

Serata tecnica sulle antenne



Prima delle tre serate programmate, presso la sede di A.R.I. Pordenone APS.
Argomenti trattati in questa serata:

- Le antenne risonanti fuori banda;
- Le antenne con impedenza disadattata;
- Le onde stazionarie lungo il cavo e le relative problematiche;
- Le antenne trappolate e il ruolo di bobine e condensatori.

Relatore della serata: **Adolfo Melilli, IV3BYA**

Pordenone, 27 febbraio 2025

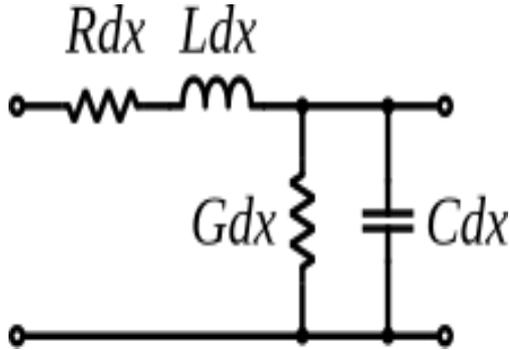
Linee di trasmissione



Figura 1.1: Linea bifilare.



Figura 1.2: Cavo coassiale.

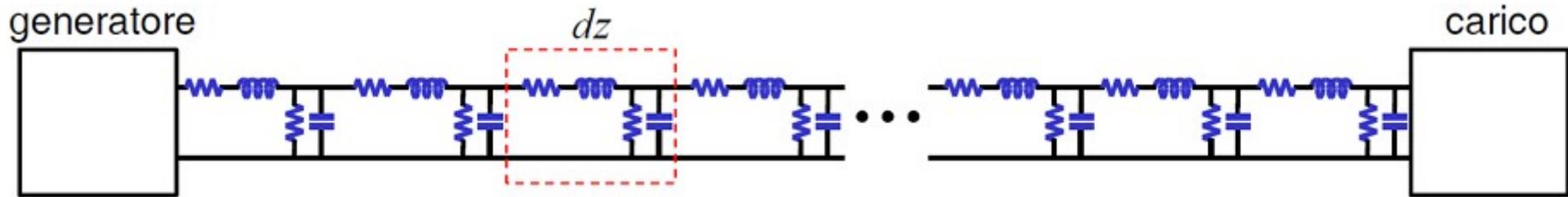


- Esistono essenzialmente due tipi di linea di trasmissione, quella a conduttori paralleli e quella coassiale. (tralasciamo in questa sede le guide d'onda)
- Nella piattina, il campo elettrico generato da uno dei due conduttori e' uguale e contrario a quello generato dall'altro conduttore, per cui i due campi si neutralizzano, e se non ci sono onde riflesse, il campo all'esterno della linea e' nullo (non c'e' dispersione di energia).
- In un cavo coassiale invece le correnti sul conduttore centrale e sulla parte interna della calza sono uguali ed opposte ed il cavo non irradia perché i campi creati dalle due correnti sono confinati nello stesso spazio ristretto, dove la calza fa anche da schermo...

- In entrambi i casi lo schema equivalente e' quello riportato in figura, le linee di trasmissione sono in effetti delle reti RLC con in gioco la resistenza e l'induttanza serie dei conduttori (R_{dx} , L_{dx}) la resistenza parallelo dovuta al dielettrico (G_{dx}) e la capacita' dovuta alla vicinanza dei conduttori (C_{dx})
- La piattina e' caduta in disuso perche' molto piu' scomoda da usare nella pratica, Ha impedenza sulle centinaia di OHM, ha perdite minori del cavo ma non puo' essere fatta passare vicino ad oggetti metallici, non puo' fare curve strette, non puo' essere interrata,,,

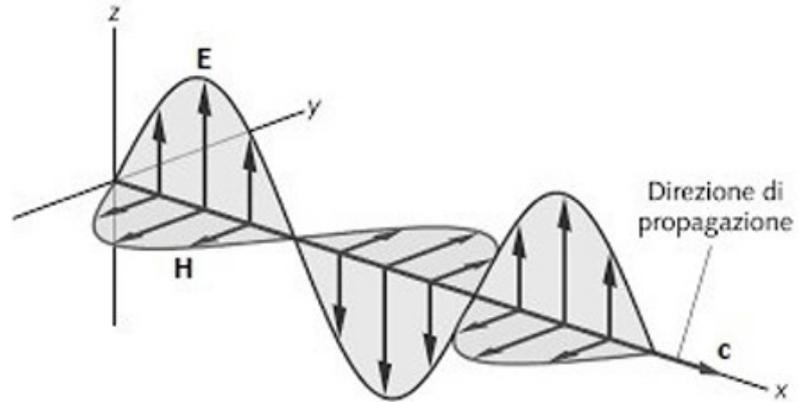
Parametri distribuiti

Assodato che una linea di trasmissione puo' essere pensata come un insieme di resistenze, capacita' e induttanze, a differenza pero' dei componenti standard su cui siamo abituati a lavorare, qui i parametri sono "distribuiti" lungo la linea,



Il Modello TEM

Sia nel vuoto, nell'aria, o dentro una linea, le onde procedono secondo uno schema chiamato **TEM, (Trasversale ElectroMagnetico)** secondo cui il campo elettrico e quello magnetico sono sempre perpendicolari tra di loro, ed anche perpendicolari rispetto alla direzione di propagazione (nel caso delle linee, la direzione di propagazione coincide con l'asse della linea)



- Esiste una **frequenza minima** per ogni linea, sotto la quale la propagazione delle onde non può avvenire,
- La velocità di propagazione nel dielettrico di una linea è minore che nel vuoto, **Il rapporto tra la velocità di propagazione v_p e quello della luce c viene detto fattore di velocità VF (Velocity Factor)**, quindi le misure geometriche nelle linee vanno ricalcolate a seconda del fattore di velocità caratteristico di ogni linea.
- Esiste quindi, per ogni frequenza, una **lunghezza d'onda elettrica** che corrisponde alla lunghezza d'onda calcolata per la velocità della luce e poi moltiplicata per il velocity factor

Impedenza, adattamento e trasferimento di energia

- **Impedenza caratteristica di una linea** e' il rapporto tra il valore assoluto della tensione e della corrente che un generatore fornisce alla linea senza che ci siano riflessioni... ($Z = V / I$)
- **L'impedenza caratteristica** si puo' anche definire come l'impedenza che quella linea avrebbe se fosse infinitamente lunga, in una linea di lunghezza infinita infatti, le onde, non trovando mai la fine, non potrebbero essere mai riflesse...
- Applicando una resistenza pura (con reattanza 0) di vari valori alla fine di una linea, si puo' notare che **esiste un valore tale per cui le riflessioni spariscono**...questo valore simula a tutti gli effetti la situazione di una linea infinitamente lunga, non c'e' ritorno di energia verso il generatore... l'energia viene in parte dissipata dalla linea stessa (fatto inevitabile) ed il resto viene dissipato dal carico, ovvero dalla resistenza...
- **in altre parole l'impedenza di una linea e' il valore della resistenza che si dovrebbe applicare dall'altro capo della linea per avere il massimo del trasferimento di energia e non avere riflessioni...**

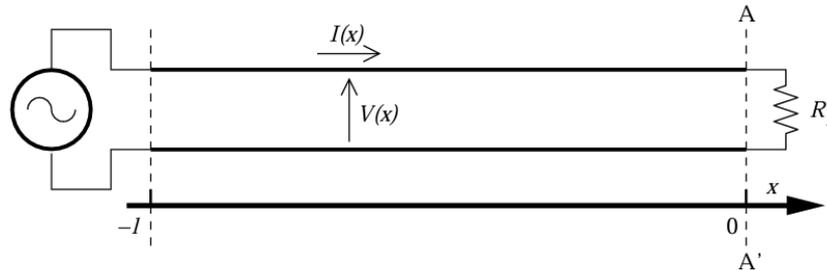


Figura 1.4: Linea terminata sulla sua resistenza caratteristica.

Mettiamo dei punti fermi

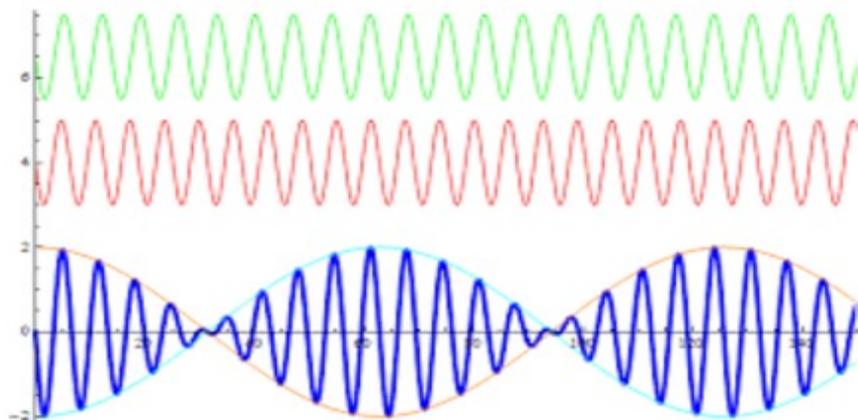
- L'interesse principale di questa serata sarà un sistema di antenne connesse al trasmettitore tramite cavo coassiale, nel 99.9% dei casi infatti i ricetrasmittitori sono predisposti per utilizzare il cavo coassiale con impedenza caratteristica di 50 ohm
- Quando parleremo di **sistema linea-antenna ADATTATO**, significa che il trasmettitore «vede» alla sua uscita un carico **perfettamente resistivo di 50 OHM**

Se potessimo misurare tensione e corrente lungo una linea

- Nel caso di un sistema adattato, vedremo subito che **la tensione e la corrente sarebbero in fase tra di loro e soprattutto sarebbero di uguale intensità in qualunque punto della linea.**
- Nel caso di un sistema Disadattato invece, (resistenza del carico diversa da 50 ohm, e/o carico che presenta una impedenza non puramente resistiva, Una quota parte delle onde vengono riflesse verso il trasmettitore, il rapporto tra onde riflesse ed onde dirette, prende il nome di **"coefficiente di riflessione"**, il suo valore minimo è 0 ad indicare che non ci sono riflessioni, il valore massimo è 1, ad indicare che tutta l'energia diretta viene riflessa.
- **In questo caso, se si potesse andare a far misure lungo la linea, si scoprirebbe che la tensione e la corrente avrebbero valori diversi in ogni punto; prendendo questi valori e convertendoli in un grafico, si otterrebbe una sinusoide "immobile", che appare "ferma" lungo il cavo... chiamata **"onda stazionaria" (Standing wave)****

Quindi, in una linea disadattata, abbiamo tre tipi di onde

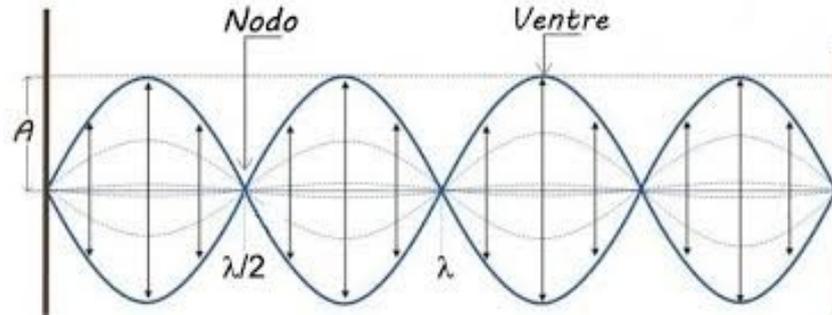
- **Onda progressiva:** che si propaga dal generatore al carico
- **Onda regressiva o riflessa,** che ritorna dal carico verso il generatore
- **Onda stazionaria,** causata dal sommarsi e sottrarsi delle due onde precedenti, nei vari punti della linea



Ecco quindi che lungo la linea si alternano “**ventri**” e “**nodi**”, che sono i punti in cui la tensione (o la corrente) e' massima oppure e' minima....

IL Rapporto Onde Stazionarie (R.O.S.), in inglese (S.W.R) e'
appunto il **rapporto tra il massimo ed il minimo di tensione (o di corrente) riscontrati lungo la linea...**

Come detto piu' sopra, **se la linea e' perfettamente adattata**, la tensione e la corrente assumeranno gli stessi valori in qualunque punto, per cui non esisteranno nodi o ventri, il minimo ed il massimo saranno uguali, il loro rapporto sara' 1, in questo caso si dice che **il ROS e' uguale aed 1**, o piu' correttamente, **ROS = 1:1**, per contro, se tutta l'energia trasmessa sara' riflessa il **picco di minima nei nodi potrebbe avvicinarsi molto allo zero**, in questo caso **il ROS tenderebbe all'infinito**..



Ma che cosa significa «linea adattata» in termini di parametri elettrici? Nel nostro caso significa che la linea deve terminare con **un carico di resistenza = 50 Ohm, e reattanza di 0 Ohm**.

Parlando di radioamatori, alla fine della linea di trasmissione ci sara' tipicamente una antenna, se l'antenna e' accordata sulla frequenza su cui stiamo lavorando la sua reattanza e' uguale a zero, quindi in teoria il ROS dovrebbe essere 1:1, ma veramente basta far risuonare l'antenna sulla frequenza giusta per non avere ROS? E perche' il ROS e' l'incubo di ogni radioamatore?

Per capire perche' il ROS alto non e' mai il benvenuto E' utile rinfrescare il concetto di Impedenza

- **L'impedenza** e' un valore esprimibile in numeri complessi, in pratica e' un “**vettore**”
- La parte piu' facile da comprenderer e' la componente resistiva dell'impedenza, quella che comporta dissipazione di energia
- Col termine “impedenza” e' pero' inclusa anche la reattanza, una grandezza che di per se non implica dissipazione di energia, l'energia viene accumulata e poi restituita in un momento successivo
- L'impedenza puo' essere espressa concettualmente con la formula **$Z = (R + X)$** , dove R e' la resistenza e X e' la reattanza.
- X puo' essere maggiore di zero se induttiva, minore di zero se capacitiva, se uguale a zero significa che il carico e' puramente resistivo, cioe' **$Z = R$** .
- La nostra antenna ideale dovrebbe avere **$R = 50 \text{ ohm}$** , **$X = 0$** , in questo caso **il ROS sara' di sicuro 1:1**

Ma che cos'è, elettricamente parlando, un'antenna?

- Un'antenna è un **trasduttore**, che converte potenza alternata in energia elettromagnetica, elettricamente parlando è un circuito chiuso in cui la corrente esce da un lato e rientra da un altro, compiendo un lavoro lungo il percorso, proprio come se fosse una "resistenza".
- Da ciò si evince che TUTTE le antenne debbono essere costituite da un elemento radiante e da un "**contrappeso**"; il contrappeso è la linea di "ritorno" della corrente attraverso cui il circuito si chiude....
- A volte sembra che il contrappeso non ci sia, caso tipico sono le Long Wire e le End-fed in generale...ma esiste sempre.. in mancanza d'altro è il suolo stesso a fare da contrappeso, oppure **la calza del cavo coassiale** che diventa una sorta di "secondo braccio" dell'antenna, questo però va possibilmente evitato per non lasciare che la radiofrequenza vi rientri in casa con tutta una serie di rischi, anche gravi, per computer, TV, impianti audio eccetera....
- L'ideale sarebbe che il sistema radiatore / contrappeso avesse una **lunghezza elettrica di mezza onda**, questo per fare in modo che l'onda stazionaria che risiede sull'antenna, abbia il suo massimo ad un estremo ed il suo minimo sull'altro estremo, e viceversa...
- **E' importante notare che la presenza di onde stazionarie, mentre è un fattore indesiderato sulla linea di trasmissione, è essenziale sull'antenna, e' proprio grazie alle onde stazionarie che l'antenna fa il suo lavoro!**

S11, RL ed SWR (o ROS)

Questi 3 parametri sono intercorrelati tra loro, e ci danno una indicazione di quanto buono sia il trasferimento di energia da un generatore di radiofrequenza al suo carico..

- **S11** e' uno dei **parametri 'S' (Scattering)**, nella fattispecie e' il coefficiente di riflessione, un numero che va da 0 ad 1 che indica la percentuale dell'energia riflessa (0 = no riflessione, 1 = 100% dell'energia riflessa).
- **RL (Return loss)** e' la stessa cosa di **S11, ma espressa in db** in pratica, nel caso di un'antenna, indica quanti db di guadagno quell'antenna "perde" a causa dell'energia che viene riflessa e quindi non viene irradiata....
- **SWR (o R.O.S,)** e' il rapporto onde stazionarie, abbiamo gia' visto che di fatto e' il rapporto tra la tensione massima in un ventre lungo la linea e quella minima in un nodo, ma e' intercorrelato con il coefficiente di riflessione, ed in particolare con il return loss, ad esempio, **un ROS di 3:1 corrisponde a circa 10 db di perdita nell'antenna!!!**

Purtroppo tutti questi parametri non ci aiutano a capire quale e' la causa della potenza riflessa, e quindi della presenza di onde stazionarie, le cause possono **possono coesistere nella pratica e sono le seguenti...**

- **L'antenna e' fuori risonanza**, quindi presenta una componente di reattanza (generalmente capacitiva se troppo corta, induttiva se troppo lunga) questo problema va affrontato modificando la lunghezza dell'antenna oppure inserendo in serie una reattanza (induttiva o capacitiva) tale da neutralizzare quella presentata dall'antenna,
- **L'antenna risuona ma ha una impedenza diversa da 50 ohm...** se l'antenna risuona la componente reattiva e' piccola, o addirittura assente, ma la rimanente componente resistiva e' lontana dai 50 ohm .. in quel caso si puo' agire sull'angolo tra elemento radiante ed il suo contrappeso, oppure si puo' ridurre l'entita' del problema costruendo degli "adattatori di impedenza" fatti col cavo (vedremo piu' avanti).....

Un analizzatore di reti vettoriale, o un analizzatore di antenna possono aiutare a capire la natura di questi problemi....

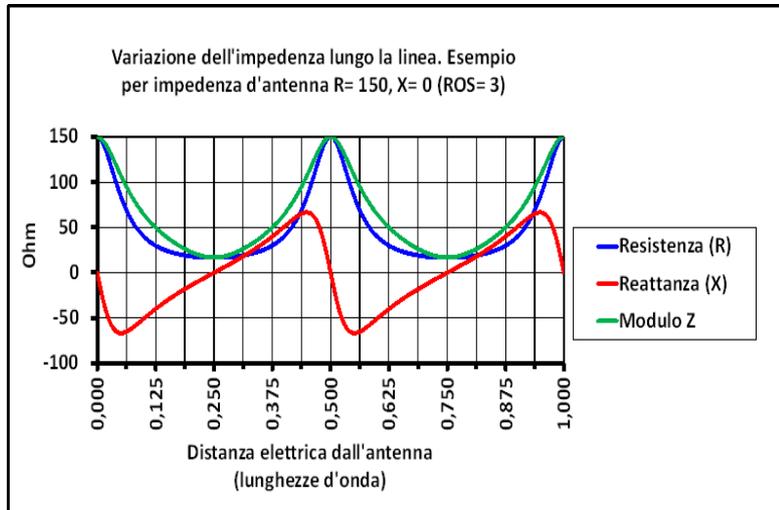
Ma che svantaggi e rischi comporta avere il ROS alto?

- **Il trasmettitore vede una condizione diversa da $R=50 \ X=0$** , questo gli impedisce di erogare il massimo delle sue potenzialita', per il noto principio secondo cui solo con il giusto adattamento di impedenza si ottiene il miglior trasferimento di energia...la cosa puo' essere "mascherata" giocando sulla lunghezza della linea, oppure usando un accordatore (manuale o automatico) all'uscita del trasmettitore, ma e' un palliativo che risolve il problema solo in parte, il ROS alto continuera' ad esistere..
- **Diminuzione della potenza massima applicabile alla linea**, la presenza di nodi e ventri lungo la linea, implica il fatto che in certi punti la tensione, o la corrente, possono essere di valore molto piu' alto di quello che ci si aspetterebbe, il dielettrico del cavo potrebbe surriscaldarsi o forarsi...
- **Maggiore attenuazione della linea...** in presenza di ROS alto, quello che e' il coefficiente di attenuazione dichiarato per una certa frequenza, aumenta ulteriormente...
- **Rischi per il trasmettitore:** le onde riflesse ritornano verso lo stadio di uscita del trasmettitore nella forma di correnti e tensioni sfasate rispetto all'onda progressiva,, l'angolo di fase e' difficile da prevedere, ma al livello dello stadio finale si possono verificare "ventri" con correnti o tensioni molto alte, capaci di distruggere i transistor di uscita... per fortuna i moderni trasmettitori hanno dei sistemi di protezione, che pero' non garantiscono al 100%
- **Minor efficienza nei collegamenti:** questi non necessita spiegazioni, va da se che l'antenna in condizioni di un cattivo adattamento, renda di meno...
- **Interferenze:** il disassettamento puo' impedire ai filtri posti all'uscita del trasmettitore di funzionare regolarmente, questo potrebbe influire sulla "pulizia" del segnale di uscita e causare interferenze...

Ma quindi e' sufficiente che l'antenna risuoni alla frequenza giusta per non avere ROS?

Purtroppo no, ROS = 1:1 significa $R=50$ $X=0$, se l'antenna risuona alla frequenza giusta, significa che la reattanza X e' = 0, ma non e' detto che la resistenza di radiazione sia 50 ohm, ad esempio, in un dipolo perfettamente accordato, la parte resistiva dell'impedenza varia parecchio al variare dell'angolo tra i due bracci... tipicamente e' di una trentina di ohm con 90 gradi di angolazione, per poi aumentare man mano che si va verso i 180 gradi ..

- **Caso 1: $X = 0$ ma R diverso da 50 :** In questo caso il ROS e' prevedibile e facile da calcolare, **se $R > 50$ il ROS sara' $R / 50$, se $R < 50$ il ROS sara' $50 / R$**



All'origine degli assi siamo sotto l'antenna, l'antenna risuona quindi la reattanza e' zero, ma la resistenza e' 150 Ohm..in questo caso man mano che ci si allontana dall'antenna, le tre curve subiscono varie escursioni, per tornare agli stessi valori incontrati sotto l'antenna, a ogni mezza onda di distanza...

Interessante notare anche che la reattanza torna = 0 ad ogni quarto d'onda, ma l'impedenza in quei casi e' 16.6 Ohm...

Questo ci fa capire che, regolando opportunamente la lunghezza del cavo, potremmo far vedere al trasmettitore valori di impedenza piu' consoni al suo stadio d'uscita, questo proteggerebbe il TX, ma il ROS ci sarebbe sempre!

Adattare un'antenna usando il cavo

Se una antenna risuona, ovvero la sua componente reattiva e' nulla ma la sua resistenza e' troppo lontana dai 50 Ohm che servono a noi, si puo' usare un cavo coassiale tagliato a multipli dispari del quarto d'onda ($\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ e cosi via) per cambiare il suo valore resistivo, usando la formula

Z = radice di (A1 x B1) dove:

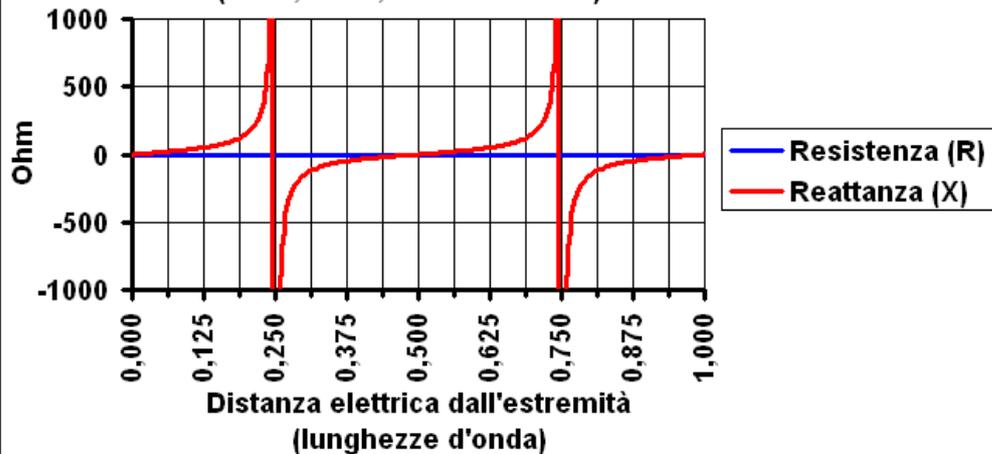
Z = l'impedenza del cavo da usare

A = resistenza dell'antenna

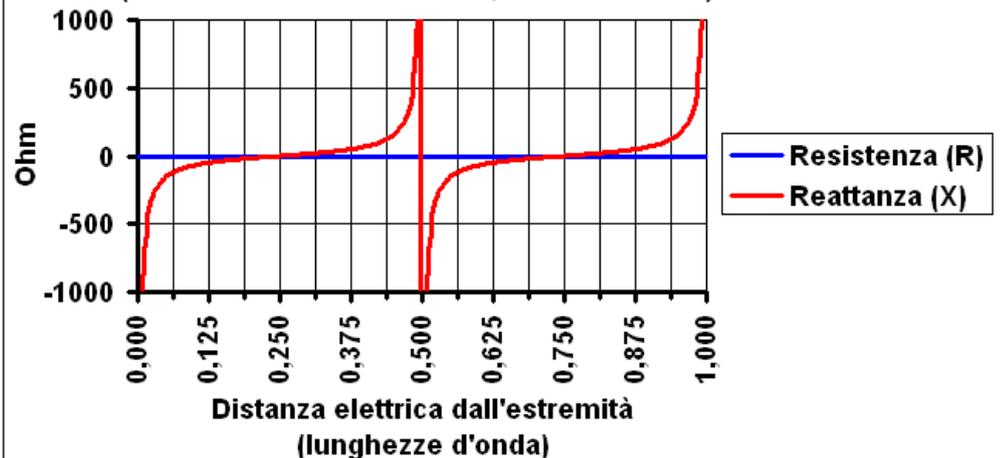
B = resistenza che si vuole avere (50 Ohm)

Attenzione, si ricorda che **le lunghezze sono quelle ELETTRICHE**, ovvero tengono conto del "velocity factor" del cavo...

Variazione dell'impedenza lungo la linea.
Esempio per linea con estremità in corto
($R = 0$, $X = 0$, $ROS = \infty$)



Variazione dell'impedenza lungo la linea.
Esempio per linea con estremità aperta
($R = \infty$ e/o $X = \infty$, $ROS = \infty$)

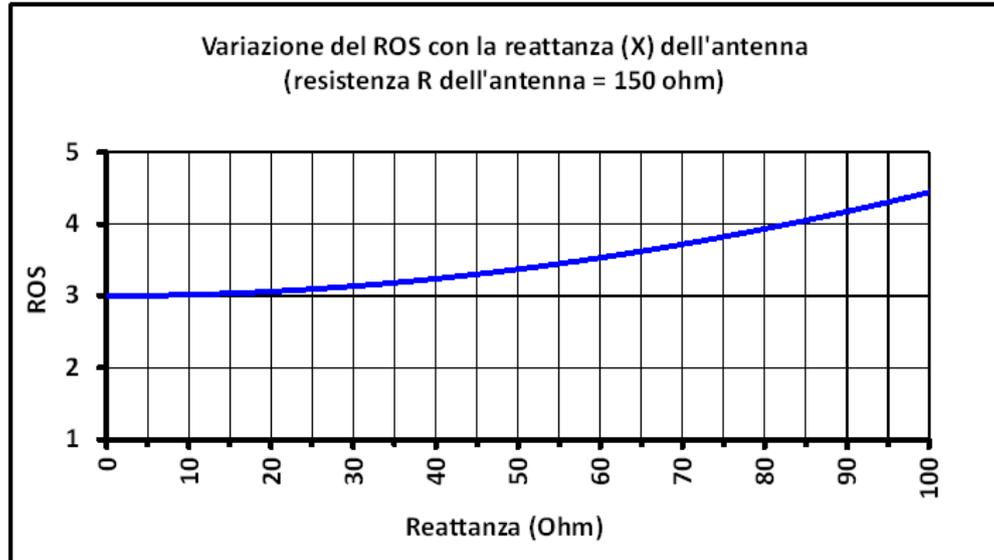


Passiamo alla situazione in cui l'antenna presenta un'impedenza qualsiasi

Si tratta del caso più generale, in cui sia la R che la X hanno un valore qualsiasi, fatto che chiaramente si traduce in $ROS > 1$.

Vediamo innanzitutto quale effetto produca la presenza di una reattanza X posta in serie alla resistenza R. A questo proposito va osservato come le conclusioni qui illustrate siano indipendenti dal fatto che si parli della X positiva di un'induttanza o della X negativa di un condensatore.

Incominciamo con il ROS. In Figura 4 si fa riferimento ad un'antenna che abbia una componente resistiva $R = 150$ ohm, ed una componente reattiva X di valore a piacere.



Sorge allora naturale la domanda se esista una qualche diversità tra gli andamenti dell'impedenza lungo la linea quando questa sia terminata su $[R = 30 \ X = 40]$ oppure su $[R = 150 \ X = 0]$, visto che il ROS è lo stesso nei due casi. Per rispondere alla domanda, sono stati tracciati in Figura 5 i grafici che mostrano l'andamento di R e di X in funzione della distanza da un'antenna che abbia impedenza pari a $[R = 30 \ X = 40]$.

Si può quindi concludere come, ai fini pratici, possa essere irrilevante se un determinato valore di ROS sia causato da un'impedenza d'antenna puramente resistiva (cioè con $X=0$), oppure da un'impedenza che abbia una componente reattiva X non nulla.

Se si vuole avere rapidamente un'idea dei valori di R e di X che si riscontrano quando ci si muova lungo una linea su cui viga un dato valore di ROS, andrà innanzitutto ricordato come R non assuma mai valori superiori a $50 \cdot \text{ROS}$ (estremo superiore) o inferiori a $50/\text{ROS}$ (estremo inferiore). Ad es., per $\text{ROS} = 3$, i valori di R risulteranno ovunque compresi tra a 150 ohm e 16,66 ohm. Val quindi la pena di osservare quanto segue:

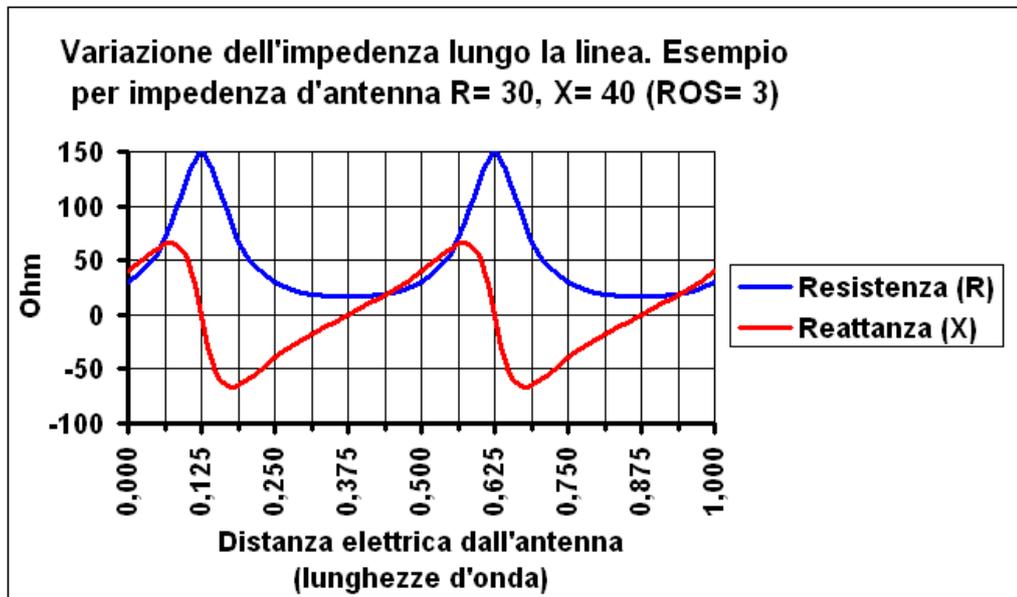
nei punti ove la R assume uno dei due valori estremi (ovvero 150 ohm o 16,66 ohm nell'esempio sopra considerato) la reattanza X risulta nulla. Quindi l'impedenza è puramente resistiva

nei punti ove la R assume il valor medio tra i due valori estremi (ovvero 83.33 ohm nell'esempio considerato) la X risulta essere massima. Detto valore massimo è grossolonomamente calcolabile come 35 volte il ROS diminuito di 1 (ovvero, nell'esempio considerato, circa 70 ohm, positivi o negativi). In maniera più precisa, il valor massimo di X è calcolabile come 35,8 volte il ROS diminuito di 1 ed elevato al fattore 0,877 (in Excel $=35,8 \cdot (A1-1)^{0,877}$, ove $A1$ è il ROS)

in tutti gli altri punti la X assume un valore inferiore al valor massimo sopra definito

ad un prefissato valore R corrispondono due valori di X uguali e opposti

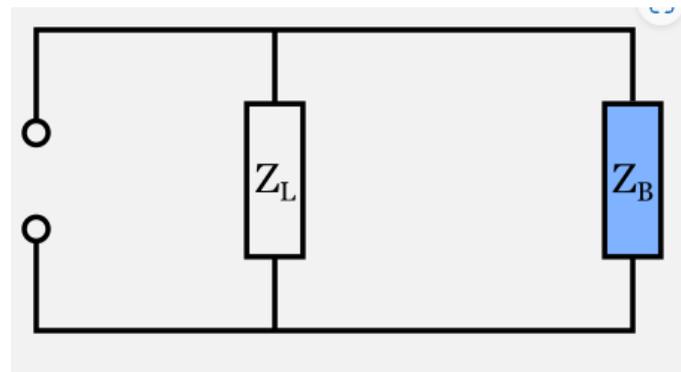
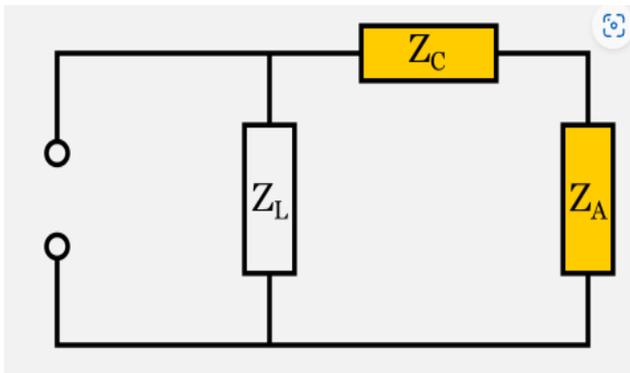
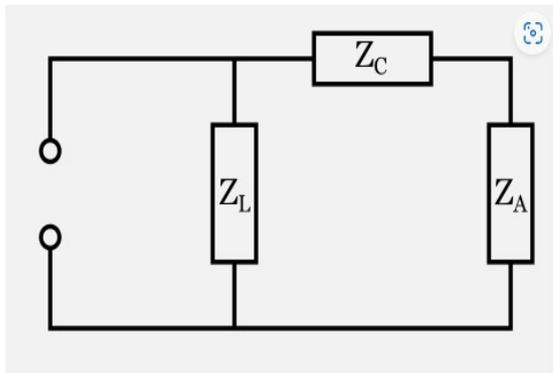
ad un prefissato valore di X corrispondono due valori di R .



A questo punto vorrei sfatare il mito letto da qualche parte che, in presenza di $ROS > 1$, variare la lunghezza della linea sia equivalente ad interporre un'accordatore tra il trasmettitore e la linea stessa. Infatti:

variando la lunghezza della linea, varia anche l'impedenza vista dal trasmettitore, ma le coppie R-X ottenibili saranno solo quelle che corrispondono al valore ROS vigente sulla linea (che non varia cambiando la lunghezza della linea stessa) secondo le equazioni sopra riportate

interponendo un'apposito accordatore tra trasmettitore e linea si può invece virtualmente ottenere qualunque coppia R-X, ed in particolare la coppia $[R= 50 X= 0]$ che corrisponde a $ROS= 1$. L'accordatore viene così ad ingannare il trasmettitore, facendogli credere di essere connesso ad una linea terminata su antenna adattata, mentre in realtà il ROS sulla linea permane quello che era prima.

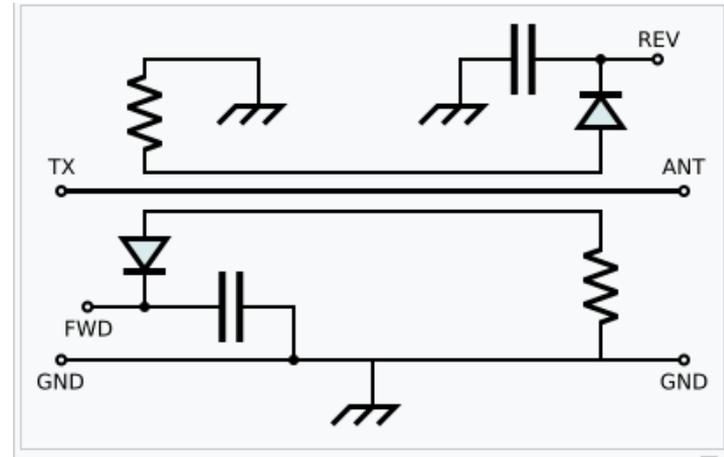


Principio di funzionamento di un accordatore d'antenna

Esistono sempre una componente reattiva serie ed una componente reattiva parallelo, queste componenti vanno a comporre con l'antenna un circuito accordato unico attraverso i 4 steps visualizzati qui sopra

Il ROSmetro

- Il ROSmetro cattura una piccola parte di energia del trasmettitore per accoppiamento, attraverso delle linee secondarie che corrono parallele ed affiancate al polo centrale della linea di trasmissione principale...
- Queste linee secondarie sono terminate da resistori, rispettivamente una dal lato che guarda verso il TX, l'altra verso l'antenna
- Dei diodi all'inizio di ognuna delle linee catturano la tensione di picco presente, dei condensatori convertono questa tensione di picco in continua per cui sull'anodo dei due diodi si possono rilevare con un voltmetro, rispettivamente la tensione dell'onda diretta e di quella riflessa..
- Il Rapporto tra le due tensioni fornisce il **coefficiente di riflessione P** di cui abbiamo già parlato: **$P = V \text{ inversa} / V \text{ diretta}$**
- Se **$V \text{ inversa} = 0$** , ovviamente il coefficiente di riflessione e' anch'esso uguale a 0,. la linea e' perfettamente adattata...
- **Da qui il R.O.S. che si calcola con $(1 + P) / (1 - P)$**
- Nel caso di linea perfettamente adattata il calcolo da' $1 / 1$, cioè 1
- Nel caso di linea molto disadattata il calcolo da' $2 / 0$, cioè infinito...



Antenne caricate

Come tutti ormai sappiamo, uno “stilo” (o braccio di un dipolo) per essere accordato dovrebbe avere una lunghezza pari ad un quarto della **lunghezza elettrica** d’onda sulla quale deve operare... ricordo che la lunghezza elettrica non e’ $300.000 / \text{frequenza}$, essa va moltiplicata per il “velocity factor” del metallo...

A volte, per enne motivi, non si puo’ installare uno stilo cosi’ lungo, deve essere piu’ corto, in alcuni casi molto piu’ corto...ma una antenna piu’ corta di quello che dovrebbe essere per una certa frequenza, come abbiamo visto, presenta una reattanza capacitiva significativa.

Ecco che allora si ricorre all’inserimento di una reattanza induttiva in serie, atta a neutralizzare la reattanza capacitiva dello stilo troppo corto....

Il valore di questa reattanza dipende da due fattori:

- Quanto vogliamo sia lungo in percentuale il nostro stilo rispetto a quello “ideale” ad un quarto d’onda
- In che punto (in percentuale di lunghezza) del nostro stilo vogliamo inserire questa reattanza induttiva,,

Nota bene che questi parametri sono indipendenti dalla frequenza!

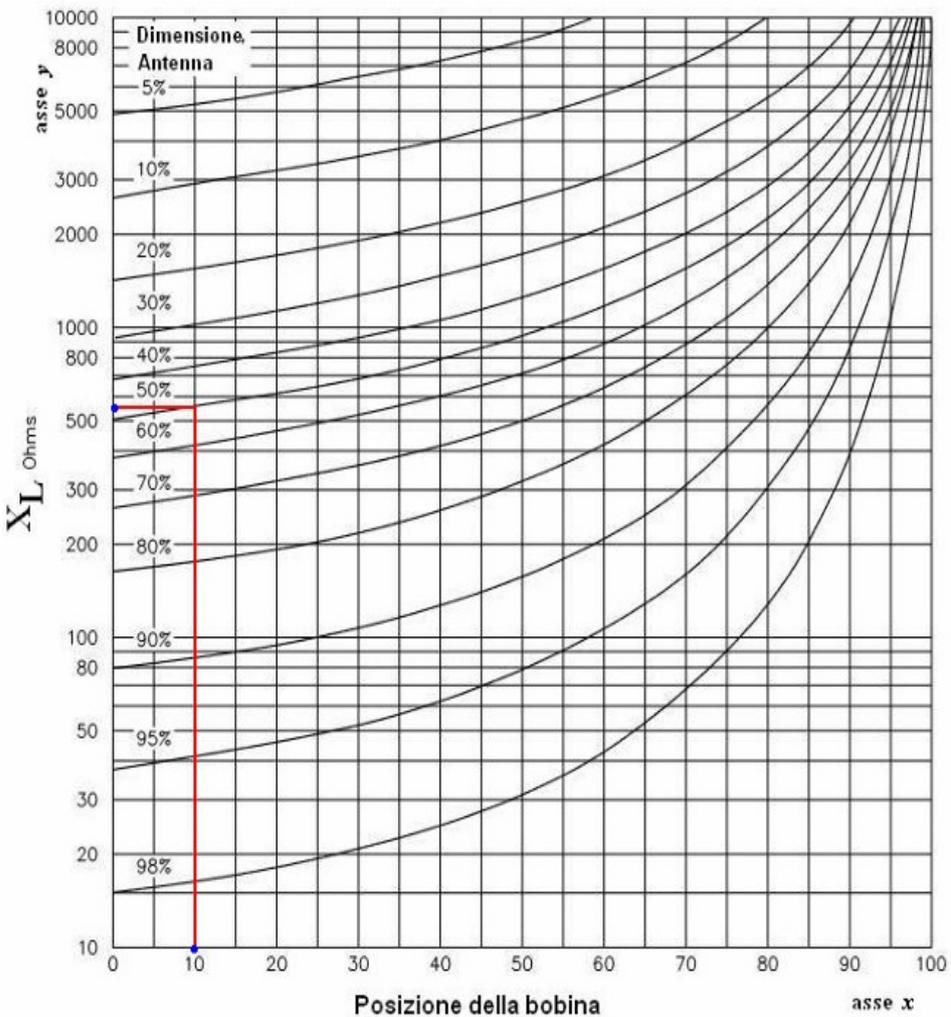


Grafico tratto da Antenna Handbook

- Scegliere la curva che rappresenta in percentuale la lunghezza dello stilo caricato rispetto a quello ideale non caricato
- Scegliere sull'asse X la percentuale di lunghezza dal punto di alimentazione in cui si vuole piazzare la bobina

Il punto di intersezione con la curva selezionata ci dà il valore della reattanza induttiva, che NON dipende dalla frequenza, ora dobbiamo risalire al valore di induttanza in base alla frequenza di lavoro:

$$X_L = 2 * 3.14 * F * L \implies L = X_L / (2 * 3.14 * F)$$

Ricavare i dati costruttivi della bobina non è cosa scontata ed è sempre piuttosto empirica

A questo punto essendo noto L e con l'aiuto di una seconda formuletta (tra le più attendibili suggerita da Nerio Neri) calcoleremo il numero delle spire.

$$N = \sqrt{\frac{L \times 1000}{k \times D}}$$

(3)

dove:

N è il numero delle spire

D è il diametro (in centimetri) della bobina

L l'induttanza

k è un parametro che dipende dal rapporto tra la lunghezza della bobina e il diametro della stessa.

Antenne Trappolate

- Se si vuole che un'antenna risuoni su piu' frequenze, una delle soluzioni puo' essere quella di progettare l'antenna di lunghezza tale da farla risuonare sulla piu' bassa delle frequenze che si vogliono usare, e poi, inserire delle **"trappole"** nei punti giusti.
- **Una Trappola, inserita lungo un elemento radiante, ad una certa distanza dal punto di alimentazione, e' un dispositivo passivo, un circuito LC parallelo accordato, che si comporta come un "interruttore aperto" per le correnti alternate di una certa frequenza, in questo modo, quando l'antenna viene alimentata a quella frequenza, e' come se lo stilo radiante fosse "tagliato" nel punto in cui si trova la trappola...**
- Ad esempio, se vogliamo fare un'antenna che funzioni per 7, 14, 21, 28 megahertz (10. 15. 20. 40 metri).. potremmo prevedere uno stilo radiante di circa 10 metri che possa risuonare sui 7 Mhz ($\frac{1}{4}$ di 40 metri), poi inserire **in ordine dal punto di alimentazione** la trappola dei 28 a 2.5 metri ($\frac{1}{4}$ di 10 metri), la trappola dei 21 a 3.75 metri ($\frac{1}{4}$ di 15 metri), la trappola dei 14 a 5 metri ($\frac{1}{4}$ di 20 metri)..
- Se si vuole trasmettere in 10 metri, la prima trappola assumerà una impedenza altissima, virtualmente infinita, e quindi lo stilo sarà come "troncato" alla frequenza di risonanza dei 10 metri....
- Se ora si vuole passare a trasmettere in 15 metri, frequenza piu' bassa, sarà la seconda trappola a mettersi in alta impedenza, me.. che ne sarà delle prima?? (continua)

- **La prima trappola si comporterà' come una induttanza in serie**, a questo proposito ricordiamo che un circuito risonante parallelo, alla frequenza di risonanza assume una impedenza virtualmente infinita, ma poi, se si va a frequenze inferiori a quella del punto di risonanza, la reattanza capacitiva (negativa) crescerà', e quella induttiva (positiva) diminuirà'...
- Applicando alle due reattanze XL ed XC la formula del calcolo delle reattanza in parallelo

$$X = \frac{XL * (-XC)}{XL + (-XC)}$$

- Si vede che piu' ci si allontana verso il basso dalla frequenza di risonanza piu' sarà' la corrente che attraversa la bobina rispetto a quella che passa per il condensatore...
- A questo punto, per compensare le induttanze introdotte dalle trappole, spesso si fa ricorso ad un “**cappello capacitivo**” inserito nella parte alta dello stilo, dopo l'ultima trappola...