per la frequenza dei 2.4 GHz, con una breve descrizione e con le informazioni di base sulle loro caratteristiche.

#### 1.4.2.1 Piano di massa con lunghezza d'onda di 1/4

L'antenna a piano di massa con lunghezza d'onda di 1/4 è molto semplice da costruire ed è utile per le comunicazioni quando formato, costo e facilità di costruzione sono importanti. Questa antenna è progettata per trasmettere un segnale polarizzato verticalmente. Consiste di un elemento a dipolo a 1/4 d'onda e tre o quattro elementi a piano di massa con lunghezza d'onda di 1/4 piegati di 30 - 45 gradi in giù. Questo insieme degli elementi, denominati parti radiali, è conosciuto come piano di massa. Questa è un'antenna semplice ed

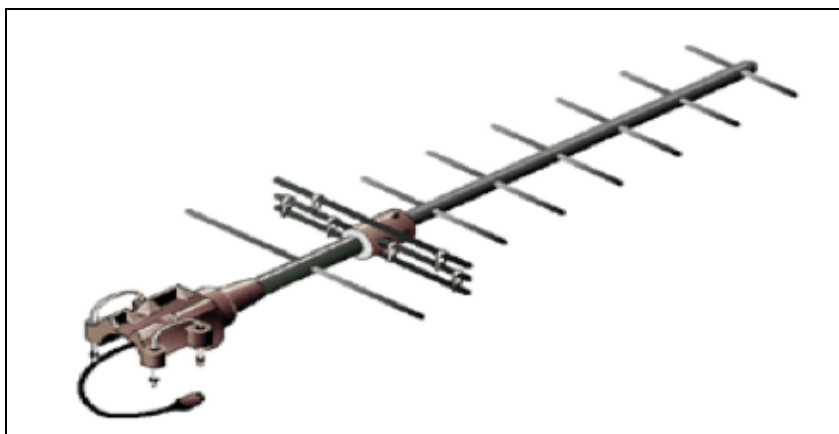
efficace che può catturare ugualmente un segnale da tutti le direzioni. Per aumentare il guadagno, il segnale può essere appiattito concentrando il fuoco maggiormente all'orizzonte piuttosto che sopra o sotto di esso. La larghezza di fascio verticale rappresenta il grado di planarità del fuoco. Ciò è utile in una situazione Punto-Multipunto, se tutte le altre antenne sono anche alla stessa altezza. Il guadagno di questa antenna è dell'ordine di 2 – 4 dBi.



*Figura 4.8: Antenna a piano di massa con lunghezza d'onda di 1/4.*

#### 1.4.2.2 Antenna Yagi

Una Yagi base consiste di un certo numero di elementi diritti, della misura approssimativamente di mezza lunghezza d'onda. L'elemento portante o attivo di una Yagi è equivalente ad un alimentatore centrale, un'antenna a dipolo a semi onda. Parallelamente all'elemento portante e circa di 0.2 - 0.5 lunghezze d'onda da qualsiasi lato di esso, vi sono delle barre o fili diritti denominati riflettori e direttori, o semplicemente elementi passivi. Un riflettore è disposto dietro l'elemento portante ed è un po' più lungo della metà della lunghezza d'onda; un direttore è disposto davanti l'elemento guidato ed è un po' più corto della metà della lunghezza d'onda. Una Yagi tipica ha un riflettore ed uno o più direttori. L'antenna propaga l'energia del campo elettromagnetico nella direzione che parte dall'elemento portante e si dirige verso i direttori ed è più sensibile all'energia entrante del campo elettromagnetico nella stessa direzione. Più direttori ha un Yagi, più grande è il guadagno. Più direttori sono aggiunti ad una Yagi essa, più essa diventa lunga. Segue la foto di un'antenna Yagi con 6 direttori ed un riflettore.



*Figura 4.9: Un'antenna Yagi.*

Le antenne Yagi sono utilizzate soprattutto per i collegamenti del Punto-a-Punto, hanno un guadagno da 10 a

dBi 20 e ad una larghezza del fascio orizzontale da 10 a 20 gradi.

### 1.4.2.3 Antenna a tromba

L'antenna a tromba deve il suo nome alla caratteristica apparenza svasata. La parte svasata può essere quadrata, rettangolare, cilindrica o conica. La direzione di massima radiazione corrisponde all'asse della tromba. È alimentata facilmente con una guida di onde, ma può essere alimentata con un cavo coassiale e una transizione adeguata. Le antenne a tromba sono comunemente usate come elemento attivo di un'antenna a disco. La tromba è puntata verso il centro del riflettore del disco. L'uso di una tromba al punto focale del disco, piuttosto che di un'antenna a dipolo o a qualunque altro tipo di antenna, minimizza la perdita di energia intorno ai bordi del riflettore del disco. A 2.4 Ghz, una semplice antenna a tromba fatta con un barattolo di latta ha un guadagno dell'ordine del 10 – 15 dBi .



*Figura 4.10: Tromba di alimentazione fatta con un barattolo di cibo.*

### 1.4.2.4 Disco parabolico

Le antenne basate sui riflettori parabolici sono il tipo più comune di antenne direttive quando è richiesto un alto guadagno. Il vantaggio principale è che possono essere fatte per avere guadagno e direttività grandi quanto si vuole. Lo svantaggio principale è che i dischi grandi sono difficili da montare ed è probabile avere un grande spostamento d'aria.

I dischi fino ad un metro sono fatti solitamente da materiale solido. L'alluminio è usato frequentemente per il vantaggio del suo peso, la sua durata e le buone caratteristiche elettriche. Lo spostamento d'aria aumenta velocemente con la grandezza del disco e presto si trasformerà in un problema serio. I dischi che hanno una superficie riflettente che usa una maglia aperta sono usati frequentemente. Questi hanno un rapporto fronte-retro più povero , ma sono più sicuri da usare e più facile costruire. Il rame, l'alluminio, l'ottone, l'acciaio galvanizzato ed il ferro sono materiali adatti alla maglia.







Figure 4.11: Un'antenna con un disco solido.

#### 1.4.2.5 BiQuad

L'antenna [BiQuad](#) è semplice da costruire ed offre buoni direttività e guadagno per le comunicazioni Punto-a-Punto. Consiste di due quadrati dello stesso formato di  $1/4$  di lunghezza d'onda come elemento di irradiazione e di una piastra o griglia metallica come riflettore. Questa antenna ha una larghezza di fascio di circa 70 gradi e un guadagno dell'ordine di 10-12 dBi. Può essere usata come antenna autonoma o come alimentatore di un disco parabolico. La polarizzazione è tale che guardando l'antenna dalla parte davanti, se i quadrati sono disposti fianco a fianco la polarizzazione è verticale.

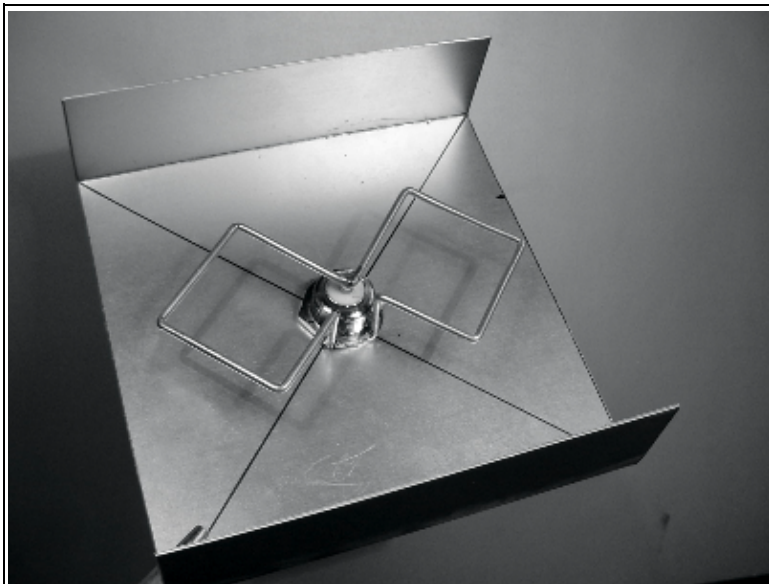


Figura 4.12: Il [BiQuad](#).

#### 1.4.2.6 Altre antenne

Esistono molti altri tipi di antenne ed i nuovi sono stati creati con l'avanzamento nella tecnologia.

- Settore o Antenne settoriali: sono ampiamente usati nell'infrastruttura cellulare di telefonia e solitamente sono costruiti aggiungendo una piastra riflettente a uno o più dipoli con la propria fase. La loro larghezza di fascio orizzontale può essere grande quanto 180 gradi, o stretta quanto 60 gradi, mentre il verticale è solitamente molto più stretto. Le antenne composite possono essere costruite con

molti Settori per coprire una gamma orizzontale più larga (antenna multisetoriale).

- Antenne patch a o a pannello: sono pannelli piani solidi usati per utilizzo al chiuso, con un guadagno fino a 20 dB.

## 1.5 Teoria del riflettore

La proprietà di base di un riflettore parabolico perfetto è quella che converte un'onda sferica che si irradia da un punto sorgente corrispondente al fuoco in un'onda piana. Di contro, tutta l'energia ricevuta dal disco da una sorgente distante è riflessa in un unico punto nel fuoco del disco. La posizione del fuoco, o lunghezza focale, è data da:

$$f = \frac{D^2}{16 \times c}$$

...dove D è il diametro del disco e c è la profondità della parabola al suo centro.

La grandezza del disco è il fattore più importante poiché determina il guadagno massimo che può essere realizzato alla data frequenza ed alla larghezza di fascio risultante. Il guadagno e la larghezza di fascio ottenuti sono dati da:

$$\text{Guadagno} = \frac{(\pi \times D)^2}{4 \times \lambda^2} \times \eta$$

$$\text{Larghezza di fascio} = \frac{70}{D \times f}$$

...dove D è il diametro del disco e  $\eta$  è l'efficienza. L'efficienza è determinata principalmente dall'efficacia di illuminazione del disco dall'alimentazione, ma anche da altri fattori. Ogni volta che il diametro di un disco è raddoppiato, il guadagno è più grande di quattro volte, o di 6 dB. Se entrambe le stazioni raddoppiano la grandezza dei loro dischi, l'intensità del segnale può essere aumentata di 12 dB, un guadagno molto notevole. Un'efficienza del 50% può essere raggiunta con un'antenna costruita a mano.

Il rapporto  $f / D$  (lunghezza focale/diametro del disco) è il fattore fondamentale che governa il progetto dell'alimentazione di un disco. Il rapporto è direttamente collegato alla larghezza di fascio dell'alimentazione necessaria per illuminare efficacemente il piatto. Due piatti dello stesso diametro ma con lunghezze focali differenti richiedono un progetto differente di alimentazione se entrambi devono essere illuminati efficientemente. Il valore di 0.25 corrisponde al comune piano focale del disco in cui il fuoco è sullo stesso piano del bordo del disco.

## 1.6 Amplificatori

Come menzionato precedentemente, le antenne attualmente non generano realmente potenza. Esse semplicemente dirigono tutta la potenza disponibile in un particolare percorso. Usando un **amplificatore di potenza**, potete usare la corrente continua per aumentare il segnale disponibile. Un amplificatore si connette fra la radiotrasmittente e l'antenna ed ha un cavo supplementare che si collega ad una sorgente di energia. Sono disponibili amplificatori che lavorano a 2.4GHz, e possono aggiungere parecchi Watt di potenza alla vostra trasmissione. Questi dispositivi sentono quando una radio collegata sta trasmettendo e rapidamente

potenziano ed amplificano il segnale. Poi si spengono di nuovo quando la trasmissione si conclude. Mentre ricevere, inoltre aggiungono l'amplificazione al segnale prima di spedirla alla radio.

Purtroppo, aggiungere semplicemente gli amplificatori non risolverà magicamente tutti i vostri problemi della rete. Non parleremo a lungo degli amplificatori di potenza in questo libro perché ci sono un certo numero di svantaggi significativi usandoli:

- **Sono costosi.** Gli amplificatori devono funzionare alle larghezze di banda abbastanza grandi a 2.4GHz e devono commutare abbastanza rapidamente per funzionare con applicazioni Wi-Fi. Questi amplificatori esistono, ma tendono a costare diverse centinaia di dollari l'uno.
- **Ne avrete bisogno almeno di due.** Considerando che le antenne forniscono il guadagno reciproco che avvantaggia entrambi i lati di un collegamento, gli amplificatori lavorano al meglio amplificando un segnale trasmesso. Se aggiungete soltanto un amplificatore alla fine di un collegamento con guadagno insufficiente dell'antenna, probabilmente potrà essere sentito dalla sua parte ma non dall'altra estremità.
- **Non forniscono direttività supplementare.** Aggiungendo guadagno dell'antenna si ottengono sia benefici di direttività che di guadagno ad entrambe le estremità del collegamento. Non solo la quantità disponibile di segnale migliora, ma c'è la tendenza a rifiutare il rumore proveniente da altre direzioni. Gli amplificatori amplificano ciecamente sia segnali voluti che interferenti e possono aumentare i problemi di interferenza.
- **Gli amplificatori generano rumore per altri utenti della banda.** Aumentando la vostra potenza in uscita, state generando una sorgente più forte di rumore per altri utenti della banda non autorizzati. Ciò non può avere molta importanza oggi nelle zone rurali, ma può causare grandi problemi nelle zone popolate. Di contro, aumentare il guadagno dell'antenna migliorerà il vostro collegamento e può realmente far diminuire il rumore per i vostri vicini.
- **Usare amplificatori probabilmente non è legale.** Ogni paese impone limiti di potenza per l'uso di spettri non autorizzati. Aggiungere un'antenna ad un segnale altamente amplificato probabilmente indurrà il collegamento ad eccedere i limiti legali.

L'uso degli amplificatori è spesso confrontato al vicino sconsiderato che desiderasse ascoltare la radio stando fuori della sua casa e la mettesse a tutto volume. Egli potrebbe "migliorare" la ricezione orientando i suoi altoparlanti fuori della finestra. Ora come egli può sentire la radio, anche tutti gli altri nel quartiere la potrebbero sentire. Questo metodo può funzionare esattamente con un utente, ma che cosa accadrebbe se i vicini decidessero la stessa cosa con le loro radio? L'uso di amplificatori per un collegamento wireless causa approssimativamente lo stesso effetto a 2.4GHz. Il vostro collegamento può "lavorare meglio" momentaneamente, ma avrete problemi quando altri utenti della banda decidessero di utilizzare i propri amplificatori.

Usando un guadagno delle antenne più alto piuttosto che gli amplificatori, eviterete tutti questi problemi. Le antenne costano molto meno degli amplificatori e si può migliorare semplicemente un collegamento cambiando l'antenna su un'estremità. L'uso di radio più sensibili ed un cavo di buona qualità inoltre aiuta significativamente nelle grandi distanze. E' improbabile che queste tecniche possano causare problemi per altri utenti della banda perciò suggeriamo di perseguirle molto di più che aggiungere amplificatori.

## 1.7 Pratici progetti di antenna

Il costo delle antenne di 2.4GHz è sceso significativamente con l'introduzione di 802.11b. I progetti innovatori usano parti più semplici e pochi materiali per realizzare un guadagno impressionante con relativamente poco lavoro. Purtroppo, la disponibilità di buone antenne ancora è limitata ad alcune zone del mondo ed importarle può essere costoso in maniera proibitiva. Mentre realmente progettare un'antenna può essere un processo complesso e soggetto ad errori, costruire antenne con componenti disponibili in loco è molto semplice e può essere molto divertente. Presentiamo quattro progetti pratici di antenna che possono essere sviluppati con pochissimi soldi.

### 1.7.1 USB dongle come alimentazione del disco

Forse il progetto di antenna più semplice riguarda l'uso di una parabola per dirigere l'uscita di un dispositivo USB wireless (conosciuto dai gruppi nella rete come **USB dongle**). Ponendo l'antenna interna del dipolo presente negli USB wireless dongles all'apice di un disco parabolico, potete fornire un guadagno significativo senza la necessità di saldare o persino aprire il dispositivo wireless. Molti tipi di dischi parabolici funzioneranno, compresi dischi satellitari, le antenne della televisione e perfino padelle metalliche (come un wok, un coperchio rotondo, o un setaccio). In aggiunta, il cavo USB, economico e poco dissipatore di energia, è usato per alimentare l'antenna, eliminando l'esigenza di cavi coassiali o heliax costosi.

Per costruire un USB dongle parabolico, dovrete trovare l'orientamento e la posizione del dipolo all'interno del dongle. La maggior parte dei dispositivi orientano il dipolo parallelo all'estremità corta del dongle, ma alcuni montano il dipolo perpendicolare all'estremità corta. Potete o aprire il dongle e cercare da voi, o provare semplicemente il dongle in entrambe le posizioni per vedere quella che fornisce più guadagno.

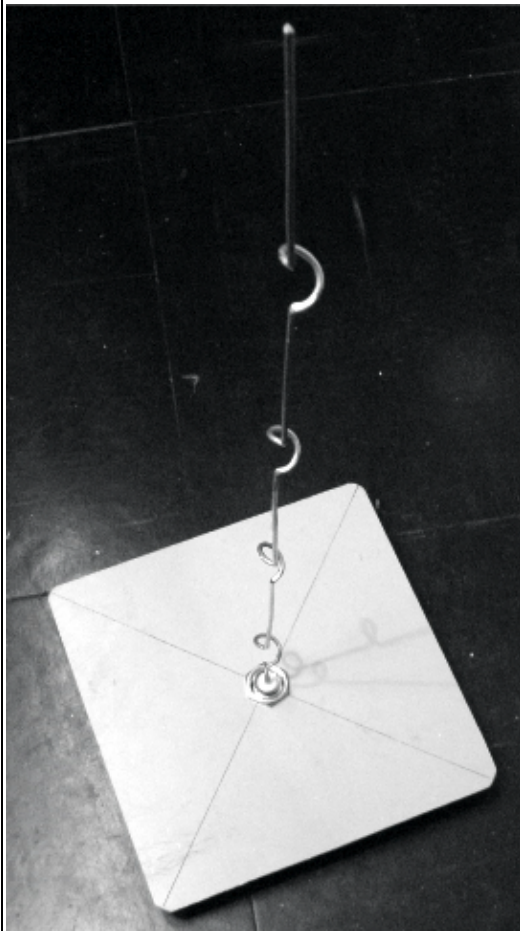
Per testare l'antenna, orientarla verso un access point parecchi metri lontano e collegare l'USB dongle ad un portatile. Per mezzo del driver del client del portatile o di uno strumento come Netstumbler (vedere capitolo sei), osservare l'intensità del segnale ricevuto dall'access point. Ora, spostare lentamente il dongle rispetto al disco parabolico mentre si guarda sul tester l'intensità del segnale. Dovreste vedere un miglioramento significativo nel guadagno (20 dB o più) quando trovate la posizione adeguata. Il dipolo stesso è sistemato tipicamente da 3 a 5 cm di distanza dalla parte posteriore del disco, ma questo varierà secondo il tipo di parabola. Provare varie posizioni mentre guardate il vostro tester di intensità del segnale fino a che non trovate la posizione ottimale.

Una volta trovata la posizione migliore, fissare saldamente il dongle sul posto. Dovrete impermeabilizzare il dongle e il cavo se l'antenna è utilizzata all'aperto. Utilizzare un composto di silicone o un pezzo di tubo in PVC per proteggere le parti elettroniche dalle intemperie. Molti progetti e idee di parabole alimentate da USB dongle sono documentati online al link <http://www.usbwifi.orcon.net.nz/>.

### 1.7.2 Antenna collineare omnidirezionale

Questa antenna è molto semplice da costruire, richiedendo appena un pezzo di filo di metallo, un connettore femmina N e una piastra metallica quadrata. Può essere usata per piccole distanze di copertura Punto-Multipunto in interno o esterno. La piastra ha un foro al centro per accomodare un connettore femmina N tipo chassis che è avvitato nel posto. Il filo è saldato al perno centrale del connettore N ed ha spire per separare gli elementi attivi in fase. Sono possibili due versioni dell'antenna: uno con due elementi in fase e due spire ed un altro con quattro elementi in fase e quattro spire. Per l'antenna corta il guadagno sarà intorno a 5dBi, mentre quella lunga con quattro elementi avrà 7 – 9 dBi di guadagno. Descriveremo soltanto come costruire l'antenna lunga.





*Figura 4.13: L'antenna collineare omnidirezionale completata*

#### 1.7.2.1 Elenco delle parti

- Un connettore femmina di tipo N a vite
- 50 cm di filo di rame o ottone di 2 mm di diametro
- Una piastra metallica quadrata 10x10 cm o più



*Figura 4.14: piastra di alluminio di 10 cm x 10 cm.*

### 1.7.2.2 Strumenti necessari

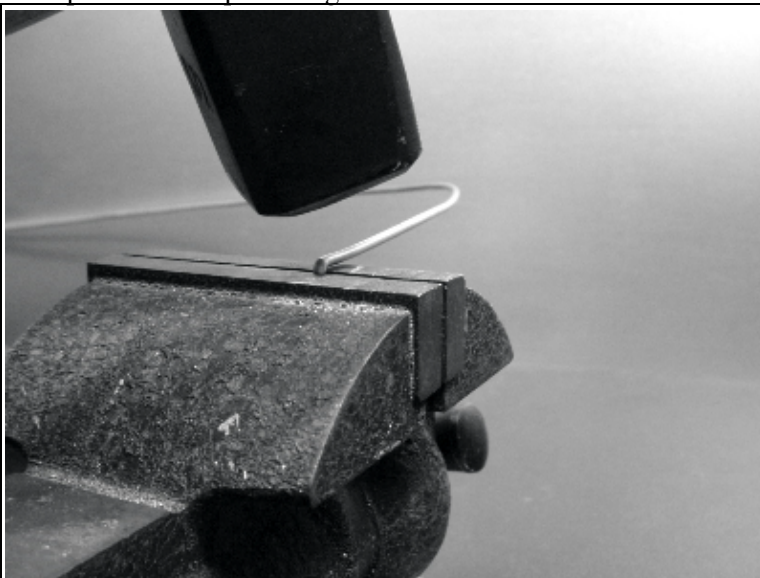
- Righello
- Pinze
- Lima
- Saldatore e lega per saldatore
- Trapano con un set di punte per metallo (compresa una punta da 1.5 cm di diametro)
- Un pezzo di tubo o una punta di trapano di 1 cm di diametro
- Morsa o morsetto
- Martello
- Chiave a settore o chiave inglese

### 1.7.2.3 Costruzione

1. Raddrizzare il filo usando la morsa.



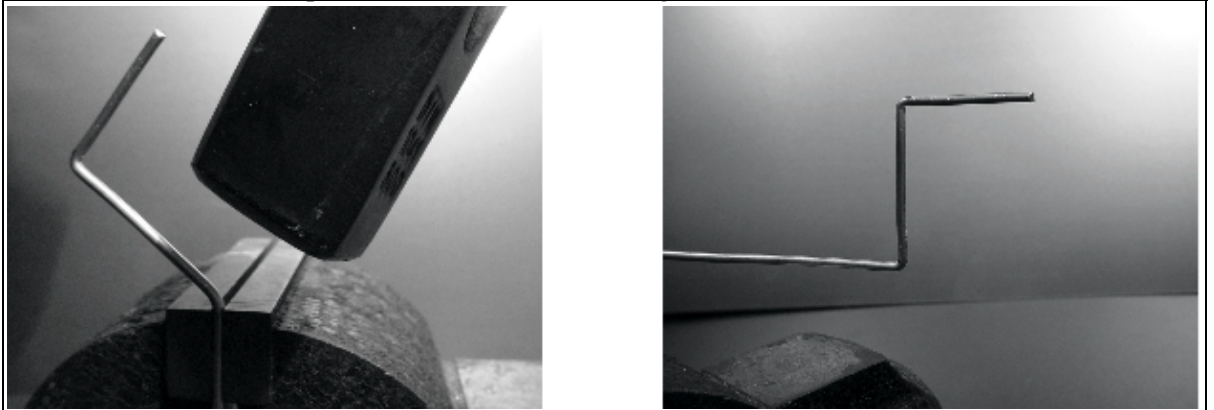
- *Figura 4.15: Rendere il filo il più possibile dritto.*
- Con un marcatore, fare un segno a 2.5 cm a partire da un'estremità del filo. Piegare il filo a 90 gradi in corrispondenza di questo segno con l'aiuto della morsa e del martello.



*Figura 4.16: Colpire delicatamente il filo per piegarlo in una curva netta.*

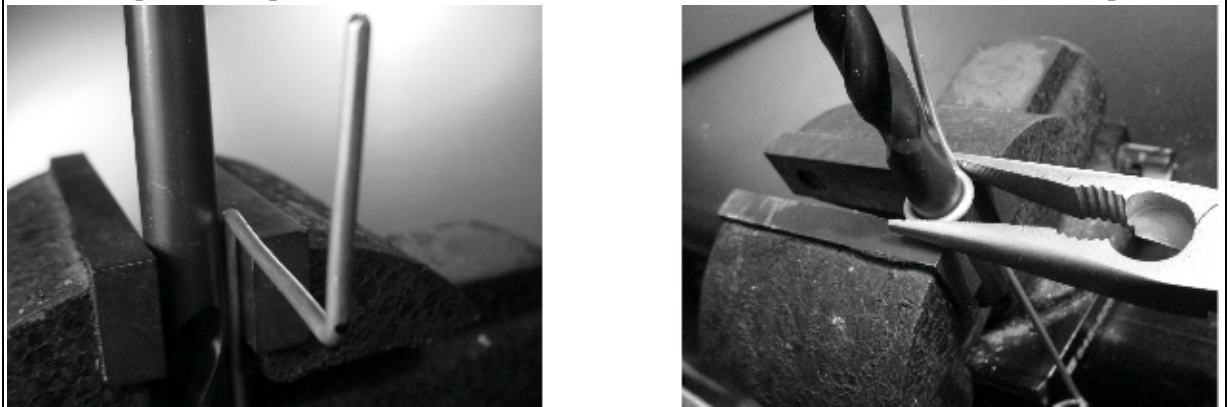


- Fare un altro segno ad una distanza di 3.6 cm dalla curvatura. Per mezzo della morsa e del martello, piegare ancora una volta l'eccedenza del filo questa seconda a 90 gradi, nel senso opposto alla prima curvatura ma nello stesso piano. Il filo dovrebbe assomigliare ad una 'Z'.



*Figura 4.17: Piegare il filo in una forma a "Z".*

- Ora torceremo la parte 'Z' del filo per fare una spira con un diametro di 1 cm. Per fare questo, useremo il tubo o la punta di trapano e curveremo il filo intorno ad esso, con l'aiuto della morsa e delle pinze.



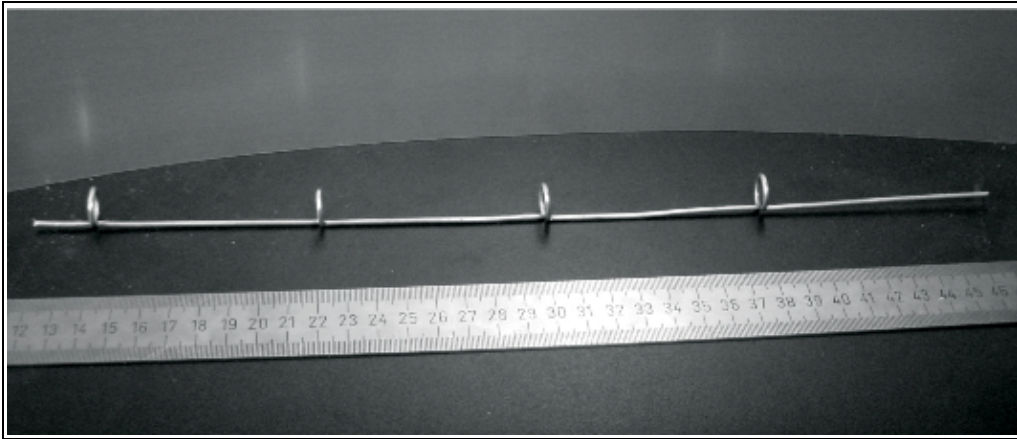
*Figura 4.18: Piegare il filo intorno alla punta di trapano per fare una spira.*

La spira dovrebbe essere questa:



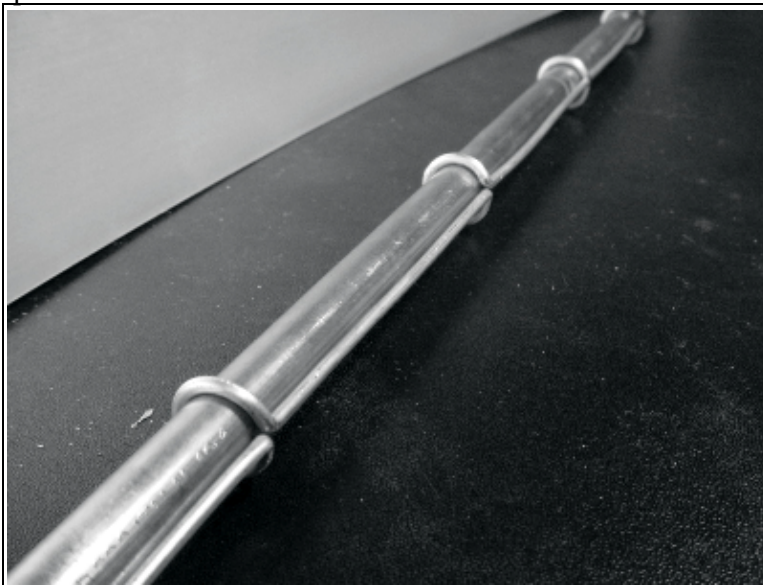
*Figura 4.19: La spira completata.*

- Dovreste fare una seconda spira ad una distanza di 7.8 cm dalla prima. Entrambe le spire dovrebbero avere lo stesso verso di rotazione e dovrebbero essere disposte dallo stesso lato del filo. Fare una terza e una quarta spira seguendo la stessa procedura, alla stessa distanza di 7.8 cm l'una dall'altra. Tagliare l'ultimo elemento ad una distanza di 8.0 cm dalla quarta spira.



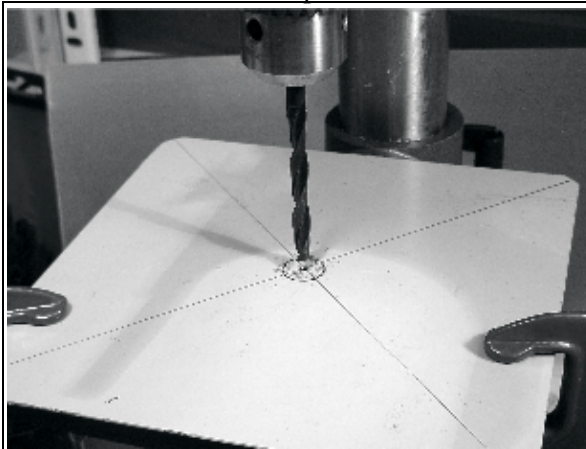
*Figura 4.20: Provare a mantenerlo il più dritto possibile.*

Se le spire sono state fatte correttamente, ora dovrebbe essere possibile infilare un tubo in tutte le spire come mostrato.



*Figura 4.21: L'inserimento del tubo può contribuire a raddrizzare il filo.*

- Con un marcatore ed un righello, disegnare le diagonali sulla piastra metallica, trovando il suo centro. Con una punta di trapano di diametro piccolo, fare un foro guida al centro della piastra. Aumentare il diametro del foro usando punte con diametro crescente.



*Figura 4.22: Perforare il foro nella piastra metallica.*

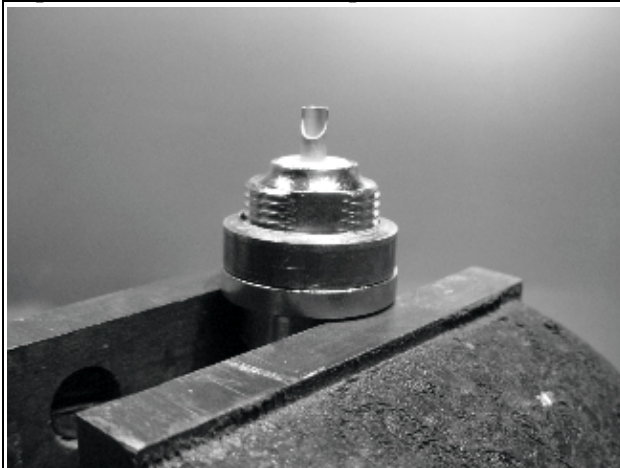
Il foro dovrebbe misurare esattamente come il connettore N. In caso di bisogno usare una lima.





*Figura 4.23: Il connettore N dovrebbe adattarsi comodamente nel foro.*

- Per avere un'impedenza dell'antenna di 50 Ohm, è importante che la superficie visibile dell'isolante interno del connettore (la zona bianca intorno al perno centrale) sia allo stesso livello della superficie della piastra. Per questo motivo, tagliare 0.5 cm del tubo di rame con un diametro esterno di 2 cm e disporlo fra il connettore e la piastra.



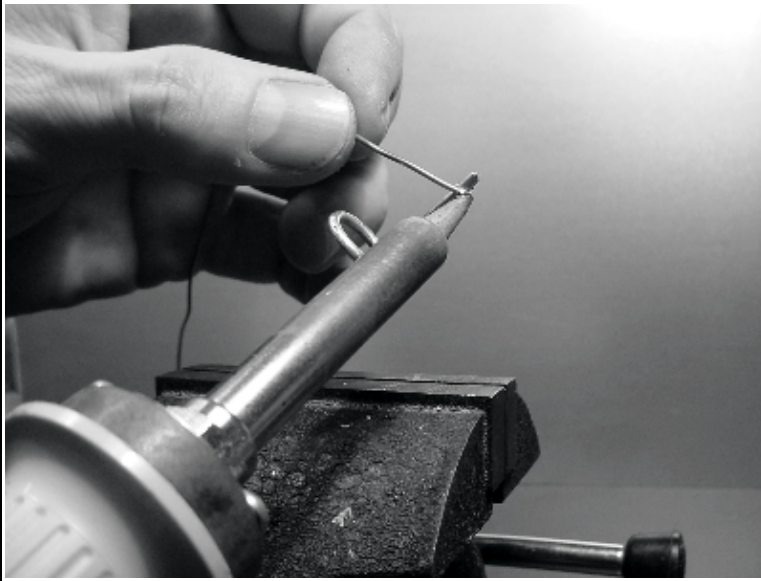
*Figura 4.24: L'aggiunta del distanziatore di rame del tubo contribuisce a raggiungere l'impedenza dell'antenna a 50 Ohm.*

- Avvitare il dado al connettore per mezzo della chiave a settore per fissarlo saldamente alla piastra.



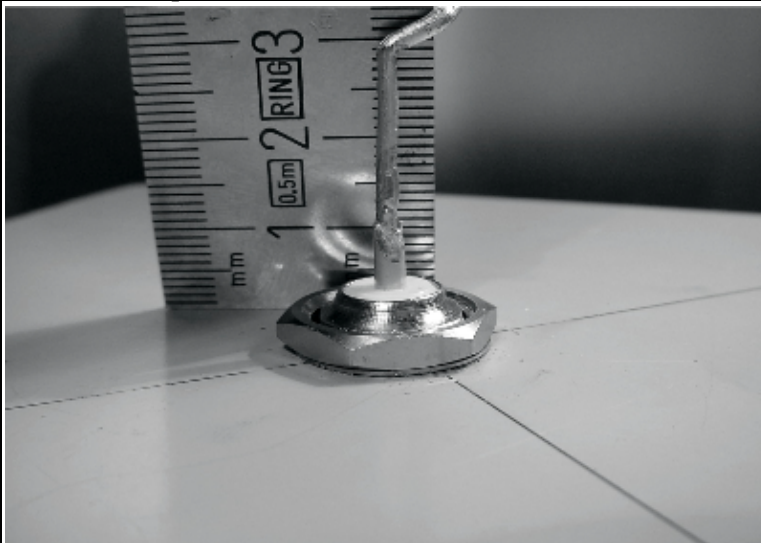
*Figura 4.25: Fissare strettamente il connettore N alla piastra.*

- Limare il lato del filo lungo 2.5 cm dalla prima bobina. Preparare il filo alla saldatura per 0.5 cm all'estremità limata aiutandovi con la morsa.



*Figura 4.26: Aggiungere una piccola saldatura all'estremità del filo per "prepararlo" prima della saldatura.*

- Con il saldatore, preparare alla saldatura il perno centrale del connettore. Mantenendo il filo verticale con le pinze, saldare nel foro del perno centrale il suo lato preparato. La prima bobina dovrebbe essere a 3.0 cm dalla piastra.



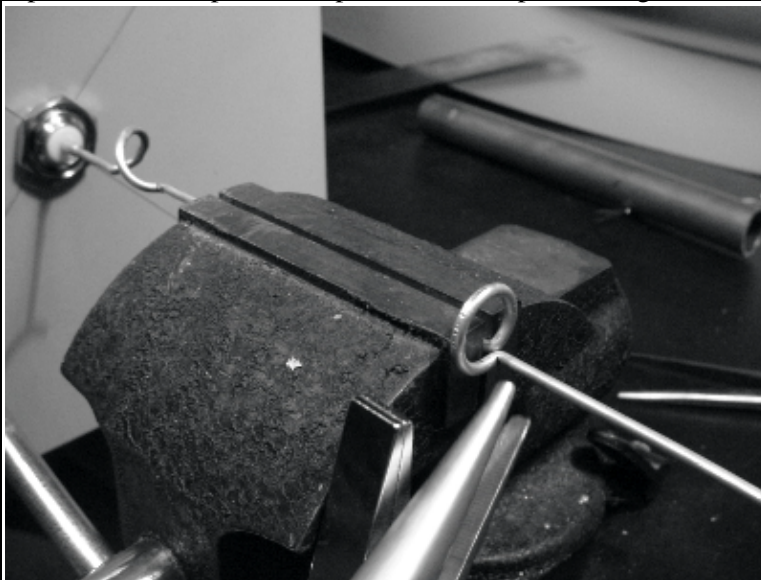
*Figura 4.27: La prima spira dovrebbe iniziare 3.0 cm dalla superficie della piastra.*

- Ora allungheremo le spire estendendo la lunghezza verticale totale del filo. Usando la morsa e le pinze, dovrete tirare il cavo in modo che la lunghezza finale della spira sia di 2.0 cm.



*Figura 4.28: Allungamento delle spire. Siate molto delicati e cercate di non graffiare la superficie del filo con le pinze.*

- Ripetere la stessa procedura per le altre tre spire, allungando la loro lunghezza a 2.0 cm.



*Figura 4.29: Ripetere la procedura d'allungamento per tutte le spire restanti.*

- All'estremità l'antenna dovrebbe misurare 42.5 cm dalla piastra alla parte superiore.

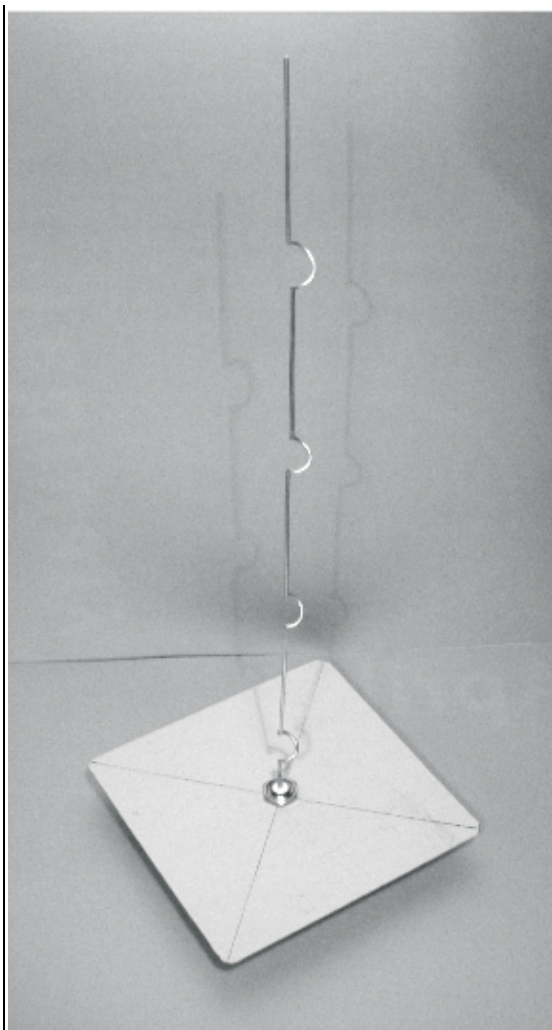


Figura 4.30: L'antenna finita dovrebbe essere lunga 42.5 cm dalla piastra all'estremità del filo.

- Se avete un Analizzatore di Spettro con Tracking Generator e un Accoppiatore Direzionale, potete controllare la curva della potenza riflessa del segnale dell'antenna. L'immagine sotto mostra la visualizzazione dell'Analizzatore di Spettro.

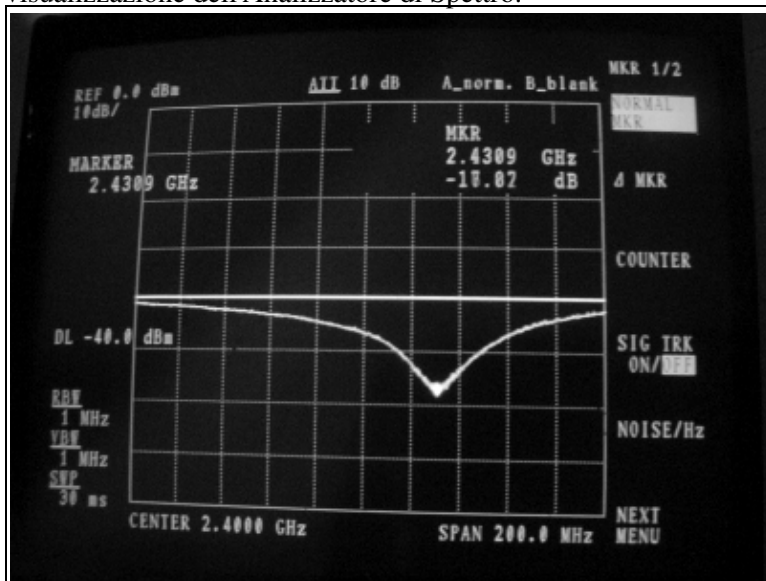


Figura 4.31: Un diagramma di spettro della potenza riflessa dell'antenna collineare omnidirezionale.

Se intendete utilizzare questa antenna all'esterno, dovrete renderla resistente alle intemperie. Il metodo più semplice è racchiuderla interamente in una grande pezzo di tubo PVC chiuso con tappi.



Fare un foro nella parte inferiore per la linea della trasmissione e sigillare l'antenna con silicone o colla PVC.

### 1.7.3 Antenna a barattolo

Questa antenna, a volte denominata Cantenna, usa un barattolo di latta come guida di onde e un corto filo saldato su un connettore N come sonda per la transizione cavo coassiale-guida di onde. Può essere costruita facilmente al prezzo appena del connettore, riciclando un alimento, una spremuta, o altro in barattolo di latta. È un'antenna direzionale, utile per in collegamenti da brevi a medie distanze Punto-a-Punto. Può anche essere usato come alimentatore per un disco o una griglia parabolica.

Non tutte le lattine sono buone per la costruzione dell'antenna perché ci sono vincoli dimensionali:

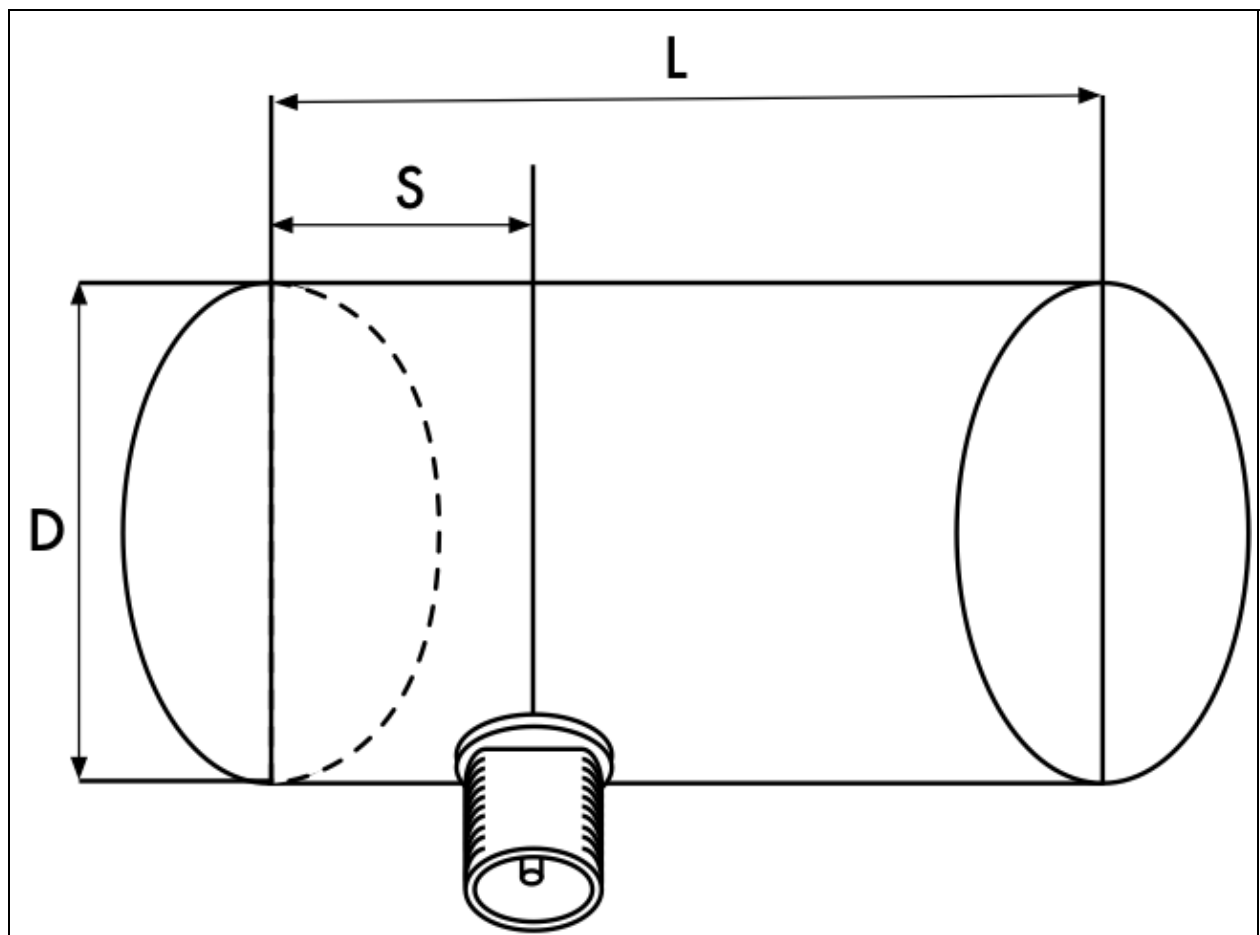


Figura 4.32: Vincoli dimensionali sulla cantenna

1. I valori accettabili per il diametro  $D$  dell'alimentazione sono fra 0.60 e 0.75 lunghezze d'onda alla frequenza prevista. A 2.44 GHz il di lunghezza d'onda è di 12.2 cm, in modo che il diametro della lattina dovrebbe essere nell'intervallo 7.3 - 9.2 cm.
2. La lunghezza  $L$  della lattina preferibilmente dovrebbe essere almeno  $0.75 \cdot G$ , in cui  $G$  è la lunghezza d'onda della guida ed è data da:

$$G = \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{D}{1.706D} \right)^2}} \lambda$$

Per  $D = 7.3$  cm, abbiamo bisogno di una lattina di almeno 56.4 cm, mentre per  $D = 9.2$  cm ne abbiamo bisogno di una di almeno 14.8 cm. Generalmente più è piccolo il diametro, più lunga dovrebbe essere la lattina. Per il nostro esempio, utilizzeremo lattine d'olio che hanno un diametro di

8.3 cm e di un'altezza di circa 21 cm.

3. La sonda per il cavo coassiale alla transizione in guida di onde dovrebbe essere posizionata ad una distanza  $S$  dalla parte inferiore della lattina, data da:

$$\dots S = 0.25 \quad G$$

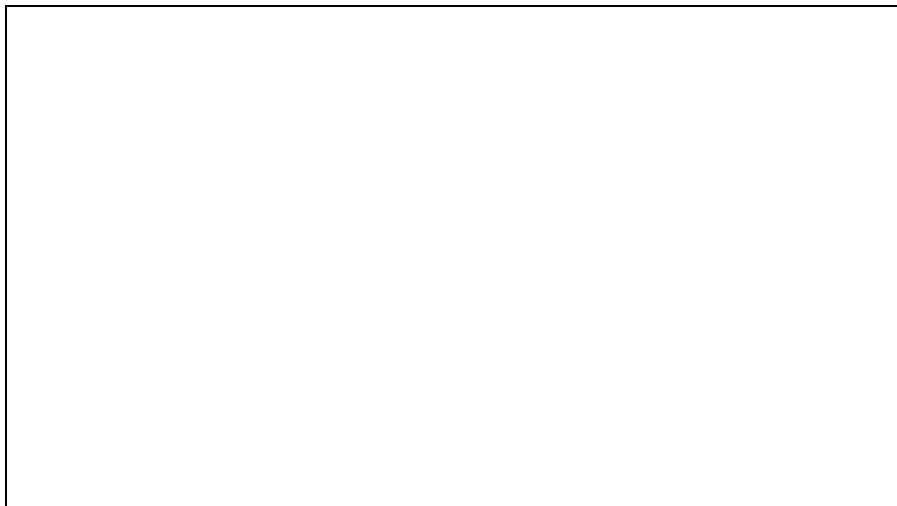
La sua lunghezza dovrebbe essere 0.25  $\lambda$ , che a 2.44 GHz corrisponde a 3.05 cm. Il guadagno per questa antenna sarà dell'ordine di 10 – 14 dBi, con un'apertura di fascio intorno ai 60 gradi.



Figura 4.33: La cantenna finita.

### 1.7.3.1 Elenco delle parti

- un connettore femmina di tipo N a vite
- 4 cm di filo di rame o ottone di 2 mm di diametro
- una lattina di olio di 8.3 cm di diametro e di 21 cm di altezza





*Figura 4.34: Parti necessarie per l'antenna a barattolo.*

### 1.7.3.2 Strumenti necessari

- Apriscatole
- Righello
- Pinze
- Lima
- Saldatore
- Lega per saldatore
- Trapano con un set di punte per metallo (compresa una punta da 1.5 cm di diametro)
- Morsa o morsetto
- Chiave a settore o chiave inglese
- Martello
- Punzone

### 1.7.3.3 Costruzione

1. Con l'apriscatole, rimuovere con attenzione la parte superiore della lattina.





*Figura 4.35: Fare attenzione ai bordi taglienti quando si apre la lattina.*

Il disco circolare ha un bordo molto tagliente. Fare attenzione nel suo maneggiamento! Svuotare la lattina e lavarla con sapone. Se la lattina contenesse ananas, biscotti, o altro alimento saporito, offrire il cibo ad un amico.

2. Con il righello, misurare 6.2 cm dalla fine della lattina e disegnare un punto. Fare attenzione a misurare nel lato interno della fine. Utilizzare un punzone (o una piccola punta di trapano o un cacciavite Phillips) e un martello per segnare il punto. Ciò rende più facile perforare precisamente il foro. Fare attenzione a non deformare la forma della lattina perciò inserire un piccolo blocco di legno o altro oggetto nella lattina prima di battere leggermente su di essa.



*Figura 4.36: Segnare il foro prima di perforare.*

3. Con una punta di trapano di piccolo diametro, fare un foro al centro della piastra. Aumentare il diametro del foro usando punte con diametro crescente. Il foro dovrebbe misurare esattamente come il connettore N. Limare il bordo del foro per rimuovere la pittura intorno ad esso e per assicurare un migliore contatto elettrico con il connettore.





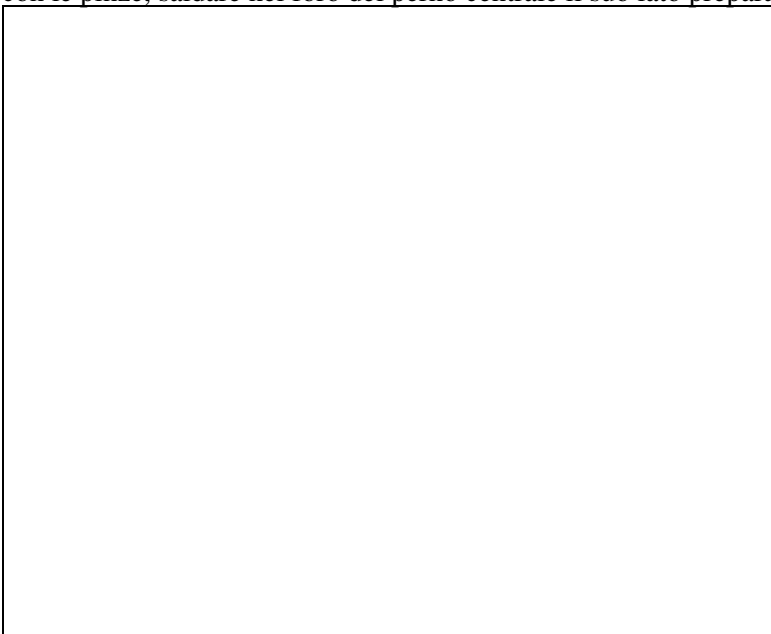
*Figura 4.37: Perforare con attenzione un foro guida, poi usare una punta più grande per rifinire il lavoro.*

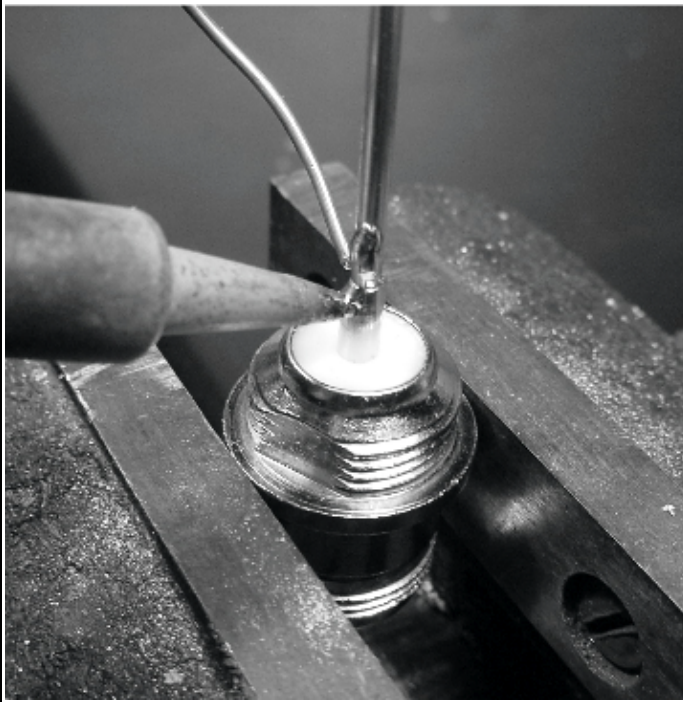
Limare un'estremità del filo. Preparare il filo alla saldatura per 0.5 cm alla stessa estremità aiutandovi con la morsa.



*Figura 4.38: Preparare alla saldatura l'estremità del filo prima di saldare.*

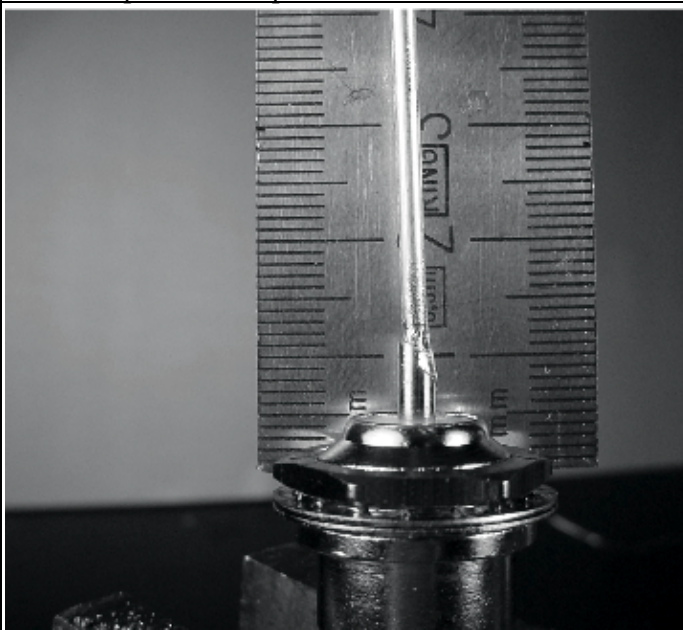
4. Con il saldatore, preparare alla saldatura il perno centrale del connettore. Mantenendo il filo verticale con le pinze, saldare nel foro del perno centrale il suo lato preparato alla saldatura.





*Figura 4.39: Saldare il filo alla parte dorata del connettore N.*

5. Inserire una rondella e delicatamente avvitare il dado sul connettore. Tagliare il filo a 3.05 cm misurati a partire dalla parte inferiore del dado.



*Figura 4.40: La lunghezza del filo è critica.*

6. Svitare il dado dal connettore, lasciando la rondella sul posto. Inserire il connettore nel foro della lattina. Avvitare il dado sul connettore all'interno della lattina.



*Figura 4.41: Montare l'antenna.*

7. Utilizzare le pinze o la chiave inglese per avvitare saldamente il dado sul connettore. Avete finito!



*Figura 4.42: La vostra cantenna finita.*

Come negli altri progetti di antenne, voi dovreste preparare una protezione resistente alle intemperie per l'antenna se desiderate usarla all'aperto. Il PVC è particolarmente adatto per l'antenna a barattolo. Inserire l'intera lattina in un grande tubo PVC e sigillare le estremità con tappi e colla. Dovrete perforare un foro nel lato del tubo per inserirvi il connettore N dal lato della lattina.

#### **1.7.4 L'antenna a barattolo come alimentazione del disco**

Come con l'USB dongle parabolico, potete usare il progetto della cantenna come alimentatore per avere un guadagno significativamente più alto. Montare la lattina sul disco parabolico con l'apertura della lattina puntata verso il centro del piatto. Usare la tecnica descritta nell'esempio dell'antenna USB dongle (l'intensità del segnale osservata cambia col tempo) per trovare la posizione ottimale della lattina per il disco che state usando.

Usando una antenna ben costruita con un disco parabolico correttamente sintonizzato, potete realizzare un guadagno totale dell'antenna di 30dBi o più. Come aumenta la forma dei dischi parabolici, così aumenta il guadagno ed la direttività potenziale dell'antenna. Con le parabole molto grandi, potete realizzare il guadagno significativamente più alto.

Per esempio, nel 2005, una squadra di allievi dell'università realizzò con successo un collegamento dal Nevada all'Utah negli USA. Il collegamento attraversò una distanza di oltre 200 chilometri! Gli entusiasti amanti wireless usarono un disco satellitare di 3.5 metri per stabilire un collegamento 802.11b che funzionò a 11Mbps, senza l'uso di un amplificatore. I particolari circa questo successo possono essere trovati a <http://www.wifi-shootout.com/>

## 1.7.5 NEC2

**NEC2** corrisponde a *Numerical Electromagnetics Code* (versione 2) ed è un prodotto di progettazione antenne free. NEC2 permette di sviluppare un modello di antenna in 3D e poi di analizzare la risposta elettromagnetica dell'antenna. È stato sviluppato più di dieci anni fa ed è stato realizzato per funzionare su molte piattaforme di computer. NEC2 è particolarmente efficace per analizzare modelli filo-griglia, ma ha anche alcune possibilità nell'analisi di modelli di particolari zone di superficie.

Il progetto dell'antenna è descritto in un file di testo e poi il progetto è sviluppato usando questa descrizione nel testo. La descrizione di un'antenna in NEC2 si compone di due parti: la sua **struttura** e una sequenza di **controlli**. La struttura è semplicemente una descrizione numerica di dove le parti differenti dell'antenna sono individuate e di come i fili sono collegati. I controlli dicono a NEC dove è collegata la sorgente RF. L'antenna trasmittente è generata una volta che questi dati sono individuati. A causa del teorema di reciprocità il modello trasmittente di guadagno è lo stesso di quello di ricezione, così generare le caratteristiche della trasmissione è sufficiente per capire completamente il comportamento dell'antenna.

Deve essere specificata una frequenza o un intervallo di frequenze del segnale RF. Il secondo elemento importante è la caratteristica della terra. La conducibilità della terra varia da un posto ad un altro, ma in molti casi svolge un ruolo importante nella determinazione del modello di guadagno dell'antenna.

Per far funzionare NEC2 su Linux, installarlo dalla URL più avanti. Per lanciarlo, digitare **nec2** e i nomi di files di input e di output. È inoltre consigliato installare il pacchetto **xnecview** per la verifica della struttura e del tracciamento del diagramma di radiazione. Se è tutto a posto dovreste avere un file contenente l'output. Questo può essere scomposto in varie sezioni, ma si può avere un'idea rapida della rappresentazione di un diagramma del guadagno usando xnecview. Dovreste vedere il diagramma previsto, orizzontalmente omnidirezionale, con un picco nell'angolo ottimale del takeoff. Sono disponibili anche le versioni del Mac e di Windows.

Il vantaggio di NEC2 è che possiamo avere un'idea di come l'antenna funzioni prima della costruzione e di come possiamo modificare il disegno per ottenere il guadagno massimo. È un strumento complesso e richiede un certo impegno nello studio per imparare ad usarlo efficacemente, ma è uno strumento inestimabile per i progettisti di antenne.

NEC2 è disponibile dal Ray Anderson's "Unofficial NEC Archives" all'indirizzo <http://www.si-list.org/swindex2.html>

Si può trovare documentazione online dal "Unofficial NEC Home Page" all'indirizzo <http://www.nittany-scientific.com/nec/>.

---