

NOZIONI TECNICHE SULLE ANTENNE

In telecomunicazioni un'**antenna** è un trasduttore elettrico atto a trasmettere o ricevere onde elettromagnetiche. In pratica le antenne convertono o, con termine tecnico, trasducono il campo elettromagnetico che ricevono in un segnale elettrico, oppure viceversa irradiano, sotto forma di campo elettromagnetico, il segnale elettrico con il quale vengono alimentate, facendo dunque da interfaccia con la parte elettronica del ricevitore o trasmettitore a cui fanno carico.

Esse sono quindi quei dispositivi o sottosistemi che rendono possibili le telecomunicazioni ovvero le comunicazioni a distanza non cablate (wireless) attraverso i rispettivi sistemi di telecomunicazioni.

Il loro utilizzo è diffuso quindi nei ponti radio, nelle radiocomunicazioni dedicate (es. navigazione aerea e navale, walkie-talkie ecc..), nelle reti wireless su terminali utenti e stazioni radio base (WLAN, reti cellulari ecc...), nelle infrastrutture di radiodiffusione e telediffusione sia terrestri che satellitari, in tutte le applicazioni di telerilevamento a sensori attivi e nelle applicazioni radar.

ORIGINI

Alcune delle prime antenne rudimentali furono costruite nel **1888 da Heinrich Hertz** (1857-1894) nei suoi esperimenti volti a dimostrare l'esistenza delle onde elettromagnetiche, previste dalla teoria di James Clerk Maxwell. La parola "antenna" che oggi usiamo così comunemente proviene però dai primi esperimenti di Guglielmo Marconi. Deriva infatti dalla stessa parola marinaresca che indica il lungo palo, trasverso rispetto all'albero, che sostiene in alto la vela quadra o latina. L'estensione dal significato originale è dovuta allo stesso Marconi (il cui padre desiderava per lui una carriera in Marina) quando osservò che, appendendo uno dei due terminali dell'oscillatore (all'epoca un cubo o una sfera di ferro stagnato) su un alto palo (appunto una "antenna"), i segnali trasmessi (e ricevuti) potevano coprire distanze molto maggiori. Iniziò così, in contrapposizione al "terminale a terra", a indicare quello in alto come "(terminale) antenna".

Principi fisici

L'antenna è un componente elettrico che consente, per la legge di Biot-Savart, (dal nome dei fisici francesi Jean-Baptiste Biot e Félix Savart) l'irradiazione o la ricezione di energia elettromagnetica. Il concetto si può enunciare in termini semplici: una corrente elettrica variabile nel tempo t che attraversa un conduttore, irradia dallo stesso un campo elettrico che a sua volta genera un campo magnetico secondo la legge citata; se invece un conduttore è immerso in un campo elettromagnetico, per il principio di reciprocità, in esso si induce una corrente elettrica variabile nel tempo secondo la medesima legge. Queste leggi consentono di sfruttare le antenne nelle applicazioni di radiocomunicazioni. La descrizione fisica e matematica dell'irradiazione elettromagnetica da parte delle antenne fa uso di concetti e strumenti propri dell'elettromagnetismo avanzato.

Un principio fondamentale dell'elettromagnetismo, detto "principio di reciprocità", garantisce inoltre che qualsiasi antenna possa indifferentemente funzionare, in linea teorica, sia come antenna trasmittente che come antenna ricevente (se connesso rispettivamente ad un trasmettitore e ad un ricevitore), comunque, in linea di principio, esse sono suddivise in antenne trasmittenti e antenne riceventi oltre alla suddivisione in base alla frequenza di lavoro. Sebbene in linea teorica qualunque conduttore possa comportarsi da antenna, la massima funzionalità si ha solo con precise forme geometriche e dimensionali, che ne determinano anche la destinazione d'uso (trasmissione o ricezione) che, dipendente dalla particolare applicazione di radiocomunicazione desiderata. Questo dà conto della grande varietà di antenne che la tecnologia consente di realizzare: così un'antenna omnidirezionale per onde medie sarà ovviamente del tutto differente da un'antenna direttiva per microonde.

Analisi di campo emesso

Per ciascun tipo di antenna è possibile analizzare il campo elettromagnetico emesso dalle correnti che lo generano. In generale questo campo può essere suddiviso in *campo di induzione* e *campo di radiazione*: il primo è quello che si registra nella zona più prossima all'antenna, fa da interfaccia con il circuito elettrico di alimentazione e è caratterizzato da assenza di propagazione di potenza reale, ma solo

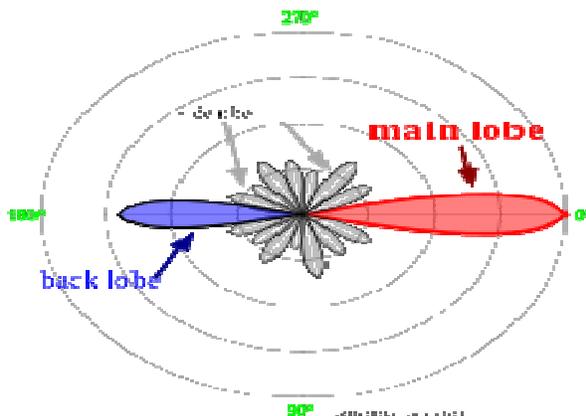
immagazzinamento di potenza reattiva e presenza di *onde evanescenti* che si attenuano rapidamente nello spazio; nel secondo si ha effettivo trasporto di potenza reale cioè il campo si propaga all'infinito sotto forma di onde sferiche che si attenuano come $1/r$ secondo la condizione di radiazione all'infinito e caratterizzano l'interfaccia con l'antenna ricevente.

Per antenne con sorgenti elettriche distribuite su superfici estese il campo di radiazione può essere a sua volta suddiviso in campo vicino (*near field*) e campo lontano (*far field*). A partire dall'espressione del campo irradiato a grande distanza è possibile ricavare il diagramma di radiazione dell'antenna che si può, in linea di massima, suddividere in lobo principale e lobi secondari su tagli orizzontali e verticali del solido di radiazione che rappresenta dunque la distribuzione spaziale del campo irradiato dall'antenna su tali piani. Tipicamente in tale contesto si utilizzano rappresentazioni matematiche e grafiche che fanno uso delle coordinate polari sferiche.

Potenza irradiata

Di una qualsiasi antenna è possibile calcolare la potenza irradiata integrando il vettore di Poynting (densità di potenza elettrica) $S = E \times H^*$ su una superficie chiusa che contiene l'antenna.

Guadagno e direttività



Esempio di diagramma polare di radiazione di un'antenna

Il **guadagno** è una funzione della frequenza di lavoro e della geometria dell'antenna. Il **guadagno** di una antenna è misurato per confronto tra l'antenna considerata (idealmente) e un'antenna isotropa (cioè perfettamente omnidirezionale).

Nella pratica come antenna di riferimento si usa spesso il dipolo, perché una antenna realmente isotropa è un'idealizzazione fisicamente impossibile, mentre si dimostra che il dipolo ha un guadagno di 2,15 dB rispetto ad una sorgente isotropa ideale.

La maggior parte delle antenne reali irradiano più di un'antenna isotropa in alcune direzioni e meno in altre, permettendo quindi una maggiore intensità di irradiazione (o un segnale captato più intenso) in certe particolari direzioni sfruttabile in applicazioni di ponti radio direzionali, applicazioni radar o nella ricezione da un'antenna omnidirezionale trasmittente servente.

Il guadagno è quindi dato dalla capacità dell'antenna di concentrare il campo elettromagnetico in una certa direzione, ed è solitamente misurato nella direzione in cui l'antenna ha la massima emissione o ricezione, come un numero adimensionale (guadagno massimo), altrimenti esso è una funzione delle coordinate polari sferiche. Più in particolare il guadagno è definito come una funzione della direzione di osservazione, mentre con il solo termine guadagno si intende comunemente il guadagno massimo ovvero il massimo di tale funzione nella direzione di massimo. Il prodotto del guadagno per la potenza trasmessa è un parametro noto come EIRP.

La **direttività** di un'antenna in una certa direzione è definita invece come il rapporto tra l'intensità di radiazione irradiata in tale direzione e la potenza totale irradiata su tutte le direzioni. La differenza con il *guadagno* è che quest'ultimo al denominatore presenta la potenza totale in ingresso all'antenna che è solo in parte irradiata e in parte dissipata dal conduttore dell'antenna stessa. Come per il guadagno anche la direttività è definita come una funzione della direzione di osservazione e con il solo termine direttività si intende comunemente il valore massimo di tale funzione in corrispondenza della direzione di massimo.

In particolare il **diagramma di radiazione** è la rappresentazione tridimensionale del guadagno, ma solitamente si preferisce più comodamente considerare i diagrammi di sezioni o tagli (*cut*) orizzontali e verticali. Antenne ad alto guadagno solitamente presentano anche dei lobi laterali: essi rappresentano dei picchi minori del guadagno rispetto al guadagno del lobo o "fascio" principale. Questi lobi laterali limitano la qualità dell'antenna generando eventuale interferenza su altri sistemi di radiocomunicazione o perdita di direttività in sistemi in cui si deve massimizzare la potenza del segnale utile trasmesso o ricevuto in una certa direzione, come ad esempio nei sistemi radar e nei radiocollegamenti dei ponti radio. Nella figura è rappresentato un diagramma di radiazione a due dimensioni (che potrebbe rappresentare una sezione verticale o una sezione orizzontale dello spettro di

emissione). In rosso è rappresentato il lobo principale (*main lobe*), in blu l'opposto (*opposite side lobe*) mentre in grigio i lobi laterali (*side lobe*).

L'**apertura** del fascio d'antenna (*beamwidth*) è definita invece come l'angolo sotteso alla direzione del massimo guadagno a -3dB, cioè l'angolo entro cui il guadagno si mantiene entro 3dB dal valore massimo cioè a metà della potenza massima. Il guadagno (amplificazione), l'apertura e il diagramma di radiazione di una antenna sono strettamente connessi.

Quando un'antenna presenta una direttività/guadagno costante in ogni direzione dello spazio si dice che essa è un'antenna omnidirezionale, rappresentando di fatto nella realtà un caso puramente ideale. Per quanto detto precedentemente se due antenne irradiano/comunicano tra loro vale la regola dell'intersezione dei fasci d'antenna: in ricezione l'antenna ricevente potrà captare la potenza elettromagnetica che deriva dall'intersezione del lobo principale del fascio dell'antenna trasmittente e quello del fascio dell'antenna ricevente.



Esempio di antenna televisiva

Risposta in frequenza

L'antenna vista come sistema fisico possiede anche una sua risposta in frequenza $W(j\omega)$ dalla quale è desumibile la larghezza di banda in cui essa opera nonché la distribuzione in frequenza del guadagno. Le frequenze dove vi è il picco di risposta

rappresentano le frequenze ottimali di irradiazione/ricezione alle quali l'antenna lavora in maniera più efficace.

Polarizzazione

Il campo emesso da ciascun antenna trasmittente è tipicamente polarizzato in un certo modo e la potenza ricevuta dall'antenna posta in ricezione è tanto maggiore quanto più la polarizzazione di quest'ultima è adattata a quella dell'antenna trasmittente (*adattamento di polarizzazione*).

Efficienza

Per quanto detto precedentemente si può definire **l'efficienza d'antenna** come il rapporto adimensionale tra la potenza irradiata e potenza accettata in ingresso dal cavo d'alimentazione dall'antenna stessa. Poiché la potenza accettata dall'antenna dall'alimentazione è, in condizioni di adattamento d'impedenza tra antenna e cavo di alimentazione, la somma della potenza effettivamente irradiata nello spazio libero, della potenza dissipata in calore dal materiale conduttore dell'antenna e della potenza reattiva immagazzinata sul materiale stesso dell'antenna, tale rapporto è per definizione sempre minore o uguale ad uno (caso ideale). A questa si aggiunge anche l'efficienza di adattamento di polarizzazione tra antenna trasmittente e antenna ricevente.

Puntamento

Tutte le antenne non omnidirezionali ovvero con una certa direttività o guadagno del diagramma di radiazione in una certa direzione necessitano di essere accuratamente "puntate" nella direzione desiderata di trasmissione/ricezione attraverso opportune

procedure di *puntamento*; tanto più è efficiente il puntamento tanto maggiori sono le prestazioni del sistema di radiocomunicazione in termini di potenza elettromagnetica trasmessa/ricevuta e quindi anche sulla qualità del segnale in termini di rapporto segnale/rumore; tipicamente il puntamento è tanto più critico e sensibile ad errori di disallineamento tanto più il sistema di radiocomunicazione in questione è direttivo e viceversa. In virtù di ciò si può definire anche un parametro di *efficienza di puntamento* dell'antenna trasmittente/ricevente. Il puntamento è necessario ad esempio nei ponti radio tra punti fissi, da parte di antenne riceventi quale quelle televisive rispetto all'antenna omnidirezionale di telediffusione e nelle antenne per telecomunicazioni satellitari in puntamento verso il satellite trasmittente/ricevente. I sistemi adottati per il puntamento possono essere manuali tramite l'appoggio a personale qualificato oppure automatizzati nel caso delle telecomunicazioni satellitari.

Tipologie d'antenna



Antenna radar, tipologia di antenna ad apertura

Esiste una vastissima tipologia di antenne ciascuna opportunamente progettata e realizzata a partire dalla rispettiva destinazione d'uso. Dal punto di vista applicativo si possono distinguere antenne per la ricezione televisiva, antenne per la ricetrasmisione satellitare e in generale le telecomunicazioni satellitari, antenne per ponti radio, antenne per stazioni radio base in reti cellulari, antenne per applicazioni

spaziali, antenne per applicazioni comuni (telefoni cellulari, cordless, modem/access point Wi-Fi, apparecchi radio ecc), antenne radar.

A causa della bassa potenza in ricezione per via dell'attenuazione del mezzo radio tutte le antenne riceventi possiedono un amplificatore (alimentato) nella catena ricevente in grado di amplificare opportunamente il segnale ricevuto. A seguito la suddivisione in base alle caratteristiche tecniche.

Antenne lineari

Dipolo elettrico



Esempio di antenna a dipolo con quattro singoli dipoli

Il tipo più semplice di antenna è detto dipolo: è una coppia di fili rettilinei, e la sua forma semplice rende semplice anche la relativa trattazione matematica. Inoltre,

proprio perché semplice da studiare e facile da costruire viene usato spesso come termine di paragone per tutti gli altri tipi di antenne. Esso appartiene alla categoria di antenne filari. In particolare esso è costituito da due spezzoni di cavo elettrico, la cui lunghezza è $\frac{1}{4}$ d'onda ciascuna. La lunghezza totale del dipolo è quindi di $\frac{1}{2}$ onda. Nel caso dei 10 m la lunghezza teorica del dipolo è di 5 m. Date le lunghezze di questi tipi di antenna, i dipoli sono normalmente disposti orizzontalmente al terreno o a formare una V invertita con un angolo di circa 60° , in quest'ultimo caso il dipolo presenta un'impedenza di circa 50 ohm (adatta ad un tipico cavo coassiale) e una maggiore omnidirezionalità rispetto al dipolo steso in orizzontale che irradia principalmente in sole 2 direzioni.

Antenne a dipolo hanno un diagramma di radiazione quasi perfettamente a forma di una "8" nel senso che irradiano principalmente verso la perpendicolare del filo sia in avanti che indietro e sono utilizzate in trasmissione nelle radiodiffusioni (broadcasting) (es. radio e TV). Esse sono posizionate preferenzialmente su alti tralicci o in cima a colli o montagne per ottenere una maggiore copertura spaziale senza interferenze dovute alla presenza di ostacoli fisici. Quando invece il dipolo montato a configurazione a V invertita, come detto sopra, il diagramma di irradiazione si modifica per il fatto che i due bracci non più orizzontali, trasmettono in parte anche nella direzione del filo e quindi, sempre mantenendo la maggiore emissione verso davanti e dietro, una certa irradiazione la si ha anche verso gli altri punti. Pertanto raggiungono una discreta omnidirezionalità, pur non arrivando mai ad eguagliare in tal senso le antenne verticali che irradiano in modo uniforme a 360 gradi.

Antenna Marconi

L'antenna verticale è composta da un solo elemento, verticale, **la cui lunghezza è pari a $\frac{1}{4}$ della** lunghezza d'onda del segnale da trasmettere. L'antenna verticale a differenza del dipolo ha bisogno di un piano di terra, cioè di un "piano" riflettente, in modo da risultare per il trasmettitore o per il ricevitore come un elemento doppio. La sua impedenza caratteristica varia da 37 ohm per i piani di terra a 90 gradi rispetto all'elemento radiante a 72 ohm se l'angolo fosse 180 gradi e ha un guadagno fisso di 3.3 (50.19 db). Normalmente si inclinano i piani di terra di circa 120 gradi rispetto all'elemento radiante per avere un'impedenza caratteristica di **50 ohm**, adatta per connettere l'antenna ai cavi coassiali normalmente in uso. Un tipico esempio sono le antenne montate sulle automobili.

Spira elettrica (dipolo magnetico)



Un esempio di **antenna a tromba**, tipologia di antenne ad apertura

Le antenne cosiddette "**loop magnetico**" sono costituite da un cerchio con una apertura (in genere nella parte alta) nella quale è inserito un condensatore variabile il quale provvede a sintonizzare l'antenna alla frequenza di utilizzo. Per comodità di compressione potremmo paragonare la loop magnetica ad un dipolo ripiegato in cerchio ove le due estremità anziché finire libere in aria finiscono ai capi del condensatore variabile. Queste antenne sono caratterizzate da un basso rumore e da una marcata direttività che si esprime nella direzione del cerchio e non perpendicolare ad esso, come invece avviene nel dipolo.

In pratica si tratta di un circuito risonante a induttanza (il cerchio) e capacità (il condensatore) particolarmente curato per presentare il più elevato fattore di merito possibile. Questo fa sì che il rendimento di tale antenna sia prossimo a quello del dipolo ma mantenendo dimensioni oltremodo ridotte. Si pensi ad un dipolo che risuoni sugli 80 metri di lunghezza d'onda il quale è lungo circa 40 metri (metà onda) ebbene ha circa lo stesso guadagno di una loop magnetica di soli 3 o 4 metri di diametro.

Particolare da rilevare è che ai capi del condensatore variabile, a causa dell'elevato fattore di merito, si generano tensioni elevatissime sull'ordine di migliaia di volt. Per tale motivo in genere vengono usati condensatori sotto vuoto i quali meglio sopportano elevate tensioni senza generare scariche elettriche tra le lamine dovute appunto alla ionizzazione dell'aria interposta tra le stesse. Essendo sotto vuoto non avvengono quelle dannose scintille tra le lamine del condensatore. Ovviamente tale

condensatore deve essere motorizzato con meccanismi a moto ridotto e comandabili a distanza per poter di volta in volta far risuonare l'antenna alla frequenza di utilizzo.

Antenne ad apertura



Un'antenna parabolica: un esempio di antenna ad apertura

Si tratta di antenne nelle quali l'irradiazione del campo elettromagnetico è realizzata mediante una apertura praticata in una struttura chiusa. Sono antenne ad apertura le antenne a tromba, ma anche una semplice guida d'onda metallica troncata può essere considerata tale (Cantenna), e le antenne a fessure (slot). Osservando l'andamento dell'area efficace di un'antenna ad apertura, si nota come essa sia strettamente legata alla sua area geometrica, mentre il guadagno di queste antenne cresce con il quadrato della frequenza, a differenza di quanto accade per le antenne filiformi, rendendo questo tipo di antenne adatte per ottenere elevate direttività. Sono antenne ad apertura anche le antenne paraboliche dove l'illuminatore è spesso un'antenna a tromba e lo stesso riflettore della parabola può essere visto, secondo il principio di equivalenza, come un'apertura su cui scorrono le correnti (elettriche e magnetiche) irradianti il campo elettromagnetico.

Antenne ad Elica

L'antenna ad elica, realizzata per la prima volta dal **fisico americano Kraus nel 1946**, presenta una struttura geometrica realizzata da un filo conduttore avvolto su una superficie cilindrica di materiale isolante o semplicemente avvolta in aria. L'Antenna a elica monofilare viene caratterizzata a seconda dei suoi parametri geometrici che ne determinano anche il suo funzionamento. La conoscenza dei parametri geometrici risulta quindi fondamentale per il progetto e la realizzazione dell'antenna desiderata.

In sostanza le eliche monofilari si differenziano per il modo di radiazione, dove per modo di radiazione si intende la forma del pattern relativo al campo lontano irradiato. I principali modi di funzionamento sono quello normale e quello assiale. Il modo normale è caratterizzato dall'avere il massimo di radiazione in direzione normale all'asse dell'elica, mentre quello assiale lungo l'asse. I funzionamenti NMHA (*normal mode helix antenna*) e AMHA (*axial mode helix antenna*) sono strettamente legati alla struttura geometrica dell'elica e alla lunghezza complessiva del conduttore avvolto. L'elica è infatti in grado di irradiare in modo normale quando risulta rispettata la condizione $D \ll \lambda$, che di solito implica anche $L \ll \lambda$, ovvero quando la lunghezza di una spira è corta rispetto alla lunghezza d'onda.

Il funzionamento in modo normale permette un pattern di radiazione sostanzialmente isotropico, in quello assiale invece si ha un'alta direttività in direzione assiale dell'antenna con alti valori di guadagno. Un importante vantaggio delle antenne ad elica è dovuto al fatto che è possibile con essa raggiungere condizioni di risonanza, utili per un buon adattamento, con dimensioni d'antenna assai ridotte di $\lambda/2$, che costituisce la minima dimensione per un'antenna filiforme di tipo risonante. Infatti l'energia di tipo capacitivo che caratterizza le antenne filiformi corte può venire compensata dall'energia di tipo induttivo legata alla presenza delle spire. Questo vantaggio è mitigato dalla limitata larghezza di banda di frequenze a cui la risonanza si verifica.

Antenne ad array



Esempio di antenna ad array

Un **array di antenne** (anche chiamate antenna a schiera) è, per definizione, un insieme o allineamento di antenne tutte identiche, disposte linearmente (su una linea) o planarmente (su un piano), equi-orientate, alimentate in generale con ampiezza e fase distinte per ogni elemento dell'array. Un array può essere di tipo "passivo" ovvero con un solo radiatore e gli altri elementi passivi che svolgono funzioni di direttori e/o riflettori oppure di tipo "attivi" dove ciascun elemento è radiante. Il vantaggio di usare una configurazione a schiera sta nella possibilità di ottenere un diagramma di radiazione configurabile quasi a piacere, variando le ampiezze e le fasi delle singole antenne componenti.

Antenne di questo tipo sono utilizzate ad esempio per la ricezione TV da casa (**antenna Yagi**) proprio perché è possibile ottenere elevate direttività e orientarle così nella direzione ottimale desiderata cioè quella dell'antenna a dipolo trasmittente a radiodiffusione. Inoltre è possibile progettare array per ottenere lobi principali e lobi nulli in posizioni desiderate. Esistono anche array programmabili, in grado cioè di modificare il loro diagramma di radiazione (in particolare il puntamento del fascio principale) modificando l'alimentazione degli elementi che lo compongono, in particolare la fase (*phased array*) ed utilizzate ad esempio nei "radar da inseguimento" operando una scansione elettronica dello spazio circostante o anche in talune applicazioni spaziali dove spostare fisicamente un'antenna o un array di antenne è un'azione spesso difficilmente praticabile anche se meccanicamente automatizzata.

Antenne a larga banda

Sono antenne a "**larga banda**" le antenne che possono irradiare e ricevere su una banda di frequenza maggiore rispetto alle antenne cosiddette "canalizzate". Sebbene un'antenna possa ricevere ed emettere sull'intero spettro elettromagnetico essa lo fa

più efficacemente in corrispondenza dell'adattamento di impedenza tra guida d'onda metallica di alimentazione ed antenna stessa in modo da annullare tutte le possibili riflessioni, effetto che via via diminuisce allontanandoci dalla condizione o frequenza di risonanza: per una determinata frequenza di emissione in ricezione il radiatore elementare adattato alla guida d'onda d'alimentazione è un dipolo a $\lambda/2$.



Antenne di stazioni radio base BTS per telefonia cellulare

La risposta in frequenza del singolo radiatore adattato ha un massimo in corrispondenza della frequenza centrale di risonanza e diminuisce più o meno rapidamente procedendo verso i bordi; componendo l'antenna con N elementi di diversa lunghezza si ottiene allora **un'antenna ad array logperiodica**; se in essa si sommano le singole risposte in frequenza dei vari radiatori elementari, ciascuna centrata ad una determinata frequenza ma parzialmente sovrapposte tra loro nelle code, si ottiene una risposta in frequenza complessiva dell'antenna sufficientemente piatta ovvero uniforme su tutto l'ampio spettro di frequenze desiderato, che è una condizione altamente desiderabile per evitare/limitare anche la distorsione del segnale a banda larga, altrimenti elevata con l'utilizzo di un singolo radiatore. Altro tipo di antenna a larga banda è l'antenna biconica. Il loro uso è diffuso come antenne di ricezione nelle telediffusioni essendo i rispettivi segnali a larga banda in quanto espressione di sorgenti informative di tipo VBR.

Antenne integrate

Un attivo filone di ricerca degli ultimi 15 anni riguarda le cosiddette antenne integrate a microstriscia dove un elemento radiante detto *patch* è montato su un substrato dielettrico delimitato inferiormente da un piano metallico detto *ground*. Tale antenne, dette **antenne a patch**, irradiano per effetto dei bordi del patch che nella sua struttura

completa di substrato e ground può essere visto come un condensatore piano che irradia energia elettromagnetica per effetto dei bordi se opportunamente alimentato da una guida d'onda o una microstriscia.

Tale antenne hanno l'indubbio vantaggio di essere antenne di dimensioni molto piccole, quindi non ingombranti e dal peso e costo minimo, utili quindi per tutta una serie di applicazioni: dalla telefonia cellulare (sia per stazioni radiobase che terminali mobili) alle applicazioni spaziali. Per ovvi motivi la ricerca verso la miniaturizzazione, la multifunzionalità nonché l'abbattimento dei costi delle antenne è uno dei campi più attivi nella ricerca sulle antenne.

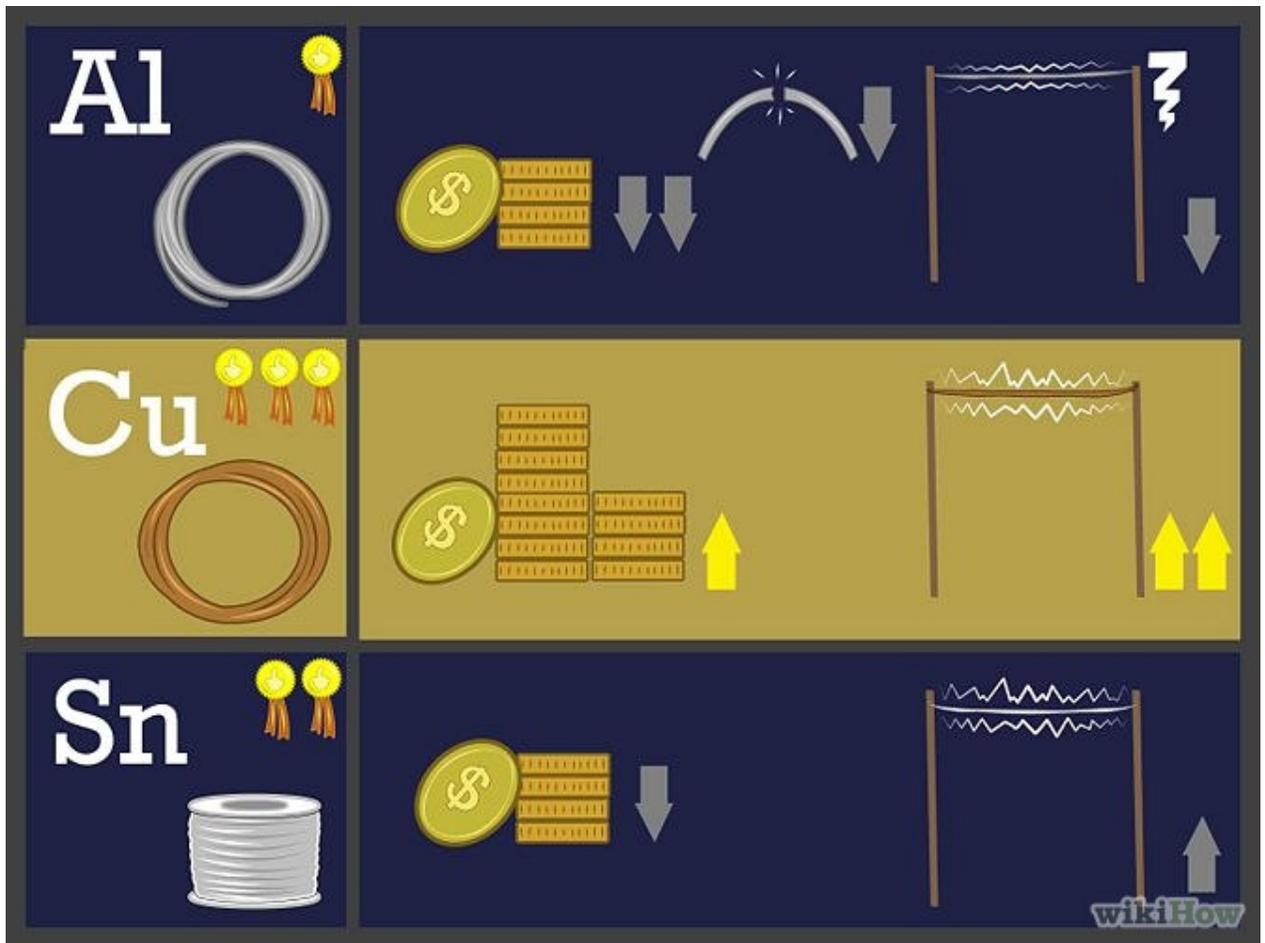
COSTRUIRE ANTENNE OM

Per diversi decenni la radio amatoriale è stato il mezzo di comunicazione più potente, con la sua capacità di inviare messaggi da un punto a un altro. Molte antenne sono state inventate per semplice necessità.

All'epoca del disastro del Titanic, per esempio, venivano utilizzati trasmettitori a spinterometro. Già ai tempi quel sistema era definito wireless, e ancora oggi le antenne filari inviano segnali per via aerea. **Dai trasmettitori a spinterometro di allora, la radio amatoriale ha fatto molta strada.** Per la loro alimentazione venivano utilizzate delle bobine ad alto voltaggio che inviavano “punti” e “linee” del codice Morse, e i destinatari ne annotavano i simboli per decifrare il messaggio. Nonostante sia un mezzo di comunicazione ormai superato, mantiene comunque il proprio fascino.

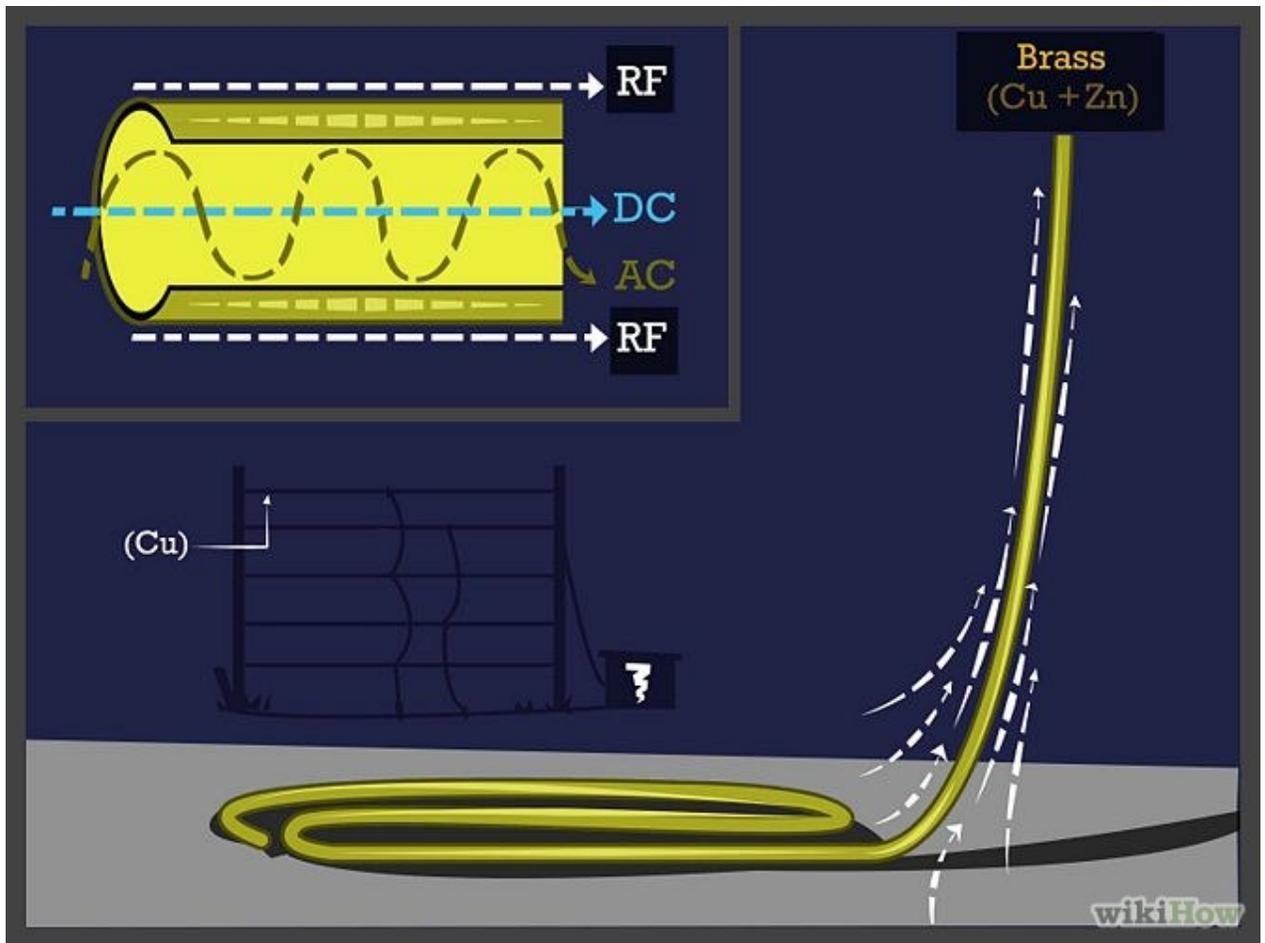
1 l'antenna! Il cuore della radio amatoriale sta nell'antenna. Molte persone poco informate affermano che sia la potenza il fattore decisivo in gioco. Non è così! Per ogni radio, sia essa amatoriale, commerciale, di business, a banda cittadina ecc., il cuore della trasmissione È l'antenna! **Senza una buona ricezione, non riuscirai a captare molto. E ovviamente, senza delle buone antenne non potrai trasmettere un granché,** nemmeno se utilizzi un amplificatore di radiofrequenza o un wattaggio elevato.

2 Progettare la realizzazione di un'antenna richiede di pensare a molte cose, tieni dunque a mente ogni caratteristica. Altezza, lunghezza, linea di trasmissione, balun o simmetrizzatore d'antenna (di cui parleremo più tardi), isolanti, quali cavi e tipi di metallo da utilizzare, cosa vuoi fare con quest'antenna, quante bande vuoi che copra... Chiediti inoltre se sai usare i materiali giusti, se hai spazio per metterne una e – prima di tutto – se vivi in una zona sottoposta a piani regolatori, che richiedono un'autorizzazione prima di installare un'antenna sul proprio terreno.



1.

3 Usa materiali che si abbinino facilmente. Le antenne possono essere costituite di molti diversi materiali. Ricordati di utilizzare metalli di natura simile, poiché metalli diversi fra loro tendono a corrodersi, o a perdere le proprietà conduttive. **Rame, alluminio, stagno e acciaio sono tutti dei buoni conduttori**, ma quando parliamo di radiofrequenza (o segnali elettrici RF ad alta frequenza), parliamo di elettricità “**effetto pelle**”. È sconsigliabile usare un cavo di alluminio per l'antenna, perché rischia di rompersi facilmente, si tira e si deforma, e non può essere saldato utilizzando una comune saldatrice. Il cavo d'alluminio non è costoso, ma in questo caso è il meno opportuno. Il prezzo dei cavi di rame è salito vertiginosamente negli ultimi anni; trovarne di vecchi rappresenta l'opzione migliore. Un cavo calibro 12 ha un diametro di circa 2 mm. Non è difficile da lavorare, ed è probabilmente il miglior metallo per l'antenna. Cavi di stagno, come quelli utilizzati per le recinzioni elettriche, sono perfetti da utilizzare, e non sono costosi. L'unico sconveniente è che in vendita ci sono rotoli da centinaia di metri. Se pensi di dover costruire diverse antenne, allora non dovrebbe essere un problema.



2.

4 Cosa funziona con quale corrente? Corrente diretta o alternata (DC e AC) e tensione corrono attraverso il centro del cavo, mentre i segnali elettrici RF si muovono lungo le parti esterne del filo. Immagina di avere un cavo con la punta recisa verso di te. Se potessimo vedere la corrente al suo interno, sarebbe semplice descriverla. Correnti AC e DC si muovono dal centro verso l'esterno.

La RF, invece, lungo le porzioni esterne del cavo, come se ne fosse il rivestimento. Il tipo di metallo utilizzato avrà una certa scala di conducibilità. Certamente nessuno utilizzerebbe un metallo prezioso per realizzare un'antenna, tuttavia metalli rari come oro, argento e platino sono i conduttori migliori; ma siccome costano molto, bisogna ripiegare sul rame, oppure sull'acciaio rivestito di ottone o rame, o sullo stagno con o senza copertura di rame, o infine su un cavo di alluminio (ma solo se non hai altro da usare). Ogni buon conduttore d'elettricità andrà bene per l'RF. Il meno consigliabile è il cavo meccanico, che ha un'alta resistenza e si corrode e arrugginisce in fretta, causando una resistenza indesiderata e un guasto all'antenna. Quando c'è brutto tempo, il cavo meccanico tende ad arrugginirsi molto facilmente, guastandosi in maniera irreversibile o avendo ancora più difficoltà a effettuare la conduzione. Già normalmente non diffonde bene l'energia RF, e non riceve le

trasmissioni di altri utenti. Uno dei migliori, e probabilmente dei più economici, è il cavo usato per le recinzioni elettriche rivestito di ottone o rame. Poiché dobbiamo tenere in considerazione l'“effetto pelle”, solo il rivestimento esterno condurrà la corrente RF. Anche il cavo d'acciaio sarebbe da evitare. Si arrugginisce in fretta, anche se ricoperto da ottone o rame. Il cavo di stagno utilizzato per le recinzioni può essere usato anche se non ha il rivestimento, ma assicurati di esaminare di tanto in tanto i collegamenti per aggiustare eventuali punti corrosi, e se necessario da risaldare. Cavi di rame isolati a uso casalingo costituiscono la scelta migliore per un'antenna. Almeno il 70% delle antenne di radio amatoriali sono fatte in questo modo. Sono quelle di cui parleremo in questo articolo.

3.

5 Inizia scegliendo lo spazio in cui andrai a erigere la tua antenna.

Tieniti SEMPRE a distanza rispetto a una linea elettrica in cui passa della corrente. Molte persone si sono ferite in modo serio o sono addirittura rimaste folgorate a causa del contatto con linee elettriche altamente cariche. Basta solamente un piccolo contatto perché chi sta innalzando un'antenna rimanga ucciso. Verifica che non ci siano cavi elettrici a bassa quota. Più vicino sei rispetto alla stanza da dove trasmetterai, e meglio sarà. Antenne in cortile, proprio accanto alla stanza, rendono più semplice organizzare e gestire la trasmissione. Evita di mettere qualunque punto dell'antenna vicino a dove l'elettricità si collega alla casa. Usa un bel filo dritto, senza pieghe o curve particolari. Se stai usando un cavo di stagno con rivestimento in ottone o rame, attento a non far avvolgere il cavo su se stesso. È un problema che in realtà può riguardare diversi tipi di cavi, a prescindere dai materiali utilizzati. Alcuni cavi hanno anche la tendenza ad avere delle estremità affilate, quando vengono tagliati (l'acciaio in questo caso è il peggiore). Anche pinze affilate o tronchesine possono lasciare delle piccole sporgenze taglienti quando si tagliano determinati metalli. Più il cavo è sottile, più sarà difficile da usare. Usare cavi del diametro di circa 1 mm o meno può causare diversi problemi, in primo luogo di resistenza. Il vento potrebbe distruggere l'antenna in poco tempo, se viene utilizzato un calibro troppo piccolo. Mi raccomando, non stare sotto al millimetro per la maggior parte delle antenne. Ci sono luoghi, di cui si parlerà dopo, che non permettono la costruzione di antenne. Un'antenna a dipolo nella soffitta di casa è una buona idea, se hai abbastanza spazio per metterne una, e soprattutto se non hai un tetto di metallo.

4.

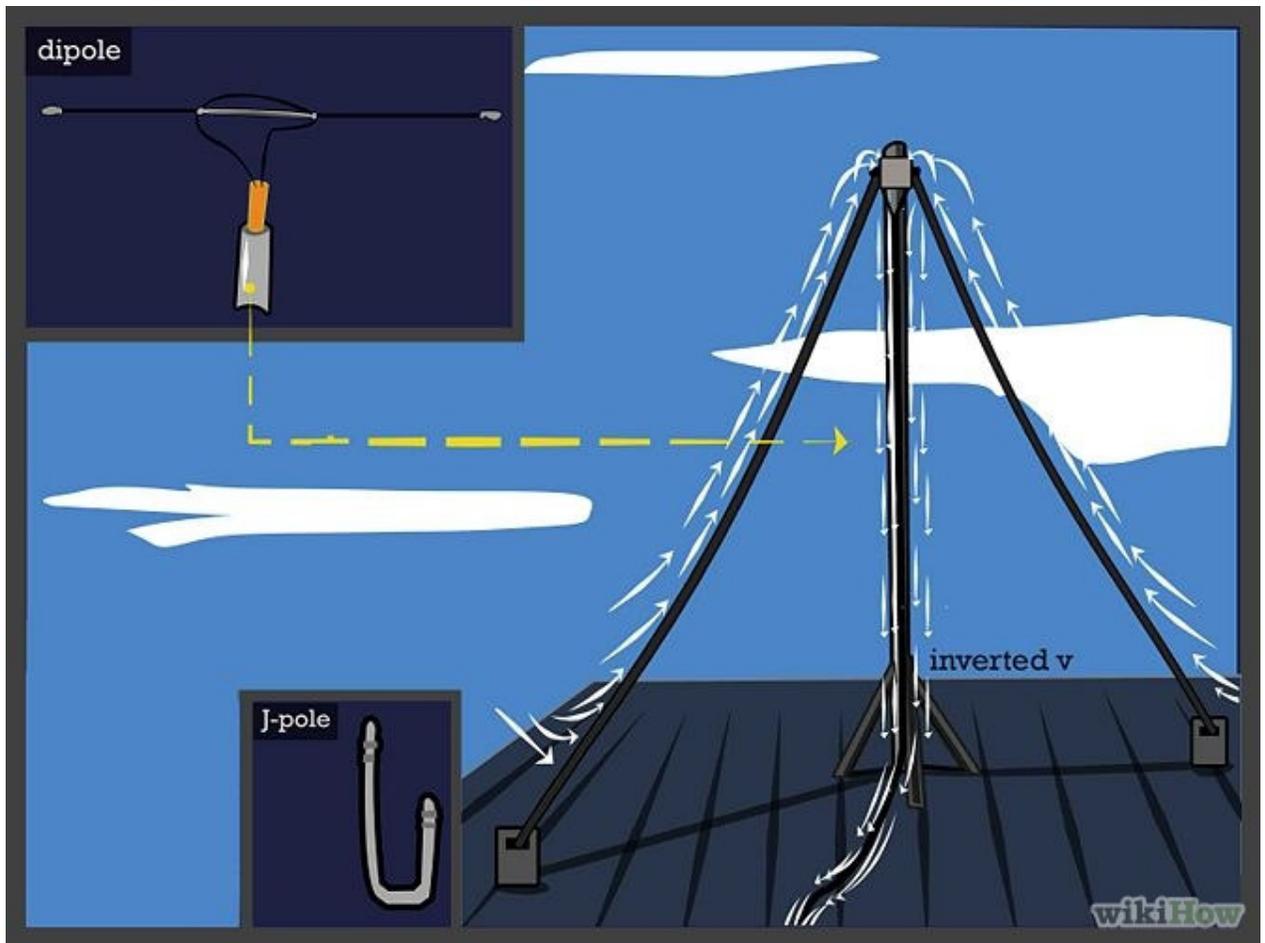
6 Seleziona il cavo che vuoi utilizzare. Assicurati che sia in grado di reggere il tempo, sia in estate che in inverno, e che si presti al lavoro che vuoi fare. In altre parole, non usare un cavo che ti crei problemi nel tempo. Ricordo sempre

che i fili di rame isolati sono eccellenti. NON togliere l'isolamento! È un dato di fatto che la vita di un'antenna duri molto più a lungo se si lascia il rivestimento del cavo. Inoltre, evita che possa esserci un corto circuito a causa del contatto con alberi, foglie, persino erba. Se si tratta di un cavo scoperto, accertati che rimanga sollevato da terra (rivedremo dopo anche questo), così che nessuno possa venirci a contatto, nel caso in cui sia elettrificato da segnali RF. **Bruciate da RF possono fare davvero male, e ustionare la pelle in profondità. È una sorta di energia invisibile.**



7

7 Molti attuali circuiti possono effettivamente ustionare diversi strati di pelle con un solo contatto. A volte, oltre a bruciare, friggono la pelle fino a farla diventare una sorta di polvere bianca. È ciò che si dice “morso della RF”, visto che sembra di essere stati morsi da un brutto insetto, o punti da un'ape... niente veleno ma parecchio dolore. L'amplificatore RF fa ancora più male, a causa dell'ulteriore potenza applicata all'antenna. Se usi un amplificatore a tubi, a seconda dei watt a cui è impostato, stai attento a non farti del male: il suo “morso” può essere pericoloso.



8 Crea l'antenna seguendo metodi corretti e verificati. Le antenne a dipolo sono spesso le più semplici da costruire, e sono quelle a forma di V capovolta, ottenuta sollevando il centro delle antenne. L'antenna dev'essere alta quanto la metà della sua lunghezza d'onda ($\frac{1}{4}$ è l'altezza minima da terra perché inizi a funzionare). Se vuoi usare la banda VHF, costruisci delle semplici antenne Zeppelin, a forma di J, che possono essere utilizzate anche in caso di emergenza. Queste invenzioni utilizzano la sempre popolare antenna con cavo da 300 ohm. Puoi utilizzarle a ogni frequenza, comprese le bande HF, ma avrai bisogno di un supporto molto alto, o di un albero, per farle sveltare nel cielo. Siccome questo tipo di cavo è abbastanza raro, un rotolo da 300 o 450 ohm solo qualche tempo fa si aggirava attorno ai 50 euro, ora in certi casi è aumentato persino del doppio.

7.

9 Ecco altri cavi d'alimentazione che potresti utilizzare. Scegli quello che ti sembra più adatto alle tue esigenze. L'RG8 mini sopporta fino a 2 kilowatt. L'RG8U è più grande, presenta un isolante di gommapiuma o plastica, e può essere utilizzato fino a 3 kilowatt. Cavi resistenti come la serie 9913 sono i

migliori per trasmissioni VHF o UHF. Cavi bifilari da 300 ohm vanno bene se l'antenna dista almeno circa 50 m. Linee aperte bifilari possono essere usate SE NON fanno da antenna. Evita di usare lunghe linee di trasmissione, per non creare interferenze ai tuoi vicini. Per esempio, gli allarmi per auto che non sono schermati spesso possono suonare se si utilizzano certe frequenze. Ma ricordati che, se stai utilizzando la radio in maniera amatoriale, e funziona in maniera corretta, NON è colpa tua se i vicini hanno dei problemi. È colpa di progettazioni e schermature precarie, e della sensibilità delle apparecchiature. A volte si riesce a sistemare il problema, altre volte non c'è altra soluzione se non far sì che i vicini installino un filtro o un soppressore su ciò che presenta il problema per evitare malfunzionamenti. La Federal Communications Commission (FCC) afferma che l'attrezzatura non deve causare interferenze indesiderate. Per difenderti, prendi nota della frequenza che stavi utilizzando nel momento in cui l'incidente è avvenuto, e se ancora non hai fatto analizzare il tuo materiale fallo controllare con un analizzatore di spettro o con un misuratore di armoniche per DIMOSTRARE che la tua attrezzatura NON sta causando interferenze indesiderate. Se hai tutto in ordine, allora sta agli altri agire per proteggere le proprie cose.

8.

10 Scherma le bande VHF e MHF. Alcuni bambini incolpano gli operatori radio, mentre sono loro stessi a sbagliare. Ci sono frequenze che, se usate, possono causare malfunzionamenti ai loro preziosissimi giochi quali macchine, aeroplani e robot radiocomandati. Problemi di questo tipo sono dovuti a difetti di progettazione, alla mancata schermatura o al fatto che i giochi si comportino da ricevitori, e a causa di ciò danno la colpa a te. C'è stato un caso di questo tipo non molto tempo fa, e fra poco ne parleremo, ma prima parliamo di come costruire l'antenna.

9.

11 Potenza massima di output! Che cos'è la potenza massima di output? Il termine Peak Envelope Power indica la potenza massima autorizzata dalla legge. A causa dei recenti cambiamenti di alcune leggi, sono i governi locali a regolare la potenza da usare. Legalmente, i radioamatori possono arrivare fino a 1500 watt! È una grossa quantità, ma considera che l'antenna dev'essere in grado di reggerne la potenza, altrimenti non servirà a nulla. Che tu viva in campagna o in città, l'antenna è fondamentale per una buona trasmissione e ricezione.

10.

12 Fai i tuoi calcoli, poi mettili a punto! Il modo per scoprire di che lunghezza dev'essere l'antenna a dipolo, che è quella più utilizzata, è dividere 468 per FMhz, dove 468 è un numero fisso, FMhz invece è la frequenza in MEGAHERTZ: otterrai così la lunghezza totale (in piedi) dell'antenna a dipolo. Dividi per due e metti, a metà fra le due parti dell'antenna, un isolante (che può essere un tubo di pvc, di ceramica o d'osso); avrai così la tua antenna a dipolo. Collegala con una linea d'alimentazione alla tua radio trasmittente o, se usi delle antenne risonanti, al riflettometro, e verifica il valore delle frequenze alte. Di solito, dal valore 1:5 ad 1 (o meno) è accettabile, ma 1:1 è la situazione migliore. Utilizzare antenne risonanti può essere un'esperienza piuttosto appagante, tuttavia spazio e materiali potrebbero comprometterne l'utilizzo.

11. **Alzare o abbassare l'antenna modifica il valore del riflettometro, tuttavia tieni sempre a mente che una buona idea è alzare l'antenna per almeno un quarto della lunghezza d'onda da terra.** Le antenne a V rovesciata possono collegarsi il più in alto possibile, ma fissarle attorno a un metro è già sufficiente. Metti un segnale d'avviso sul punto di collegamento se l'antenna è in un punto a portata di mano, segnalando la presenza di alto voltaggio e l'avvertenza a non toccare mai i cavi.

14 Allunga il più possibile le braccia dell'antenna e fai che si estendano il più possibile verso il cielo. Più sono in alto, migliore sarà la trasmissione. Metti al sicuro l'alimentazione con della solida corda di nylon o di rayon. In questo modo funzionerà meglio, ma dovrai comunque controllarla un paio di volte all'anno per verificare che non si sia consumata a causa del tempo. Sostituiscila, se necessario.

15 Sviluppa un nuovo design! Per molti anni, progettare antenne è stata una passione per molti radioamatori. Il prossimo modello su cui potresti lavorare è l'antenna a gabbia. Per realizzarla avrai bisogno di un tubo da fognatura, o dell'acqua, spesso 10-15 cm, che dovrai tagliare formando dei piccoli "collari distanziatori" (da 1-1,5 cm). Usa una troncatrice per facilitarti il lavoro. Usa una sega da circa 30 cm per tagliare il tubo. **FAI MOLTA ATTENZIONE, SICCOME L'ULTIMO PEZZO DEL TUBO POTREBBE SBATTERE CONTRO LA SEGA** senza rompersi e rimbalzando su di te. Taglia solo dove **NON** è pericoloso, lasciando almeno 30-35 cm di tubo. Una volta effettuato il taglio, misura la circonferenza esterna del collare, dividi per 6 se utilizzi 6 cavi,

o per 8 se pensi di usarne 8. Usa un trapano per creare dei fori sul distanziatore e tracciare il percorso dei cavi (la misura della punta del trapano varia a seconda del calibro dei cavi). Cerca di essere il più preciso possibile.

16 NON USARE LA STESSA FORMULA DELL'ANTENNA A

DIPOLO. La tua nuova antenna verrà più corta rispetto a un normale dipolo! Puoi usare la formula precedente solo come punto di partenza. A seconda della dimensione del collare devi ridurre la lunghezza del 4%, se non di più! Ricordati che userai 6 o 8 cavi. Quelli utilizzati per le recinzioni elettriche sono una delle opzioni migliori per questo tipo di antenna, in quanto relativamente economici a dispetto della grande quantità. Il rame resta comunque la scelta migliore, altrimenti puoi prendere in considerazione anche lo stagno.

17 Misura accuratamente, anche se in questo passaggio non è

fondamentale. Taglia i 6 o 8 cavi che userai. È sempre meglio stare larghi, piuttosto che risparmiare cavo. Fatti aiutare da un paio di amici. Una volta prese le misure, porta i cavi che hai tagliato verso un'unica direzione.

18 Assembla la tua antenna. Ora arriva il bello. Fai scivolare i cavi nei buchi all'interno di 4 collari, lasciando un quinto collare a una delle estremità dei cavi. Poi, distanzia i collari a intervalli di 45-50 cm. Metti della colla a contatto all'interno dei fori così che i cavi rimangano ben saldi. Costruisci diversi di questi fasci, utilizzando 4 o 5 collari alla volta, e lasciandone sempre uno a un vertice. Quando raggiungi l'ultimo collare, unisci i cavi e convogliali verso il centro legandoli con un altro pezzo di filo. Disponi un braccio del dipolo da una parte e uno dall'altra.

19 Cura i dettagli. Se usi spazi di 45 o 50 cm fra i collari, mantieni una certa coerenza! Se lasci uno spazio di 45 cm, rimani fedele a questa misura, e lo stesso vale se ne lasci 50. Cavi di calibro 14 o 12 aggiungono peso al fascio, ci vuole dunque molto tempo per far funzionare queste antenne. Non avere fretta! Prenditi il tempo che ti serve, lavora bene una volta e vedrai che potrai contare su una resa duratura. L'area di diffusione di un'antenna a gabbia composta da 6 cavi aumenta di 5 volte! Un'antenna da 8 arriva addirittura a 7. Nonostante sia difficile da costruire, questo tipo di struttura è la migliore per i radioamatori.

20 Smanetta con le manopole, et voilà! Uno dei segreti più nascosti delle radio amatoriali è costituito dalle antenne delta-loop. Le antenne risonanti trovano la frequenza esatta, a metà della banda, e possono sintonizzarsi su diverse bande se si utilizzano gli strumenti adeguati. La formula da usare per calcolare l'altezza di un'antenna di questo tipo è $1005/\text{FMHz}$. Il risultato stabilirà l'altezza dello strumento in base alla banda che si vuole utilizzare. Posizionare orizzontalmente l'antenna a mo' di triangolo formerà un delta. Se le dai una forma quadrata, ecco l'antenna "a scatola". Questo tipo di antenna viene usato soprattutto in campagna, poiché richiede una vasta area di terra per funzionare. Quando innalzi questo piccolo mostro in aria, attento ai CAVI ELETTRICI! Potresti sfruttare l'altezza degli alberi per erigere l'antenna e utilizzarli come palo di supporto con l'aiuto di una canna da pesca e di un piombino da 100 g, tesi in maniera opportuna su uno dei rami più alti. Una volta sistemati questi attrezzi, collega il cavo che userai come antenna all'alimentazione, e arrotolalo delicatamente lungo il ramo. Non dimenticare di usare sempre corde dalla lunghezza adeguata. Come isolante in questo caso potresti usare un tubo in pvc. Da un tubo spesso circa 4 cm, taglia tre o quattro pezzi lunghi 15-18 cm. Crea dei fori del diametro di 1 cm usando una buona punta, tenendoti leggermente distante dalle estremità del tubo (almeno 5 cm). Per il punto di alimentazione, usa un altro pezzo di tubo in pvc, facendo un buco nel mezzo che funga da serracavo. Concentrati sul tubo, non sull'antenna o sulla linea d'alimentazione. Innalza l'antenna fra gli alberi molto cautamente, assicurandoti che il risultato s'avvicini al progetto che avevi in mente.

Consigli

- Usa cavi di natura simile. Evita di usare materiali che possono corrodarsi facilmente, rompersi o perdere conduttività.
- Metti l'antenna il più possibile vicino al luogo di trasmissione per prevenire dispersioni di energia RF.
- Divertiti a costruire il tuo impianto. Le antenne sono il cuore di ogni sistema radiofonico.
- Utilizzare degli strumenti inappropriati per tagliare i cavi potrebbe lasciare delle estremità affilate capaci di penetrare facilmente nella pelle. Controlla prima di metterti al lavoro, così da evitare di farti del male.
- Usa tubi in pvc per ottenere distanziatori e isolanti economici.
- Tieniti alla larga dai cavi dell'elettricità.
- Fatti aiutare nella realizzazione del progetto. Gli amici potrebbero trovarla un'esperienza affascinante.

- Misura due volte, taglia una. Sebbene non sia fondamentale nel caso di un'antenna a gabbia, è importante conoscere l'esatta lunghezza dell'antenna in rapporto alla banda che vuoi utilizzare.

Cose che ti Serviranno

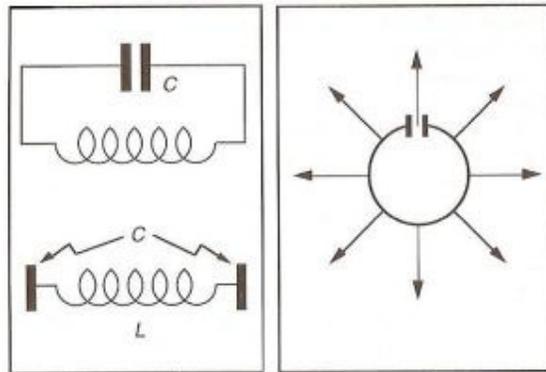
- Cavo per antenna, da scegliere fra le opzioni elencate. Prendine sempre in quantità
- Buone saldatrici
- Coltello, pinze, tronchesine, trapano e punte della giusta dimensione
- Tubo in pvc di qualunque diametro tu scelga di usare per le tue antenne, e per i tuoi isolanti
- SPAZIO, fondamentale per erigere l'antenna. Tieniti alla larga dalle linee elettriche

LOOP MAGNETICA

Il nome di tale antenna deriva appunto dalla sua forma **caratteristica a cerchio**,e possiamo immaginarla come un circuito costituito dalla serie fra un condensatore C ed un'induttanza L (di una **sola spira**).

In questo modo,alimentando il circuito con una sorgente RF, avremo che il campo elettrico si concentrerà quasi esclusivamente sul condensatore ,e questo farà sì che si creeranno minori perdite capacitive dovute alla vicinanza della terra ,mentre quello magnetico finirà interamente sulla superficie della spira che lo irradierà nello spazio (da qui l'origine del nome) : i due campi si ricombineranno successivamente a qualche lunghezza d'onda di distanza.Le minori perdite capacitive faranno sì che la loop magnetica irradierà efficacemente anche a brevi distanze dal suolo.

distanze dal suolo.



Schema elettrico della loop

Per quanto riguarda il **diagramma d'irradiazione**,possiamo dire che questi avrà la forma di un **"otto"** e si svilupperà in tutte le direzioni nel piano della spira ad eccezione di quelle perpendicolari ad esso, dove la radiazione risulterà minima.

La polarizzazione sarà verticale se il montaggio sarà verticale rispetto a terra,ed orizzontale nel caso contrario.

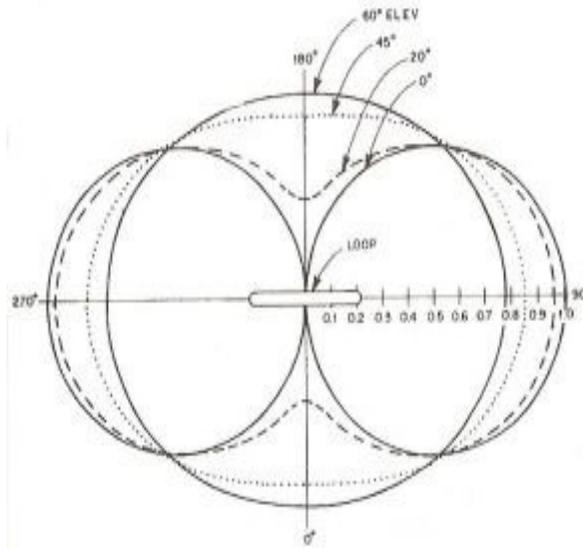


Diagramma d'irradiazione

Vediamo ora le sue caratteristiche :

- **PRATICAMENTE OMNIDIREZIONALE**
- **POLARIZZAZIONE VERTICALE/ORIZZONTALE A SECONDA DI COME LA SI INSTALLA**
- BUONA COPERTURA DI FREQUENZE (UTILIZZANDO UN CONDENSATORE VARIABILE
- BANDA PASSANTE PIUTTOSTO STRETTA,DOVUTA AL Q ELEVATO (UNICO ASPETTO NEGATIVO)
- **GUADAGNO MEDIAMENTE PROSSIMO AL DIPOLO (PERDE CIRCA 0,4 dBi)**
- OTTIMA IN RICEZIONE ,(RISULTA MOLTO SILENZIOSA E SELETTIVA GRAZIE ALLA BANDA PASSANTE STRETTA),PERMETTE DI ASCOLTARE ANCHE I SEGNALI PIU' DEBOLI
- INSENSIBILE AI DISTURBI ELETTRICI GENERATI DALL'AMBIENTE CIRCOSTANTE
- OTTIMA RESA INDIPENDENTEMENTE DALLA DISTANZA DAL TERRENO
- EFFICIENZA SUPERIORE AL 50 % (IN FUNZIONE PERO' DELLA BONTA' REALIZZATIVA)
- DIMENSIONI CONTENUTE (
- MOLTO ECONOMICA E SEMPLICE DA REALIZZARE

Quindi rende circa come un normale dipolo ma con dimensioni (anello) ridotte !!!

Una prima considerazione su questa antenna è la **larghezza di banda**.

Se è di questo dato che si parla è **un'antenna strettissima** in quanto il valore sulla quale lavora senza aggiustamenti è una sola frequenza. E basta!

Se si modifica il valore del condensatore col quale lavora (e senza di questo non lavora) allora la si può far lavorare in un range di frequenze accettabile, almeno sino a coprire l'intera fascia di frequenze per la quale l'antenna è stata concepita

Meno capacità del condensatore si usa maggiore sarà il diametro della circonferenza del loop

Maggiore è il diametro del tubo utilizzato per fare il loop maggiore sarà la resa dell'antenna

Concettualmente il condensatore fisso ci **porta in banda l'antenna**

Specifichiamo inoltre che l'antenna a loop magnetica alimentata in tensione con il **gamma match** differisce leggermente da quella per **induzione** alimentata in corrente (quella con i due cerchi concentrici per capirci)... ed hanno rese leggermente dissimili... tuttavia... rimane sempre una base da seguire... l'area di "captazione" delle onde e quindi d'emissione... **che più è ridotta e meno fa rendere le antenne....**

come funziona un'antenna Loop.

L'antenna Loop Magnetica è considerata come una **spinta elettrica** con il guadagno di un dipolo a mezzonda, di fatto è un circuito risonante di tipo L-C, la combinazione ed il variare dei due fattori di risonanza, riesce a far cambiare di sintonia, quindi frequenza di risonanza.

Teoricamente questo "giochetto", dovrebbe funzionare per tutte le frequenze (bande), ma in pratica, e soprattutto in fase costruttiva si vedrà che ci sono dei limiti.

Ho accennato un'analogia del LOOP ad un dipolo, infatti esso può essere paragonato ad un dipolo ripiegato in cerchio, con un fattore di merito altissimo, e di dimensioni ridotte, la particolarità è che come un dipolo, ai suoi capi si forma un'altissima tensione elettromagnetica, che a differenza di quest'ultimo, l'energia che viene irradiata nello spazio circostante, non avviene in modo diretto, creando un limite nella frequenza di utilizzo, ma viene combinato con l'ausilio del condensatore in modo da potere spostare di volta in volta il centro banda (sintonizzazione), così da potere utilizzare l'antenna in tante bande di frequenza con il massimo rendimento possibile.

Un'altra particolarità molto rilevante, è che presenta **una pulizia di segnale in ricezione impressionante, quasi priva di disturbi elettromagnetici o elettrostatici, e presenta una ristrettezza di banda molto piccola** ove si concentra tutta la sua energia, ma tale ristrettezza di banda fa sì che ogni qualvolta dobbiamo cambiare frequenza o banda di trasmissione dobbiamo correggere la sintonia, variando quei fattori sopracitati, quindi la "L" o la "C".

Generalmente le antenne loop presentano una riduzione dei segnali ricevuti rispetto ad altre tipologie ma quello che le rende ottime è il **buon rapporto segnale/rumore che offrono**; quindi segnali si più bassi, ma più puliti e....più gradevoli.

La peculiarità è che sfruttano la **componente magnetica** dell'onda elettromagnetica.

Il rendimento o efficienza di un'antenna loop magnetica si definisce come le altre antenne

$$\eta = R_r / (R_r + R_p)$$

il rendimento è mediamente alto perché anche se la resistenza di radiazione R_r è molto bassa, la R_p (resistenza di perdita) si riduce alla bassissima resistenza del conduttore (meglio se di rame e grossa sezione: almeno 3 cm.)

mediante il software "radioutilitario" si può calcolare il rendimento alle singole frequenze di un'antenna loop magnetica impostando i parametri (ad es. per una loop di un metro di diametro e sezione 5 cm. il rendimento sui 14 Mhz è del 83% e sui 28 Mhz è del 98%)

poi c'è anche il discorso del **lobo d'irradiazione** che è più alto di una verticale o di un dipolo ben installato

ALTRE ANTENNE

di Gianni Turco, ik0ziz

VLF-LF

Le antenne VLF-LF sono riconducibili a radiatori cilindrici verticali su un piano di massa.

Sono elettricamente corte, dato l'alto valore della lunghezza d'onda impiegata. Realizzate con strutture filari, sono sostenute da tralicci. Il rendimento η di un'antenna di questo tipo è definito come :

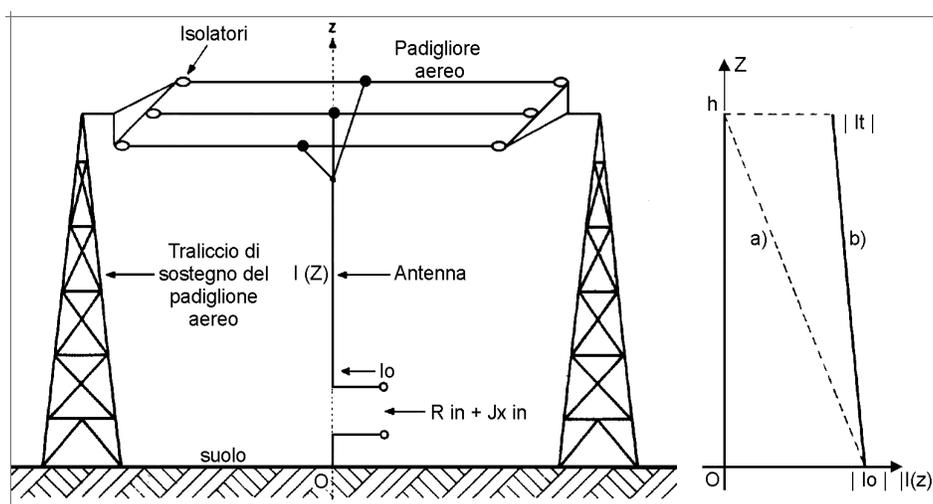
$$\eta = \frac{R}{R_r + (R_c + R_i + R_a + R_t)}$$

dove R_r è la resistenza d'irradiazione ;

R_c è la resistenza di perdita dei conduttori che costituiscono l'antenna ;

R_i è la resistenza di perdita dovuta agli isolatori ;

R_a è la resistenza di perdita associata alla conducibilità finita del suolo.



Antenna VLF-LF con carico capacitivo alla sommità. Nel grafico a destra in a) è rappresentata la distribuzione della corrente che si avrebbe senza padiglione aereo ($I_{II}=0$). In b) invece è il caso generale con padiglione ($I_{II} \neq 0$).

Le R_c ed R_i sono quasi sempre trascurabili rispetto alle altre, ad eccezione alla parte inferiore delle VLF, dove anche R_r assume valori trascurabili. Alle frequenze basse, lo sviluppo notevole del volume dell'antenna comporta la necessità di utilizzare dei materiali ad alta resistenza meccanica, che offrono una maggiore resistenza ohmica.

Vista la scarsa influenza di R_c ed R_i , per aumentare il rendimento del sistema si dovrà modificare le R_r , R_i ed R_a .

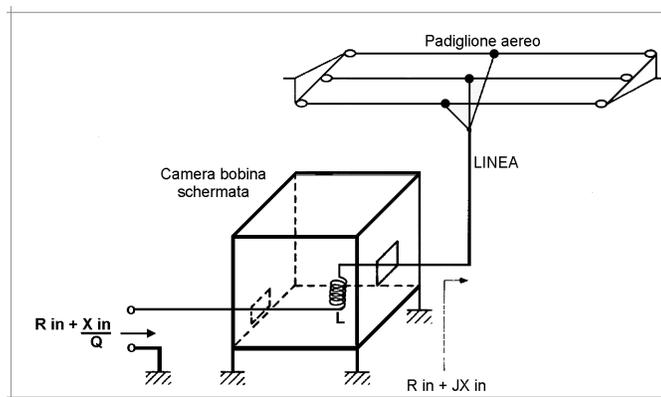
Per aumentare la R_r si opera sull'altezza dell'antenna, dove a quote maggiori corrisponde un incremento in "G".

Un carico capacitivo posto tra le sommità dei tralicci aiuta ad aumentare la R_r . Il carico capacitivo, o anche detto "padiglione", o "cappello capacitivo", è composto da un sistema di conduttori disposti parallelamente al suolo.

La R_r varia in funzione dell'altezza dal suolo relativa alla lunghezza d'onda elettrica. Per ottenere valori adeguatamente piccoli di R_t (verso terra), poiché la conducibilità del suolo è sempre molto bassa, si utilizza un sistema di "dispersori di terra".

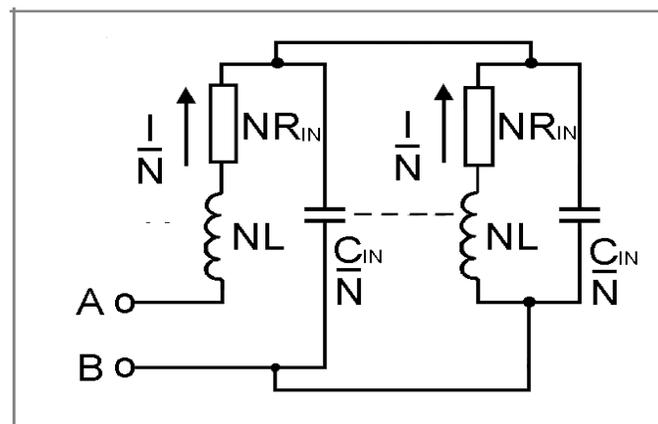
Tale sistema è costituito da un insieme di conduttori, interrati a raggiera nel suolo circostante e facenti capo alla terra dell'antenna.

Per diminuire le perdite, quindi per ridurre la R_a , si realizza un circuito di adattamento della impedenza d'ingresso, composto da induttanze a basse perdite, fatte con conduttori ad alto Q, quindi con bobine di diametro sufficientemente elevato e contenute in ambiente adeguatamente schermato.



Antenna VLF-LF con relativo induttore di neutralizzazione della reattanza X_{in} .

L'impedenza d'ingresso è minore di 10 ohm, quindi non si può collegare direttamente alla linea di trasmissione. Occorre realizzare un circuito di trasformazione di impedenza. Un tipo che risulta molto utile è quello a discese multiple, infatti l'impiego di N discese consente di moltiplicare per N^2 l'impedenza d'ingresso. Naturalmente il valore delle singole induttanze impiegate dovrà essere N volte quello relativo ad una singola discesa.



Schema di adattamento d'ingresso.

Antenne a torre

Questo tipo di antenna è utilizzato essenzialmente nella banda MF.

Sono riconducibili ad antenne cilindriche verticali, montate su di un piano di massa (terreno sottostante).

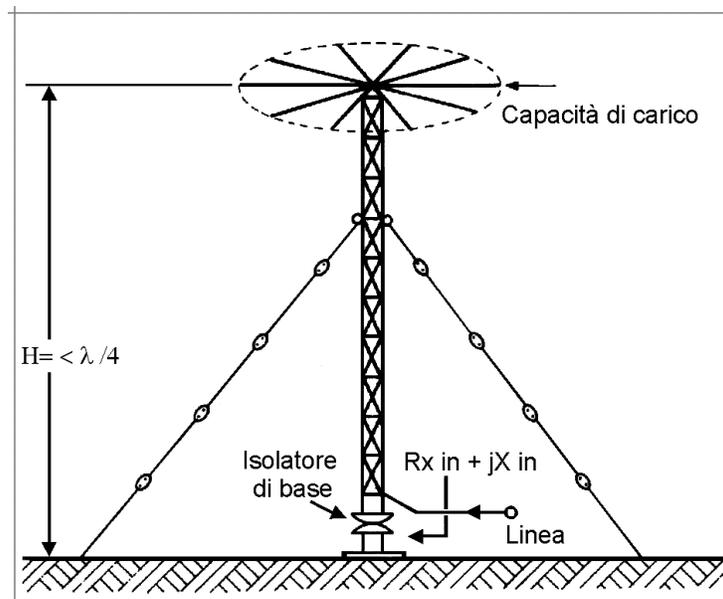
Generalmente si applicano gli stessi concetti delle antenna VLF-LF, ma si ha una resistenza di irradiazione di valore più alto ed un maggior rendimento poiché il rapporto tra l'altezza e la lunghezza d'onda, quindi anche alla maggior altezza efficace, è più alto.

Per la banda bassa delle MF, ed in ogni caso quando è necessario limitarne le dimensioni, si usa un "cappello capacitivo", ovvero caricate alla sommità.

La resistenza d'irradiazione è in funzione all'altezza elettrica K_h dell'antenna espressa in gradi ($K_h = 360 h/\lambda$) e del carico posto alla sommità.

La reattanza d'ingresso risulta sempre capacitiva, ed è richiesta allora una induttanza di base per la compensazione.

Se si utilizzano tralicci, i cavi di controventatura devono essere interrotti in vari punti mediante buoni isolatori.



Antenna a torre autoirradiante con capacità di carico in testa realizzata ad ombrello.

Per antenne a torre di sezione costante, la distribuzione della corrente è sinusoidale, perciò è possibile calcolare con l'altezza efficace e la resistenza d'irradiazione con approssimazione sufficientemente vicina alla realtà.

Nei tralicci rastrellati, la corrente varia con l'andamento del cono, e di conseguenza il valore dell'altezza efficace diminuisce.

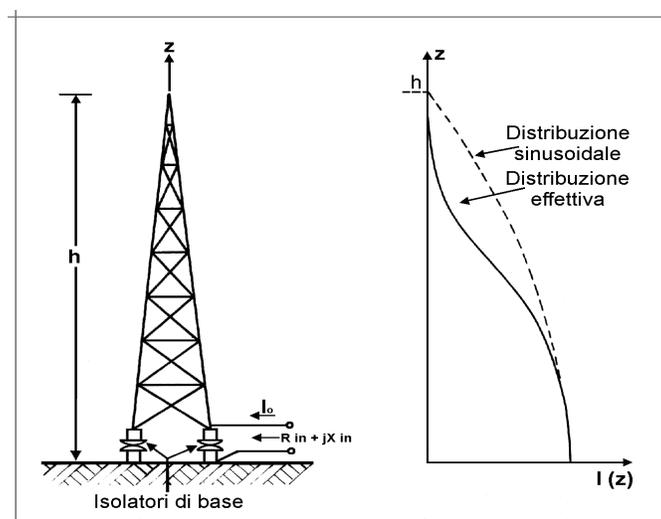
Per correggere la distribuzione della corrente, la torre si carica alla sommità.

Eventuali controventi devono essere possibilmente in fibra. Controventature in materiali metallici devono essere interrotti con adeguati isolatori inseriti in punti diversi, e ad intervalli uguali.

L'alimentazione ad un'antenna a torre, può essere applicata in serie quando è isolata dal suolo, con una tensione tra il suo estremo inferiore e la terra. L'antenna a torre può anche essere alimentata in parallelo, ovvero quando è collegata al suolo, con una tensione applicata tra la terra ed una sezione dell'antenna stessa.

Quando è alimentata in serie, per ottenere in trasmissione le potenze richieste, la tensione applicata all'isolatore di base deve essere molto elevata.

L'impedenza di un'antenna a torre alimentata in serie, ovvero quando è isolata dal suolo, può essere calcolata come una linea di trasmissione aperta di lunghezza h di impedenza caratteristica $Z_0 = [138 \log(h/d) - 60 + 69 \log(2h/\lambda)]$ Ohm, dove d è il diametro della sezione dell'antenna.



Antenna a torre rastrellata e grafico del comportamento della corrente.

Antenna dis-cone

L'antenna dis-cone è usata in effetti come un dipolo posto verticalmente, quindi l'irradiazione isotropica è orizzontale.

A differenza del dipolo, la dis-cone dà buone prestazioni su un intervallo di frequenze più esteso.

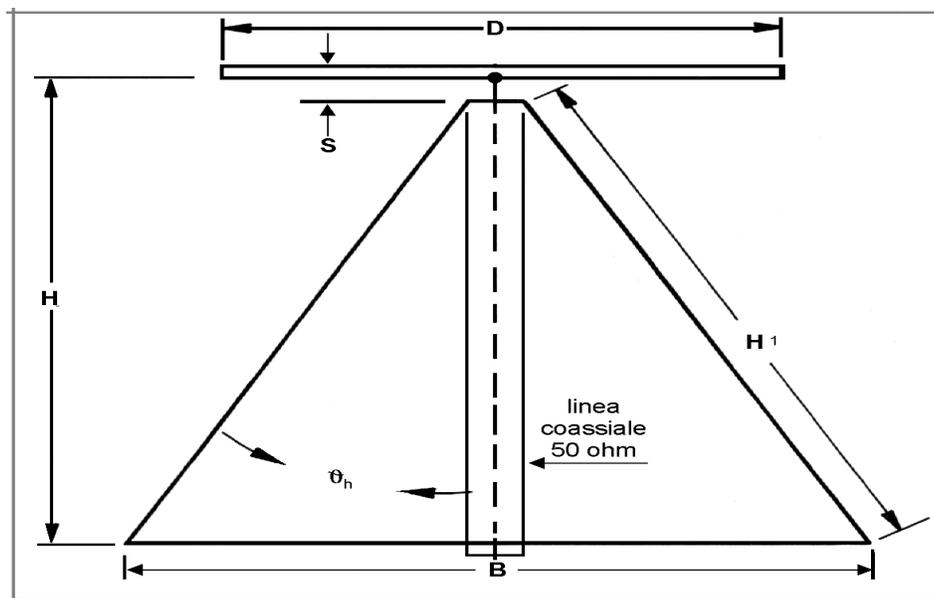
La figura è un disco, al quale è applicata la radiofrequenza, e un cono sottostante al quale è connesso lo schermo della linea di trasmissione.

La resistenza di radiazione è di 50Ω . A frequenze più alte il diagramma d'irradiazione si inclina verso il basso.

La realizzazione può essere fatta sia con superfici intere che simulate con vari conduttori filiformi o cilindrici che ne costituiscono la forma. Le dimensioni sono:

- B diametro della base = 0.6λ
- S spaziatura cono/disco = $0,3$ del diametro vertice cono
- ϕ angolo lato/base = 60°
- H altezza verticale cono = $1/4 \lambda$
- H' lunghezza del lato a 25° = 0.7λ
- d diametro del disco = 0.7 di H

L'impiego è generalmente adottato in ricezione.



Geometria di un'antenna dis-cone.

Antenna a stilo

L'antenna a stilo è costituita da un conduttore cilindrico posizionato verticalmente, generalmente in acciaio, ma anche in alluminio o rame, essenzialmente autoportante.

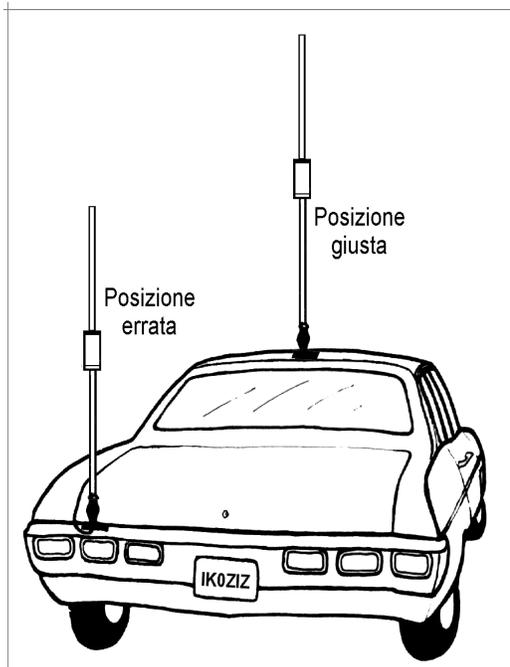
Alla base vi è un isolatore rigido che lo sostiene. E' indicato per stazioni mobili, natanti compresi.

Il sistema di terra riflettente è il piano metallico del mezzo ove è montato. E' buona norma non installarlo ai bordi di un'auto, ma sul tetto, centralmente.

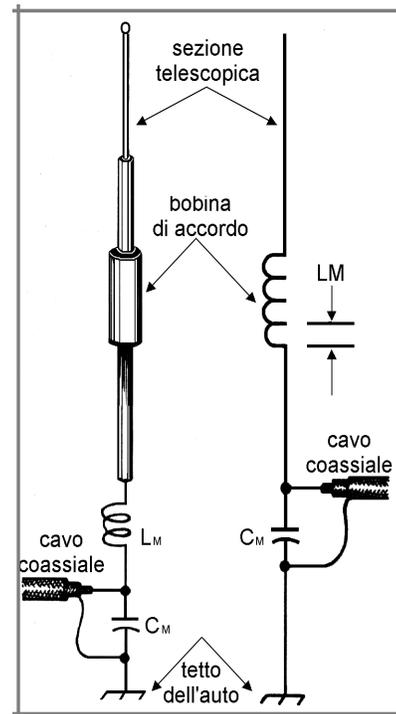
La lunghezza dello stilo deve essere di un quarto d'onda, ma si può accorciare caricandolo alla base o al centro.

In presenza di una carica, per una buona efficienza, deve essere il più possibile minima.

L'impedenza d'ingresso varia rapidamente col variare della frequenza, per questo, di solito, per l'uso in automobile si impiegano antenne a stilo monobanda, ma con opportuna rete di adattamento si possono impiegare anche su frequenze diverse.



La posizione giusta dell'antenna a stilo è al centro del tettuccio dell'auto, in modo di ottenere una riflessione omogenea ed un'impedenza costante.



Descrizione elettrica dell'antenna stilo per automobile vista insieme alla realizzazione pratica.

I valori di C_m e di L_m si determinano con :

$$C_m = \frac{\sqrt{R_a(Z_o - R_a)}}{2\pi f \text{ (in KHz)}} \times 10^9 \text{ pF}$$

$$L_m = \frac{\sqrt{R_a(Z_o - R_a)}}{2\pi f \text{ (in KHz)}} \times 10^3 \text{ } \mu\text{H}$$

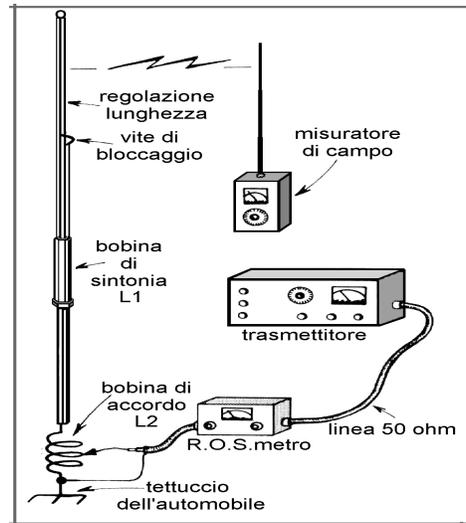
dove R_a è l'impedenza al punto d'ingresso dell'antenna
 Z_o è l'impedenza caratteristica della linea di trasmissione.

Ad esempio, se l'ingresso è di 20Ω , e la linea è il classico cavo RG58 con 50Ω di impedenza, e la frequenza di risonanza dell'antenna deve essere 28000 KHz , avremo :

$$C_m = \frac{\sqrt{20(50-20)}}{(6.28)(28000)(20)(50)} \times 10^9 = \frac{\sqrt{600}}{(6.28)(28)(2)(5)} \times 10^4$$

$$= \frac{24.5}{7033.6} \times 10^4 = 348 \text{ pF}$$

$$L_m = \frac{\sqrt{20(50-20)}}{(6.28)(28000)} \times 10^3 = \frac{\sqrt{600}}{175.84} \times 10^3 = \frac{24.5}{175.84} = 139 \mu F$$



Per la taratura dell'antenna munirsi di un ROSmetro e possibilmente anche di un misuratore di campo.
 Regolare L1 per la sintonia al minimo R.O.S., e aggiustare mediante la parte telescopica.
 Regolare poi L2 per il minimo R.O.S. e ripetere l'operazione finché si ottiene un adattamento perfetto.

Antenna ground plane

La ground plane è la più semplice antenna. E' costituita da uno stilo di lunghezza 1/4 di lambda ed almeno 4 radiali alla base, che ne determinano l'impedenza d'ingresso tra 30 e 70Ω.

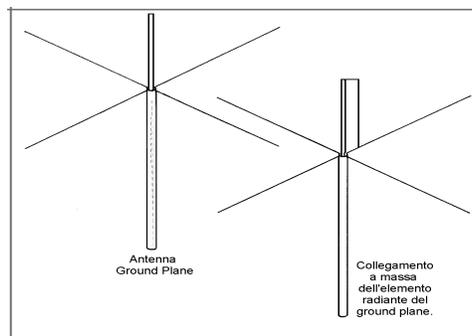
Per 50 Ω richiesti dalla linea di trasmissione, l'inclinazione dei radiali è di circa 45°.

La quantità maggiore di "radiali" migliora la bontà del piano riflettente. La loro lunghezza varia da 0.2 a 0.3 lambda.

La polarizzazione è verticale, con un diagramma d'irradiazione praticamente uniforme nel piano orizzontale.

Un trucco per attenuare le cariche elettrostatiche è quello di unire il vertice dello stilo centrale ad un radiale tramite conduttore di diametro che si adatti all'impedenza d'ingresso, distante dal centro dello stilo radiante di circa 0.16 λ.

In questo modo l'antenna si comporta come un monopolo ripiegato montato su un piano di massa (vedi dipolo ripiegato).



Geometria dell'antenna GP, ground plane

Dimensioni della Ground Plane per alcune frequenze :

50 MHz Radiatore 136 cm. Ø20mm. Radiali 142 cm. Ø15 mm.

145 MHz Radiatore 45 cm. Ø25mm. Radiali 50 cm. Ø 20 mm.

433 MHz Radiatore 14 cm. Ø25mm. Radiali 16 cm. Ø 20 mm.

Antenna J

L'antenna a J, lettera che indica la sua forma è, sostanzialmente, un radiatore a $\frac{1}{2} \lambda$, in polarizzazione verticale, alimentato alla sua estremità con una sezione adattatrice $\lambda/4$, posta parallelo a 16 cm di distanza.

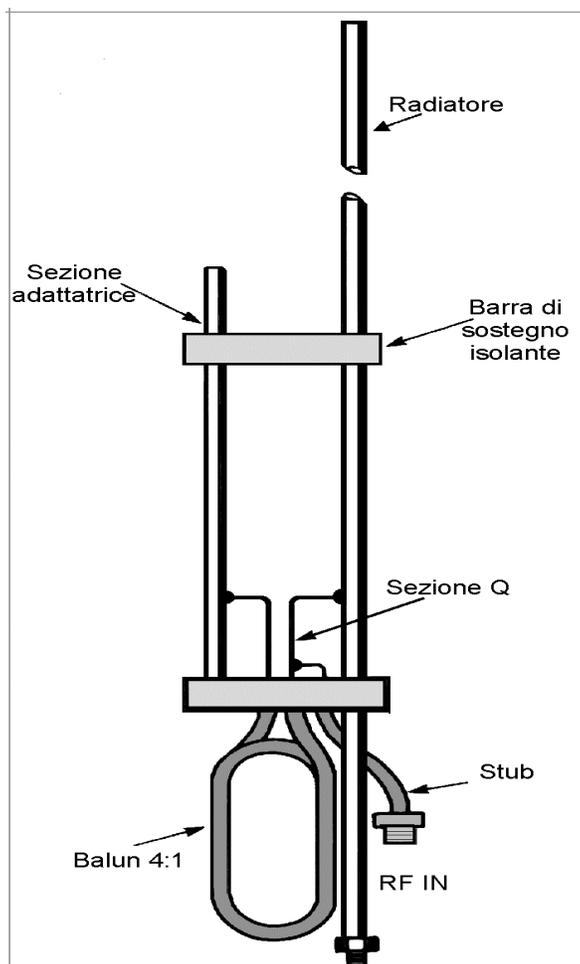
Nella sezione adattatrice le correnti sono opposte, quindi si annullano.

L'impedenza d'ingresso è di 300Ω bilanciata, e viene trasformata a 75Ω da un balun a trombone con uno stub $1/4$ di linea 75Ω in parallelo per l'adattamento migliore al cavo di 50Ω .

La regolazione per il minimo R.O.S. va operata spostando le prese del balun e la risonanza ritoccando la lunghezza dello stilo per il minimo R.O.S.. Si consiglia di realizzare la parte finale del radiatore col sistema telescopico per poter facilmente tararlo.

Per il dimensionamento dello stilo, la formula è: $\frac{149.9}{F} \cdot K$

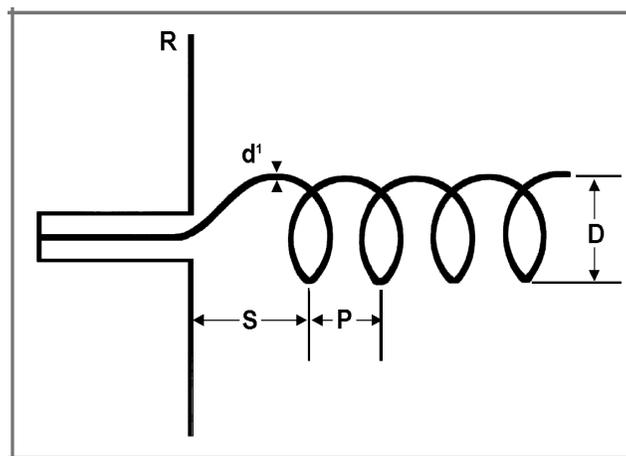
La sezione adattatrice è la metà della lunghezza. Rispetto alla ground plane quest'antenna offre un guadagno di circa 2 dB, e la larghezza di banda supera agevolmente 3 MHz.



L'antenna J non richiede piano di terra.

Antenna ad elica

Le antenne ad elica sono impiegate a frequenze molto alte. Sono a larga banda con un guadagno "G" molto alto. Sono fatte con un conduttore avvolto in aria, a mò di spirale, lungo l'asse Z, ad una certa distanza S dal riflettore R.



Geometria dell'antenna ad elica.

L'irradiazione può variare a seconda della dimensione dell'elica. Se la circonferenza delle spire è uguale o minore della lunghezza d'onda, la concentrazione dell'energia è lungo l'asse Z; il riflettore permette di rendere il diagramma unidirezionale.

La polarizzazione è circolare, in quanto il campo elettrico ruota nel propagarsi lungo l'asse delle spire. E' quindi utilizzabile per trasmissioni o ricezione con polarizzazione orizzontale o verticale.

A seconda del senso di avvolgimento delle spire, quando la loro circonferenza è maggiore di una lunghezza d'onda, l'irradiazione può essere destrorsa o sinistrorsa,

Il guadagno dipende dal numero delle spire e su frequenze molto alte si riesce a raggiungere e superare anche i 40 dB.

La resistenza di radiazione è compresa tra 120 e 170 Ω .

Questa magnifica antenna, ancora poco diffusa tra i radioamatori, porta la firma di W8JK, al secolo dr. J.D.Kraus.

Le modalità di costruzione sono:

D diametro delle spire = $0,32 \lambda$

R, diametro del riflettore = minimo $0,8 \lambda$

d, diametro del conduttore = $0,02 \lambda$

P passo delle spire = $0,22 \lambda$

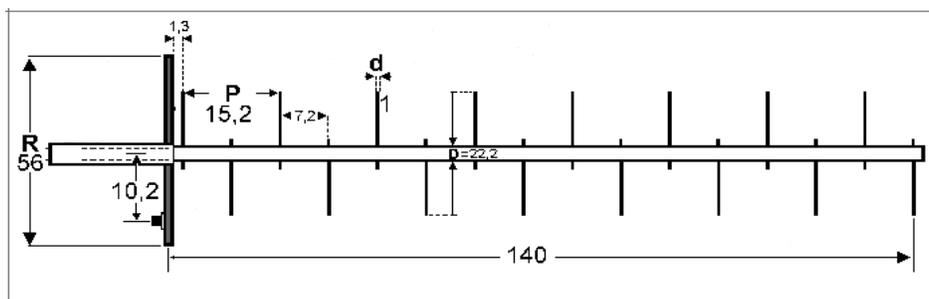
S distanza dal riflettore = $0,12 \lambda$

All'ingresso della linea occorre inserire un adattatore d'impedenza $\lambda/4$, calcolato tra quella media di 135Ω .

La formula è :

$$Z_{tr} \sqrt{R \cdot Z_0} \quad \text{es.: } \sqrt{135 \cdot 50} = 82\Omega$$

Per una preciso adattamento, prima di operare la trasformazione si misuri l'impedenza d'ingresso.



Dimensioni costruttive di un'antenna ad elica per 433 MHz.

Il trasformatore va realizzato in aria, ma può essere anche fatto utilizzando spezzoni di cavo di trasmissione. Per il calcolo dei diametri dei due tubi del trasformatore in aria la formula è:

$$Z_0 = 138 \times (\log D - \log d)$$

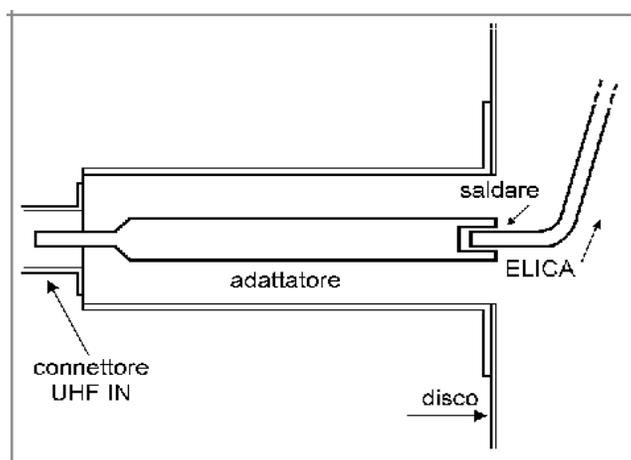
es.: $Z_0 = 138 \times (\log 24 - \log 6)$

$$Z_0 = 138 \times 0.6020 = 83\Omega$$

Per impedenze diverse da 83Ω dovranno essere variati i diametri dei tubi o anche uno solo. L'ampiezza del lobo d'irradiazione è dato da

$$\frac{12.300}{\text{Numero_spire}}$$

Numero _spire



Dettaglio del retro del disco. L'asta portante è bloccata con staffe a 120° tra loro.

Antenne a diedro

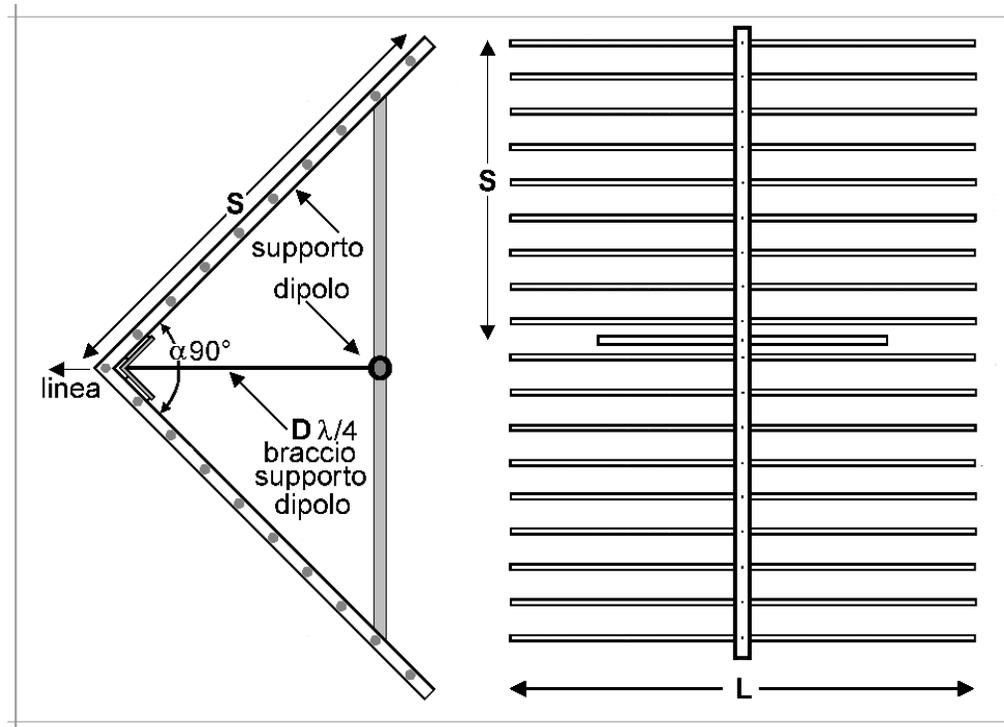
L'antenna a diedro è costituita da un dipolo ripiegato posto nel piano bisettore di un diedro, che è costituito da conduttori paralleli al dipolo.

E' una derivazione dall'antenna collineare, con un solo radiatore. Si ottiene un miglioramento nel diagramma d'irradiazione e del guadagno che raggiunge molto facilmente i 12 dB se l'angolo tra i due semipiani del diedro è di 90° .

Quest'antenna è meglio conosciuta col nome di corner-reflector, che si traduce appunto in "riflettore ad angolo".

La distanza tra i conduttori è minore di $1/10$ di λ e la distanza del dipolo dal vertice del diedro è di $1/4$ d'onda.

Se si riduce l'angolo del diedro a 60° , a parità delle altre condizioni il guadagno cresce fino a 14 dB.



Antenna a diedro, o anche corner-reflector.

Vale la pena realizzarla se la frequenza di lavoro è molto alta, infatti è diffusamente utilizzata per la ricezione di canali televisivi UHF, intorno ai 500 MHz.

Con l'apertura del riflettore a 90° , la spaziatura tra il dipolo ed il riflettore è compresa tra 0.7λ , mentre con un'apertura di 60° , la distanza del dipolo dal riflettore sarà tra 0.35 e 0.75λ ; infine, per un'angolo di 45° lo spazio tra schermo e dipolo radiante sarà compreso tra 0.5 e 0.8 di λ .

Il guadagno varia, con ogni spaziatura, di $\pm 1,5$ dB, quindi è preferibile sceglierla in funzione della variazione dell'impedenza d'ingresso, per ottenere un adattamento perfetto.

Per avere 50 ohm la distanza dipolo-riflettore deve essere di 0.16λ , o 0.32λ o 0.48λ .

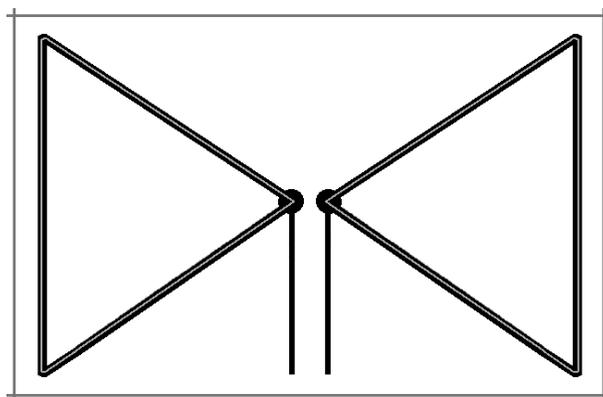
Per una buona direttività la lunghezza del riflettore non dovrebbe essere inferiore a 0.6λ .

Antenne a triangolo

L'antenna a triangolo, o anche detta a farfalla, è un'antenna a larga banda usata in UHF.

Si tratta di un dipolo a forma di doppio triangolo in cui le dimensioni sono in genere: $L = 0,4$ m - Angolo = 70° .

Il diagramma di irradiazione è bidirezionale, ma è possibile renderlo unidirezionale con un riflettore o un radiatore.



Antenna a farfalla, geometria.

Antenne turnstile

Trova impiego per le trasmissioni televisive.

E' costituita da due dipoli a mezz'onda, posti su piani uguali e perpendicolari tra loro.

Vengono alimentate con doppia tensione, V_a e V_b sfasate di 90° .

Nella figura è rappresentata la sua struttura.

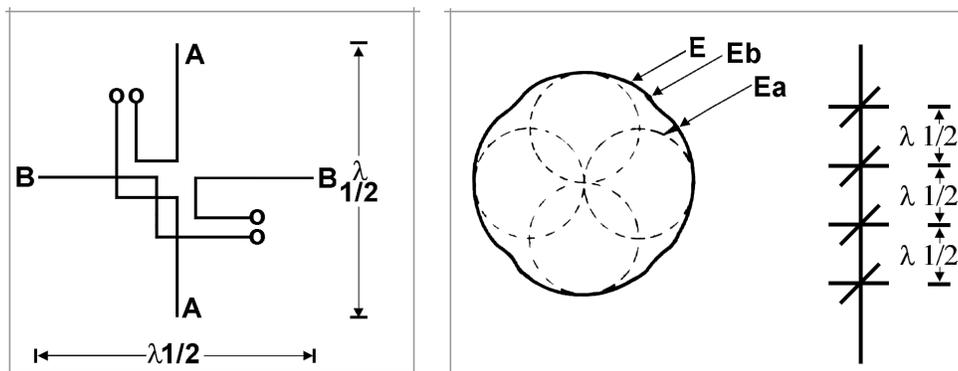
Essendo i campi dei dipoli (in figura) E_a ed E_b in quadratura nel tempo, il campione E si ricava dalla relazione:

$$E = \sqrt{E_A^2 + E_B^2}$$

Si ottiene un diagramma di radiazione praticamente uniforme nel piano orizzontale.

In pratica, i dipoli vengono realizzati con elementi di diametro sufficientemente largo, in modo che si ottenga una sufficiente larghezza di banda per il passaggio, a R.O.S. minimo, di un ampio intervallo di frequenze, ovvero larga banda passante per permettere la diffusione di segnali televisivi (circa 6 MHz).

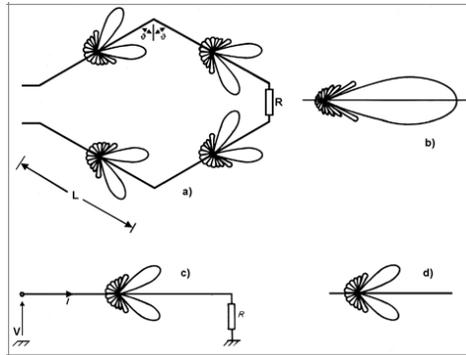
La concentrazione dell'energia nel piano orizzontale aumenta notevolmente se vengono disposti più coppie di dipoli in configurazione collineare, ovvero, a distanza di mezz'onda nel piano verticale.



Nella figura a sinistra la struttura dell'antenna turnstile. In quella di destra il diagramma di irradiazione nel piano contenente i dipoli, ottenuto come risultante dei diagrammi dei dipoli a mezz'onda A e B. A destra del lobo un sistema a più unità di turnstile.

Antenna rombica

Chi ha spazio, ma veramente tanto spazio disponibile, può utilizzare questo tipo di antenna, costituita da quattro conduttori filiformi non risonanti. Gli elementi, lunghi in totale almeno più di una lunghezza d'onda, vengono disposti secondo i lati di un rombo e terminati con una resistenza di adattamento che evita onde stazionarie. L'alimentazione è data nel vertice opposto al carico. In effetti, il carico in punta, il cui valore va cercato sperimentalmente, assorbe parecchia radiofrequenza, però non ne modifica il rendimento efficace in avanti. L'antenna rombica è sostenuta da quattro aste non metalliche, che la tengono in aria ad una certa distanza dal suolo.



Antenna rombica. In a) le caratteristiche costruttive, in b) è il diagramma di radiazione, in c) un conduttore non risonante e in d) il diagramma di radiazione del conduttore non risonante.

L'impedenza è essenzialmente resistiva, e l'ingresso è del tipo bilanciato.

La direttività è notevole ed aumenta con l'aumentare della lunghezza dei conduttori, che variano da 2 a 8λ con un angolo tra loro variante tra 40 e 70 gradi.

Scegliendo opportunamente lunghezza L dei conduttori e l'angolo 2θ fra di essi, si può fare in modo che un lobo di ogni conduttore abbia la direzione della diagonale maggiore del rombo e che i contributi dei quattro lobi diretti secondo la detta diagonale siano in fase e quindi si sommino. Gli altri lobi si compensano parzialmente, e danno nel complesso, una radiazione trascurabile. Si ottiene così, nel piano del rombo, il diagramma in figura.

Ad esempio, per $L = 4\lambda$, si ottiene un valore ottimo di angolo θ compreso tra 60° e 65° .

In queste condizioni il guadagno varia da 20 a 80 e la resistenza di carico R , dovendo essere uguale all'impedenza caratteristica, è dell'ordine di diverse centinaia di ohm e parte della potenza viene in essa dissipata, con conseguente riduzione del rendimento.

In genere l'antenna rombica è usata con il piano del rombo orizzontale, ad una distanza dal suolo di circa mezza λ . Nel piano verticale il diagramma di radiazione presenta un lobo principale inclinato rispetto al suolo.

Le condizioni ottimali per cui l'antenna è calcolata, sono valide ad una frequenza determinata, e se si riduce, le caratteristiche non si deteriorano in modo significativo fino ad un valore di F_q pari alla metà del valore ottimo.

L'antenna rombica può quindi essere utilizzata su un'ampia banda di frequenza, e data la forte unidirezionalità, ne giustifica il largo impiego in onde corte, per dx a lunga distanza.

Per l'adattamento di ingresso della linea di trasmissione a $50\ \Omega$, occorre un trasformatore/bilanciante d'impedenza a $200\ \Omega$ poiché presenta una resistenza di circa $800\ \Omega$.

Un metodo pratico per il progetto di un'antenna rombica è di scegliere come conduttori una lunghezza L in genere minore di 6λ e fissare l'angolo di elevazione relativo alla direzione di massima irradiazione.

L'angolo φ e l'altezza h possono essere ricavati, dal diagramma che segue.

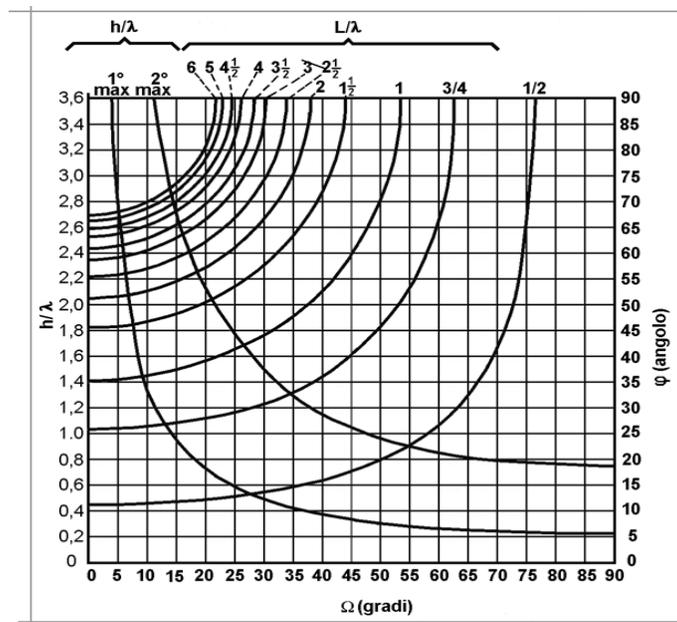


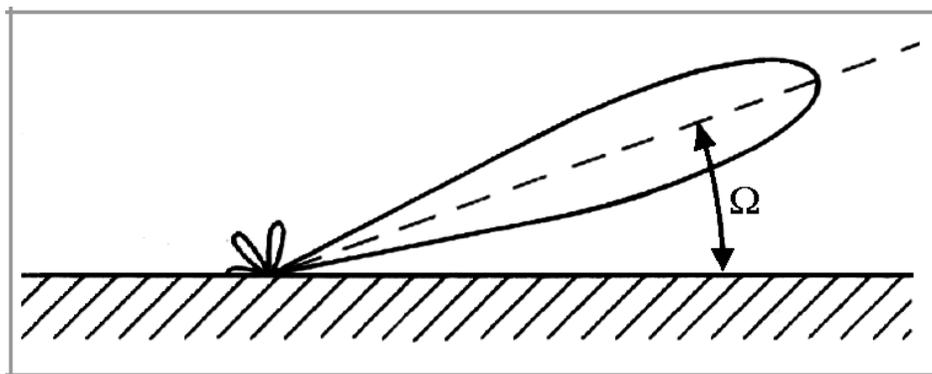
Diagramma per la determinazione dei parametri di un'antenna rombica.

Esempio : assumendo $\Omega = 15^\circ$ ed $L = 3.5\lambda$ si ha per φ un valore pari a 65° .

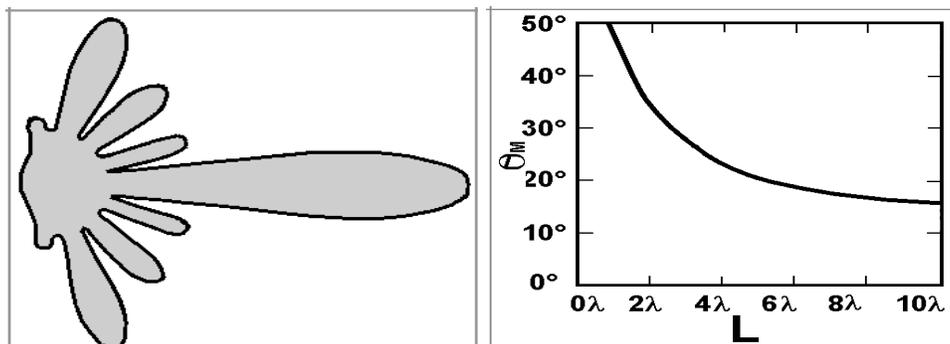
Per quanto guarda h , possono essere scelti due valori che corrispondono alle intersezioni delle due curve relative ad h/λ con la verticale corrispondente a $\Omega = 15^\circ$.

In particolare risulta :

$$h_1 / \lambda = 0,98 \quad \text{e} \quad h_2 / \lambda = 2,8$$

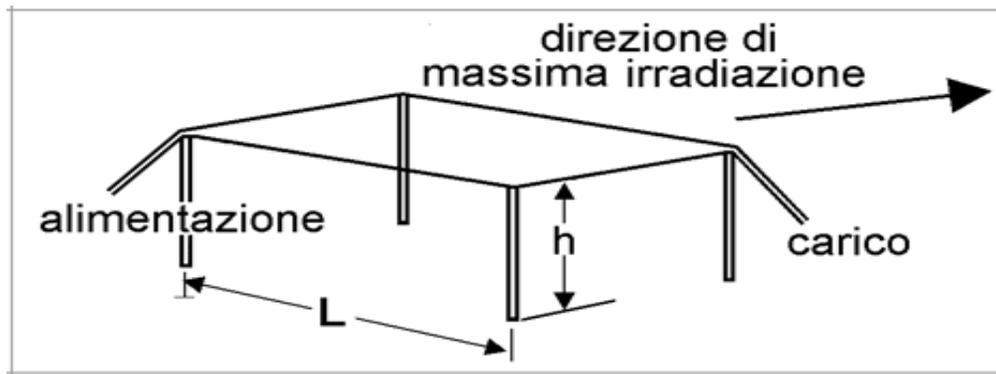


Antenna rombica, diagramma di radiazione nel piano verticale.



Antenna rombica. In figura a sinistra è il diagramma di radiazione totale nel piano orizzontale.

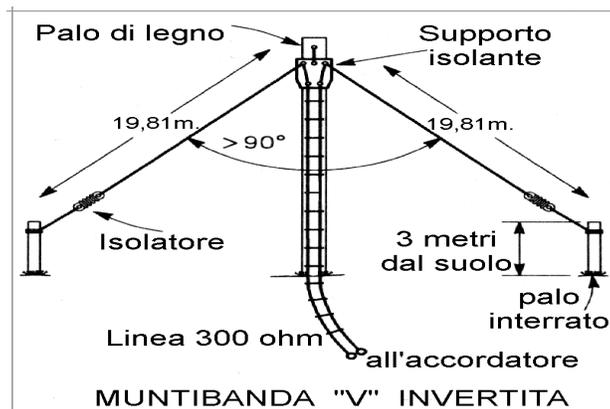
Nella figura a destra l'angolo θ corrispondente al massimo del diagramma di radiazione in funzione della lunghezza L per un'antenna ad onda progressiva.



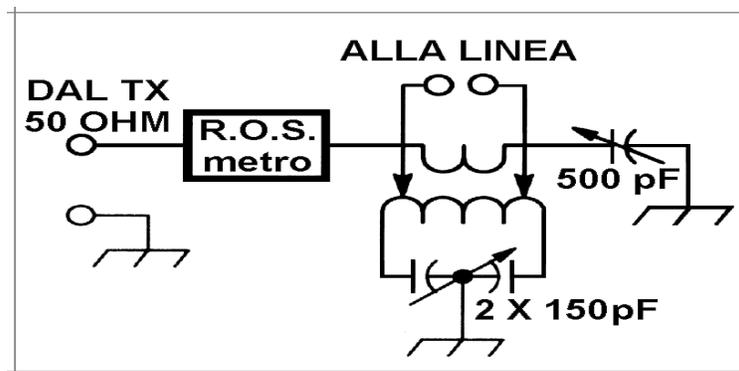
Antenna rombica, schema di installazione.

Antenna a "Λ "

Per realizzare quest'antenna occorre molto spazio, soprattutto se progettata per frequenze molto basse. L'antenna a "V" invertita si realizza con due conduttori, lunghi ognuno un pò meno di un quarto d'onda elettrico, in parallelo divergente dall'alto verso il basso, proprio come la lettera "V" rivoltata.



Antenna multibanda a V invertita, con linea di trasmissione 300-400 Ω .



Schema elettrico dell'adattatore d'impedenza.

Al vertice è sostenuta da un'asta possibilmente non metallica e sempre al vertice è alimentata tramite una linea coassiale d'impedenza 50 Ω .

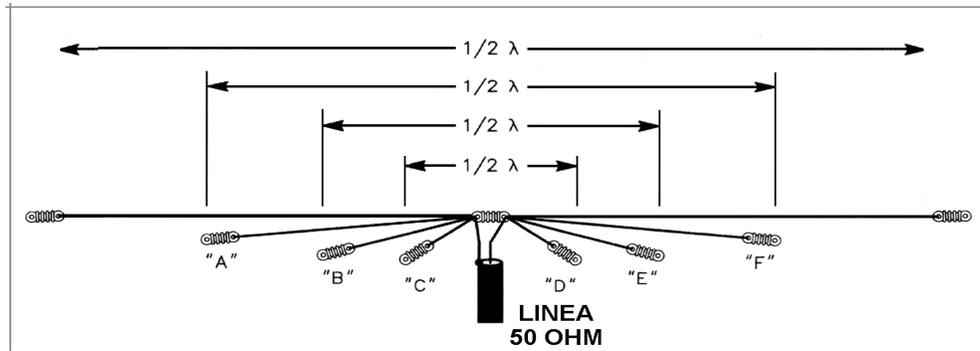
L'ingresso è bilanciato, quindi è opportuno inserire un balun con rapporto di trasformazione 1:1 per adattare la linea coassiale (da sbilanciato a bilanciato) in modo che il lobo, che è frastagliato e deviato, venga dimmetrizzato. L'impedenza d'ingresso e la larghezza di banda variano con l'angolo d'apertura degli elementi (lati bassi). Per ottenere l'impedenza di 50 Ω, l'apertura dell'angolo dovrà essere di 120°. La larghezza di banda sarà di circa ± 0,5% dal punto risonante.

L'angolo più piccolo oltre il quale si creano onde stazionarie non accettabili è di 90°, con larghezza di banda di circa 5% complessiva e una impedenza d'ingresso che cala a circa 30Ω.

Con un angolo di 180° l'impedenza è di 73 ohm circa, e la larghezza di banda raggiunge l'1%.

In parallelo al dipolo a V invertita è possibile aggiungere altri dipoli simili paralleli sintonizzati su altre frequenze.

Ognuno di essi viene attivato direttamente dal segnale relativo alla sua frequenza di risonanza.



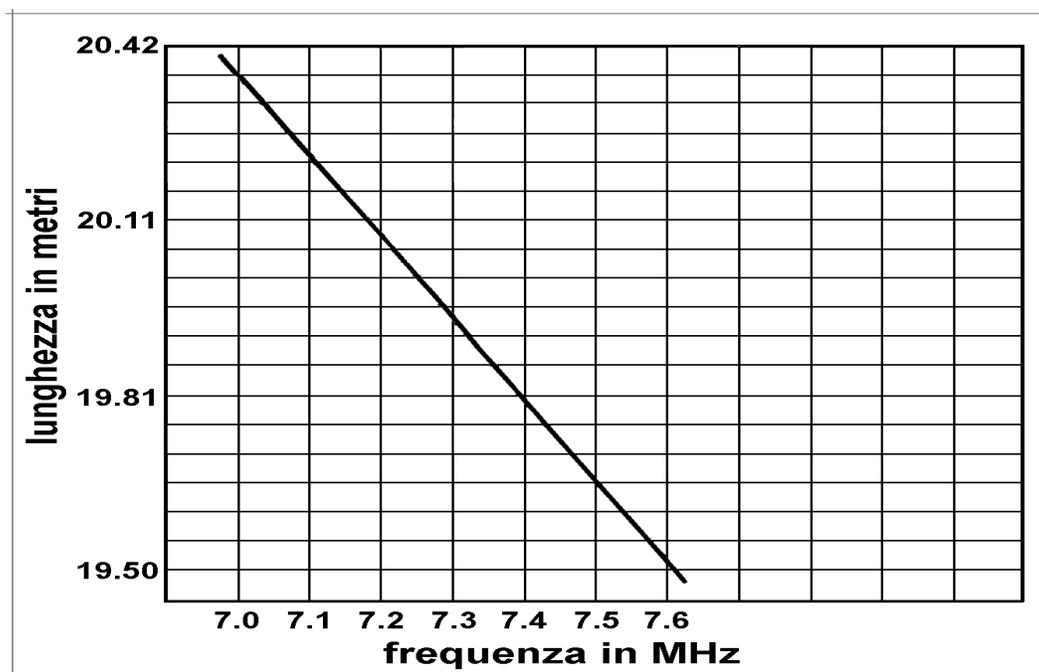
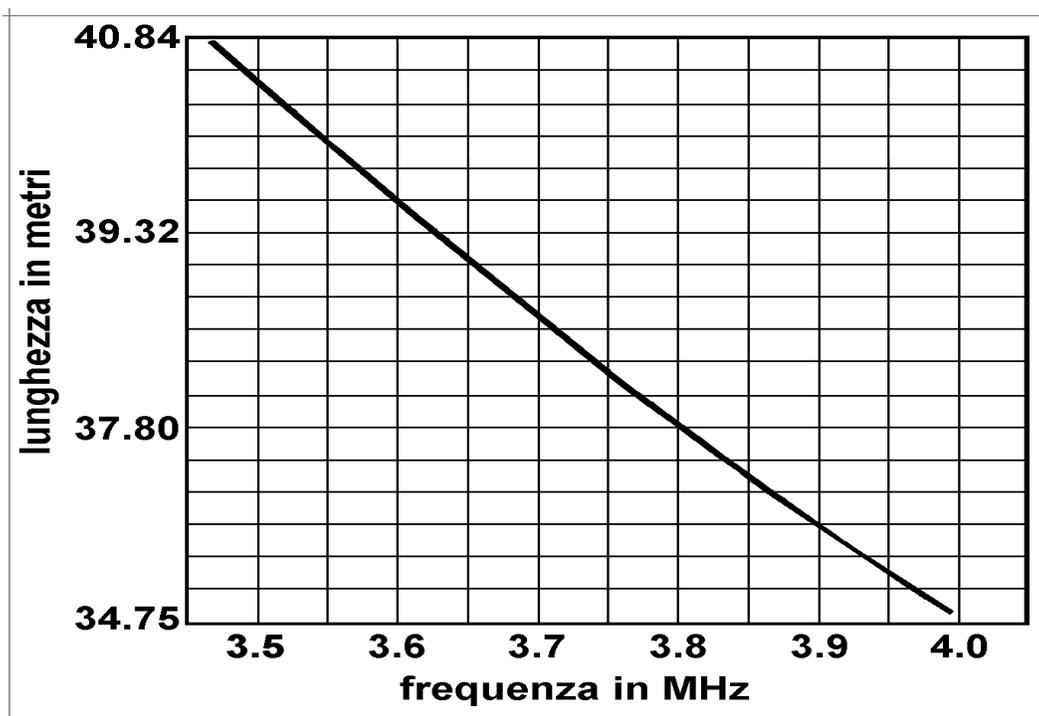
Dipoli paralleli disposti a V invertita. Le lunghezze si possono calcolare con $14264 : \text{Frequenza}$. La linea di trasmissione può essere di 50 o 75 ohm. E' consigliabile un balun simmetrizzatore.

L'influenza dei dipoli risonanti su altre frequenze è trascurabile nei confronti di quello attivo.

Ai fini di mantenere la corretta impedenza, il centro di ogni ramo deve essere distante dagli altri almeno un metro, poiché in quei punti sono presenti ventri di corrente che si influenzerebbero tra loro, creando R.O.S. e dissonanza.

E' buona norma montare per primo il dipolo più lungo. Una volta che si è certi del buon risultato si installeranno gli altri, sempre dal più lungo, controllando e ritoccano la risonanza per un R.O.S. più basso possibile.

Rispetto al dipolo a 180°, quello a V invertita presenta un guadagno minore, infatti il diagramma d'irradiazione orizzontale è meno direttivo ma in compenso sono possibili collegamenti a distanze superiori in quanto l'angolo d'irradiazione verticale è più basso. Meccanicamente è anche meno complicato ed occupa minor spazio.



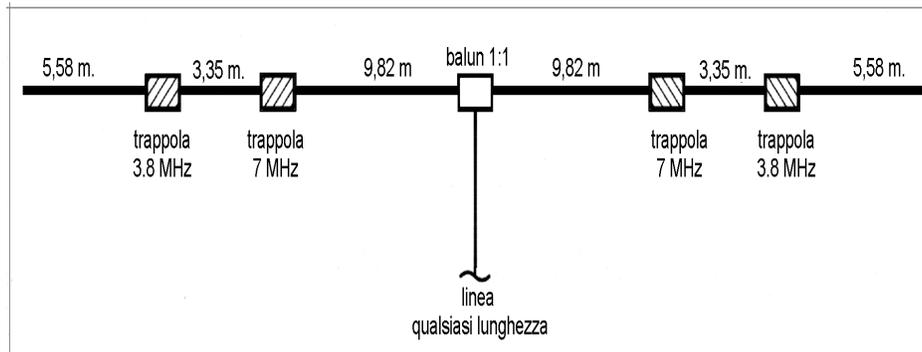
Tavole utili per conoscere la lunghezza di mezz'onda valide per conduttori diametro 2-3 mm.

Dipolo trappolato

Un dipolo può anche essere multibanda, sviluppato su unico filo.

Questa configurazione vede i due rami, lunghi ognuno $\frac{1}{4} \lambda$ della frequenza più bassa, intervallati da circuiti accordati (**trappole**) inseriti in ogni quarto d'onda, partendo dalla banda più alta, che agiscono da blocco alla risonanza di quel settore e da interruttori automatici per il settore seguente che, insieme al primo, risona alla frequenza minore.

In pratica, immaginate un dipolo risonante su 40 metri, e ai suoi estremi liberi due circuiti accordati, ognuno costituito da un condensatore e una bobina risonanti sulla stessa frequenza e di seguito, in serie ai circuiti LC, altri due rami, lunghi tanto che, sommati ai due precedenti, risonano su una frequenza più bassa.



Esempio di dipolo trappolato per le bande dei 40, 80 e 160 metri.

Continuando, il sistema può comprendere settori risonanti per somma su altre frequenze.

Infine, un modo per ridurre ulteriormente anche i due soli rami, è quello di realizzare i dipoli più corti della lunghezza necessaria, ed interporre alle trappole anche delle cariche, ma i risultati a quel punto sarebbero di un'efficienza veramente molto scarsa.

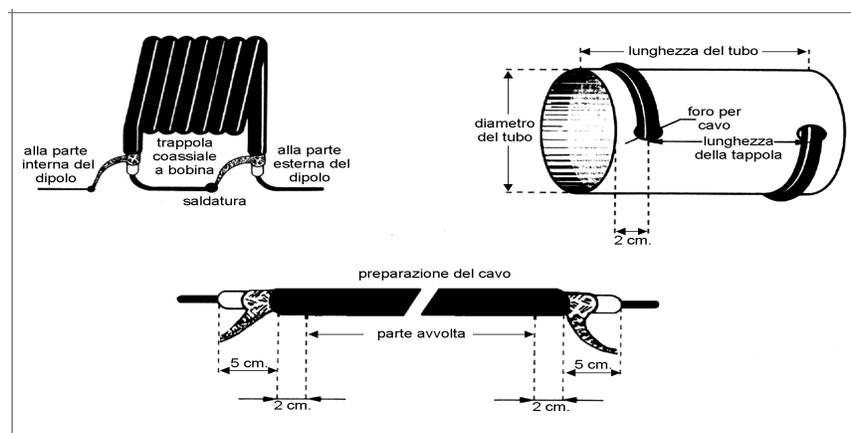
Tra i vari sistemi di trappole, quello che si ritiene più affidabile è costituito da un tratto di cavo coassiale.

La capacità è quella dello stesso misurata per pF al metro, come da indicazioni del fabbricante, ed il valore di induttanza è dato dal numero di spire fatte arrotolandolo su di un supporto isolante a bassa permeabilità.

Costruirle è facile con l'aiuto di un grid-dip.

Si pone la spira costruita (un po' più lunga del dovuto) su un tavolo in legno e si avvicina l'apparecchio di misura finché sullo strumento indicatore si riesca a notare la repentina variazione della corrente (dip); si legge la frequenza di risonanza e se il caso lo richiede si interviene a tagliare un po' di cavo.

I valori di reattanza X_c ed X_l sono compresi tra 90 e 110 ohm.



Metodo di preparazione di una trappola realizzata con cavo coassiale.

Il fattore di merito risultante non è molto alto, ma questo può essere addirittura un vantaggio se si considera che un Q molto alto darebbe problemi di taratura del R.O.S., che comunque sarebbe sensibilissimo, costringendo ad operare entro un limitato intervallo di frequenza.

In linea di massima riporto alcune indicazioni nelle tabelle che seguono.

La trappola va collegata nel modo come in figura.

Il lato libero dello schermo deve essere connesso al tratto di dipolo interno, ed il centrale a quello esterno.

Una volta terminato, dopo aver ben fermato i terminali, si provvederà a ricoprire la trappola con del nastro vulcanizzante ed un ulteriore tubo isolante di uguale bontà del supporto per proteggerla meglio dall'umidità.

TRAPPOLE CON UTILIZZO DI CAVO RG174-U

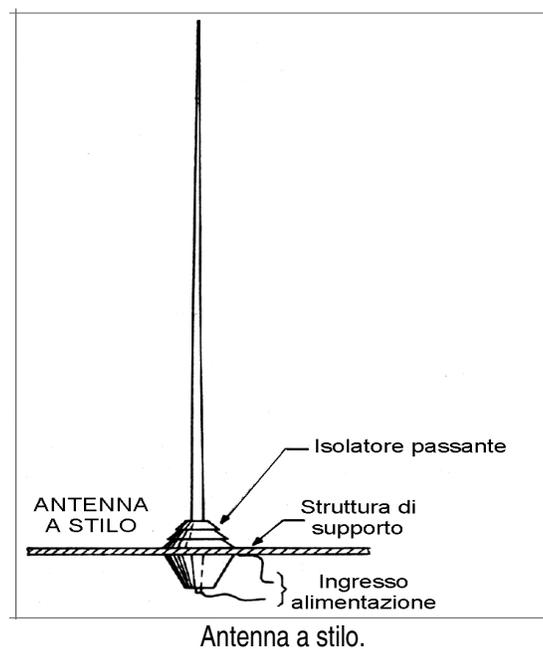
Frequenza in MHz	3.650	7.050	10.105	14.125	21.225	28.500
L di cavo in cm.	218	130	100	75	55	43
Diametro supporto	60	45	40	35	25	25
N spire	8	6,5	6,5	4,5-5	4,5-5	4,5

TRAPPOLE CON L'UTILIZZO DICAVO RG58-U

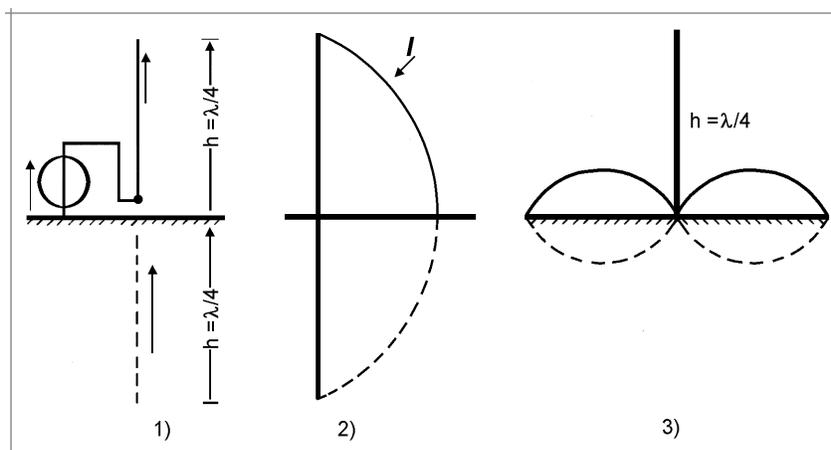
Frequenza in MHz	3.650	7.050	10.105	14.125	21.225	28.500
L di cavo in cm.	257	153	118	89	65	51
Diametro supporto	90	70	60	50	40	35
N spire	8	5,5	5	4,25	4,5	3,75

Antenne verticali

Sono antenne omnidirezionali con impedenza variabile a seconda della lunghezza e della distanza dal piano riflettente, costituite da un conduttore verticale cilindrico. Il sostegno è affidato all'isolatore di base.



Una antenna verticale, lunga anche meno di $\frac{1}{4} \lambda$, posta su un terreno perfetto conduttore, presenta all'ingresso una resistenza con una reattanza capacitiva, che si può annullare con una bobina in serie, con rendimento scarso. A $\lambda/4$ l'ingresso è puramente resistivo, quindi il R.O.S. sarà 1:1 e il rendimento uguale a quello di una ground plane (antenna marconiana).



Antenna marconiana. In 1) la struttura, in 2) la distribuzione della corrente ed in 3) è riportato il diagramma di radiazione.

In figura 2) è evidente che il semidipolo, con la sua immagine, costituisce un dipolo a $\lambda/2$ nello spazio libero, per cui il diagramma di radiazione in 3) è lo stesso del dipolo in $\lambda/2$.

Nel semidipolo, a parità di campo con il dipolo $\lambda/2$, il guadagno risulta doppio ($G = 3,3\text{dB}$) e la resistenza di irradiazione è circa la metà (intorno ai 30Ω).

In pratica, volendo realizzare una buona antenna immagine e rendere più conduttore il suolo alla sua base, si dovrà disporre dei radiali di rame a raggiera e collegarli fra loro e alla massa del trasmettitore (sistema a contrappeso).

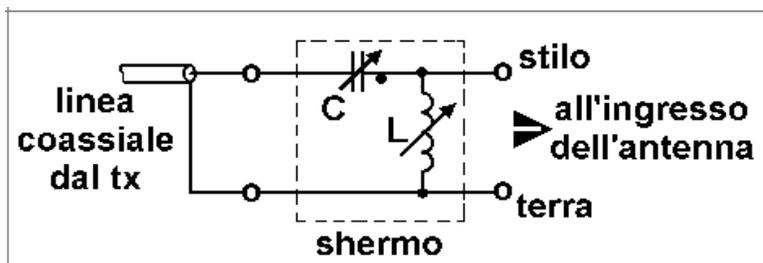
Oltre il quarto d'onda lo stilo verticale diventa induttivo e sarà necessaria una compensazione capacitiva in serie all'ingresso, se non un circuito LC quando è inferiore a $\lambda/2$. Quando è $\lambda/2$ e oltre, basta una induttanza sintonizzata in serie.

A lunghezza maggiore corrisponde un'irradiazione del campo più forte, fino a lunghezza pari a 0.635λ , pari a $5/8$ d'onda.

L'angolo d'irradiazione è in questo caso di circa 15 gradi e aumenta proporzionalmente con la lunghezza del conduttore, mentre cala di poco l'intensità il campo irradiato.

Dato che l'impedenza di ingresso varia fortemente col variare della frequenza, per impiegarla a diverse frequenze è necessario ricorrere ad una rete di adattamento, posta nelle prossimità del basamento dell'antenna.

Tale rete può essere realizzata con un quadripolo del tipo indicato in figura.



Circuito adattatore d'impedenza per un'antenna stilo.

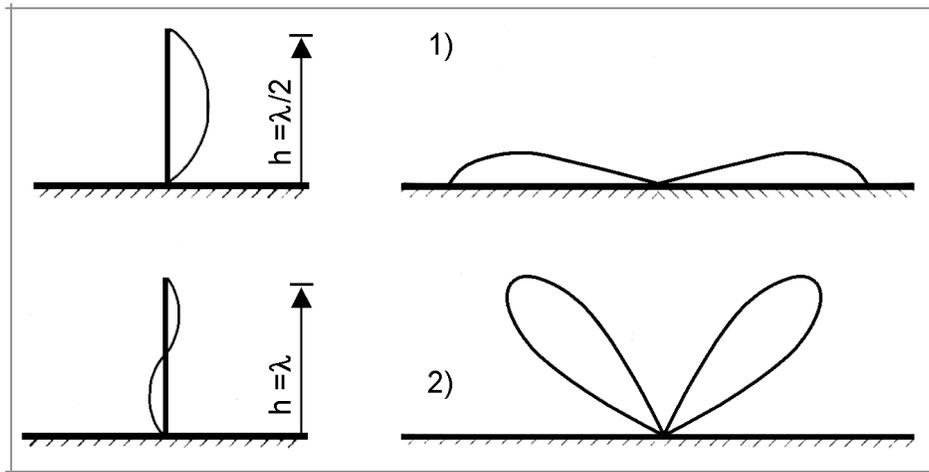
Altezza dell'antenna verticale

L'altezza h dell'antenna verticale influisce sul diagramma di radiazione.

Al crescere di h , da valori inferiori a $\lambda/4$ fino a $\lambda/2$, il diagramma di radiazione è del tipo indicato in figura precedente (in 3), dove l'energia tende a concentrarsi lungo la superficie del suolo, quanto più cresce l'altezza h .

Oltre $h = \lambda/2$ cominciano a formarsi dei lobi secondari, e ad altezze superiori a $3/4$ di λ prevale l'energia emessa secondo angolazioni diverse dall'orizzontale.

Nella figura seguente in 2), sono rappresentati i diagrammi di radiazione di antenne verticali lunghe $\lambda/2$ e λ .



Diagrammi di radiazione di antenne verticali al suolo. In 1) $h = \lambda/2$ ed in 2) $h = \lambda$.

Una grandezza che caratterizza le antenne verticali è l'altezza efficace h_{eff} .

Essa è l'altezza di un'antenna verticale con corrente costante in ogni suo punto e uguale al valore massimo della corrente nell'antenna in esame che lungo il suolo produce lo stesso campo. Si ha:

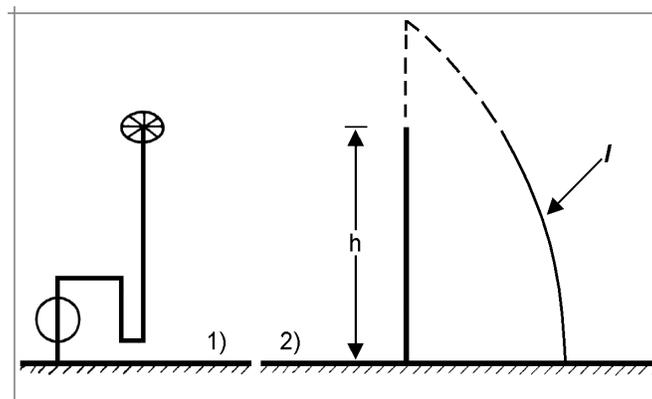
$$h_{eff} = (1 - \cos \frac{2\pi h}{\lambda}) \frac{\lambda}{2\pi} \text{ con } h \text{ altezza dell'antenna.}$$

Ad esempio, nel caso di un semidipolo, si ha $h_{eff} = \lambda / 2\pi$.

Antenne verticali caricate

Sono impiegate su frequenze più basse, per ridurre l'altezza.

Un esempio è riportato in figura.



Antenna a stilo caricata ad ombrello o anche detto cappello capacitivo in 1) e l'andamento della corrente lungo il conduttore dell'antenna stessa in 2).

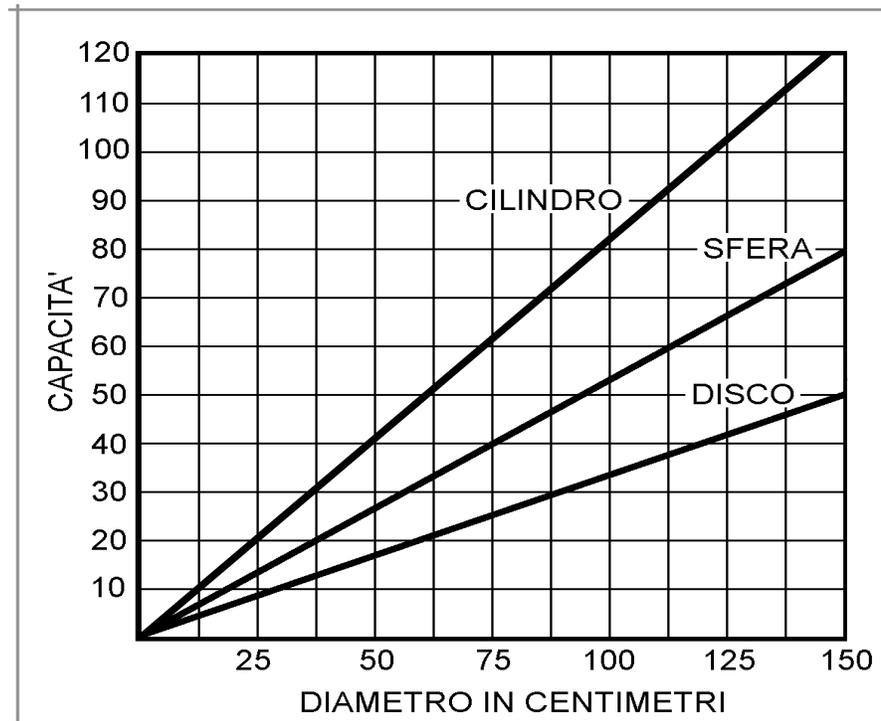
La raggiera dei conduttori situata all'estremità alta costituisce una capacità verso terra.

Essa altera la distribuzione di corrente lungo il conduttore che assume la forma indicata in figura, caratteristica di un'antenna di altezza maggiore.

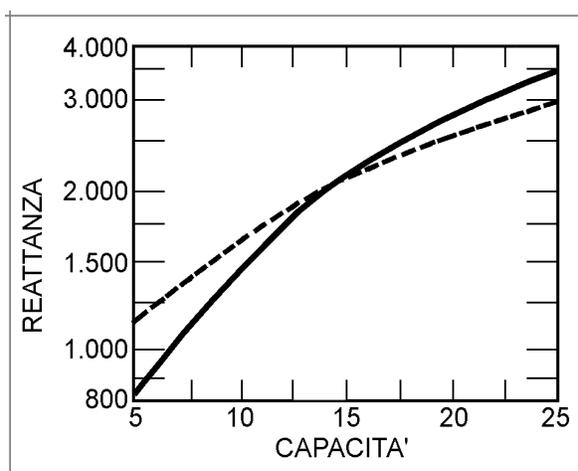
Se l'altezza è uguale ad una intera lunghezza d'onda ($h = \lambda$), l'antenna ha corrente sensibilmente costante in ogni suo punto e si comporta come un dipolo elementare di altezza h posto verticalmente rispetto il suolo sottostante. L'antenna verticale può essere caricata da un induttore, anziché da un condensatore, ed il suo comportamento è analogo.

Il minimo valore per una reattanza capacitiva idonea dipende essenzialmente dalla costituzione del suolo sottostante, ovvero dalla sua resistenza.

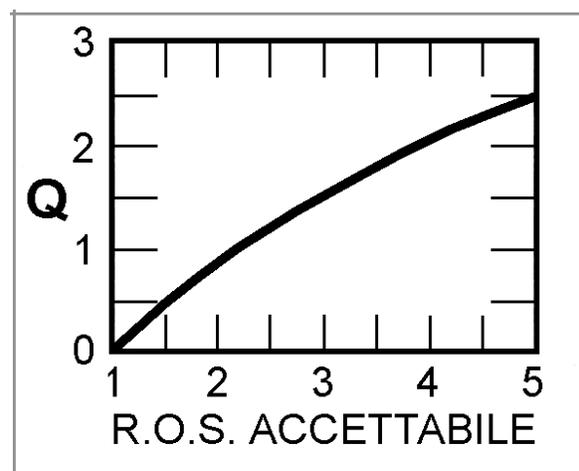
Per ottenere il massimo dell'intensità di campo è buona regola adoperare massima capacità in armonia generale con le circostanze.



Valori di un cappello capacitivo di forme diverse in diametri e capacità relative. Il cilindro ha lunghezza uguale al diametro.



Reattanza necessaria al carico di una verticale avente cappello capacitivo.

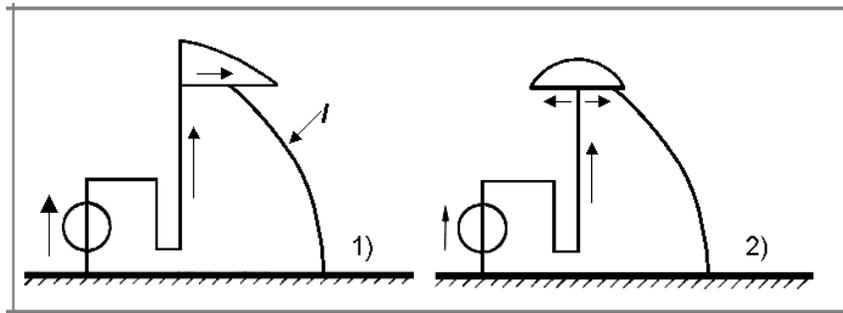


Limite di R.O.S. ai confini dell'intervallo di Frequenza relativo al Q della verticale.

Antenne L e T

Sono antenne con carica capacitiva, anch'esse atte a ridurre la lunghezza per operare a frequenze piuttosto basse. La capacità terminale è costituita dal tratto orizzontale.

Dato che l'antenna può essere considerata una linea aperta, se la lunghezza complessiva dei tratti orizzontale e verticale è di un quarto della lunghezza d'onda, la distribuzione delle correnti è quella che si può vedere in figura.



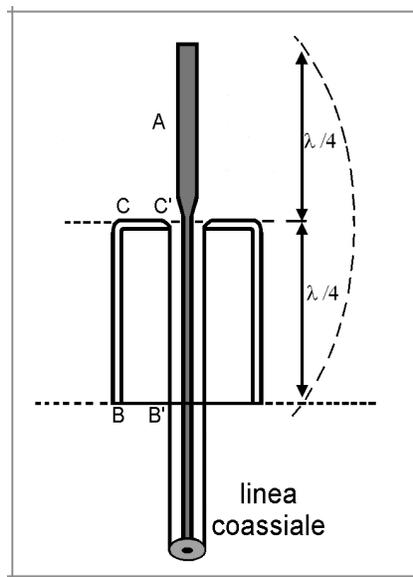
Antenne a verticali. In 1) il tipo ad "L" rovesciata, in 2) quello a "T".

Nel tratto verticale la corrente è molto costante e l'efficacia dell'antenna ne viene incrementata.

Il campo prodotto dal tratto orizzontale è trascurabile perché la corrente è minore, ma anche perché, dato che l'altezza è molto minore rispetto alla lunghezza d'onda, l'antenna e la sua immagine risultano essere molto vicine tra loro, quindi, visto che sono percorse da correnti opposte, danno al campo un contributo trascurabile.

Dipolo coassiale

Questo tipo di dipolo è spesso utilizzato in bande VHF e superiori. La configurazione è riportata nella figura.



Dipolo coassiale.

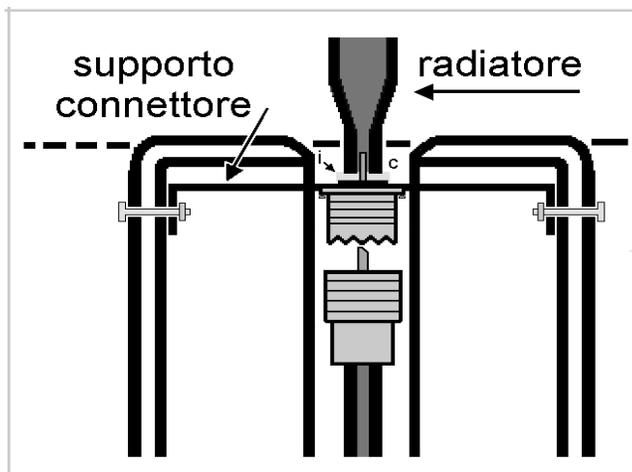
Il radiatore A è connesso al conduttore interno della linea di trasmissione, mentre il cilindro B, concentrico al conduttore esterno della linea coassiale, giunto alla sua estremità superiore con lo stesso conduttore.

In tal modo, esso determina una linea coassiale concentrica a quella di alimentazione, chiusa in corto nella sezione C - C'.

Il tratto CB è pari ad un quarto d'onda e si determina una impedenza molto elevata tra i punti B e B'.

La corrente sul conduttore più esterno nel punto B risulta così molto più piccola, e sull'antenna si determina una distribuzione di corrente del tipo riportato nella figura.

L'irradiazione è circolare e l'impedenza, viene stabilita dalle dimensioni dello stilo centrale e dal cilindro speculare. Lo stilo è lungo un quarto d'onda ed il cilindro calcolato come per le linee in aria. Il calcolo del tubo cilindrico è lo stesso per linee in aria, tenendo conto che l'impedenza è data dalla distanza tra la parete interna del tubo esterno ed il diametro esterno del conduttore. Alla sommità interna del tubo cilindrico è sistemato un isolatore che svolge il compito di supporto del radiatore sotto il quale è collocato il connettore d'ingresso della linea di trasmissione.



Dettaglio della connessione interna del radiatore al cavo di trasmissione. "C" è il connettore. Tra essi è bene interporre un dischetto in teflon (i). Occorre poi un ulteriore sistema di blocco meccanico per il radiatore, che si può realizzare mediante un cilindro in teflon o altro materiale isolante rigido, forato al centro per tutta la sua lunghezza, innestato all'interno del quarto d'onda inferiore (tubo), e che fuoriesca per circa 10 cm. in modo da alloggiare lo stilo.

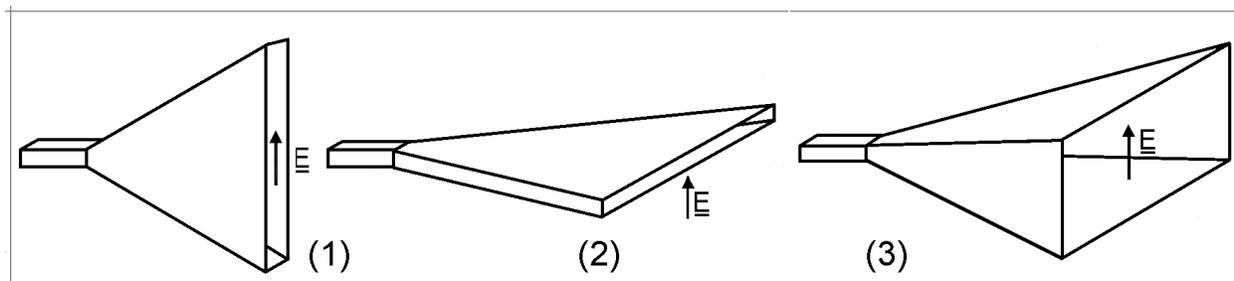
Antenne a tromba

Questo tipo appartiene alla categoria delle antenne ad apertura, il cui studio è ricondotto a quello di un'apertura su uno schermo piano conduttore con la distribuzione nota del campo elettromagnetico.

Esse sono impiegate nel campo delle microonde, quando non si richiede un guadagno elevato. Sono costituite da una guida d'onda che termina in una tromba che si ottiene allargando progressivamente la sezione di una guida d'onda, determinando, in questo modo, un adattamento più o meno spinto fra la stessa guida e lo spazio libero.

Quella più diffusa è ottenuta da una guida d'onda che sia originalmente rettangolare, in modo che l'allargamento possa essere effettuato sia su unico piano che su due.

Nel primo caso avremo un'antenna a tromba settoriale nel piano E o H, nel secondo caso otterremo un'antenna piramidale.

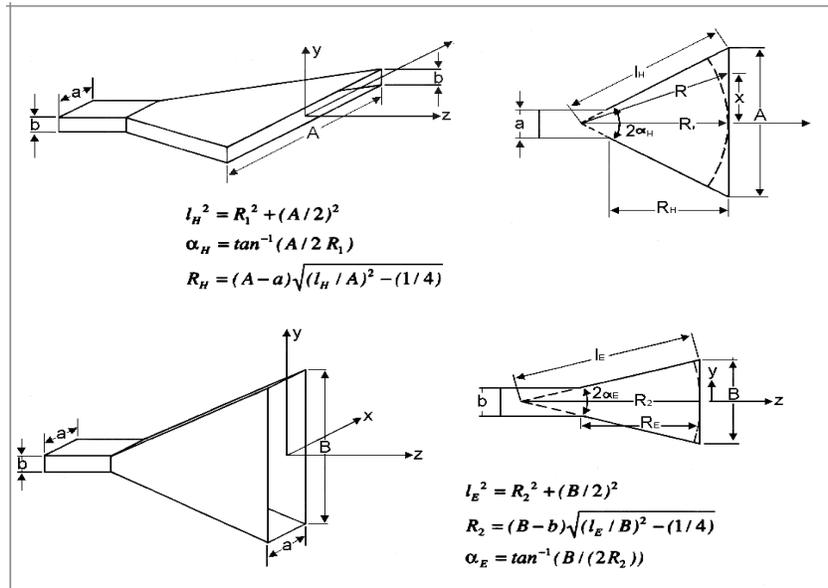


Quanto esposto di seguito è valido solo nel caso in cui nella guida d'onda di alimentazione si propaghi il modo fondamentale. Le dimensioni dell'antenna risultano univocamente determinate una volta che siano stati fissati i seguenti parametri:

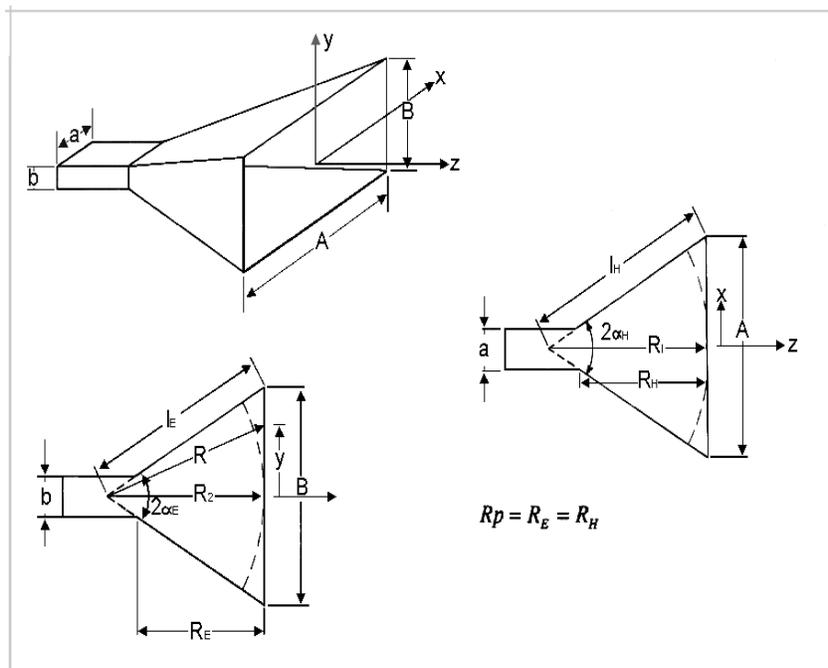
- A e R_H , oppure l_H , oppure R_1 per un'antenna a tromba settoriale nel piano H.
- B e R_E , oppure l_E , oppure R_2 per un'antenna a tromba settoriale nel piano E.
- A , B e R_p per un'antenna a tromba piramidale.

La scelta è eseguita in modo da ottimizzare la direttività dell'antenna.

Nelle antenne a tromba settoriali, con riferimento alle curve nelle figure si ha la massima direttività nelle seguenti condizioni:



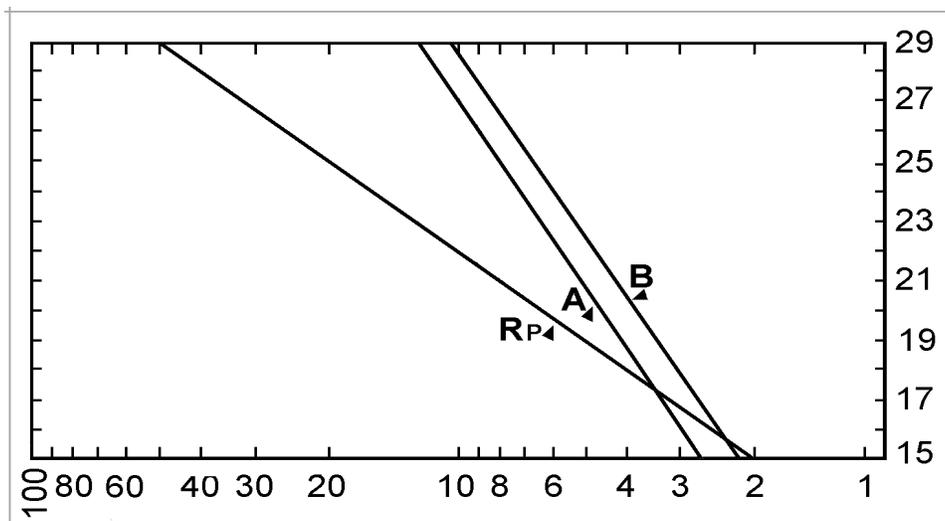
Antenna a tromba settoriale nel piano E ed H. Nella figura sotto antenna a tromba piramidale.



$$A = \sqrt{3 \lambda R_1} \text{ per una tromba settoriale nel piano H.}$$

$$B = \sqrt{2 \lambda R_2} \text{ per una tromba settoriale nel piano E.}$$

Nel caso di una tromba piramidale, la direttività si ottimizza facendo riferimento alle curve riportate nella tabella:



Dimensioni di un'antenna a tromba piramidale (in lambda) in funzione della direttività (ascisse) in dB (da Bronzi : linee di trasmissione e antenne-Cursi).

La direttività di un'antenna a tromba piramidale può inoltre essere valutata in modo semplice mediante la relazione:

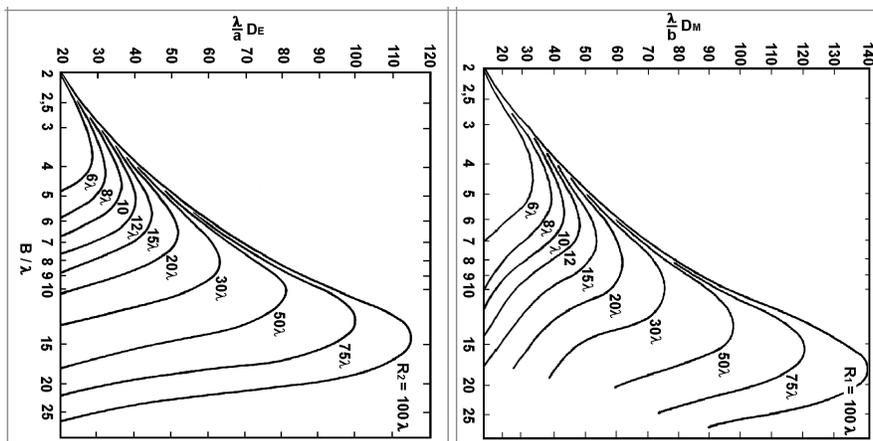
$$D_p = \frac{\pi}{32} (\lambda D_E / A) (\lambda D_H / B)$$

dove i termini tra parentesi sono determinati con i diagrammi in figura, interpretando le ordinate come $\lambda D_H / B$ e $\lambda D_E / A$, rispettivamente.

Per quanto riguarda gli angoli di apertura a -3 dB, nel caso che A e/o B $\gg \lambda$, si possono ricavare le seguenti formule approssimate nel piano H e nel piano E:

$$(HP_H)^\circ = 78 \frac{\lambda}{A} \text{ (gradi)} ; \quad (HP_E)^\circ = 54 \frac{\lambda}{B} \text{ (gradi)}$$

che valgono per antenne a tromba piramidali ottimizzate.



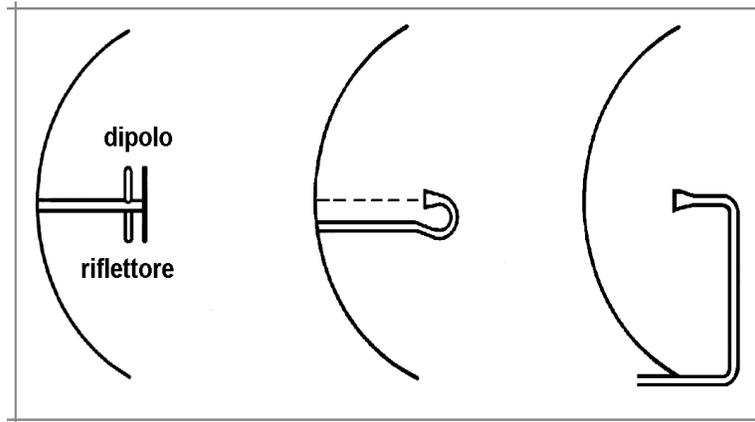
Curve di direttività per un'antenna a tromba settoriale nel piano H (in alto) ed E (sopra).

Antenne a riflettore parabolico

La più diffusa è costituita da un paraboloide di rivoluzione, di dimensioni grandi rispetto alla lunghezza d'onda, e da un'antenna molto più piccola, che ha la funzione di illuminatore primario.

I tipi di illuminatore più frequentemente utilizzati sono in questo caso:

- un dipolo a mezz'onda (singolo o con riflettore filare o a disco).
- un'onda a tromba.



Esempi tipici di illuminatori primari per riflettori parabolici di rivoluzione.

Se si pone l'illuminatore primario nel fuoco F del paraboloide, sul piano dell'apertura si ottiene una distribuzione di campo equifase, e ciò è dovuto alle proprietà geometriche della parabola (in figura), in base alle quali tutti i raggi che partono da F e si riflettono sul paraboloide, arrivano sul piano dell'apertura dopo aver percorso un cammino costante.

La distribuzione di ampiezza del campo sul piano di apertura, dipende logicamente, dalle proprietà radiative dell'illuminatore primario.

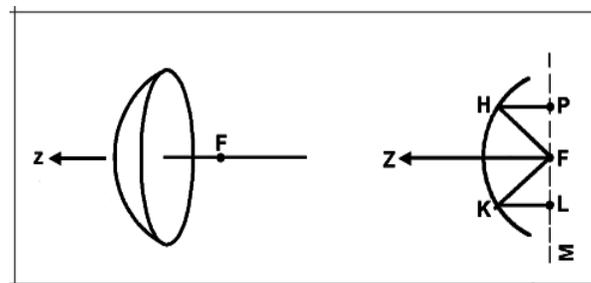
Una volta ricostruita la distribuzione di ampiezza, si può trattare l'antenna come un'apertura con distribuzione di campo equifase di ampiezza nota (tabelle). Per il calcolo approssimativo del guadagno si può ricorrere alla formula:

$$G_M = e_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} A,$$

tenendo conto che, nel caso di paraboloide di rivoluzione, si assume: $e_{ap} = 0,55$.

Il guadagno può essere inoltre dedotto approssimativamente dalla conoscenza degli angoli a -3 dB (metà potenza) relativi al piano E e al piano H, tramite la formula:

$$G_M = \frac{26000}{(HP_E)^\circ (HP_H)^\circ}$$



Antenna a riflettore parabolico. A sinistra nella figura un paraboloide di rivoluzione intorno all'asse Z. A destra la sezione con un piano passante per l'asse Z.

Esempio:

I valori misurati del guadagno (G_M) e degli angoli a -3 dB (HP_E e HP_H) per un'antenna a paraboloide di rivoluzione, con diametro dell'apertura fisica A pari a 3,66 metri, operante alla frequenza di 11.700 GHz (λ 2,562 cm.), sono:

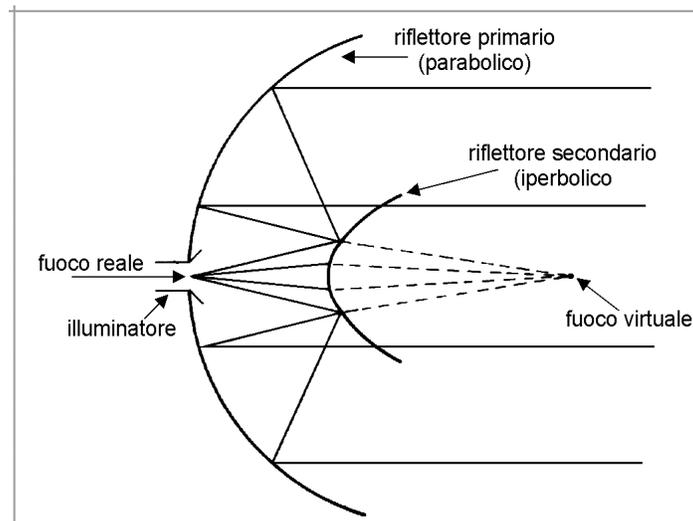
$$G_M = 50.4 \text{ dB}; \quad (HP_E)^\circ = (HP_H)^\circ = 0.5 \text{ (gradi)}$$

Dai calcoli risulta:

$$G_M = 0.55 \frac{4\pi}{\lambda^2} A = 50.4 \text{ dB}$$
$$G_M = \frac{26000}{(HP_E)^\circ (HP_H)^\circ} = 50.2 \text{ dB}$$

In ottimo accordo con i risultati sperimentali.

Altra antenna a riflettore interessante e molto diffusa è la Cassegrain.



Antenna a riflettore di tipo Cassegrain (sezione con un piano passante per l'asse di simmetria).

Essa è composta da un illuminatore primario a tromba, posto nel vertice del paraboloide (riflettore primario), e da un riflettore secondario iperbolico, i cui fuochi coincidono con il vertice e con il fuoco del paraboloide.

Questa configurazione offre, rispetto al riflettore parabolico semplice, i seguenti vantaggi:

- 1) eliminazione di lunghe linee di trasmissione tra l'illuminatore ed il ricetrasmittitore;
- 2) maggiore stabilità meccanica dell'illuminatore, che è inoltre anche facilmente accessibile e smontabile;
- 3) riduzione dei problemi associati allo spillover (potenza irradiata dall'illuminatore).

Il principio di funzionamento dell'antenna è comunque lo stesso, dato che anche in questo caso si ottiene una distribuzione di campo equifase sulla bocca del paraboloide.

Antenne Speciali HF VHF UHF

In questa sotto pagina verra' illustrato come costruire antenne VHF per portatili che non seguono i dettami teorici ma solo la pratica e sono basate sostanzialmente su tre principi fondamentali che sono: BASSO COSTO, COMPATTEZZA ed EFFICIENZA. Sono antenne semplici e alla portata di tutti.

Molte volte usare la sola antenna in dotazione al portatile puo' essere limitativo pero' non si provano altre antenne per il semplice motivo che il loro prezzo e' esagerato! Per esempio alcuni gommini da 30 EURO spesso non sono altro che un pezzettino di spirale di acciaio simile a quella delle guaine dei fili da freno per biciclette oltre al bocchettone BNC per il collegamento alla radio.



Le antenne che vedete qui sopra funzionano con prestazioni uguali o migliori di quelle commerciali e il loro costo e' sicuramente inferiore ai 2 EURO cadauna.

L'unico cosa da sacrificare e' l'estetica ma non si puo' avere la botte piena e la moglie ubriaca!

Sono costruite o in filo di ferro dolce da 1 mm oppure con spirale di guaina di filo da freno. Sulle sole 2 riduzioni BNC RCA maschio oppure RCA femmina andremo a montare le piu' svariate antenne collegandole appunto tramite le super economiche spine RCA reperibili ovunque. L'accoppiata migliore e' riduzione BNC RCA maschio cosi da poterle collegare alle antenne dotate di presa RCA da pannello che costa poco e si salda benissimo.

Il range di frequenze ottimale su cui operare e' quello tipico VHF esteso da 60 a 200 MHz, ma si puo' operare anche sui 70 Cm. Per la taratura o si usano appositi strumenti oppure un semplice rosmetro. Tipicamente una decina di spire $D=10$ mm dal lato BNC e un tratto diritto di una decina di CM realizzano una antenna che accorda vicino a 2 Mt. A quel punto ritoccano la spaziatura non sara' difficile ottenere un accordo esatto come per la migliore delle antenne. Aumentando le dimensioni dell'antenna si accorda un frequenza piu' bassa diminuendole si accorda l'antenna per una frequenza piu' alta.

Nella foto sopra ci sono antenne che da sinistra a destra coprono una gamma di frequenza da 60 a 180 MHz. La banda passante di solito e' di circa 1 MHz e le bobine alla base hanno una impedenza tra 4 e 7 micro Henry I gommini invece realizzati con guaina di filo da freno hanno una banda passante larghissima e difficilmente accordano con un ROS minore di 3, sono quindi adatti per la ricezione con i ricevitori scanner ad ampio spettro. Per proteggerli basta ricoprirli con delle cannuce per bibite e fissare il tutto con un po' di nastro adesivo. Inoltre queste antenne hanno il vantaggio di essere leggerissime! Come si vede con un po' di fantasia si puo' fare una certa sperimentazione senza svenarsi con le antenne originali.

Qui sotto si vedono i dettagli delle prese RCA, delle riduzioni BNC RCA, delle bobine e delle cannuce!



Qui si vede l'antenna autocostruita all'analizzatore d'antenna



Qui si vede una antenna commerciale all'analizzatore con risultati inferiori!



Qui si vede la misurazione dell'impedenza della bobina di carico!



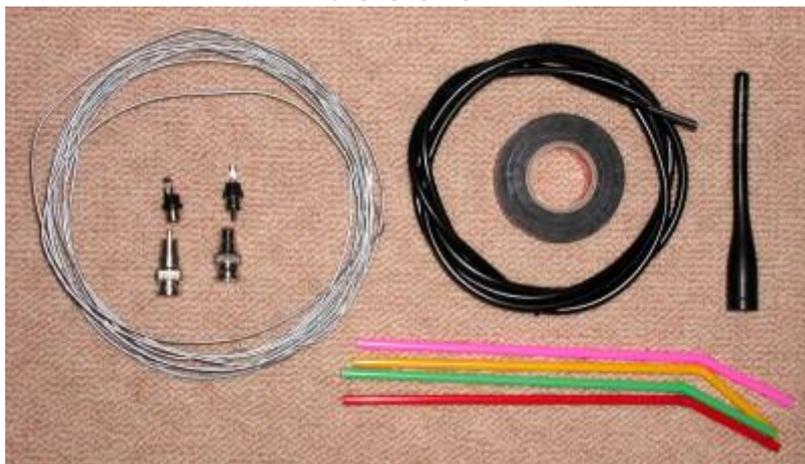
Antenna montata sulla radio con bobina fissata con collante trasparente.



E infine una foto delle economiche materie prime usate per costruire le antenne e cioe':

filo di ferro, cannuce, spine BNC e RCA, adesivo e guaina da freno da 1 EURO ogni 5 metri!

L'antenna commerciale e costosa sulla destra e' fatta di guaina da freno da bicicletta!



Aggiungo anche la foto di questa antenna super leggera di soli 6.8 grammi accordata per la banda FM ricavata da una molla per stampante con filo diametro 0.7 mm Il diametro delle 26 spire e' di 20 mm e la lunghezza totale e' data da 50 mm di spire piu' 40 mm di filo diritto.

**L'impedenza delle 26 spire e' di circa 5.3 micro Henry.
Invisibile, leggerissima, funzionale e a costo zero!**



Ispirandomi ad una antenna per ricezione segnali WIRELESS a 2.4 GHz che potrete trovare qui per la sua costruzione dettagliata, e con la stessa tecnica ho realizzato 2 antenne similari per 1.296 GHz e per 144 MHz particolarmente idonee per uso con scanner portatili.



Come si puo' vedere il collegamento alla radio si ottiene con una una presa da pannello PL, una riduzione PL MM e una riduzione PL BNC.

L'antenna e' in filo di rame smaltato D=2 mm ripiegato a doppio quadro con tutti i lati di 58 mm (1/4 d'onda) e con gli angoli centrali collegati uno al centro della presa e l'altro ad uno dei 4 fori laterali.

Oltre alla fiamma si puo' usare uno stagnatore da almeno 60 watt, spellare il filo di rame dove va saldato e usare la pasta salda.

**Il funzionamento e' sorprendente non per le prestazioni che sono comunque molto buone, ma per la larghezza di banda di ricezione che si puo' considerare buona da 400 a 1300 MHz e anche fino a 2.4 GHz
Molto comodo poter appoggiare antenna e radio tipo leggio.**

A questo punto ho realizzato una versione della stessa antenna per i 144 MHz.

Qui avendo strumentazione ho visto che tutti lati devono essere di 130 mm (1/16 d'onda) compreso la discesa dagli angoli centrali al bocchettone della presa da pannello PL.



Anche in questo caso la larghezza di banda con buona ricezione e' assai ampia e va da 50 a 500 MHz con buona resa specialmente sui 144 MHz con ROS 1.3.

Purtroppo questa antenna e' piu' ingombrante e molto meno pratica, ma non impossibile da maneggiare specie se si posa la radio tipo leggio. Entrambe le antenne sono leggermente direttive.

Ed ora un'antenna per RX-TX palmare adatta per i 144 MHz con una forma insolita:

la bobina anziche' essere alla base si trova nella parte superiore dell'antenna.

Il sistema di fissaggio e' il solito con presa da pannello PL come base e il collegamento alla radio con una riduzione PL MM, una riduzione PL BNC e riduzione BNC SMA

Il filo di rame e' $D=1.75$ mm, le spire sono $2,25 D=70$ mm spaziate di 15 mm.

Il tratto tra le spire e la presa centrale da pannello PL e' di 130 mm.

Per l'accordo partire con un tratto di 180 mm e tagliare fino a 130 circa. La larghezza di banda e' circa 4 MHz e l'accordo si ottiene con ROS 1.4 da 143 a 147 MHz.

Le spire si possono mantenere spaziate usando per esempio del nastro biadesivo.

Certamente questa antenna e' un po' ingombrante e poco portatile ma

**comunque utilizzabile
dato che va come e meglio dei costosi gommini commerciali ad un costo
praticamente irrisorio.
Contrariamente alle mie aspettative questa antenna e' perfettamente
omnidirezionale.**



**Quella che segue e' un'antenna fatta con rete da polli per la gamma dei 144
MHz.**

**Quando ho cominciato a costruirla non avrei mai pensato andasse cosi'
bene!!**

**Dimensioni 135 mm di base per 360 mm di altezza di rete da polli con filo
di diametro 0.7 mm**

**e maglia 7 per 7 mm rinforzata da un filo a y del diametro di 1.5 mm saldato
a stagno.**

**Il PL e' del tipo a parete con saldato 2 fili di rame di 2 mm sporgenti 20 mm,
uno sul polo caldo e uno su uno dei 4 fori laterali in modo da fissare la rete
con il solito mammuth da elettricista, la cannuccia con all'interno un
legnetto da spiedini**

**fissata con tre fascette serve per dare una rigita' accettabile all'antenna
stessa.**

**A sorpresa ho scoperto che la larghezza della base influisce pochissimo
sull'accordo**

**che e' quasi praticamente condizionato solo dall'altezza, la base influisce
invece**

**sulla larghezza di banda che nel mio caso con ROS minore di 1.3 va da 138
a 150 MHz**

con centro banda a ROS 1.1 a 144.500 MHz che e' gia' un bel risultato!

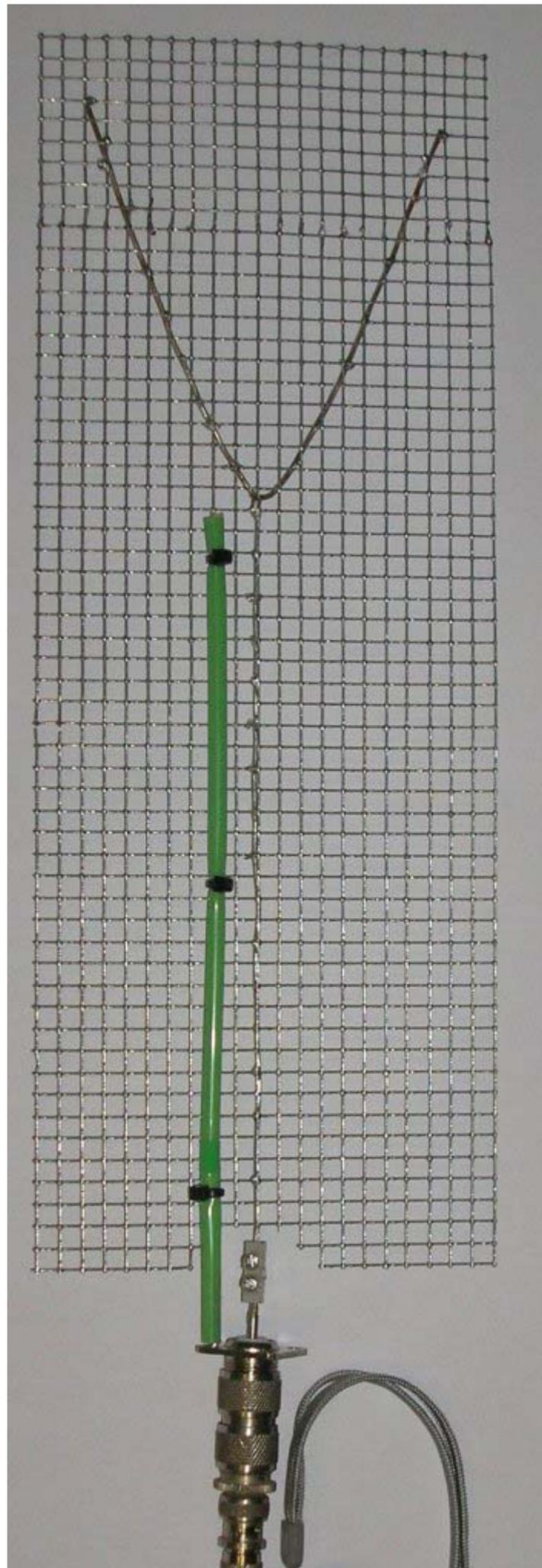
L'impedenza va da 38 a 55 Ohm e la reattanza va da 4 a 10 sempre in Ohm

In prova con il portatile ICOM IC-E7 ho collegato senza difficolta' Stefano

**IK4XQT che
si trovava a sud di Bologna sul Monte delle Formiche a 27 km da casa mia
e in portatile.**

**Questa antenna riduzioni e raccordi esclusi pesa solo 55 gr, appena 20 in
piu' dei classici gommini**

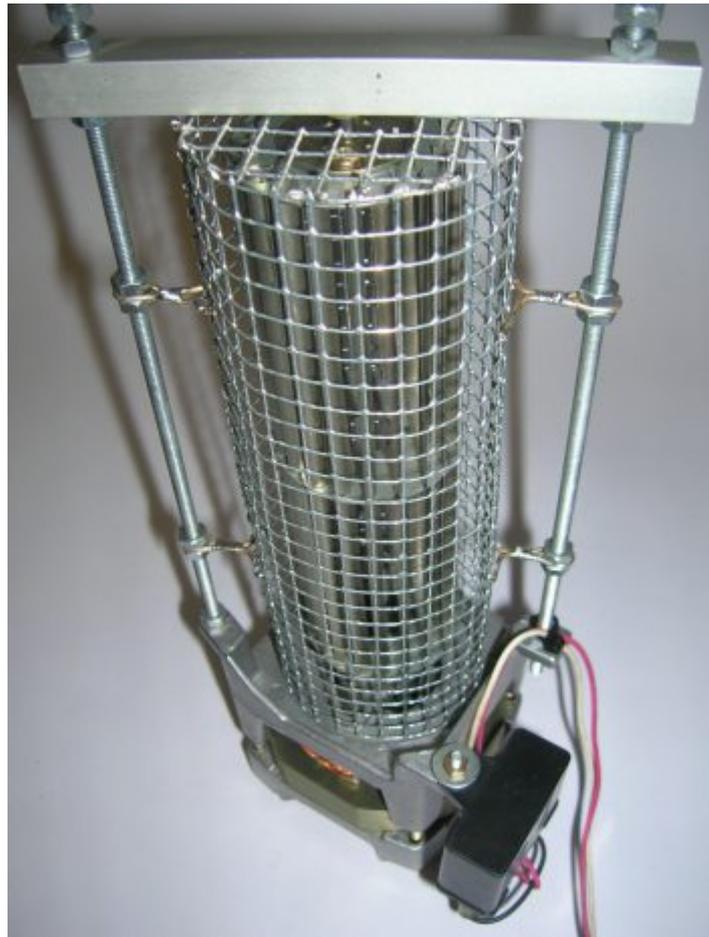
**Tutti i dettagli sono visibili cliccando sulla foto e guardandola molto
ingrandita.**



**Metto anche un berretto speciale per lettore MP3
costituito da un berretto commerciale con aggiunta una tasca
sul lato posteriore con due asole dalla quale fuoriescono
i cavi dell'auricolare che raggiungono poi i padiglioni auricolari.
Naturalmente questo berretto e' una mia ideazione e mi permette
di girare a lungo in bicicletta con il massimo della liberta'!**



**Aggiungo anche un ventilatore portatile verticale autocostruito
con pezzi recuperati da un vecchio fotocopiatore a costo zero.
Da notare il design con rete da polli e barra filettata M4!
Alimentazione tramite trasformatore in corrente alternata a 110 V
con un consumo di circa 15 w e circa 150 G/Min della ventola
di tipo tangenziale montata originalmente in orrizzontale.**



CORSO DI ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI

ANTENNE

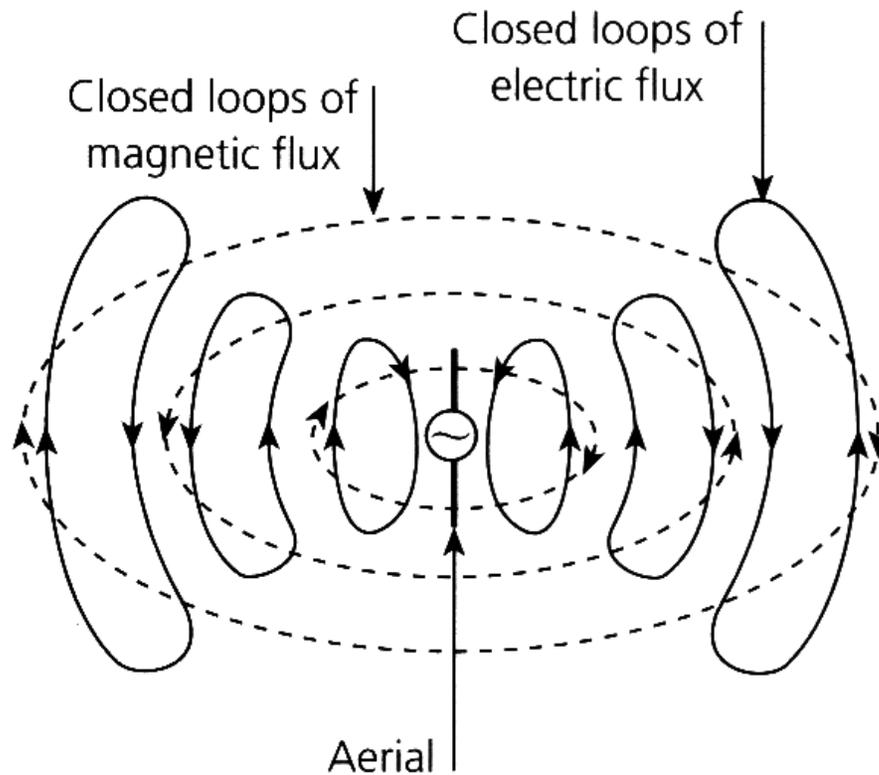
G. Lullo

A. A. 2005-2006

Ref.:

- *F.E. Terman, "Electronic and Radio Engineering", 4th Ed., McGraw-Hill.*
- *D.C. Green, "Radio Communications", Longman-Pearson Ed. Ltd.*
- *S. Ramo, J. R. Winnery, T. Van Duzer, "Campi ed onde nell'Elettronica per le comunicazioni", Franco Angeli.*

Radiazione da un'antenna



$$\begin{aligned}\text{Impedenza dello spazio libero} &= \\ &= E / H \text{ [(V/m}^{-1}\text{)/(A/m}^{-1}\text{)]} = \\ &= 120 \pi \Omega = 377 \Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Densità di potenza (Poynting)} &= \\ &= E H \text{ [W/m}^{-2}\text{]} = \\ &= E^2 / 120 \pi \text{ W/m}^{-2}\end{aligned}$$

Nota: E ed H sono da intendersi come valori efficaci (r.m.s.).

Radiatore isotropo

È un radiatore ideale in grado di irradiare energia in tutte le direzioni con eguale intensità.

L'energia irradiata avrà un fronte d'onda sferico con una densità di potenza uniforme sulla superficie.

La densità di potenza P_d in tal caso è pari a:

$$P_d = P_T / 4\pi D^2 \text{ Wm}^{-2}$$

dove P_T è la potenza trasmessa e D è la distanza dall'antenna. Usando l'espressione di P_d in funzione di E si ottiene:

$$E = \sqrt{(30P_T)/D} \text{ Vm}^{-1}$$

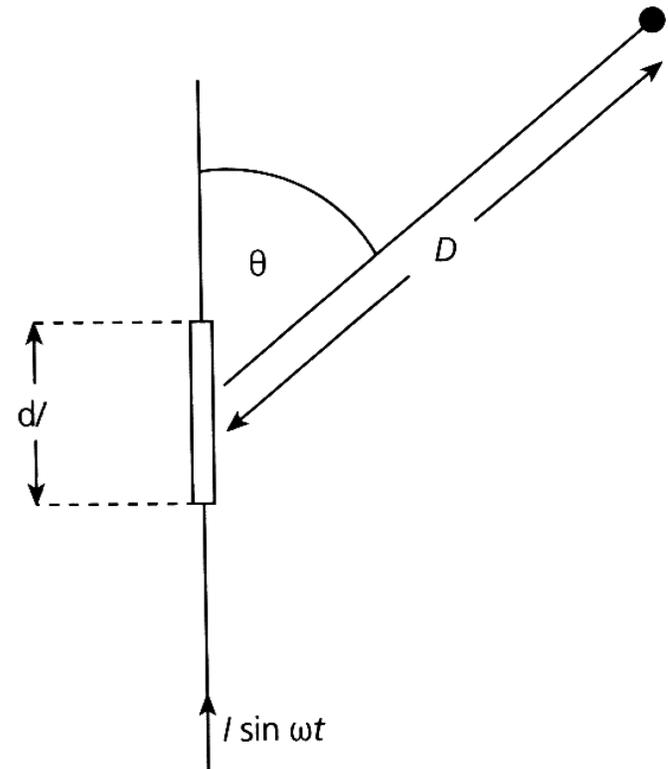
Il radiatore isotropo, non fisicamente realizzabile, viene usato come termine di paragone per gli altri radiatori.

Elemento di corrente

Si tratta di un elemento lungo dl (con $dl \ll \lambda$) percorso da una corrente uniforme pari a I .

Tale elemento, non fisicamente realizzabile, viene anche detto **dipolo Hertziano**.

Sebbene non realistico, può essere usato con il concetto di lunghezza efficace di un'antenna, o anche per trattare una generica antenna come composta da molti piccoli elementi.



Il campo magnetico generato da un elemento di corrente è:

$$dH = [(I dl \sin \theta)/4\pi][\omega/cD \cos\omega(t-D/c) + (1/D^2) \sin\omega(t-D/c)]$$

Elemento di corrente

Il campo magnetico generato da un elemento di corrente è:

$$dH = [(I dl \sin \theta)/4\pi][\omega/cD \cos\omega(t-D/c) + (1/D^2) \sin\omega(t-D/c)]$$

Il primo termine ha intensità proporzionale alla frequenza ed inversamente proporzionale alla distanza. Esso rappresenta il **campo di radiazione** o **campo lontano** (*far field*).

Il secondo termine è indipendente dalla frequenza e diminuisce con il quadrato della distanza. Rappresenta il **campo di induzione** o **campo vicino** (*near field*), legato all'energia reattiva immagazzinata in prossimità dell'antenna e che non viene irradiata.

Il confine tra campo vicino e lontano si ha per: $D = c/\omega = \lambda / 2\pi$

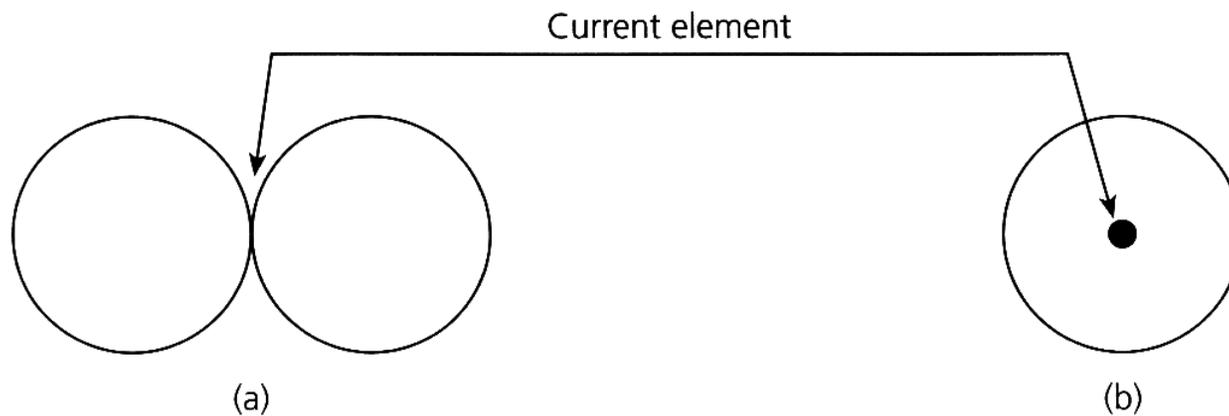
Elemento di corrente

La componente magnetica del campo di radiazione vale in modulo:

$$dH = [(I dl \omega \sin \theta)/4\pi cD] = (I dl \sin \theta)/(2\lambda D)$$

Usando l'espressione dell'impedenza dello spazio libero, si ottiene l'espressione del campo elettrico:

$$dE = (60\pi I dl \sin \theta)/(\lambda D)$$



Elemento di corrente

Per trovare una espressione che lega il campo elettrico generato da un elemento di corrente con la potenza trasmessa, si integra su una superficie sferica la densità di potenza dovuta al dl .

L'area della superficie tratteggiata è: $2\pi xD d\theta = 2\pi D^2 \sin \theta d\theta$

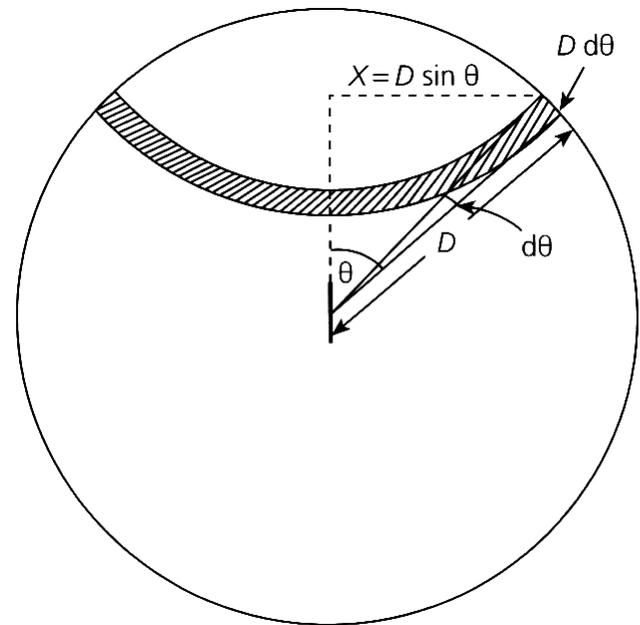
La potenza che transita attraverso tale area è:

$$dP = (E^2 / 120\pi)(2\pi D^2 \sin \theta d\theta) \text{ W}$$

Usando per E l'espressione in funzione di θ prima ottenuta, si ha:

$$dP = (60 \pi^2 I^2 dl^2 \sin \theta^3 d\theta) / \lambda^2 \text{ W}$$

Tale espressione va integrata sulla sfera, quindi per θ compreso tra 0 e π .



Elemento di corrente

Effettuando l'integrazione si ottiene la potenza totale trasmessa:

$$dP_T = (80 \pi^2 I^2 dl^2) / \lambda^2 \text{ W}$$

L'espressione del campo elettrico generato da dl dava un valore massimo del campo per $\theta = 90^\circ$:

$$dE = (60 \pi I dl) / (\lambda D)$$

Se si eliminano dalle espressioni di sopra la quantità $I dl$ ed i differenziali, pensando dl come quantità finita, si ricava:

$$E = \sqrt{(45 P_T) / D} \text{ Vm}^{-1} \quad \text{valore massimo del campo elettrico per } \theta = 90^\circ.$$

Tale campo è maggiore di quello ricavato per il radiatore isotropo a causa della "direzionalità" tipica del dipolo Hertziano.

Resistenza di radiazione

La potenza irradiata può essere posta uguale al quadrato della corrente di ingresso dell'antenna per una resistenza non-fisica R_{rad} detta **resistenza di radiazione** dell'antenna.

$$P_T = I^2 R_{rad}$$

Nel caso dell'elemento di corrente si ottiene:

$$R_{rad} = (80 \pi^2 dl^2) / \lambda^2 \Omega$$

La potenza irradiata viene vista dal trasmettitore come potenza dissipata nella resistenza di radiazione.

Lunghezza efficace di un'antenna

E' un concetto che permette di estendere i risultati prima ottenuti per l'elemento di corrente anche ad antenne reali.

Si sfrutta il fatto che, nell'elemento di corrente, il campo elettrico a distanza è proporzionale alla corrente (costante) che percorre l'elemento.

Nelle antenne reali la corrente varia sezione per sezione. Si può ragionare in termini di corrente media e di lunghezza efficace.

La **lunghezza efficace** di un'antenna l_{eff} è quella lunghezza che, se percorsa da una corrente costante pari al valore I della corrente all'ingresso dell'antenna, genera lo stesso campo lontano sul piano equatoriale dell'antenna.

$$l_{eff} I = l_{phy} I_{med} = l_{phy} (I / l_{phy} \int_{l_{phy}} I(y) dy) \quad \text{con } l_{phy} \text{ lunghezza fisica dell'ant.}$$

$$\text{da cui: } l_{eff} = I / I \int_{l_{phy}} I(y) dy$$

Lunghezza efficace di un'antenna

La lunghezza efficace dell'antenna può anche essere vista come quella lunghezza che, moltiplicata per il campo elettrico E in cui l'antenna si trova, dà la d.d.p. V_{oc} in uscita dall'antenna a morsetti aperti: $l_{eff} = V_{oc} / E$

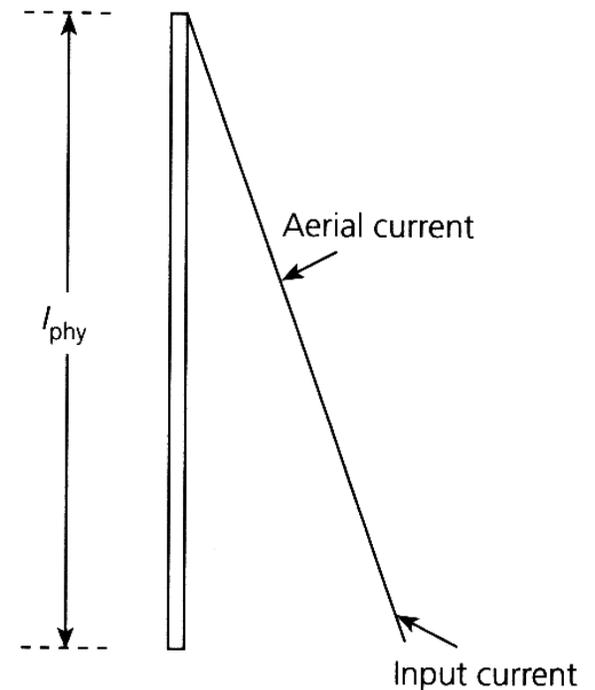
Per un'antenna corta ($\ll \lambda$) si può ipotizzare un andamento lineare della corrente (è la parte iniziale di una sinusoide), massima sul morsetto di alimentazione e nulla all'altro estremo.

Integrando sotto queste ipotesi, si ottiene la relazione:

$$l_{eff} = l_{phy} / 2$$

Dall'espressione che dà la resistenza di radiazione per l'elemento dl , supponendolo di lunghezza l_{eff} , si ottiene:

$$R_{rad} = (80 \pi^2 dl^2) / \lambda^2 = 20 \pi^2 (l_{phy} / \lambda)^2 \Omega$$



L'antenna monopolare corta

Si tratta di una antenna con lunghezza $l_{phy} \ll \lambda$ posta sopra una superficie conduttiva (terreno) ed alimentata rispetto questa.

A causa della presenza del terreno, l'onda che vi si riflette appare provenire da un'analogo antenna posta al di sotto della superficie.

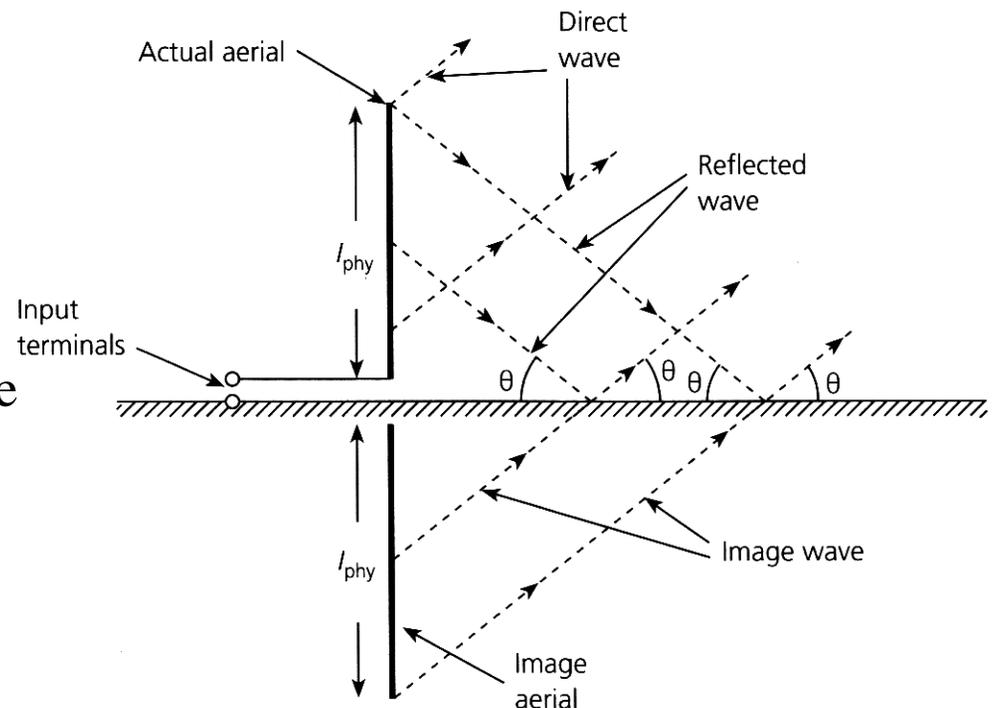
Essendo l'antenna corta, si può assumere costante la fase della corrente su tutta la sua lunghezza.

Nel calcolo del campo elettrico, al posto di dl si può usare una lunghezza pari al doppio di quella efficace:

$$E = (120 \pi I l_{eff} \sin \theta) / (\lambda D) \text{ Vm}^{-1}$$

La potenza trasmessa risulta invece dall'integrazione solo su una semisfera, sempre con $dl = 2l_{eff}$:

$$P_T = (40 \pi^2 I^2 (2l_{eff})^2) / \lambda^2 \text{ W}$$



L'antenna monopolare corta

Considerando il valore del campo elettrico sul piano equatoriale ($\theta = 90^\circ$) ed eliminando la corrente dalle espressioni di E e di P_T , si ottiene:

$$E = \sqrt{(90P_T)/D} \text{ Vm}^{-1} \quad \text{valore massimo del campo elettrico.}$$

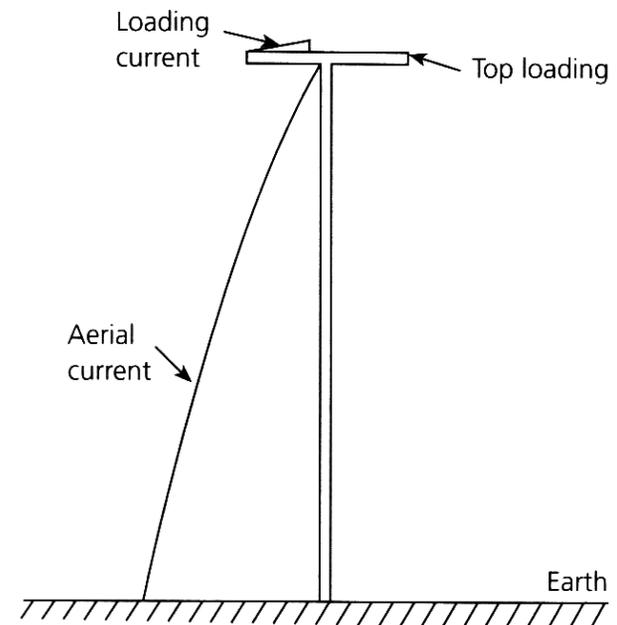
La resistenza di radiazione diventa: $R_{rad} = 40 \pi^2 (l_{phy}/\lambda)^2 \Omega$

Antenna corta caricata (*top loading*)

Si può aumentare la l_{eff} dell'antenna aumentando la corrente media che scorre sull'ant. A parità di corrente di ingresso, si fa in modo che la corrente non si annulli all'estremo superiore.

Il caricamento si realizza con dei fili radiali che simulano l'armatura di un condensatore.

In virtù dell'antenna immagine, l'effetto del campo radiato dal caricamento si annulla nel campo lontano.



Monopolo a $\lambda/4$

Quando la lunghezza di un monopolo si approssima e supera $\lambda/4$:

- non è più lecito considerare un andamento di corrente lineare ma bisogna considerarlo sinusoidale;
- non si può trascurare la differenza di fase nella propagazione dei campi generati dagli estremi dell'antenna.

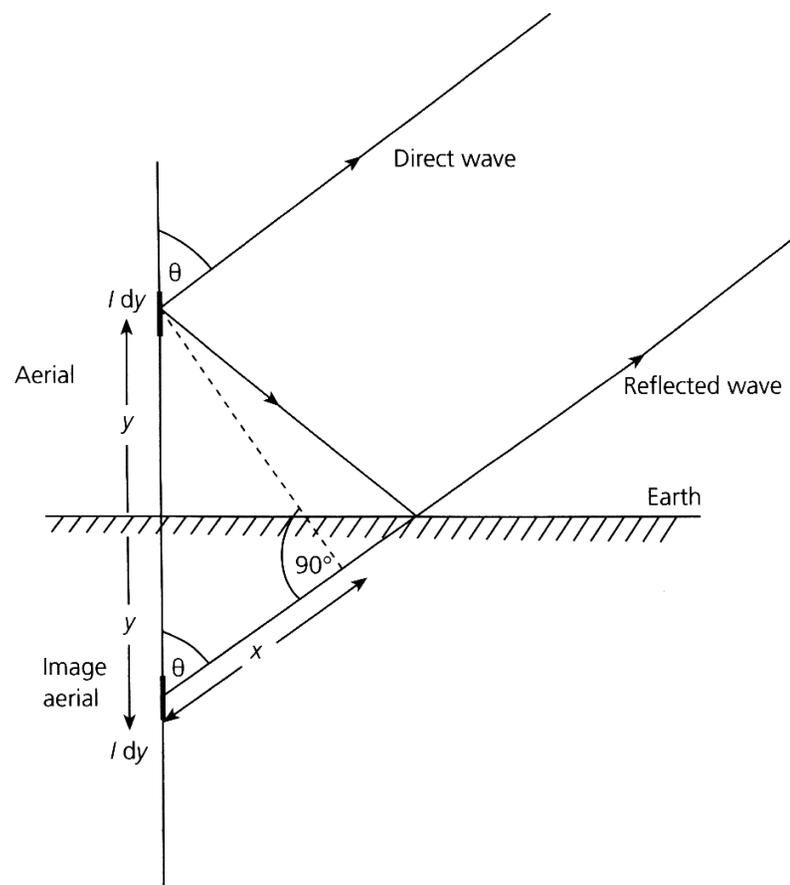
Considerando l'elemento di corrente dy e la sua immagine, la differenza di percorso verso un punto P è: $2y \cos \theta$
con differenza di fase: $\phi = (2\pi/\lambda)2y \cos \theta$

Nel punto P il campo elettrico totale è:

$$dE_T = 2E \cos(\phi/2) = 2E \cos((2\pi/\lambda)y \cos \theta)$$

con: $E = (60\pi I dy \sin \theta)/(\lambda D)$

Per la corrente: $I(y) = I \cos((2\pi/\lambda)y)$



Monopolo a $\lambda/4$

Si ottiene quindi un campo elettrico totale:

$$dE_T = [120\pi I \sin \theta / (\lambda D)] \cos(2\pi y / \lambda) \cos(2\pi y \cos \theta / \lambda)$$

Integrando sulla lunghezza $\lambda/4$ dell'antenna, si ha:

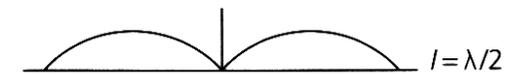
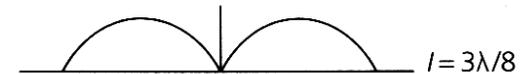
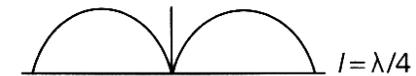
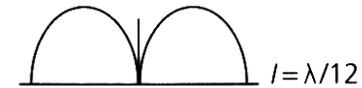
$$E_T = 60 I \cos[(\pi/2) \cos \theta] / (D \sin \theta)$$

con una resistenza di radiazione di circa 37Ω .

Nel caso invece di un monopolo lungo $\lambda/2$:

$$E_T = 60 I [\cos(\pi \cos \theta) + 1] / (D \sin \theta)$$

con una resistenza di radiazione di circa 73Ω .



Dipolo a $\lambda/2$

È costituito da due conduttori di lunghezza $\lambda/4$ con alimentazione centrale bilanciata (differenziale).

Il campo elettrico totale è quello del monopolo $\lambda/4$:

$$E_T = 60 I \cos[(\pi/2) \cos \theta] / (D \sin \theta)$$

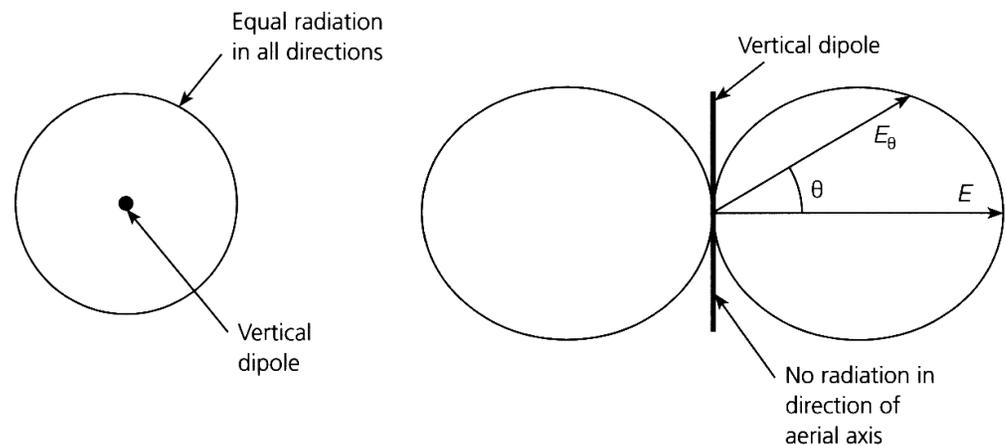
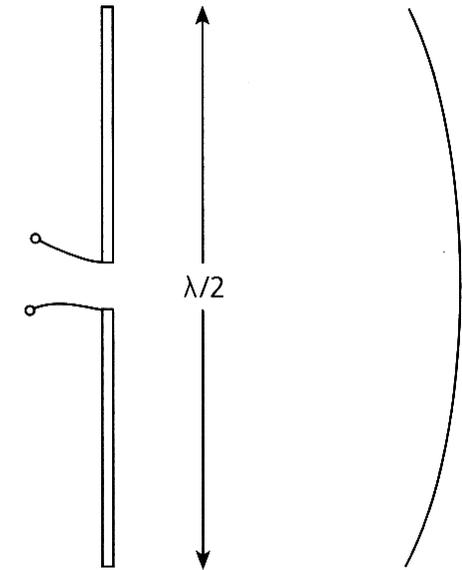
La lunghezza efficace è data da:

$$l_{eff} = 1/I \int_{-\lambda/4}^{+\lambda/4} [I \cos(2\pi y / \lambda)] dy = \lambda / \pi$$

con resistenza di radiazione di circa 73Ω .

L'apertura del fascio (*beamwidth*), angolo compreso tra i punti con campo a -3dB, è pari a:

$$\pm 39^\circ = 78^\circ$$



Guadagno d'antenna

E' un indice del fatto che l'energia irradiata dall'antenna venga concentrata in una determinata direzione.

Per reciprocità, indica anche la direzione dalla quale l'antenna in ricezione è più "sensibile".

Se il guadagno G è riferito ad un radiatore isotropo, si misura in dBi .

Può essere definito in due modi:

- G è il quadrato del rapporto tra il campo generato in direzione di campo massimo dall'antenna sotto test ed il campo generato dal radiatore isotropo, entrambi irradianti la stessa potenza P_T .
- G è il rapporto tra le potenze P_T che il radiatore isotropo e l'antenna sotto test devono trasmettere per avere lo stesso campo in direzione di campo massimo.

Guadagno d'antenna

Per il radiatore isotropo, ovviamente: $G = 0$ dBi

Per l'antenna monopolare corta: $G = [\sqrt{(90P_T)} / \sqrt{(30P_T)}]^2 = 3 = 4,77$ dBi

Per il dipolo a $\lambda/2$: $G = 1,64 = 2,15$ dBi

Potenza efficace irradiata

La **potenza efficace irradiata** di un'antenna, (**EIRP** – Effective Isotropic Radiated Power) è la potenza che un radiatore isotropo dovrebbe irradiare per generare lo stesso campo elettrico dell'antenna sotto test nella direzione di campo massimo. E' quindi legata al guadagno di trasmissione G_T :

$$EIRP = G_T P_T$$

Il campo massimo emesso da un'antenna di guadagno G_T è:

$$E = \sqrt{(30P_T G_T)/D} \text{ Vm}^{-1}$$

Apertura efficace di un'antenna

L'apertura efficace di un'antenna A_e è l'area di un bersaglio immaginario in grado di assorbire la stessa potenza che dissipa l'antenna su un carico adattato.

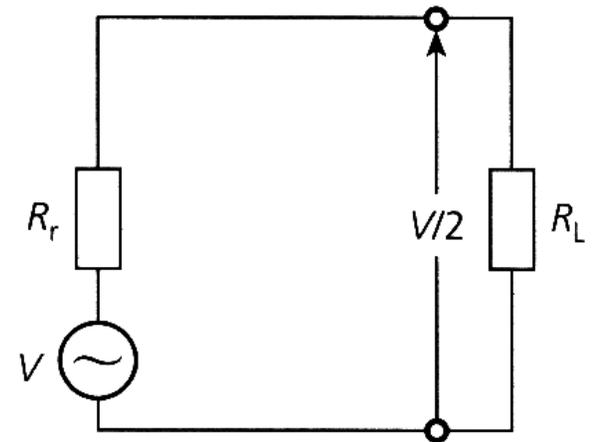
La potenza ricevuta da un'antenna è allora: $P_R = P_d A_e$
essendo la densità di potenza incidente: $P_d = E^2 / 120\pi \text{ W/m}^2$

Per il dipolo a $\lambda/2$, la tensione indotta è: $V_{oc} = l_{eff} E = E \lambda / \pi \text{ V}$

La potenza dissipata su carico adattato di 73Ω è: $A_e E^2 / 120\pi = (V_{oc}^2 / 4R_L)$
da cui: $A_e = 30 \lambda^2 / 73\pi = 0,13 \lambda^2$

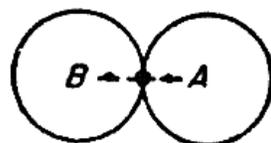
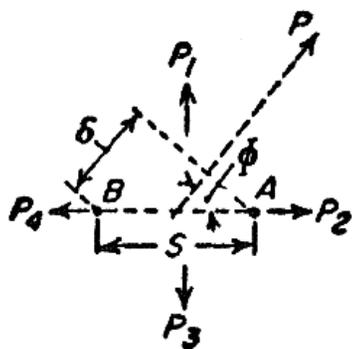
Per l'elemento di corrente: $V_{oc} = E dl$

Se ne ricava: $A_e = 3\lambda^2 / 8\pi = 0,12 \lambda^2$

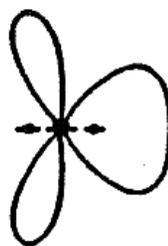


Schiere (*array*) di antenne

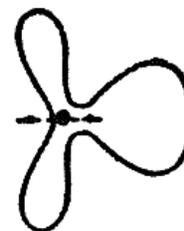
Coppia di antenne: si ipotizza di considerare i radiatori isotropi



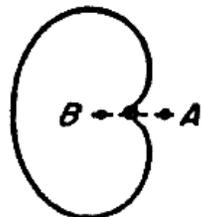
(1) $S \ll \lambda, \beta = 180^\circ$
 $E_a/E_b = 1$



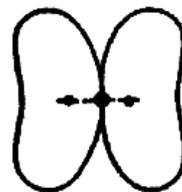
(2) $S = 0.75\lambda, \beta = 90^\circ$
 $E_a/E_b = 1$



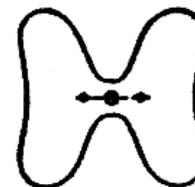
(3) $S = 0.75\lambda, \beta = 90^\circ$
 $E_a/E_b = 1.5$



(4) $S = 0.25\lambda, \beta = 90^\circ$
 $E_a/E_b = 1$



(5) $S = 0.75\lambda; \beta = 180^\circ$
 $E_a/E_b = 1$

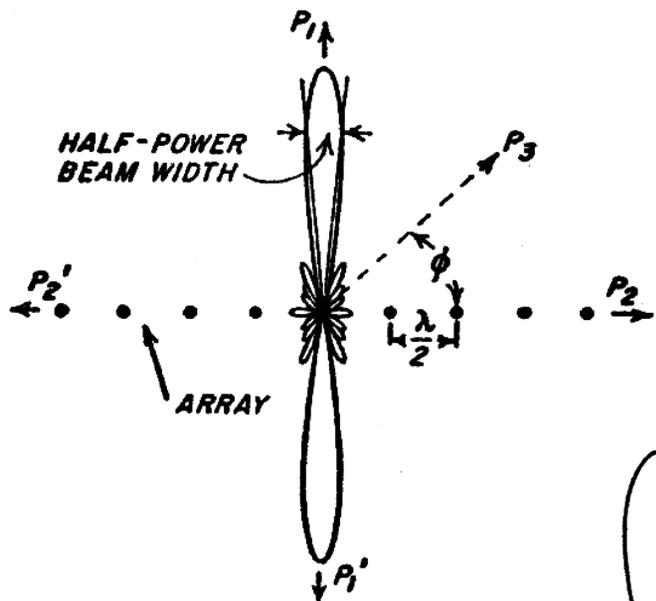


(6) $S = 0.75\lambda, \beta = 180^\circ$
 $E_a/E_b = 1.5$

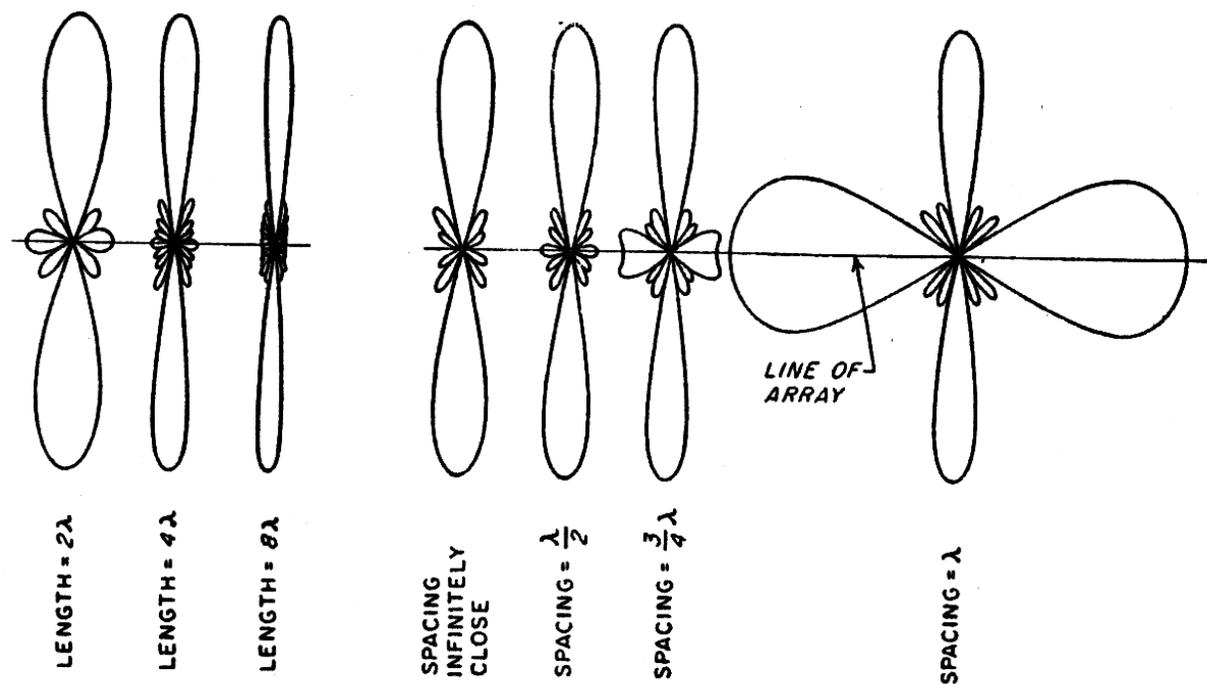
(a) GEOMETRY

(b) SOME DIRECTIONAL PATTERNS

Schiere (array) di antenne



Schiera broadside: si ipotizza di considerare i radiatori isotropi alimentati con correnti eguali e con eguale fase, spazati di una quantità costante.



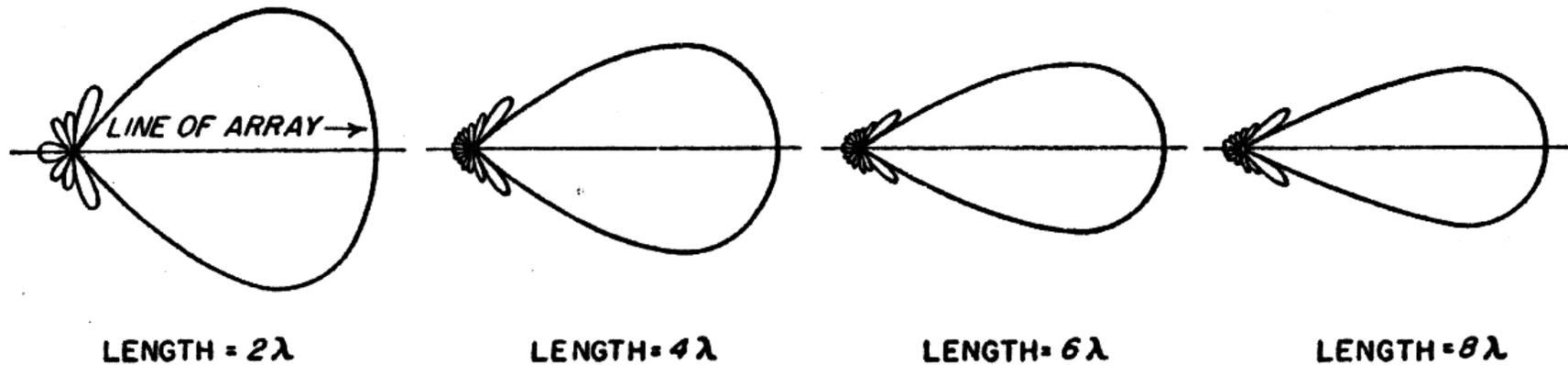
(a) EFFECT OF ARRAY LENGTH (RADIATORS SPACED $\lambda/2$)

(b) EFFECT OF ANTENNA SPACING (ARRAY LENGTH = 3λ)

Schiere (*array*) di antenne

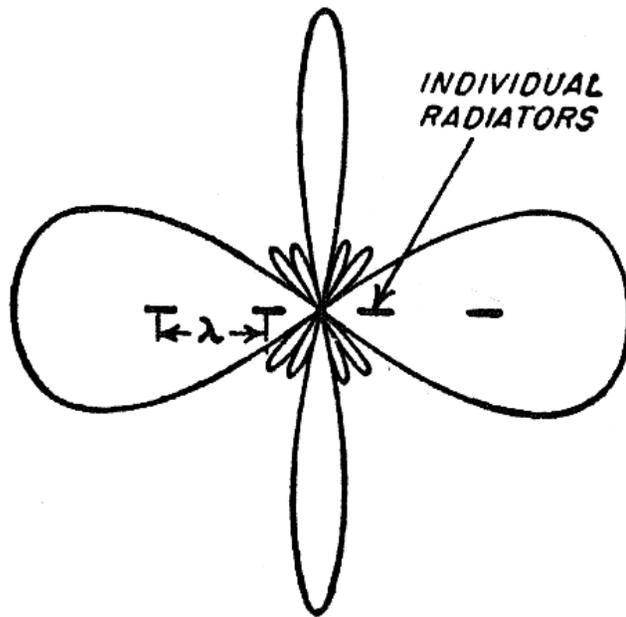
Schiera endfire: si ipotizza di considerare i radiatori isotropi a spaziatura costante, allineati come nel caso della schiera broadside, alimentati con correnti a eguale modulo ma sfasate progressivamente.

Es: $d = \lambda/4$, $\Delta\phi = 90^\circ$.

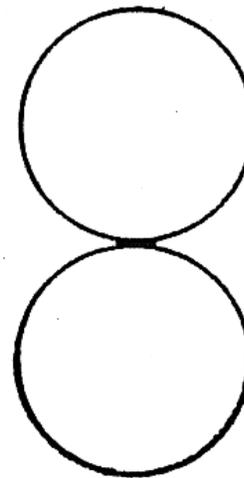


Schiere (*array*) di antenne

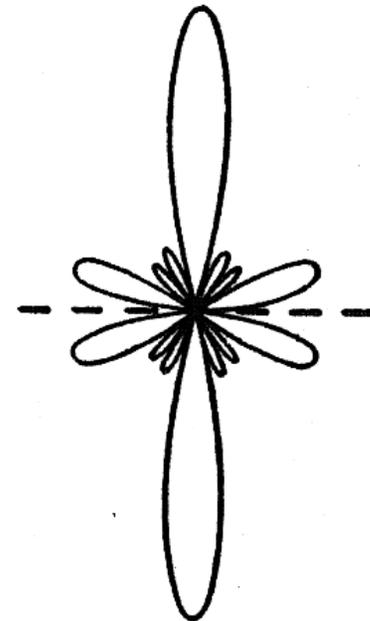
Moltiplicazione dei diagrammi (pattern multiplication): nel caso in cui i radiatori non siano isotropi, basta moltiplicare il diagramma reale del singolo radiatore per quello diagramma relativo all'array di radiatori isotropi.



(a) DIRECTIONAL PATTERN OF BROADSIDE ARRAY WITH ISOTROPIC RADIATORS SPACED ONE WAVELENGTH APART



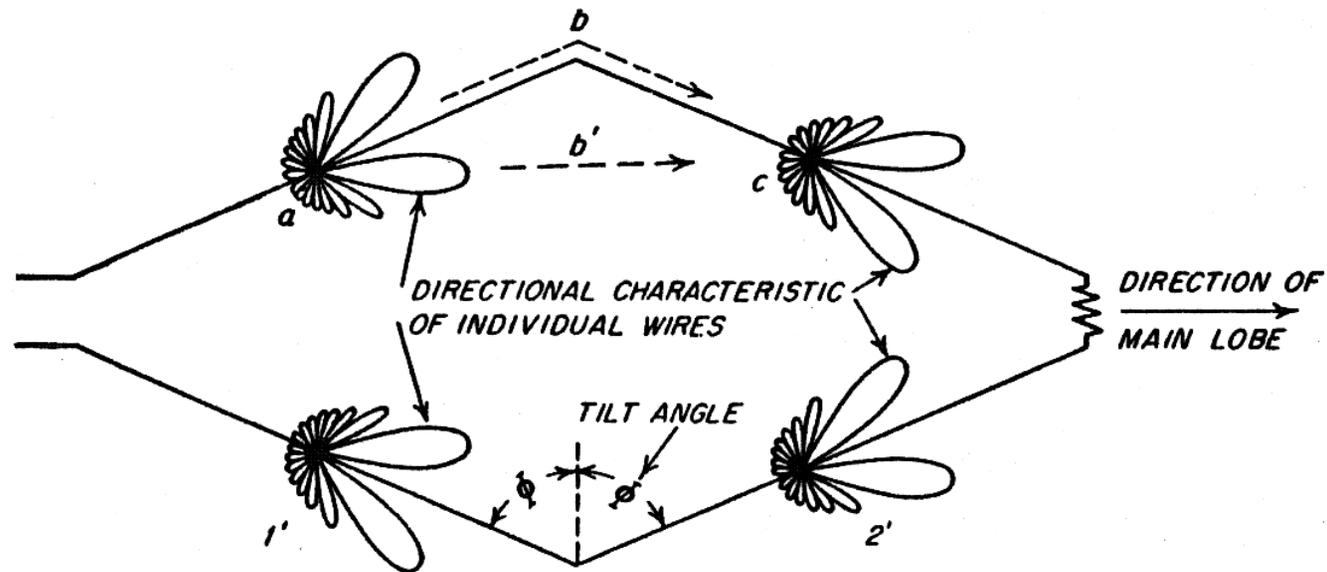
(b) ACTUAL DIRECTIONAL CHARACTERISTIC OF INDIVIDUAL RADIATOR



(c) DIRECTIONAL CHARACTERISTIC OF BROADSIDE ARRAY — THE PRODUCT OF (a) AND (b)

Antenna rombica

E' costituita da due tratti di filo posti paralleli al terreno, che possono essere considerati come delle linee di trasmissione, terminati su un carico adattato.

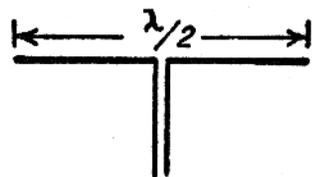


(a) RADIATION PATTERN IN HORIZONTAL PLANE

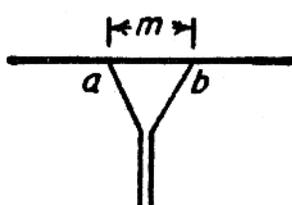


(b) RADIATION PATTERN IN VERTICAL PLANE

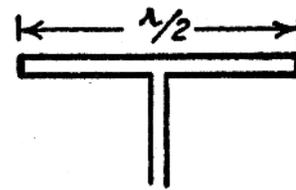
Adattamento di impedenza e conversione bilanciato - sbilanciato



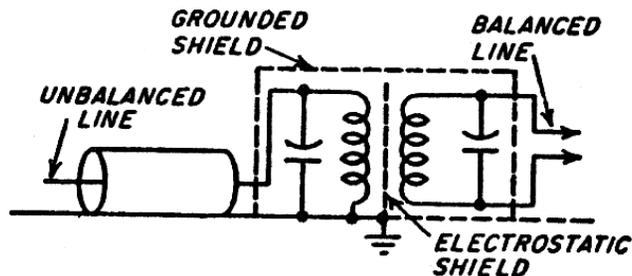
(a) CENTER-FED ANTENNA



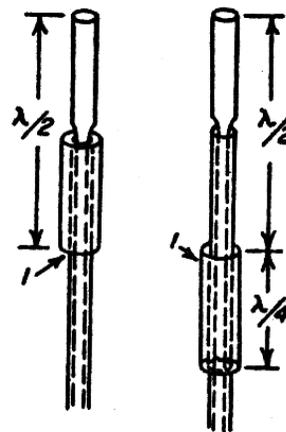
(b) TAPPED ANTENNA



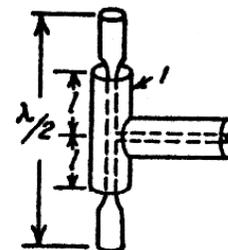
(c) FOLDED DIPOLE



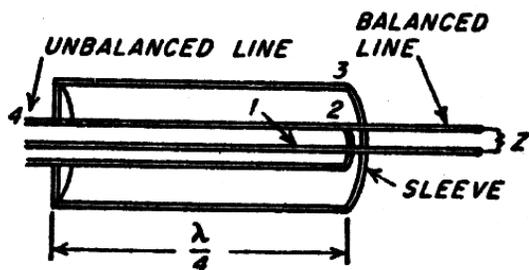
(d) BALANCED-TO-UNBALANCED TRANSFORMATION BY TUNED TRANSFORMER



(c) FLAGPOLE ANTENNAS

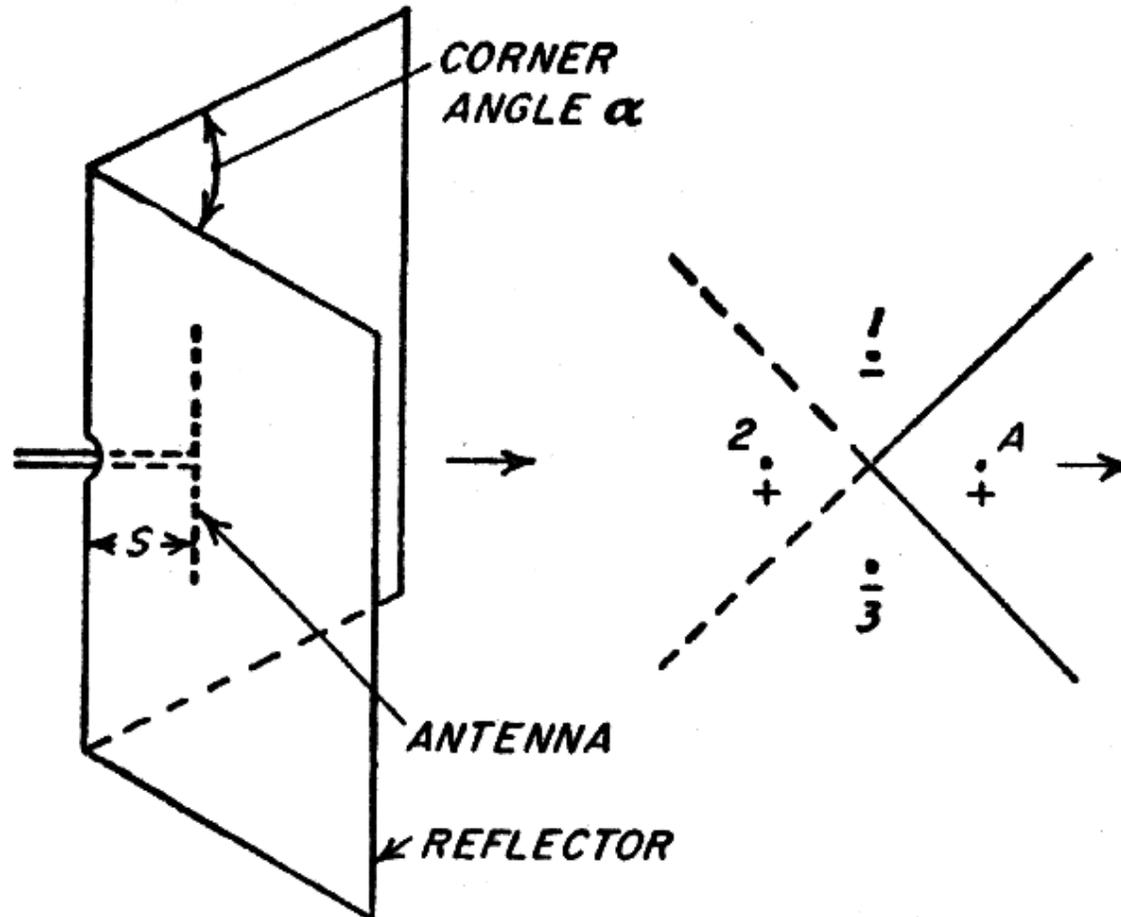


(d) SLEEVE ANTENNA



(b) BALANCING UNIT (BALUN)

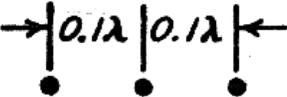
Antenna con riflettore angolare



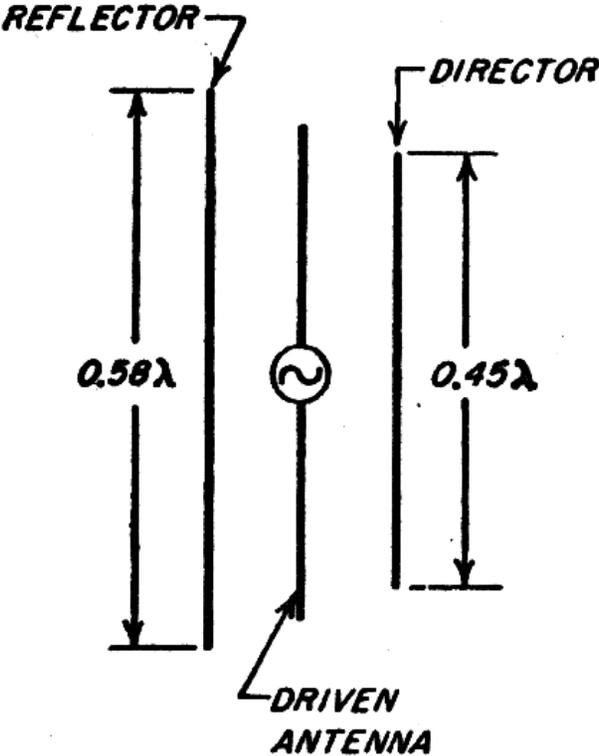
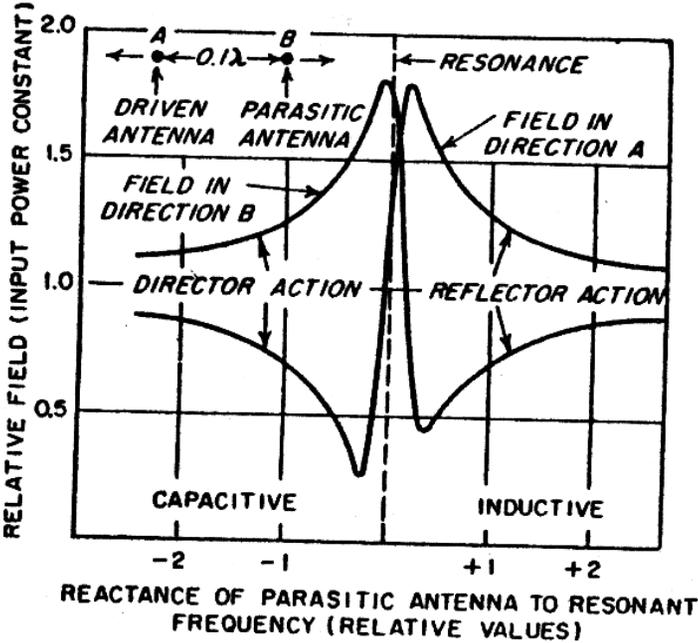
(a) CORNER REFLECTOR

(b) IMAGES FOR
90° CORNER

Antenna Yagi -Uda

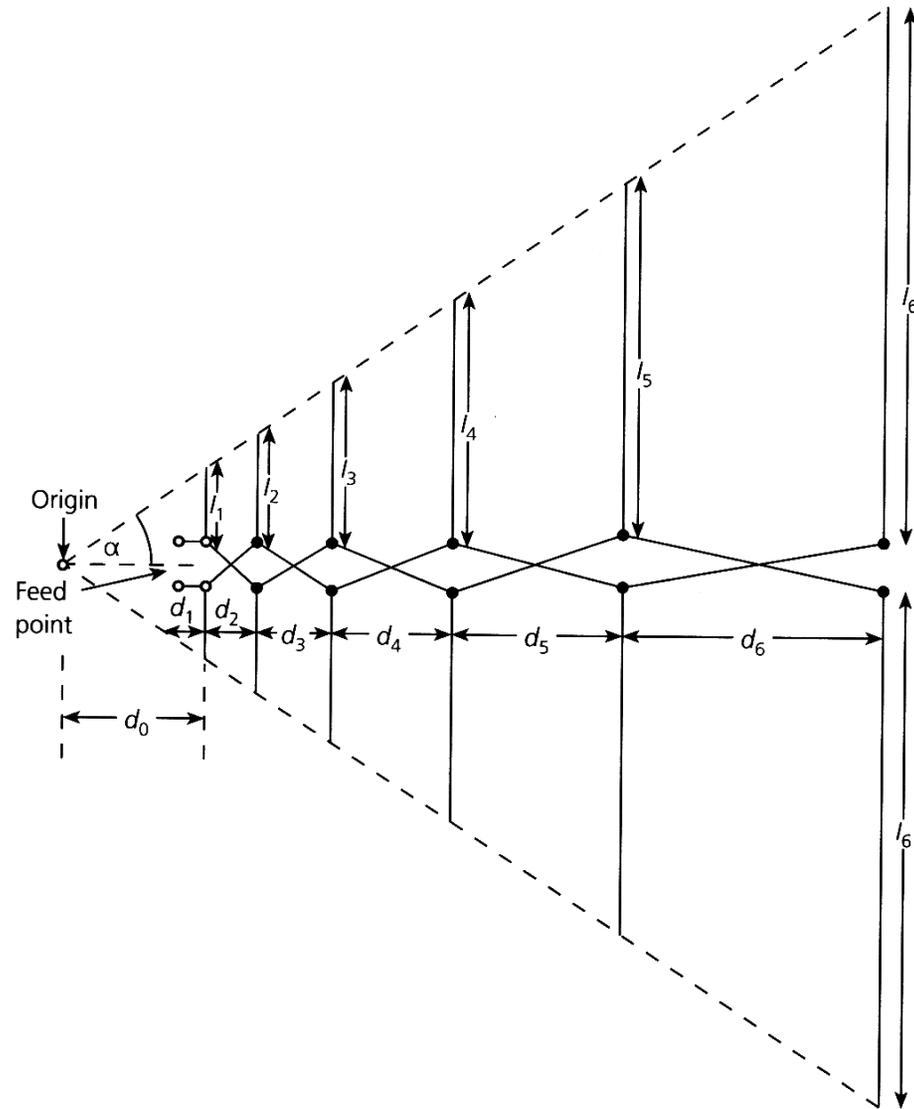


SIDE VIEW

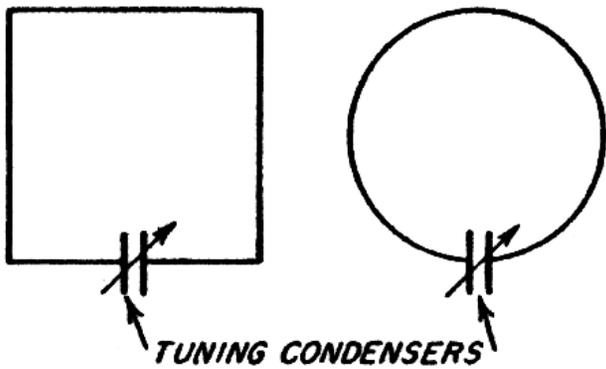


PLAN VIEW

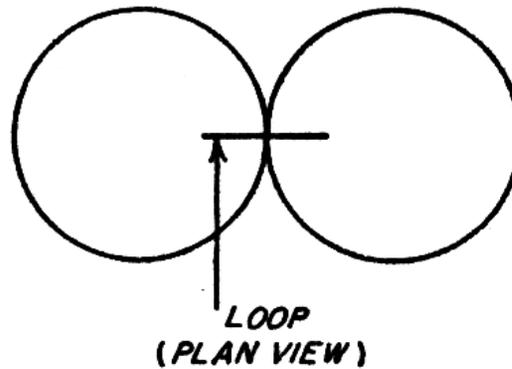
Antenna periodica logaritmica



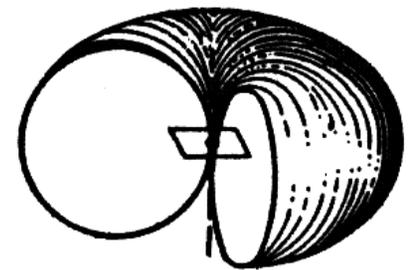
Antenna a spira



(a) TYPICAL LOOPS
(ASSUMED VERTICAL)

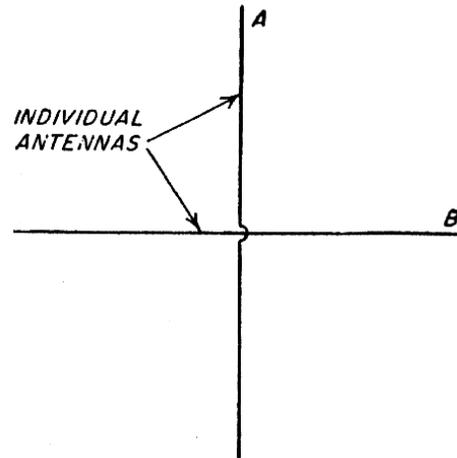


(b) DIRECTIONAL CHARACTERISTIC
IN HORIZONTAL PLANE

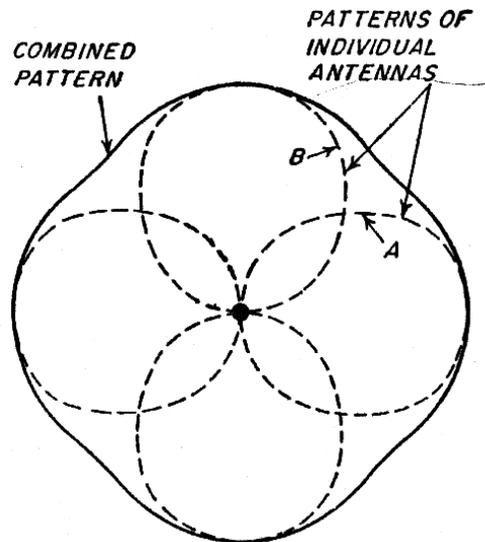


(c) DIRECTIONAL CHARAC-
TERISTIC IN PERSPECTIVE

Antenna a dipoli incrociati (*turnstile*)

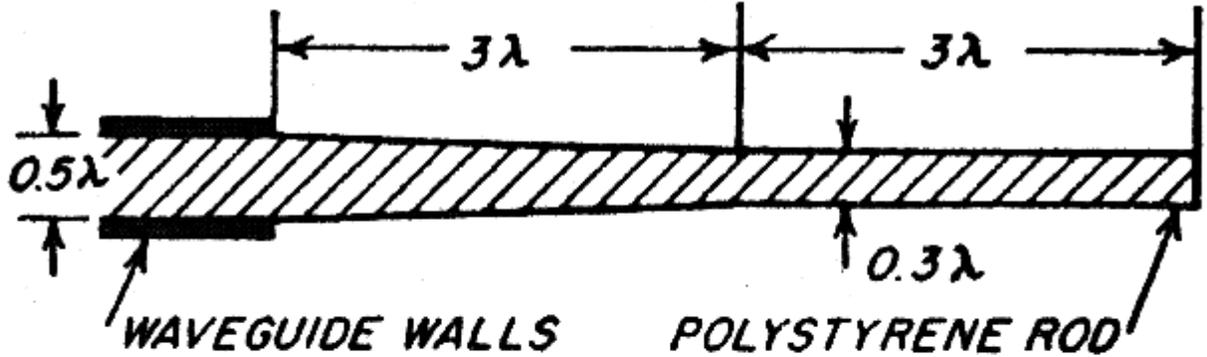


(a) TURNSTILE ARRAY



(b) DIRECTIONAL PATTERNS
IN PLANE OF TURNSTILE

Antenna dielettrica



(a) POLYROD ANTENNA EXCITED FROM CIRCULAR WAVEGUIDE



(b) DIRECTIONAL CHARACTERISTIC

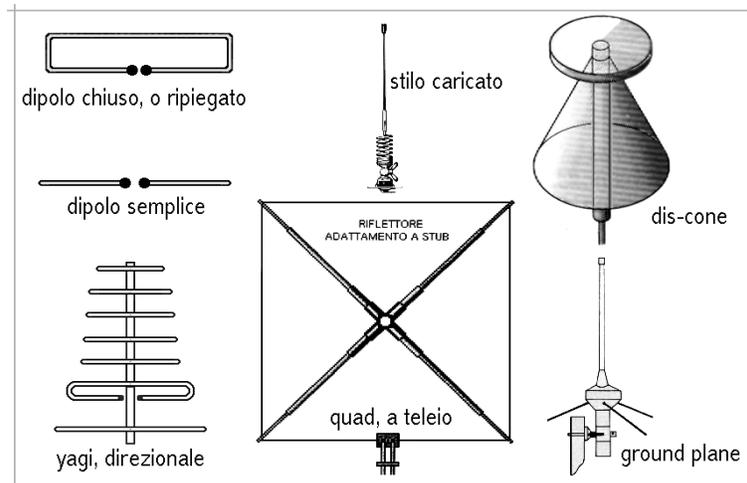
LE ANTENNE

di Giovanni G. Turco, ik0ziz

L'antenna è un dispositivo in grado di ricevere un segnale elettrico ed a convertirlo in onda elettromagnetica per irradiarlo nello spazio circostante e viceversa.

Questa sommaria definizione è sufficiente per essere inserita in un dizionario, ma non basta a chi ha interesse o curiosità a saperne di più.

Dalla definizione fatta si capisce che l'antenna può essere considerata come un trasformatore di energia, posto da trasformatore tra il generatore e lo spazio vuoto.



Vari tipi di antenne, utilizzate anche nelle stazioni radioamatoriali.

Due apparecchi telefonici per poter essere in grado di comunicare tra loro, devono essere collegati tramite una linea di trasmissione.

Un trasmettitore che deve inviare il segnale a molti chilometri di distanza, è collegato anch'esso ad una linea di trasmissione che però, ad un certo punto, termina ad un dispositivo ad esso collegato: l'antenna.

Essa simula la continuità della linea fino al ricevitore, che utilizza a sua volta un dispositivo simile, ricevente, per convertire il segnale da elettrico ad elettromagnetico.

Si può quindi pensare all'antenna come una linea infinita, con caratteristiche di risonanza ed impedenza in stretta comunione con il generatore ed il cavo che la connette ad esso.

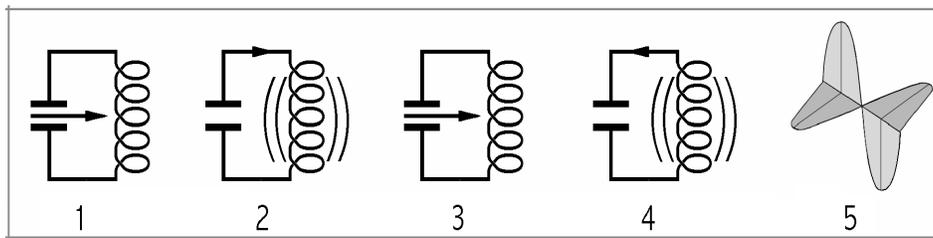
Caratteristiche dell'antenna

Le dimensioni dipendono dalla F_q (frequenza, lunghezza d'onda) sulla quale deve assolvere il suo compito.

Il rapporto di volume è inversamente proporzionato alla frequenza, espressa in MHz, cioè: su una frequenza bassa l'antenna sarà grande e viceversa. I parametri caratteristici dell'antenna sono:

- la **fase**, che è la relazione angolare esistente tra la corrente e la tensione applicate;
- l'**impedenza**, che è il rapporto tra la tensione applicata e la corrente risultante;
- la **resistenza di radiazione** che è strettamente correlata con l'impedenza;
- la **Reattanza**, che è legata alla frequenza ed alla resistenza di radiazione;
- il **guadagno**, che è il rapporto tra la potenza irradiata o ricevuta con riferimento al dipolo isotropico, ed è relativo alla direttività;
- la **direttività**, che è l'intensità di segnale emesso o ricevuto in funzione dell'angolo di irradiazione trasmesso, ed è relativa al guadagno;

- la **larghezza di banda**, che è l'intervallo di frequenza che un'antenna è in grado di ricevere o su cui è capace di irradiare mantenendo impedenza resistiva;
- il **Q**, che è relativo alla reattanza e alla larghezza di banda.



Principio di funzionamento di un'antenna.

- 1) L'energia è immagazzinata sotto forma di campo elettrico nel condensatore.
- 2) Il condensatore si scarica; la corrente che fluisce nell'induttanza genera campo magnetico.
- 3) La magnetizzazione dell'induttanza ricostruisce il campo elettrico nel condensatore.
- 4) Il ciclo si ripete e l'energia elettrica viene nuovamente convertita in energia magnetica.
- 5) La conversione di energia elettrica E in energia magnetica H in modo oscillante, genera campi elettrici e magnetici concatenati, disposti a 90° l'uno rispetto l'altro, che si allontanano dall'antenna propagandosi nello spazio circostante.

Corrente e tensione

Il circuito risonante più corto, sintonizzato ad una certa frequenza, è un conduttore lungo mezz'onda ($\lambda/2$) elettrico, cioè accorciato rispetto all'effettiva lunghezza d'onda calcolata (quella fisica), cioè in funzione del diametro del conduttore del materiale impiegato.

Applicando una carica elettrica ad un suo estremo, la corrente lo percorre per tutta la sua lunghezza fino all'altro estremo dove inverte il flusso e torna al punto di partenza, effettuando così un ciclo completo.

Il segnale a radiofrequenza (RF), continuo e immesso in un'antenna $\lambda/2$, varia in tensione con forma di onda sinusoidale, in quanto le cariche sono fornite in zone differenti del ciclo.

Nel momento di eccitazione del filo, e quindi all'inizio del ciclo, le cariche di segno opposto si trovano agli estremi del conduttore dove, per differenza di potenziale tra essi, l'intensità è massima (si sommano).

La corrente risultante nei due stessi punti di massima tensione, è d'intensità prossima allo zero (minima) poiché, in quel punto vi sono in gioco due correnti che viaggiano in senso opposto tra loro. Infatti, quando la prima carica raggiunge l'estremo del filo inverte la direzione, la seconda, con la stessa intensità, parte nella stessa direzione, quindi opposta alla prima che sta tornando all'origine, provocando l'annullamento di entrambe quasi totalmente.

Il ciclo si ripete fino a che al filo viene immesso il segnale RF.

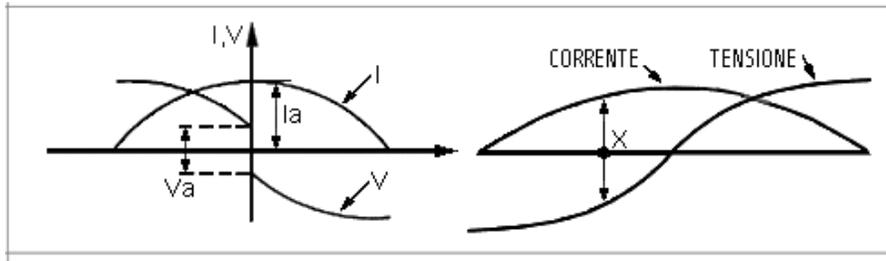
Praticamente durante il percorso, per la variazione d'intensità, la corrente disegna un arco, con inizio e fine alle due estremità di esso, con picco che è individuabile nel punto centrale (ad $1/4$ d'onda).

La tensione, per la stessa ragione, disegna una S con inizio sempre alle due estremità ma all'altezza della massima intensità di corrente, con il punto di minima individuabile nello stesso punto dove la corrente è massima.

Quindi, le forme ad arco e ad S della corrente e della tensione sono dovute alla differenza di intensità variabile lungo il percorso, per motivi di opposizione di fase.

Per quanto sopra, si deduce che tensione e corrente invertono le rispettive polarità ad ogni mezzo ciclo, con intervallo tra essi pari ad un quarto d'onda.

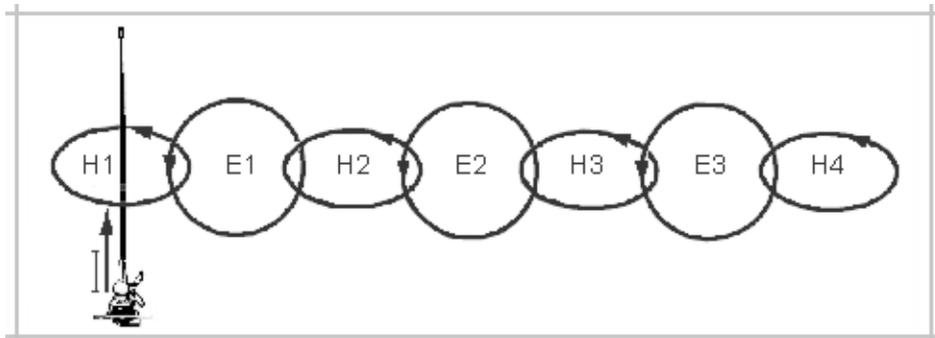
L'ampiezza della corrente misurabile in ogni punto del filo è detta **onda stazionaria di corrente**, ed il valore varia con legge sinusoidale, a seconda della frequenza.



Il punto di massima intensità di corrente lungo un filo è definito *ventre*, quello corrispondente all'intensità minima di tensione si chiama *nodo*.

Irradiazione dell'antenna

Il campo irradiato nelle prossimità dell'antenna, entro una distanza di qualche lunghezza d'onda, è detto di induzione, ma a noi interessa sapere del campo di radiazione, quello a grande distanza dall'antenna, che è caratterizzato da un campo elettrico **E** ed uno magnetico **H**, perpendicolari fra loro e alla direzione di propagazione.



In figura, la corrente **I** percorre l'antenna, producendo il campo elettromagnetico. **E** è quello elettrico, **H** quello magnetico, alternati e perpendicolari tra loro. Quando si stabilisce la polarità di radiazione, ovvero la posizione orizzontale o verticale dell'antenna, si fa sempre riferimento al campo **E**.

Le due intensità di campo **E** ed **H** sono relative all'impedenza caratteristica del vuoto, che è data dalla relazione fra la permeabilità magnetica e dalla costante dielettrica dello stesso. L'impedenza caratteristica del vuoto ha un valore di 377Ω , infatti:

$$E / H = Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 120 \pi \approx 377 \Omega.$$

Dove: **Z₀** è l'impedenza caratteristica del vuoto

μ₀ è la permeabilità magnetica del vuoto

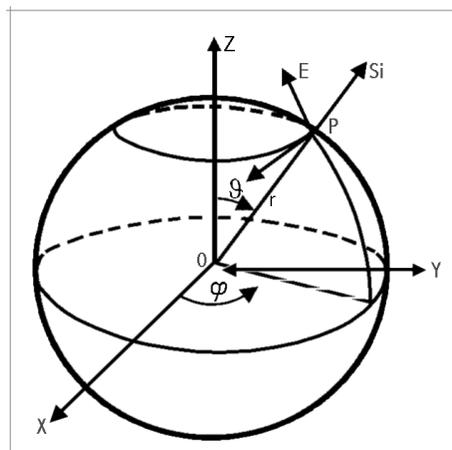
ε₀ è la costante dielettrica del vuoto

Superfici d'onda e fronti d'onda sono le superfici costituite da punti dello spazio nei quali i campi elettrico e magnetico hanno la stessa fase, dipendentemente dalla distanza dall'antenna.

A distanza considerevole dal punto di radiazione dell'antenna, la superficie sferica si può approssimare al piano tangente in cui giacciono i campi **E** ed **H**. Si può ritenere allora che la propagazione avvenga per onde piane.

Il piano di polarizzazione dell'onda è quello individuato dalla direzione di propagazione e dal campo elettrico **E**.

Alle onde elettromagnetiche è associato un flusso di energia nella direzione di propagazione.



Campo elettromagnetico, vettore di Poynting e superficie d'onda.

La potenza che in un determinato istante attraversa l'unità di superficie normale alla direzione di propagazione è detta **densità di potenza** ed è rappresentata dal vettore di Poynting "S" ($S_i = E \wedge H$ (W / m^2)) che è un vettore avente direzione normale al piano E, H con verso quello della propagazione dell'onda.

Il modulo è uguale al prodotto dei valori istantanei del campo elettrico e magnetico.

Se la corrente nell'antenna varia con la legge sinusoidale nel tempo, i due campi elettromagnetici variano anche essi con la stessa legge, e allora si può affermare che :

$$S = \frac{1}{2} EH \quad (W / m^2)$$

dove: **S** è il valore medio (in un periodo) della potenza che attraversa l'unità di superficie normale nella direzione di propagazione.

E, H sono le ampiezze dei campi **EM** che si suppone varianti con legge sinusoidale.

Il campo prodotto dall'emissione a radiofrequenza si misura in potenza **P**.

La potenza emessa da un'antenna isotropica (irradiazione a 360°) può essere messa in relazione con la densità (di potenza) **S** e con il campo elettrico **E**.

Infatti, ad una distanza **r** dall'antenna, la potenza si distribuisce su di una superficie sferica di raggio **r**, e si ottiene che $S = P / 4 \pi r^2$.

Il flusso di energia nella direzione di propagazione può essere indicato anche dalla potenza irradiata per angolo solido $P' i$ e si ha:

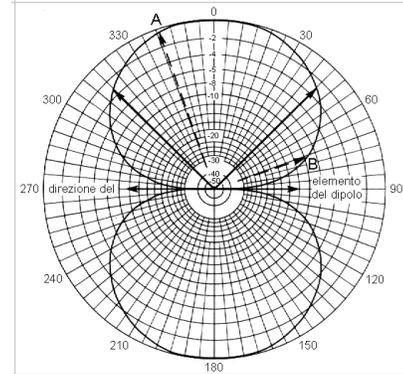
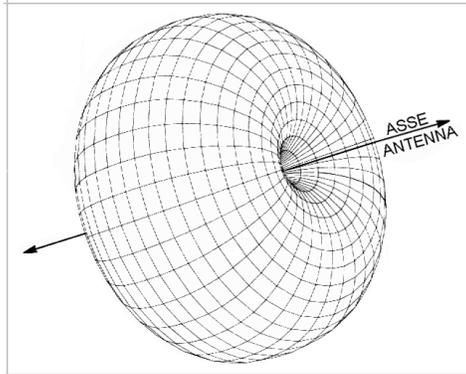
$$P' i = \frac{S 4 \pi R^2}{4 \pi} = S r^2$$

La misura **S** è quella che abitualmente usiamo, e la lettura avviene sullo strumento collocato all'interno dei ricevitori (il famoso "S come Santiago").

Ogni punto "S" equivale a 6 dB fino a S9 mentre, oltre questo valore, la misura è letta direttamente in dB nella parte solitamente evidenziata con colore diverso dalla prima parte della scala dello strumento di misura.

Radiatore isotropico e dipolo elementare

Il dipolo elementare irradia con intensità pressoché uniforme in tutte le direzioni e produce un lobo che può essere considerato **isotropico**. Esso, con caratteristica di guadagno zero e direttività intorno a 360 gradi, viene considerato quale riferimento per le caratteristiche di guadagno e direttività di tutti gli altri tipi di antenne.



È costituito da un conduttore filiforme di lunghezza d'onda elettrica minore rispetto a quella d'onda fisica ed è percorso da una corrente costante in ampiezza lungo tutta la sua superficie in una direzione definita.

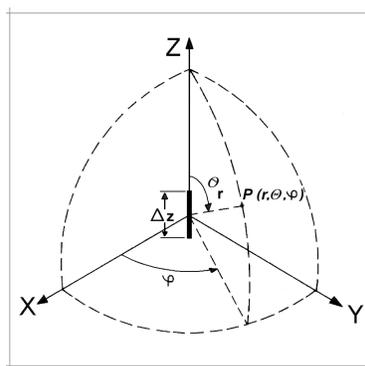
Questa caratteristica è motivo della irradiazione non uniforme in tutte le direzioni.

Esso può essere considerato come trasformatore di energia a radiofrequenza che riceve dal generatore ed irradia nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche. Allo stesso tempo esso un adattatore d'impedenza tra il generatore ed il vuoto intorno a se.

Il dipolo è da considerare, come le linee di trasmissione, un circuito a costanti distribuite, pertanto, l'andamento generale della corrente è simile a quello già descritto per le linee di trasmissione e dipende, in particolare, dal carico e dalla lunghezza della linea che ne determina anche l'impedenza.

L'irradiazione del dipolo elettrico elementare è più intensa nelle direzioni che sono ad angolo retto con la linea del filo conduttore, mentre si ha una diminuzione verso le direzioni di misura che si allineano al conduttore, fino a che in coincidenza, cala rapidamente verso lo zero.

L'intensità di campo intorno al dipolo elementare varia quindi a seconda della punto in cui viene misurata rispetto allo stesso.



Campo prodotto da un dipolo elettrico elementare.

Diagrammi di radiazione

Un'antenna che irradia omogeneamente in tutte le direzioni è detta radiatore isotropico.

L'intensità di campo delle antenne reali, invece, varia con la direzione ed il comportamento è rappresentato mediante i "solidi di radiazione" ed i "diagrammi di radiazione".

Se in ogni direzione dello spazio si riporta, partendo dal punto di origine del sistema di coordinate associato all'antenna presa in considerazione, un segmento proporzionale al modulo $|\mathbf{E}|$ del campo elettrico irradiato o alla direttività \mathbf{D} , si ottiene una figura conosciuta col nome di "solido di irradiazione".

I diagrammi di radiazione sono le curve che si ottengono selezionando il solido di radiazione con piani opportuni. Per difficoltà di rappresentazione tridimensionale, così come in realtà si espande nello spazio, i diagrammi vengono raffigurati su due sezioni piane perpendicolari fra loro, quella verticale e quella orizzontale.

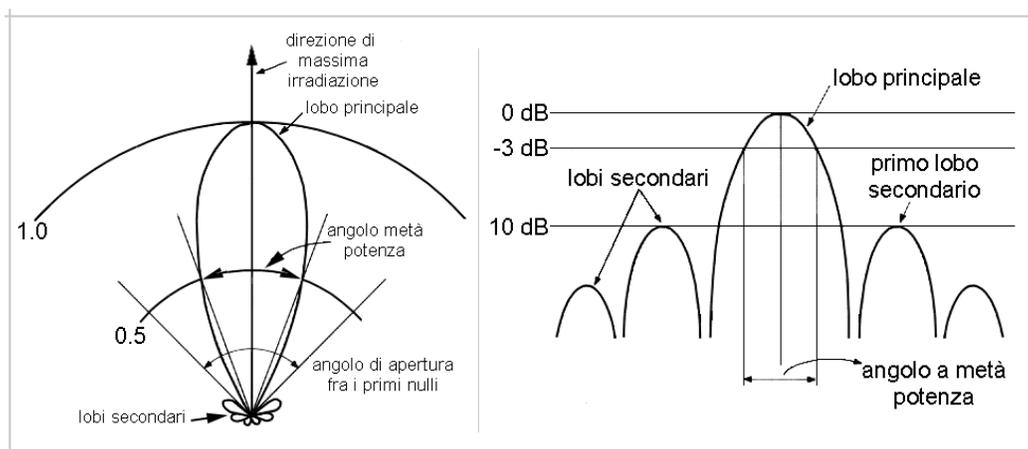
In relazione alla posizione dell'antenna, vengono indicati come diagrammi di radiazione dell'una o dell'altra polarità e contengono riferimenti ai minimi e massimi di guadagno e direttività.

In particolare viene raffigurato quello che indica la direzione di massima radiazione, ed è definito **lobo principale**, mentre altri sono chiamati **lobi secondari**.

I parametri principali riportati nei diagrammi di irradiazione sono:

1. angolo di apertura d'irradiazione totale espresso a metà potenza, che corrisponde all'angolo tra le due direzioni in cui il diagramma d'irradiazione si riduce di 3 dB rispetto al suo massimo valore;
2. angolo di apertura del lobo principale compreso tra i primi nulli del diagramma;
3. rapporto tra la massima ampiezza del diagramma del lobo principale e secondario

I diagrammi di radiazione normalizzati in campo ed in potenza coincidono nel caso in cui siano espressi in decibel, per cui l'angolo di apertura a metà potenza corrisponde a quello tra le due direzioni in cui il diagramma di radiazione si riduce di 3 dB rispetto al suo valore massimo.



A sinistra : Diagramma di radiazione in potenza del tipo polare normalizzato.

A destra : Diagramma di radiazione in potenza, normalizzato cartesiano in dB.

Guadagno e direttività

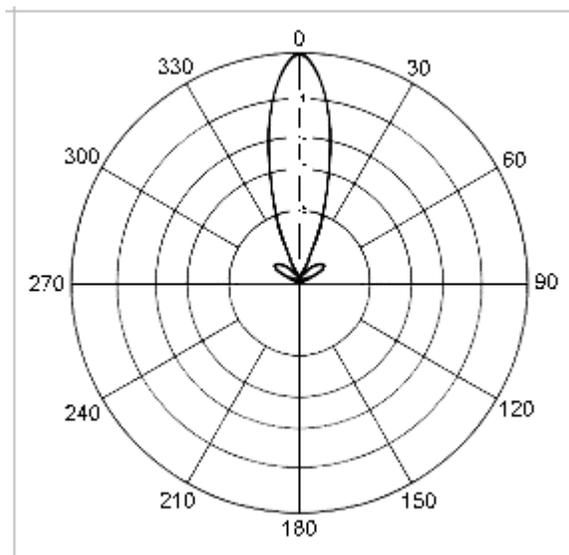
Il guadagno è rappresentato con \mathbf{G} .

In un'antenna il \mathbf{G} nella direzione di irradiazione massima è dato dal rapporto tra la potenza irradiata da una antenna isotropica P_i (intorno a 360°) e la potenza P_a con la quale si deve alimentare l'antenna reale, quella esistente, efficace ad ottenere un campo eguale in uno stesso punto ad una certa distanza.

Il guadagno \mathbf{G} è espresso in **dB** (decibel) $G \text{ (dB)} = 10 \log G$.

In via generale il \mathbf{G} dipende dal rapporto tra esso e la direttività (\mathbf{D}).

La direttività \mathbf{D} di un'antenna è rappresentata dal rapporto tra la potenza irradiata da una antenna isotropica e la potenza P_r che deve irradiare l'antenna reale per ottenere lo stesso valore del campo elettromagnetico nello stesso punto a grande distanza.



viene distribuita su un angolo minore di 360° (dipolo isotropico).
 Lobo di irradiazione di una antenna con guadagno in una direzione.
 Si dice che guadagna poiché la potenza inserita ad essa

Anche D è espresso in decibel : $D \text{ (dB)} = 10 \log D$.

Se l'antenna non ha perdite $G = D$ mentre, in caso contrario, $G < D$.

Quindi il guadagno indica la direttività dell'antenna, cioè la capacità di essa ad irradiare l'energia concentrandola in una direzione desiderata.

Ad esempio, $G=2$ ($G=3\text{dB}$) significa che per avere lo stesso campo nella direzione di massima irradiazione dell'antenna reale, il radiatore isotropico deve impiegare potenza doppia; oppure che a parità di potenza irradiata, la densità di potenza nella direzione di massima irradiazione dell'antenna è il doppio della densità di potenza nella stessa direzione del radiatore isotropico, - o che il campo è $\sqrt{2}$ volte più grande.

Nella pratica del radioamatore, le antenne che hanno un guadagno G nella direzione d'irradiazione sono dette "direttive" o "direzionali" e sono composte da uno o più elementi oltre al dipolo, posizionati prima o dopo di esso ad una certa distanza.

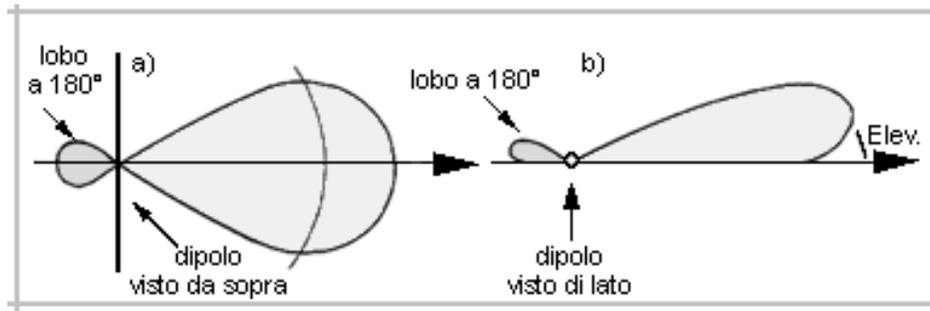
L'elemento posizionato dietro al dipolo è definito **riflettore** ed è più lungo; quello che è posto davanti al dipolo si definisce **direttore**, ed è più corto.

Angolo d'irradiazione verticale

La direttività verticale è determinante per effettuare buoni collegamenti su frequenze dai 14 MHz (20 metri) in su. L'angolo d'elevazione dipende da varie componenti, non ultima l'altezza dell'antenna dal suolo, che determina il numero di riflessioni sullo strato ionosferico che il segnale effettua per giungere ad un ricevitore situato ad una certa distanza. Ad ogni riflessione il segnale viene attenuato. Se ne deduce quindi, che l'angolo d'irradiazione verticale più basso permette al segnale di giungere a destinazione con meno salti, quindi nel minor tragitto e col risultato di minore attenuazione di radiofrequenza.

Se l'angolo d'irradiazione verticale non è sufficiente, si verifica l'effetto fading selettivo per le interferenze tra onde che hanno percorso cammini diversi.

Gli angoli che permettono buoni collegamenti a lunga distanza su 14 MHz sono compresi tra 3° e 15°, mentre per collegamenti a breve distanza sono compresi tra 15° e 30°. Su 21MHz gli angoli buoni sono tra 3° e 13° e sui 28 MHz quelli tra 3° e 10°.



Lobi orizzontale e verticale prodotti da un dipolo $\lambda/2$.

Reciprocità in ricezione

L'area efficace **A_{eff}** (area efficace) di una antenna ricevente è il rapporto tra la potenza **P_d** (potenza disponibile) trasferita al carico, ovvero all'uscita dell'antenna in condizione di adattamento e quando sia orientata nella stessa direzione dell'onda per la massima ricezione, e la densità di potenza **S** dell'onda incidente: $A_{eff} = P_d / S$

L'area efficace **A_{eff}** e guadagno **G** sono legati dalla relazione

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2}$$

La formula che consente di determinare la potenza disponibile **P_d** all'uscita di un'antenna ricevente, di guadagno **G_r**, posta nello spazio libero, a distanza **r** da un'antenna trasmittente di guadagno **G_t** (che irradia una potenza **P_i**), stabilendo che le due antenne devono essere orientate nelle direzioni, rispettivamente di massima ricezione e di massima radiazione, è la seguente: $P_d = A_{eff}(\theta, \phi)S$.

Si può dimostrare che la funzione **f** (θ, ϕ) è la stessa che si ha in trasmissione (in particolare quindi la direzione di massima radiazione è pure quella di massima sensibilità).

Inoltre si trova che il rapporto tra guadagno e area efficace di un'antenna è una costante universale, valida per ogni antenna: $G/A = 4\pi/\lambda^2$.

Queste proprietà sono di fondamentale importanza e consentono di qualificare un'antenna senza riguardo al modo con cui viene usata.

Per un'antenna ricevente, nel caso siano individuabili tensioni e correnti alla sezione d'uscita, come nel caso del cavo coassiale, la tensione a vuoto è funzione dell'orientamento dell'antenna rispetto all'onda, ed è proporzionale alla forza elettrica dell'onda stessa.

Predisponendo l'antenna nella miglior condizione di ricezione (quando funzione di (θ, ϕ) è uguale ad 1, polarizzata caratteristica), si può scrivere la predetta proporzionalità con :

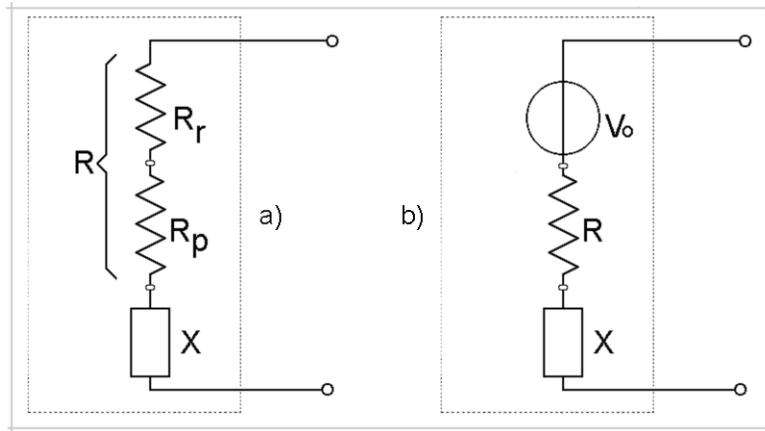
$$|V_o| = 1|E|$$

dove $|V_o|$ è la tensione a vuoto ed $|E|$ è la forza elettrica dell'onda incidente (2-1).

Il parametro 1, che ha le dimensioni di una lunghezza, è detto **lunghezza efficace** dell'antenna.

Va infine osservato che, l'impedenza d'uscita dell'antenna considerata in trasmissione, è la stessa di quella in ricezione. Tale impedenza deve quindi identificarsi con quella del circuito riportato nella figura sotto in a), ove l'antenna ha il ruolo di un bipolo passivo.

Pertanto, il circuito equivalente diviene quello in figura, lato b).



In a) il circuito equivalente tipo serie di un'antenna trasmittente.

In b) il circuito equivalente tipo serie di un'antenna ricevente.

La potenza disponibile dal generatore in figura a), cioè estraibile con un carico adattato e risonante con la reattanza X vale : $P_d = |V_o|^2 / 4R$.

Confrontando la formula appena riportata con quella per il calcolo della Pd, per la funzione di $(\theta, \phi) = 1$, si ottiene (tenendo conto della formula del calcolo di S e del modulo di V_o), la seguente espressione :

$$A = I^2 \frac{\eta}{4R}$$

che è fondamentale e mette in evidenza un vincolo tra i parametri fondamentali di un'antenna ricevente A, 1 ed R valido per qualunque antenna.

Resistenza di radiazione

Si definisce come resistenza di radiazione (**R_r**), il rapporto tra la potenza irradiata (P_i) ed il quadrato del valore efficace della corrente I nel punto dell'antenna in cui essa è d'intensità massima (ventre di corrente):

$$R_r = P_i / I^2 .$$

Si può pensare l'antenna come costituita di due resistenze (R_d - R_r), che tengono conto, rispettivamente, della potenza dissipata (d) e della potenza irradiata (r).

La potenza dissipata in calore, parte reale, nelle antenne radioamatoriali in genere, è insignificante se la confrontiamo a quella effettivamente irradiata, poiché il rapporto tra la resistenza di radiazione R_r e la resistenza R del materiale col quale sono fatte generalmente le antenne, sia che si tratti di un filo sottile che di un filo di un certo diametro, rimane alto, perché il valore ohmico dei conduttori di tale diametro è di circa 0.7-1,5 ohm.

La resistenza irradiata R_r è parte simulata, praticamente inesistente, il che permette l'irradiazione della radiofrequenza che altrimenti sarebbe anch'essa persa in calore.

Quando il diametro del tubo impiegato comincia ad essere consistente la R_r varia, e per conoscerne il valore potrete riferirvi al paragrafo riguardante la reattanza.

La variazione della R_r è comunque più veloce quando il radiatore è più lungo di $\lambda/2$. In ogni caso è bene che la R_r non sia mai inferiore a 20 ohm, poiché al di sotto di questa cifra l'adattamento dell'antenna diventa critico.

La resistenza di radiazione R_r è spesso causa della variazione dell'impedenza caratteristica Z_{in} (impedenza d'ingresso) dell'antenna, che è uguale al rapporto tensione/corrente applicato all'ingresso.

Uno dei motivi che provocano la variazione della R_r è la posizione del cavo di trasmissione, la cui calza può accoppiarsi induttivamente all'antenna.

In pratica, il materiale conduttivo e non solo, che si trova nelle vicinanze dell'antenna è considerato motivo di variazione d'impedenza. Anche il suolo sottostante partecipa alla variazione della R_r e quindi al rendimento.

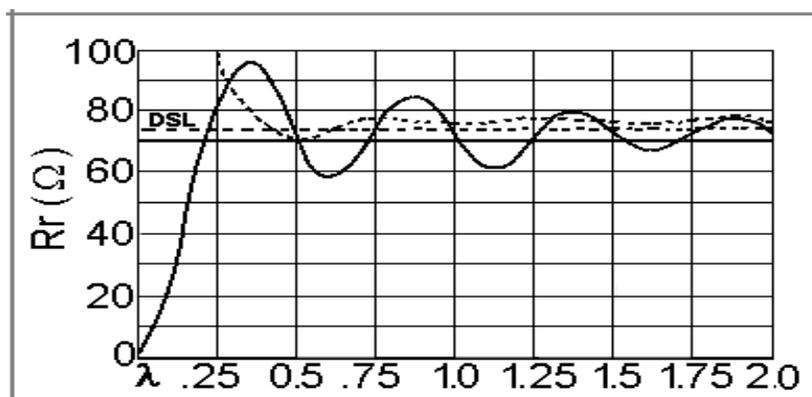


Tavola per determinare la R_r in un'antenna posta ad una certa altezza dal suolo.

La linea tratteggiata indicata con DSL si riferisce al dipolo nello spazio libero.

La curva a tratti è relativa ad antenne verticali, quella continua ad antenne orizzontali.

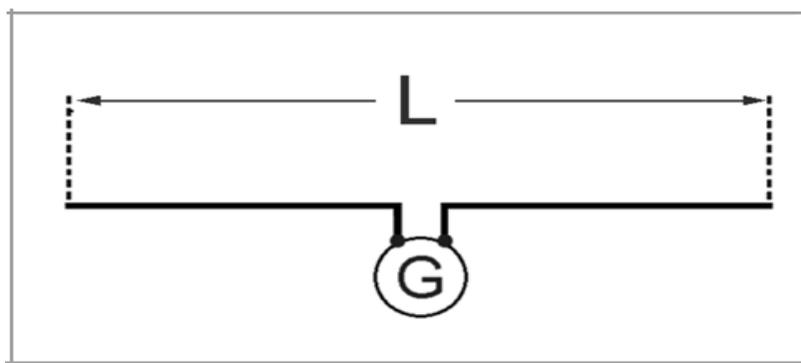
Quando l'antenna è posizionata in modo da essere considerata libera da interventi mutanti estranei, ovvero in spazio libero, la R_r è di circa 73Ω quando si utilizza un filo di diametro infinitamente sottile.

Con l'impiego di conduttori cilindrici generalmente essa è di valore intorno a 63Ω .

Impedenza d'ingresso e risonanza dell'antenna

L'impedenza d'ingresso Z_{in} in un radiatore, varia a seconda del punto in cui viene alimentato, poiché essa dipende dal rapporto tra corrente e tensione presenti nel conduttore che variano d'intensità in ogni suo punto durante l'intero ciclo dell'impulso a radiofrequenza ($Z_{in} = V / I$).

I radioamatori utilizzano vari tipi di antenne, ma sono quelle con ingresso RF al centro del radiatore le più diffuse.

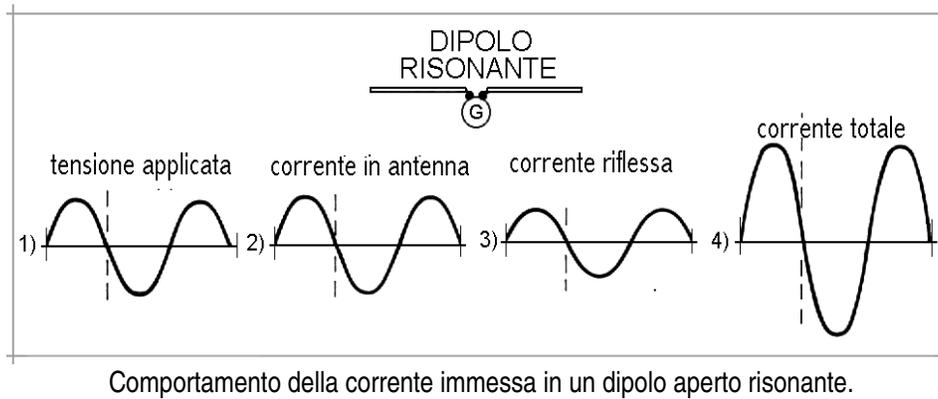


Dipolo alimentato al centro. L'impedenza di un'antenna di questo tipo, fatta con filo sottile è di circa 73 ohm che cala col crescere del diametro. Generalmente si utilizzano conduttori di diametro entro $25\text{-}30 \text{ mm.}$ per un'impedenza di circa 52 ohm.

Il miglior rendimento di un'antenna si ottiene quando al suo ingresso l'impedenza è puramente resistiva.

Questo avviene solo quando in quel punto la tensione e la corrente sono esattamente in fase tra loro.

Esaminiamo la figura che segue, nella quale ci si riferisce ad uno solo dei due rami che compongono l'intera struttura, in quanto nell'altro il comportamento è uguale e quindi i valori si sommano.



In 1) è la tensione applicata, ed in 2) si evidenzia la corrente in fase, da essa prodotta.

Siccome la corrente percorre 180° elettrici totali ($\lambda/2$) lungo un percorso di 90° elettrici ($\lambda/4$), il radiatore si può considerare risonante.

Infatti, tale percorso, che sembra comportare uno sfasamento di 180° della componente riflessa della corrente rispetto alla corrente uscente, in effetti, siccome all'estremità del dipolo la corrente s'inverte provocando uno sfasamento di 180° , lo sfasamento totale è di 360° , e la riflessa arriva in fase con la corrente uscente nel punto di alimentazione.

In 3) la componente uscente si somma con la componente della corrente riflessa e la corrente sommata, risultante, è in 4).

In questa situazione essendo in fase, il dipolo è risonante si può considerare (visto dal generatore) puramente resistivo.

E' molto importante che un sistema aereo per essere efficace, in rapporto alla potenza oltre che della stessa impedenza Z_g del trasmettitore e Z_o della linea, sia soprattutto risonante alla frequenza su cui è fatta funzionare.

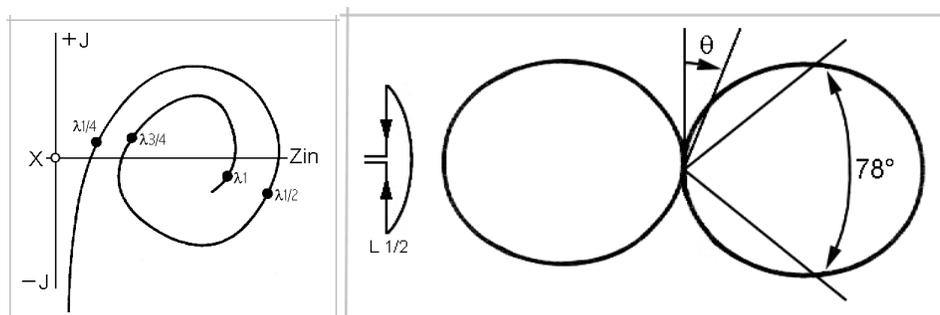
Se questi parametri non sussistono così come descritti, l'antenna subisce modificazioni che ne penalizzano la resa. Purtroppo, nella migliore delle situazioni, non si ottiene mai una pura resistenza nel punto di alimentazione, e questo vale per qualsiasi antenna.

La Z_{in} è composta dalla $R_r + R_d$, cioè dalla resistenza di radiazione e dalla resistenza di perdita in calore.

A queste due componenti se ne aggiunge sempre una terza, la **reattanza Jx** , che può essere di negativa ($-Jx$) o positivo ($+Jx$), seguiti da una cifra $n(x)$ ed indicano rispettivamente il valore di reattanza capacitiva (X_c) e induttiva (X_L) della R_r , e allora Z_{in} sarà definita come:

$$Z_{in} = R_r + R_d + Jx$$

dove: Z_{in} è l'impedenza d'ingresso coniugata del radiatore, R_r è la resistenza di radiazione, R_d è la resistenza di perdita in calore e Jx è la componente reattiva, che viene sempre indicata con la Z_{in} anche se la cifra di valore n è pari a zero, quindi per definizione l'impedenza d'ingresso di un'antenna è $Z_{in} \pm Jn$.



Nella figura a sinistra la variazione dell'impedenza Z_{in} a variare della lunghezza d'onda.

Sotto il lobo d'irradiazione di un dipolo aperto lungo $\lambda/2$. θ è l'angolo a metà potenza.

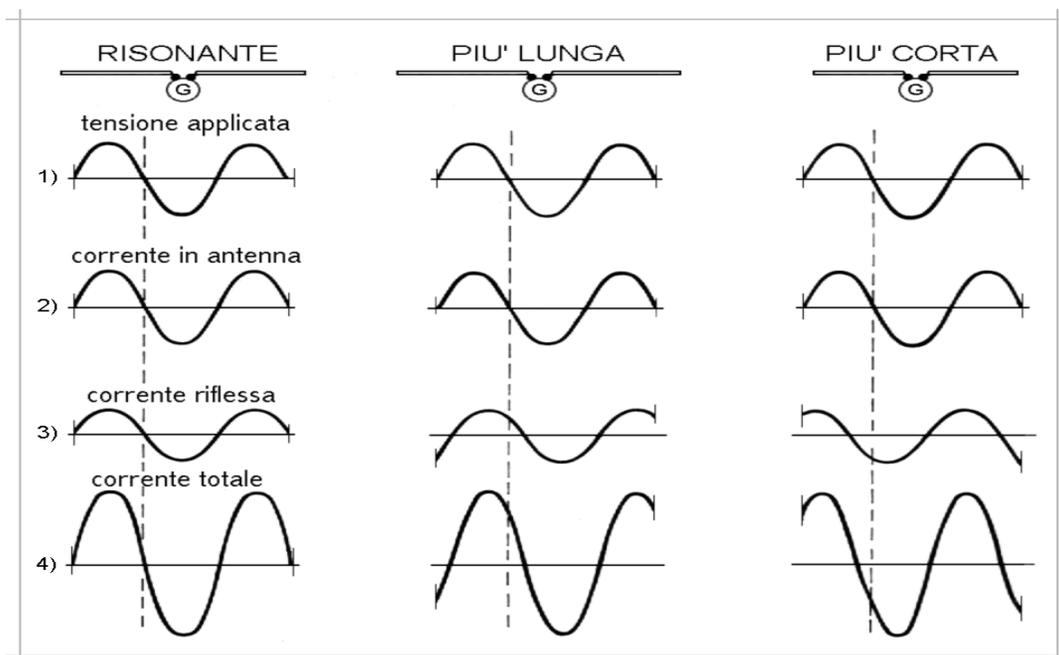
Reattanza

Uno dei motivi che rendono un radiatore reattivo è la lunghezza diversa rispetto alla frequenza di risonanza.

Se è più lungo la sua impedenza d'ingresso presenta una componente induttiva ($Z_{in} + j n$) in quanto la fase della corrente applicata risulta in ritardo sulla tensione, quindi non in fase con la componente d'uscita.

Quando è più corto, la sua impedenza d'ingresso risulta capacitiva ($Z_{in} - j n$) poiché, in questo caso, la fase della corrente è in anticipo rispetto alla tensione applicata.

Nella tabella che segue sono figurati i tre casi: dipolo risonante, dipolo più corto e più lungo, per l'andamento della corrente in ognuno di esso.



Andamento della corrente nei casi di dipolo risonante, più lungo e più corto.

Si deduce che, anche quando varia la frequenza sulla quale il dipolo è fatto risuonare, l'impedenza assume una componente X_c o X_l , a seconda che essa sia rispettivamente più bassa o più alta.

E' necessario quindi che l'antenna sia risonante, perché sia possibile l'irradiazione della massima energia proveniente dal trasmettitore.

Si può compensare la componente reattiva X , e in generale il valore dell'impedenza, mediante dispositivi di adattamento che sono ampiamente trattati in altro articolo dedicato.

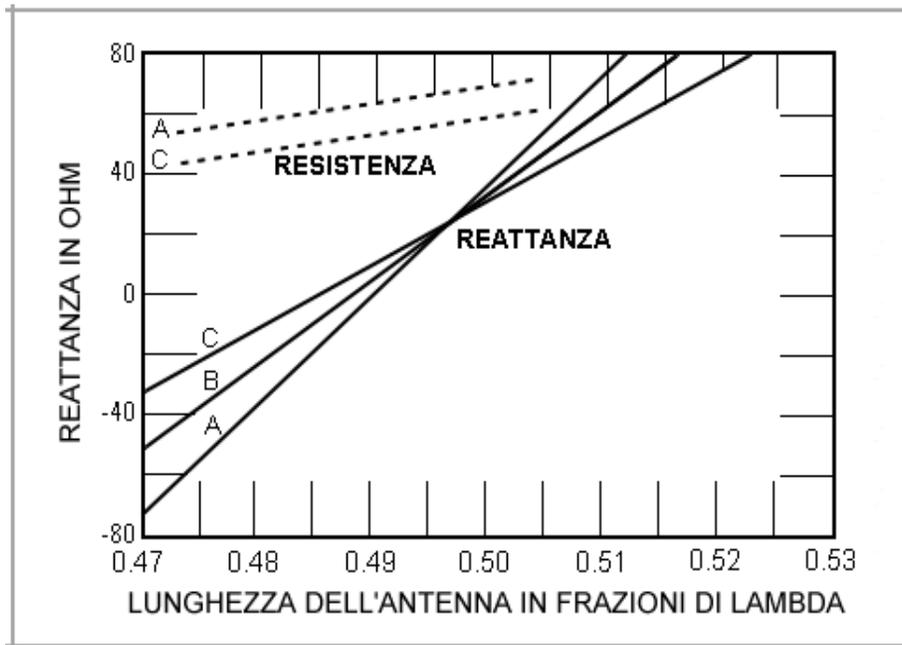
L'entità di aumento della reattanza è relativa al rapporto tra essa ed il diametro del conduttore.

A conduttori di diametro grande la reattanza presenta una curva più piatta, ovvero la variazione è più lenta nel mutare la lunghezza del dipolo. A conduttori di piccolo diametro, essa varia repentinamente.

Con radiatori filiformi, al minimo variare della frequenza alla Z_{in} dell'antenna si somma una importante entità di X_c oppure X_l , a seconda che la trasmissione venga effettuata più in alto o più in basso rispetto alla frequenza di risonanza. L'utilizzo di un tubo cilindrico è quindi quasi sempre conveniente, a beneficio anche della banda passante, poiché con l'utilizzo di tubi di diametro grosso l'efficienza dell'antenna si estende su un intervallo più largo (banda passante più ampia) mantenendo l'antenna entro parametri accettabili.

Con una larghezza di banda maggiore, cioè con diametri grossi rispetto al filo più sottile, il Q diminuisce e viceversa, così come aumenta il valore reattivo.

Il "Q" indica il valore di selettività dell'antenna. A valori di alto Q la banda passante del dipolo diviene più stretta.

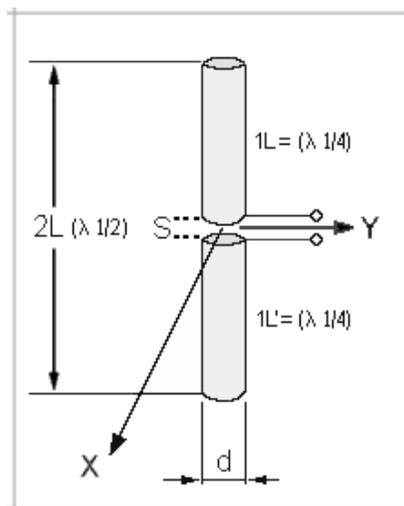


Variatione della reattanza e della resistenza in un dipolo più lungo o più corto di $\lambda/2$. La curva A è riferita a rapporto λ/d pari a 25.000 la curva B a λ/d pari a 2.500, la C pari a 1.250. Da preferire rapporti bassi per una banda passante più ampia.

Dipolo cilindrico

Il dipolo semplice è anche definito **antenna cilindrica** quando il diametro del radiatore è sufficientemente grosso. E' largamente impiegato, soprattutto a partire dalle bande VHF in su.

Il dipolo cilindrico è formato da due parti, ciascuna lunga $1/4$ d'onda elettrica ($1L+1L'=2L=\lambda/2$).



Dipolo cilindrico, geometria. E' costituito da due semidipoli di lunghezza $2L$ ($2L=1L+1L' = 2L = \lambda/2$) e di diametro "d".

Un elemento da non trascurare ai fini del mantenimento dell'impedenza è la distanza "S" al centro dei due bracci.

A frequenze alte è più critica che su quelle basse, e mediamente, per reattanza zero o trascurabile, è $0,00581$ di l (F 145 MHz = 12 mm). Il diagramma di radiazione non è più costituito da due circonferenze nel piano x-z come nel dipolo elementare, ma è più schiacciato. Angolo di irradiazione α e guadagno G valgono: $\alpha = 78^\circ$ G (dB) = 2, 14 dBi

La Rr è di 60 ohm circa con diametro $2d$ non di filo sottile, nel qual caso è di 73 ohm.

Sappiamo che in un dipolo semplice, filiforme e libero da ostacoli, l'impedenza è di circa 73Ω , a condizione che sia collocato ad una altezza dal suolo pari a qualche lunghezza d'onda rispetto alla frequenza sulla quale è risonante, ed in queste condizioni è considerata in spazio libero.

All'aumentare del diametro del conduttore, la resistenza d'irradiazione cala assieme alla reattanza.

Tanto è più grosso il diametro meno è lungo il dipolo. Questo in quanto le onde elettromagnetiche (sotto forma di energia a radiofrequenza), viaggiano in un mezzo materiale che, rispetto allo spazio vuoto, presenta una costante dielettrica diversa, e quindi la velocità di propagazione è più bassa.

Questo è il motivo per cui perde la caratteristica sinusoidale della distribuzione della corrente.

La lunghezza fisica del dipolo si definisce tenendo conto del rapporto $\lambda/2 / d$ (rapporto tra lunghezza d'onda e diametro del conduttore).

Mediamente, in un dipolo con diametro minore di $1/100$ di λ , l'impedenza si riduce intorno ai 63Ω .

Mediante il grafico di seguito riportato, si può dedurre la lunghezza approssimata del dipolo.

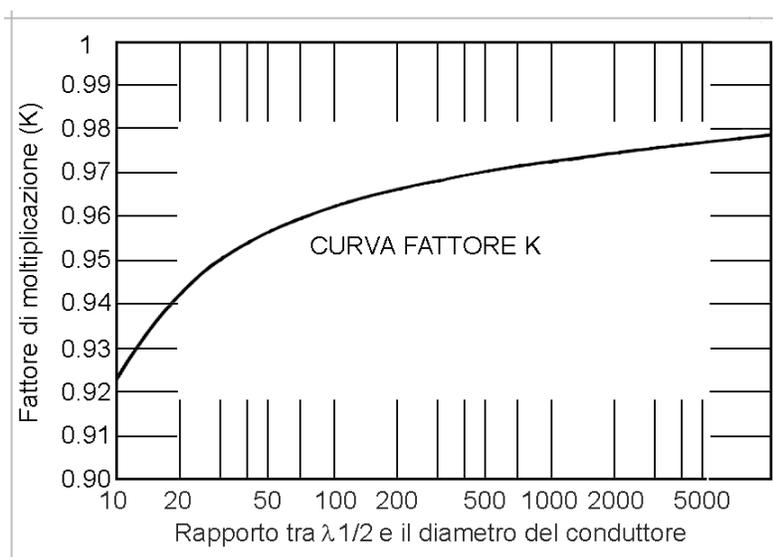


Grafico per determinare il fattore di accorciamento di un dipolo cilindrico.

Ad esempio, per calcolare le dimensioni di un dipolo aperto, che sia sintonizzato su 14,000 MHz si procede come di seguito, utilizzando un tubo in alluminio di diametro di 20 mm.

Si applica la formula seguente: $L(2L) = \frac{C}{F} \div 2$

dove: C = velocità di propagazione della luce, 299.793

F = frequenza d'uso, 14 MHz

2 = dividendo per ottenere la lunghezza in $1/2 \lambda$ elettrica.

Il risultato è una lunghezza (L) di 10,70 m. \times K (fattore di accorciamento)

Facendo uso della tabella, in basso si individua il numero che indica il rapporto risultante da $L (\lambda/2) / d$ (in metri) ovvero: $(F)14 : (d) 0.020 = 535$ (rapporto λ/d).

Tracciando una linea verticale da quel punto, leggiamo un fattore K di 0.97, quindi avremo:

$(L) 10,70 \times (K) 0.97 = (L) 10,38$ metri, che sarà la lunghezza del dipolo.

La distanza "S" tra i due semi dipoli contribuisce alla variazione della R_r ed è mediamente, di 0.0081λ .

Questo parametro non è molto determinante in dipoli su frequenze HF.

Per conoscere la resistenza d'irradiazione del dipolo si fa uso della tabella seguente:

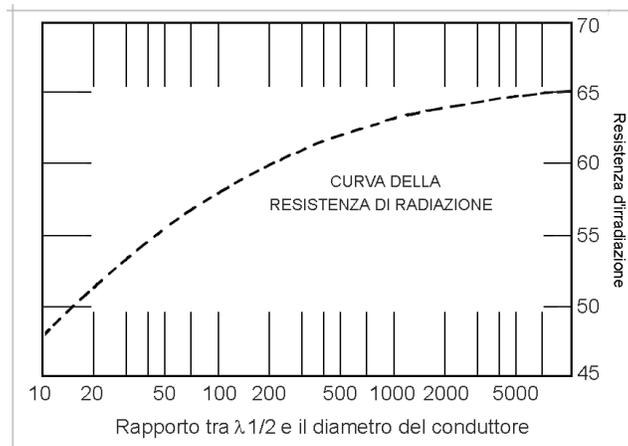


Grafico della variazione della R_r in un dipolo a mezz'onda in rapporto a $\lambda/2/d$.

Come si può vedere, per un rapporto $\lambda/2/d$ (L/d) di 535 la R_r è di 62,5 Ω .
 Si può ottenere un'impedenza minore di 62,5 ohm riducendo la lunghezza dei due semidipoli.
 Per determinarla si calcola: $62,5 \times K2L$

dove: 62,5 è il valore della impedenza del dipolo
 $K2L$ è il coefficiente per determinare la R_r desiderata

Ad esempio, se volessimo ottenere dal dipolo calcolato i 50 Ω classici, dovremmo operare in questo modo:

$$62,5 \Omega \times K2L = 50 \Omega$$

La lunghezza del dipolo è deducibile dal grafico che segue :

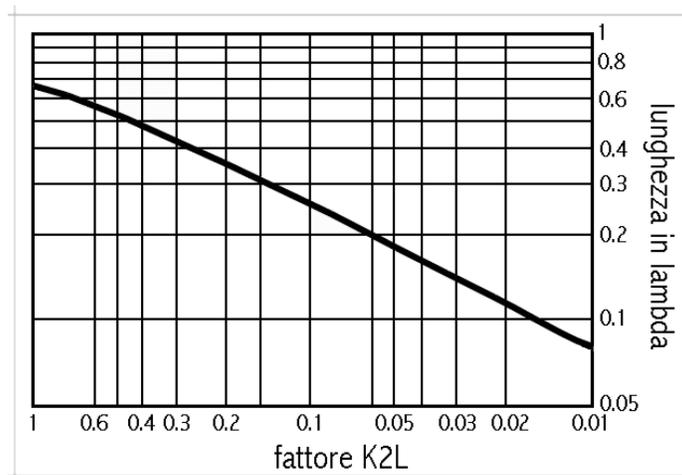


Grafico per determinare la resistenza di radiazione relativa alla lunghezza in un dipolo minore di $\lambda/2$. In corrispondenza del numero di coefficiente scelto in basso nel grafico, si legge, sulla destra, la nuova lunghezza.

La lunghezza del dipolo sarà di 0.043λ , ovvero calcolato a λ elettrica (21,41m.).
 Accorciando il dipolo si è anche introdotto in esso una reattanza capacitiva, questo vuol dire che è più corto rispetto alla risonanza, quindi occorre compensarla con una reattanza induttiva, che si calcola con

$$X_c = Z_0 \cot g \frac{L_{totale}}{2}$$

la Z_0 si calcola con

$$Z_0 = 276 \log_{10} \frac{L_{totale}}{d \sqrt{1 + \left(\frac{L_{totale}}{4h} \right)^2}}$$

dove L_{totale} è la lunghezza dei due bracci del dipolo ($1L + 1L'$ ($2L$);

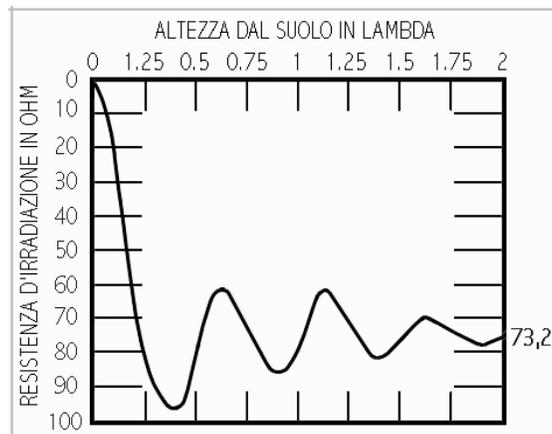
d è il diametro del tubo impiegato;

h è l'altezza dal suolo, che influenza la R_r di un'antenna.

Si calcolerà poi l'induttanza da porre al centro del dipolo.

Il dipolo è installato in polarizzazione orizzontale o verticale, poi si controlla che l'impedenza e la risonanza non abbiano subito variazioni. Nel caso di avvenute variazioni, si operano aggiustamenti simmetrici delle lunghezze dei due segmenti (bracci).

La minima altezza del dipolo dal suolo deve essere almeno 0.65λ . Per antenne distanti dal suolo fino a due lunghezze d'onda la resistenza d'irradiazione varia come nel grafico seguente:



Variazione della Resistenza d'irradiazione al variare dell'altezza dell'antenna dal suolo. Il grafico è valido per distanze dal piano riflettente contenute entro due lunghezze d'onda.

Per antenne distanti dal suolo oltre 2 lunghezze d'onda, considerate libere in aria, è valido il grafico riportato all'inizio di questo capitolo.

Anche il dipolo a $1/2 \lambda$, come quello isotropico, è ritenuto il dispositivo di confronto di riferimento per poter determinare il guadagno di tutti gli altri tipi di antenna.

Dipolo risonante in armonica

Un dipolo può essere lungo due o più mezze lunghezze d'onda. In questo caso è definita risonante in "armonica".

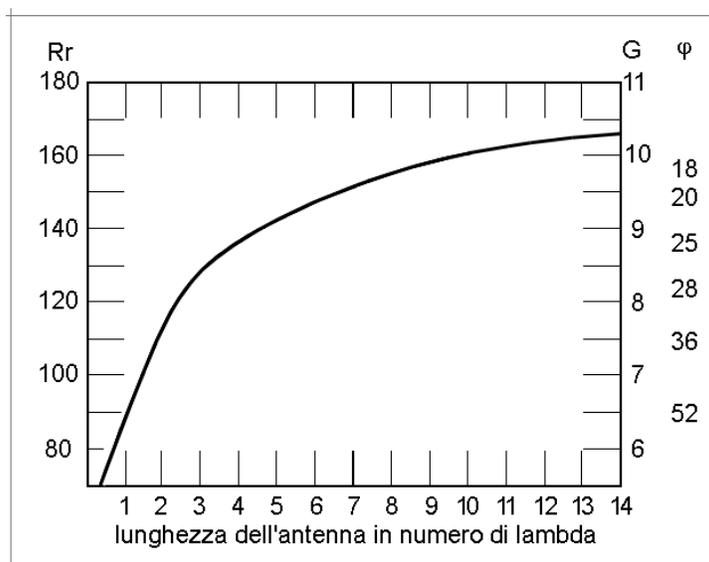
Il numero delle $\lambda/2$ corrisponde al numero di armoniche e ad ognuna corrisponde un'onda stazionaria di corrente. La configurazione è definita **collineare**, cioè come due o più dipoli operanti insieme, quindi con una efficacia d'irradiazione maggiore, un guadagno di direttività.

La lunghezza del dipolo in armonica è, di regola, minore rispetto al calcolo C / F e non solo per l'accorciamento che implica il fattore di velocità (k) del materiale utilizzato, ma anche per effetto capacitivo che alcuni tipi di isolatori, posti alle sue estremità per tenerlo posizionato, introducono (end effect). Infatti, nelle due sezioni di $\lambda / 2$ esterne del filo, gli isolatori introducono una certa capacità addizionale ad alta tensione.

La lunghezza di un dipolo calcolato in armonica, non deve quindi essere presa per certa. E' opportuno quindi prepararlo un poco più lungo e verificarne la risonanza con uno strumento adatto, e se necessario man mano tagliuzzarlo simmetricamente fino ad ottenere il miglior risultato.

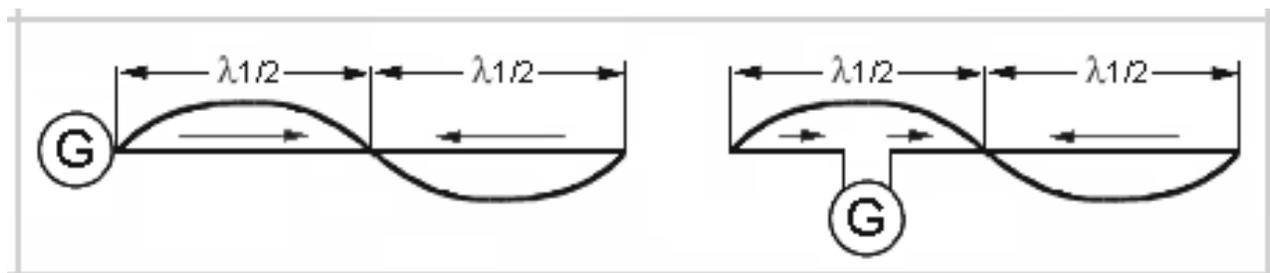
La formula per il calcolo di un radiatore armonico è la seguente:

$$\frac{149.9 \cdot n}{F}, \text{ dove } n \text{ è il numero di mezze lunghezze d'onda.}$$



Variatione della R_r , del guadagno in dB e l'angolo di irradiazione rispetto all'asse dell'antenna nel radiatore di lunghezza maggiore di $\lambda / 2$.

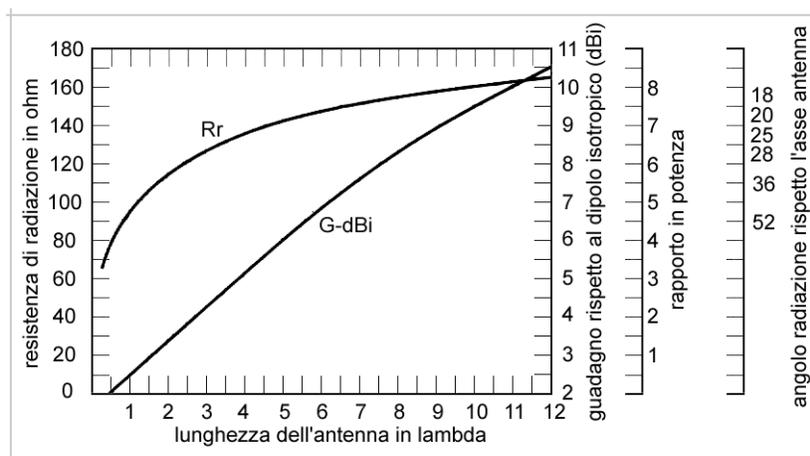
Per la corretta distribuzione della corrente e per una buona efficienza di irradiazione, le antenne risonanti in armonica devono essere alimentate ad un estremo o in un ventre di corrente, ovvero a $\lambda / 4$ da un capo del filo oppure nei punti corrispondenti a multipli dispari.



Modi corretti di alimentare un dipolo risonante in armonica, per una distribuzione di corrente che si inverte nelle sezioni a $\lambda / 2$ di appartenenza. Nel caso di alimentazione ad un capo del radiatore, a sinistra nella figura, la corrente viaggia in direzioni opposte in ogni sezione pari a lambda mezzi, alternandosi lungo il percorso. A destra, con alimentazione ad un quarto d'onda da un capo, l'inversione di corrente si ripete nelle sezioni a mezz'onda seguenti.

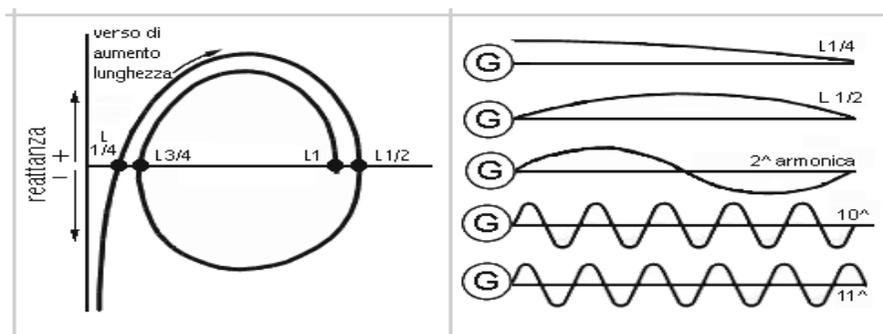
Un dipolo risonante in terza armonica, rispetto al dipolo semplice, guadagna di circa 3 dB ed ha un'impedenza di ingresso di circa 90Ω , variabile con l'altezza dal suolo ed adattabile mediante stub (vedi il capitolo "Adattamenti di impedenza"). Questo tipo di radiatore può essere, se opportunamente curata l'impedenza d'ingresso (che varia naturalmente a seconda della frequenza), un ottimo escamotage per utilizzare un unico sistema per diverse bande.

La resistenza d'ingresso nelle antenne risonanti in armonica è bassa quando le mezze lunghezze d'onda sono dispari; è alta, invece, quando sono pari. La Z_{in} dipende anche dal diametro del conduttore: a diametri alti corrisponde un'impedenza di valore più basso, e viceversa.

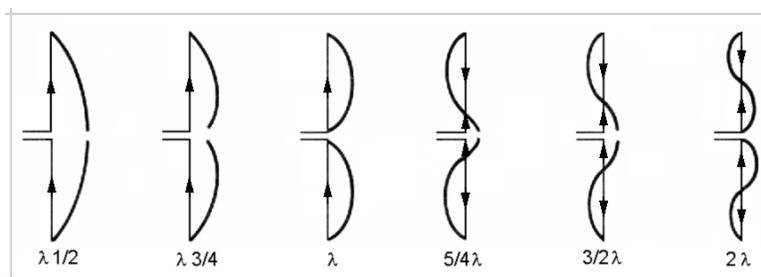


Resistenza d'irradiazione, guadagno, rapporto di potenza e angolo di un dipolo armonico.

Rispetto al dipolo a mezz'onda, nei radiatori armonici le variazioni di frequenza modificano l'impedenza più rapidamente. La fase della corrente riflessa varia maggiormente e l'introduzione di reattanza X_c o X_l è più repentina a partire dalla prima armonica, ma poi tali variazioni si attenuano sulle armoniche più alte, sulle sezioni associate alle frequenze più basse. La banda passante è molto più stretta, giacché il Q è molto alto.



Variazione d'impedenza in un dipolo alimentato al centro. La variazione tra armoniche alte vicine è minore che tra quelle vicine basse, ma tra una bassa ed una molto alta è più accentuata.



Sopra: comportamento della corrente in un dipolo $\lambda/2$ e più lungo, alimentato al centro

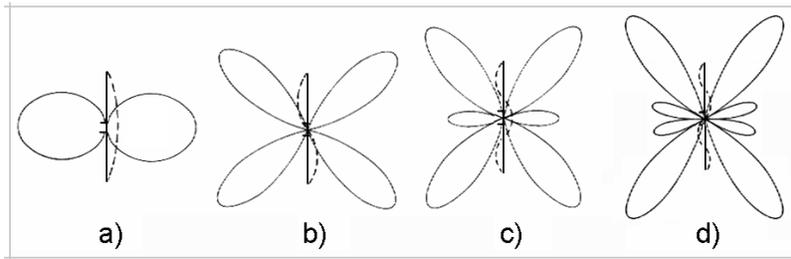
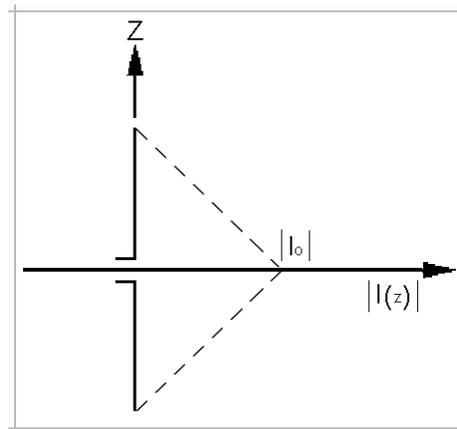


Diagramma di radiazione in campo per dipolo $\lambda/2$ (a), λ (b), $\lambda/4$ (c), $\lambda/2$ (d).

Dipolo corto

Un radiatore può essere anche corto rispetto a $\lambda/2$ - $K < \text{or} \ll 1$.

In questo caso, la distribuzione della corrente è a punta, triangolare rispetto al fronte.



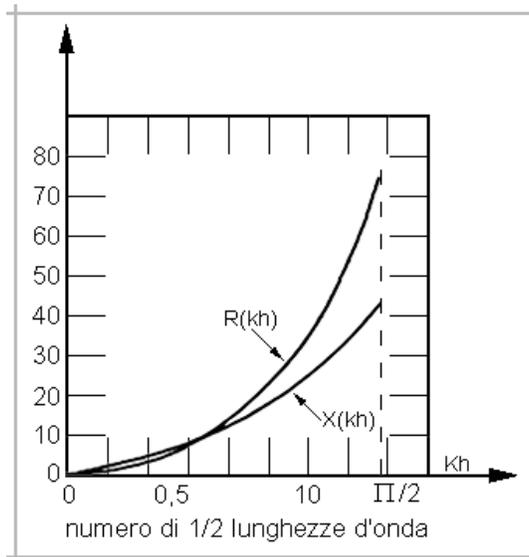
Distribuzione della corrente in un dipolo filiforme più corto di $\lambda/2$. La $I(z)$ è uguale a

$$I_0 \left[1 - \frac{|z|}{1L} \right] \text{ dove } 1L \text{ è metà di } 2L \text{ (} 1/4 \lambda \text{)}$$

L'impedenza d'ingresso per questo tipo di dipolo, a partire da $\lambda/4$ e ancora più corto, può essere calcolata mediante la seguente formula :

$$Z_{in} = R(K 1L) - j \left[120 \left(\ln \frac{2L}{d} - 1 \right) \cot g(K 1L) - X(K 1L) \right]$$

dove le funzioni $R(K 1L)$ e $X(K 1L)$ sono riportate nella figura che segue:



In figura, la variazione delle funzioni $R(kL)$ e $X(kd)$. Dalla formula su riportata segue inoltre che:

$$Z_{in} = 20(kL)^2 - j120(kL)^{-1} \left(\log \frac{2L}{d} - 1 \right)$$

Antenna più corta di $\lambda/4$ accorciata da K rispetto alla lunghezza fisica.

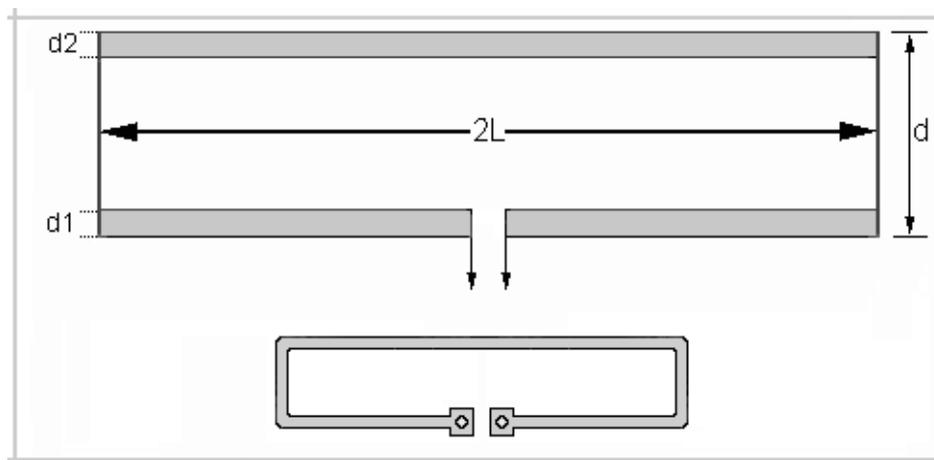
$$Z_{in} = (73.12 + j42.46) \text{ (Antenna } \lambda/2 \text{ (} 2L = \lambda/2 \text{))}.$$

Dipolo ripiegato

Il dipolo ripiegato, dall'inglese "folded dipole", si può descrivere come costituito da due dipoli di lunghezza uguale, in parallelo fra loro con gli estremi uniti.

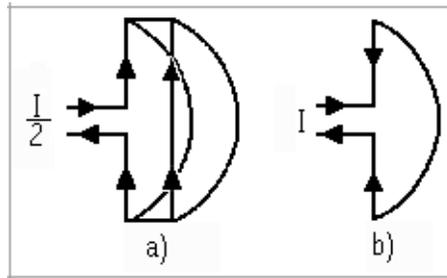
È ripiegato a rettangolo, e due dei quattro lati sono più piccoli del lato radiante e nello stesso tempo molto più piccoli di λ e formano, nell'insieme, una spira molto stretta. La lunghezza totale è di 1λ .

L'alimentazione è al centro di uno dei due lati più lunghi, ed è riferito a terra (bilanciato).



Struttura del dipolo ripiegato. Sotto la conformazione pratica.

Nel caso in cui $2L$ sia uguale a $\lambda/2$, la corrente sul singolo ramo del dipolo ripiegato presenta lo stesso andamento di quella vista in un dipolo semplice.



- a) Distribuzione della corrente in un dipolo lungo 1λ fisico e ripiegato a $\lambda/2$.
 b) Confronto con l'andamento della corrente nel dipolo semplice.

Da un punto di vista dell'irradiazione si ottiene dunque lo stesso diagramma del dipolo semplice a $\lambda/2$, che presenta una corrente di ampiezza doppia rispetto a quella presente sul singolo ramo del dipolo ripiegato.

Si può dire quindi che a parità di potenza il campo irradiato risulta doppio.

Infatti, i contributi delle due correnti presenti nei rami del dipolo ripiegato si sommano in fase, essendo questi ultimi sfasati di poco nello spazio (la distanza tra i rami più lunghi è minima rispetto alla lunghezza d'onda).

Tenendo conto, quindi, che a parità di campo e di potenza irradiata la corrente di alimentazione necessaria è la metà di quella nel dipolo semplice a $\lambda/2$, ne consegue che l'impedenza, vista dalla linea di trasmissione al suo ingresso, è più elevata che nel dipolo semplice ($73,2\Omega$).

Se R_r' è la resistenza di radiazione nel dipolo semplice ed R_r quella nel dipolo ripiegato, allora:

$$P_d = \frac{1}{2} R_r' |I|^2 = \frac{1}{2} R_r \left(\frac{|I|}{2}\right)^2 = R_r = 4R_r'$$

Quindi, la resistenza di radiazione nel dipolo ripiegato è quattro volte quella del dipolo semplice, infatti:

$$R_r = 4R_r' = 73\Omega \times 4 = 292\Omega$$

I vantaggi di questo tipo di dipolo sono diversi, tra cui:

- la maggiore larghezza di banda:
è infatti impiegato per servizi ove occorra una banda passante ampia, come per le trasmissioni broadcast.
- l'altezza efficace:
che è pari a circa $0,637\lambda$, doppia rispetto al il dipolo semplice.
- la robustezza:
da un punto di vista meccanico il dipolo ripiegato è più solido del dipolo semplice.

Variando la sezione d_2 del ramo non alimentato e la distanza d tra gli assi dei due rami, si può alterare il valore della resistenza d'irradiazione del dipolo ripiegato. Nella figura seguente è riportato il valore del fattore di passaggio K dalla R_r del dipolo semplice a quella del dipolo ripiegato, in funzione del rapporto d/λ , per vari valori del rapporto d_2/d_1 .

Un sistema per aumentare la larghezza di banda del dipolo in questione è quello di aumentarne il numero delle sezioni più lunghe.

Nel caso, se l'alimentazione è connessa su una sezione esterna, l'impedenza vale:

$$R_r = 73n^2 \text{ Ohm, dove } n \text{ è il numero delle sezioni aggiunte.}$$

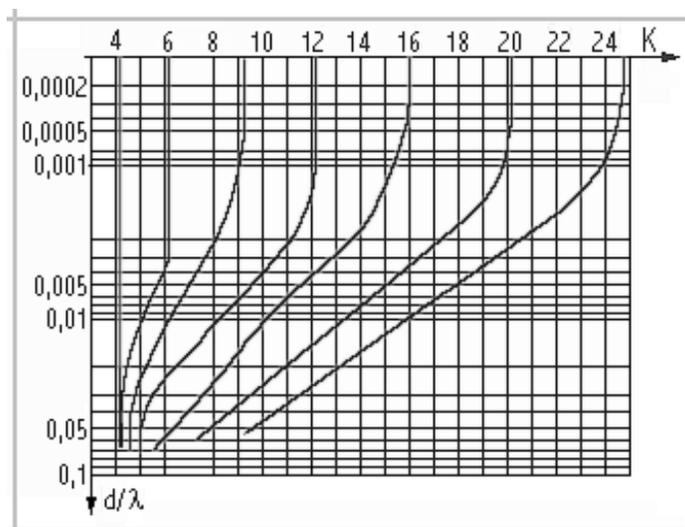
Ma facciamo un esempio di calcolo di dipolo ripiegato, il cui diametro della sezione alimentata “d1” sia 10 mm., e l'altra sezione “d2” 15 mm, spaziate 12 cm., risonante a F 145 MHz:

$$\frac{d2}{d1} = \frac{15}{10} = 1,5 \quad \frac{d}{\lambda} = \frac{0,12}{2,067} = 0,058$$

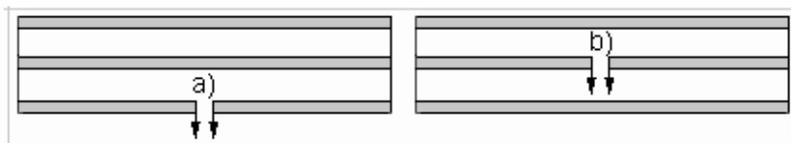
Nel grafico di conversione della resistenza di un dipolo semplice in quella di un dipolo ripiegato in funzione del rapporto d/λ , cerchiamo il valore 0.058 e lo associamo alla curva distinta dal rapporto $d2/d1$, che come abbiamo visto è 1,5.

Sul lato sinistro del grafico troviamo il fattore K corrispondente che è 6,2.

Essendo la resistenza di irradiazione effettiva del dipolo semplice circa 62 ohm, quella del dipolo ripiegato così calcolato sarà 6,2 volte maggiore, ovvero 384 ohm.



Fattore di conversione della resistenza di un dipolo semplice in quella di un dipolo ripiegato in funzione del rapporto d/λ . Le curve sono relative a diversi valori dei parametri $d1/d2$. ($d1/d2 = 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4$).



In figura due versioni di dipolo con terzo elemento. In a) con alimentazione su uno degli elementi esterni, e l'impedenza d'ingresso è R_r 630 ohm. In b) l'alimentazione è sull'elemento centrale, e la R_r è di 900 ohm.

Questo tipo di configurazione è detto “a più rami”.

Dipolo caricato

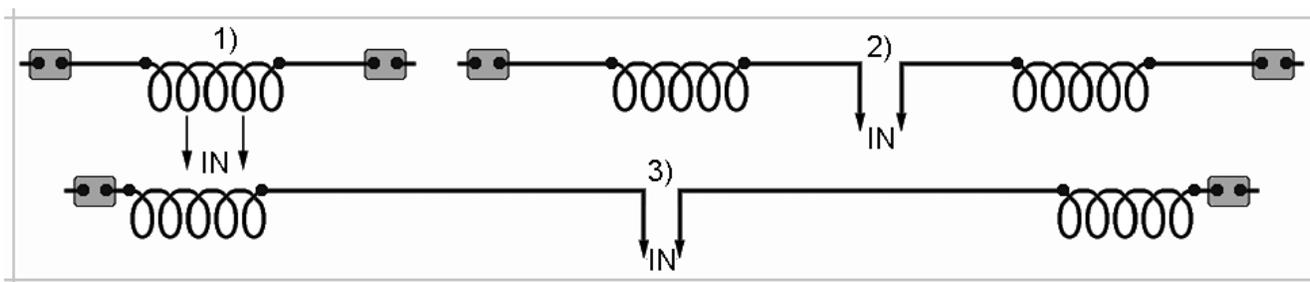
Quando si voglia accorciare un dipolo, per renderlo comunque risonante alla frequenza di trasmissione, in serie ai due semidipoli si inseriscono delle bobine opportunamente calcolate, al fine di compensare la reattanza X_c intervenuta, con una X_l . Le bobine si definiscono **cariche**.

Quanto più corte saranno le parti lineari, tanto più lunghe dovranno essere le cariche.

Quanto più la parte lineare sarà corta, tanto minore sarà l'efficienza del dipolo e nello stesso tempo, essendo il Q molto elevato, la banda passante sarà stretta.

Questo metodo introduce una resistenza di perdita (R_d), il cui valore dipende dalla bontà di realizzazione della carica di compensazione e dalla sua posizione lungo il dipolo.

Per minimizzare tali perdite, è preferibile collocare le induttanze alle due estremità, ed in questo caso le bobine dovranno essere un po' più lunghe, ma generalmente si preferisce posizionarla al centro, per comodità meccanica.



In figura, tre sistemi di carica nei dipoli: centrale, a metà di ogni braccio e agli estremi.

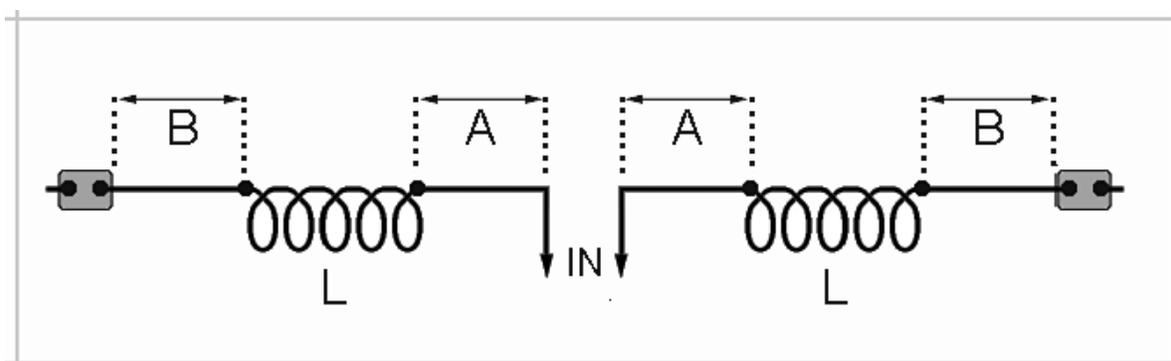
Il valore d'induttanza, per la compensazione della capacità, posto in una certa posizione lungo le due sezioni del dipolo, è deducibile dalla formula: $L = Z / 2\pi F$ dove Z è l'impedenza della bobina.

Dal grafico che segue è possibile dedurre il valore d'impedenza della bobina, a seconda del punto in cui va situata lungo il dipolo e della percentuale di lunghezza del conduttore rispetto alla dimensione naturale.

Facciamo un esempio.

Per costruire un dipolo caricato sulla banda dei 40 metri, riduciamo la parte lineare a soli 10 metri invece che 20 m.

Si decide di posizionare le due bobine, una per braccio, al centro del radiatore, ovvero al centro di ogni lato, come nella figura che segue:



Dipolo caricato. Indicazione delle quote.

Dal grafico che segue, possiamo dedurre l'impedenza della bobina.

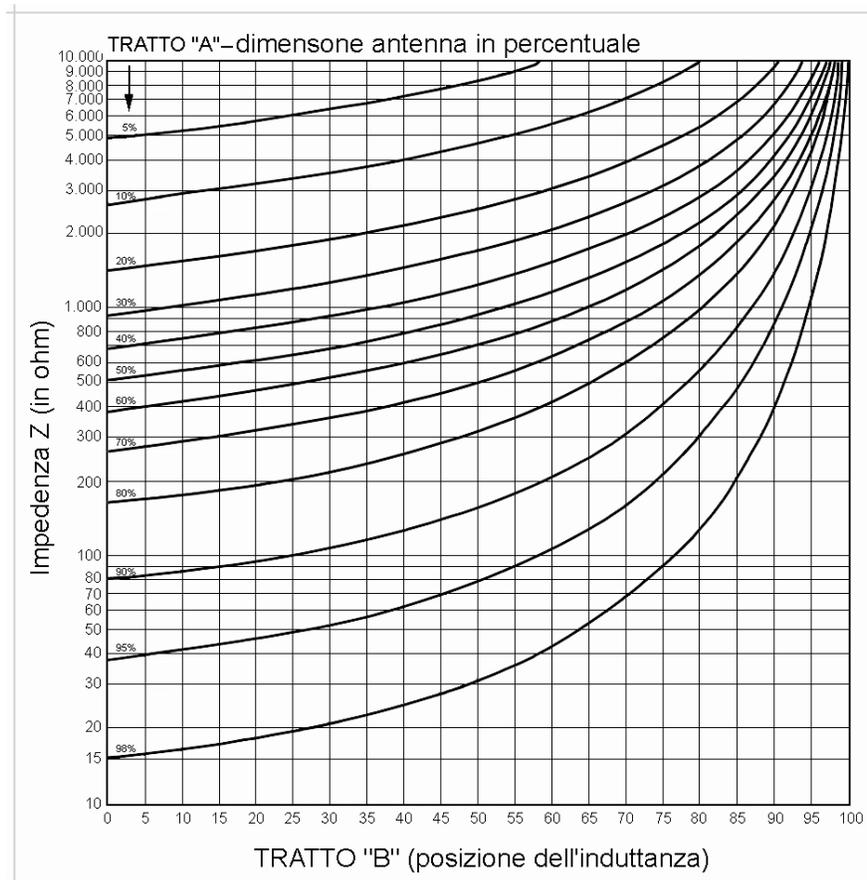


Tavola per determinare il valore approssimato dell'induttanza.

In basso, nei valori del tratto B individuiamo 50 (posizione bobina al centro).
 Da quel punto, tracciamo una linea verticale che taglia la curva relativa al 50 % di riduzione.
 Sul lato sinistro indica che l'impedenza della bobina è di 950 ohm circa.

$$L = \frac{Z}{2\pi f} = \frac{950}{2 \cdot \Pi \cdot 3.750} = 40,339 \mu\text{H}$$

Ora, per calcolare quante spire occorrono per l'induttanza necessaria, usiamo la formula:

$$n = \frac{1,6}{rS} \sqrt{L \cdot (9 \cdot a + 10 \cdot b)}$$

dove n è il numero di spire
 L è l'induttanza in μH
 rs è il raggio del supporto

Dovendo realizzare una induttanza di 40,339 μH , su un supporto cilindrico diametro 3 cm. e lungo 32 cm, lasciando uno spazio libero di 10mm ad ogni estremo per il fissaggio, quindi 30 cm. utili, il numero di spire sarà:

$$\frac{1,6}{1,5} \cdot \sqrt{40,339 \cdot (9 \cdot 1,5 + 10 \cdot 30)} = 120 \text{ spire}$$

Il diametro delle spire è dato in relazione allo spazio definito in 300 mm (30cm.):

$$\varnothing \text{ spire} = 300 : 120 = \text{spire da } \varnothing 2.5 \text{ mm.}$$

Questo calcolo vale per spire strette. A seconda della spaziatura tra spire si ci regola di volta in volta.