

Roma – 22 Ottobre 2008

Mercoledì Tecnici della Sezione ARI di Roma

Condivisione di un Ragionamento sul Tema:

***Adattamento e Prestazioni
delle Antenne non Risonanti***

IØJX – antonio.vernucci@space.it

(di libera riproduzione per scopi non commerciali)

Le Antenne Non Risonanti

Generalità

- La soluzione ideale per poter operare su un gran numero di bande di frequenza è certamente quella di disporre di un parco antenne **monobanda** (ovvero risonanti su una singola frequenza), soluzione che però usualmente comporta:
 - elevata complessità e notevoli costi
 - ed anche altre possibili difficoltà (logistiche, estetiche, normative)
- In subordine, è possibile impiegare antenne **multibanda** (ad es. le trappolate) che risuonino cioè su più frequenze, anche se si devono talvolta accettare dei compromessi (specie per le antenne direttive)
- Altra soluzione ancora è quella di utilizzare **una singola antenna** per tutte (o quasi tutte) le bande di frequenza di interesse:
 - in tal caso la lunghezza del conduttore radiante non avrà usualmente una relazione ben definita con le lunghezze d'onda utilizzate
 - e l'antenna apparirà quindi come **non risonante**, ovvero come un carico di tipo **non puramente resistivo**

Le Antenne Non Risonanti

Tipologie

- Parliamo qui genericamente di antenne semplici, a basso costo, di limitato impatto estetico e di facile installazione, anche in un QTH portatile. Tipicamente:
 - il cosiddetto “pezzo di filo” orizzontale o verticale (supportato per esempio da una canna da pesca). Si tratta di antenne **asimmetriche**, che necessitano di un piano di terra (radiali) od almeno di un buon contrappeso
 - il classico dipolo (eventualmente ripiegato o montato a V ove lo spazio scarseggi) od il loop, orizzontale o verticale. Si tratta di antenne **simmetriche**, che non hanno problemi di terra o contrappeso, ma che necessitano di *balun* principalmente al fine di evitare la presenza di RF circolante in stazione
- Le antenne non risonanti hanno tipicamente dei valori di Impedenza che non si sposano con quella dei normali cavi e trasmettitori (50Ω), ed è quindi indispensabile impiegare un circuito di adattamento dell'Impedenza (**accordatore**):
 - il fastidio della risintonizzazione ad ogni cambiamento di banda può essere evitato utilizzando un accordatore di tipo automatico (LDG, MFJ, SGC....) che memorizzi la condizione di accordo alle varie frequenze

***Prima di andare oltre, è bene riesaminare
alcune nozioni basilari, ovvero:***

il concetto di Impedenza

e successivamente

***come trasferire al meglio la potenza RF dal
trasmettitore (TX) all'antenna***

Caratterizzazione dell'Antenna

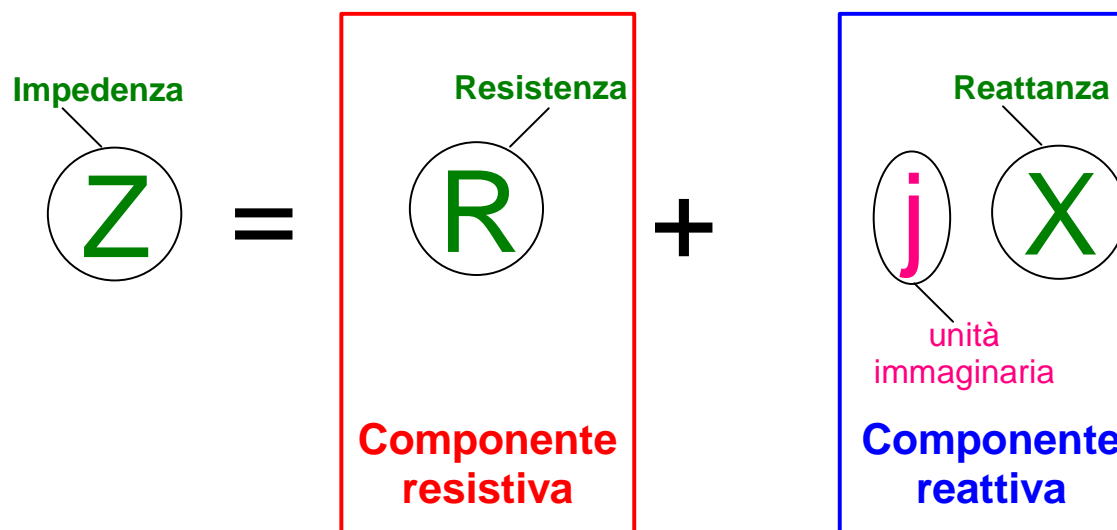
L'Impedenza

- Una generica antenna si presenta come un carico caratterizzato da un determinato valore di Impedenza (**Z**):
 - la **Z** stabilisce il rapporto tra la tensione RF e la corrente RF
- In linea di principio le prestazioni di un'antenna non sono legate al suo valore di **Z**, infatti:
 - le proprietà radianti di un'antenna (guadagno, diagramma di radiazione) non hanno relazione diretta con la **Z**
 - in linea teorica, qualsiasi valore di **Z** può essere gestito con l'impiego di un apposito accordatore
- In pratica però valori di **Z** che si discostino molto da quelli usuali possono comportare:
 - elevate perdite ohmiche a causa delle forti tensioni RF e correnti RF che si manifesterebbero
 - una maggior complessità progettuale dell'accordatore

L'Impedenza

Definizione

- L'Impedenza viene rappresentata come somma di due componenti fondamentalmente diverse tra loro, denominate componente resistiva e componente reattiva



L'Impedenza

Paragone con Sistemi non Elettrici

- L'Impedenza è un concetto che si applica (ai sistemi elettrici, meccanici, termici...) ogni qual volta si abbia a che fare con il trasferimento di potenza da un generatore ad un carico
- Ad esempio, nel caso di un'automobile:
 - il generatore (che eroga potenza) è costituito dal motore
 - il carico (che assorbe potenza) è costituito dal veicolo
- Anche il veicolo presenta una sua propria Impedenza, con le due componenti prima citate, ovvero:
 - la componente resistiva, costituita dai vari attriti (gomme, aria, ingranaggi), la quale dissipa irrimediabilmente in calore la potenza fornitagli dal motore
 - la componente reattiva, rappresentata dalla massa del veicolo che, per poter acquisire velocità, assorbe potenza dal motore senza però dissiparla:
 - ◆ con l'aumento della velocità, la massa del veicolo infatti accumula dell'energia che viene però poi riutilizzata al momento in cui, spento il motore, il veicolo proceda autonomamente (per inerzia)
- La componente reattiva, anche se inessenziale, ha grande impatto sul dimensionamento del motore e va quindi debitamente tenuta in conto!

L'Impedenza

Significato Fisico delle Componenti

- La componente resistiva della **Z**, che è indipendente dalla frequenza:
 - è la componente utile, essendo quella sulla quale si intende trasferire la potenza (media) erogata dal generatore
 - poichè la tensione ai suoi capi è in fase con la corrente, è assimilabile ad una resistenza (**R**), quale quella offerta da:
 - ◆ un resistore (che dissipi la potenza in calore)
 - ◆ o da un qualunque dispositivo che converta la potenza in una diversa forma (ad es l'antenna, che trasforma potenza elettrica in potenza del campo elettromagnetico)
- La componente reattiva della **Z**, che invece varia con la frequenza:
 - è dannosa in quanto comporta solo un inutile e gravoso scambio di potenza (istantanea) tra generatore e carico
 - poichè la tensione ai suoi capi è sfasata di 90° rispetto alla corrente, è assimilabile alla reattanza (**X**), positiva o negativa, offerta da:
 - ◆ un condensatore (quando la corrente risulti in anticipo rispetto alla tensione, $X < 0$)
 - ◆ un induttanza (quando la corrente risulti in ritardo rispetto alla tensione, $X > 0$)
 - fortunatamente la **X** può essere eliminata ponendovi in serie una **X** di ugual valore ma di segno opposto (il valore però varia con la frequenza)

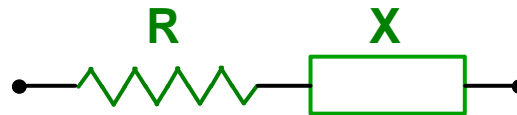
L'Impedenza

In Pratica

■ In definitiva l'Impedenza **Z**:

- essendo definita come somma di una **R** e di una **X**
- va visualizzata come la serie di una **R** ed una **X**

$$Z = R + jX$$

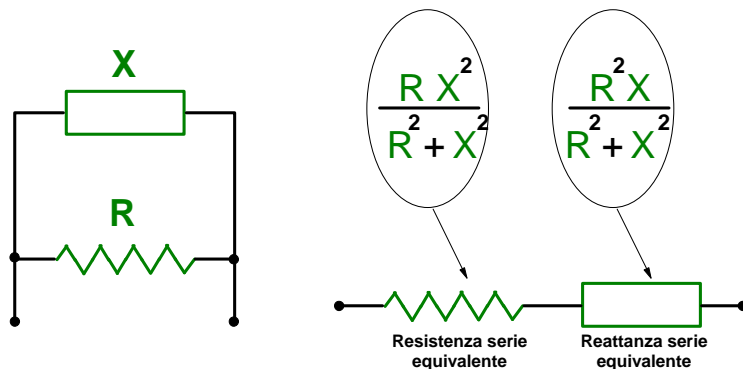


- L' unità immaginaria **j** ha lo scopo di permettere la trattazione di **R** ed **X** in un unico contesto matematico, ma mantenendo costantemente la separabilità tra le due diverse tipologie di fenomeni

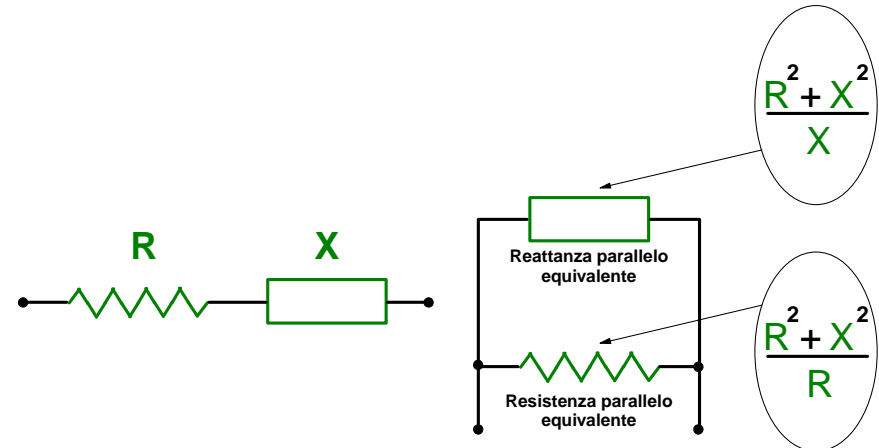
L'Impedenza

Equivalenze Serie - Parallelo

- Quando sia abbiamo una **R** ed una **X** in parallelo, la **Z** del circuito è data dalla somma (ovvero dalla serie) di una Resistenza equivalente e di una Reattanza equivalente



- Similmente, ove serve, è possibile determinare dei valori **equivalenti** di Resistenza e Reattanza che, posti in parallelo, presentino un Impedenza **Z** pari alla somma dei valori di **R** ed **X** desiderati

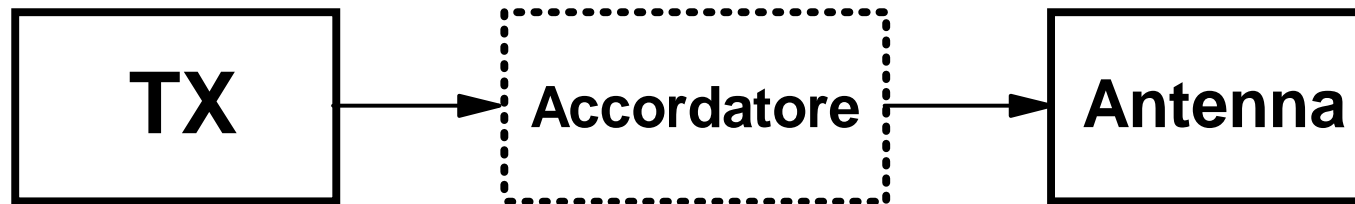


Attenzione: le equivalenze così calcolate valgono **solo ad una determinata frequenza!**

Ciò premesso, esaminiamo ora

***come trasferire al meglio la potenza
dal trasmettitore (TX) all'antenna***

***Poniamoci dapprima nell'ipotetico caso in cui il TX sia
connesso direttamente all'antenna, ovvero senza cavo
(tramite di un accordatore quando necessario)***



Connessioni dirette (senza cavo)

Il Trasferimento di Potenza

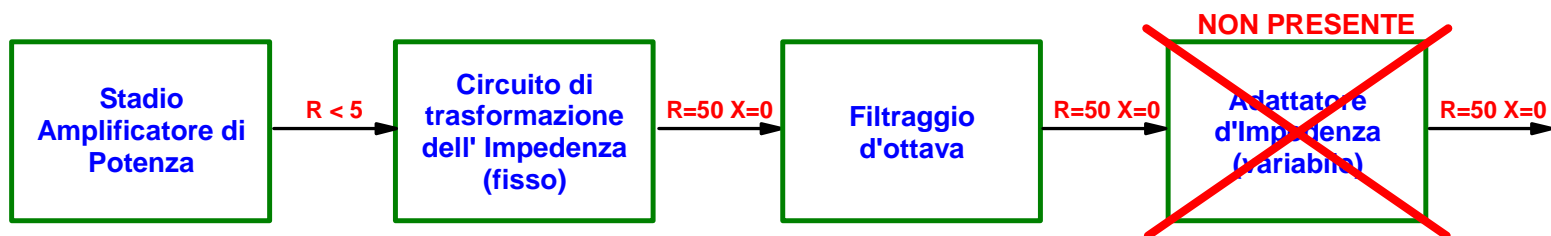
Obiettivo

- In nostro obiettivo è fare in modo che il TX trasferisca all'antenna la massima potenza di cui esso è capace
- Gli amplificatori di potenza RF dei comuni TX sono normalmente progettati per erogare la potenza massima quando sia caricati su una **Z** puramente resistiva di valore pari a 50 Ω (cioè **R= 50**, **X= 0**)
- Quando l'antenna presenti un diverso valore di **Z**, si manifesta un disadattamento che:
 - comporta una riduzione della potenza che il TX trasferisce all'antenna
 - ma che può essere evitato impiegando un dispositivo (accordatore) in grado di trasformare detta **Z** nel valore **R= 50**, **X= 0**
- In molti casi l'accordatore è già integrato nel TX

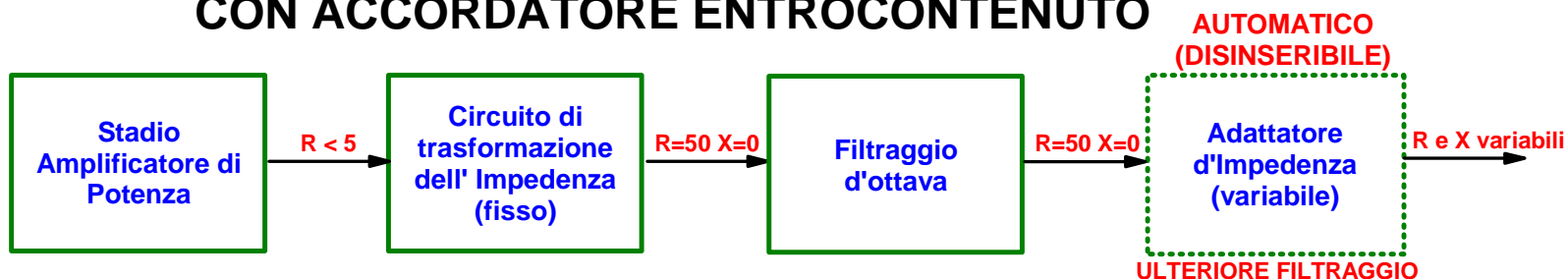
Il Trasferimento di Potenza

Tipiche Configurazioni dei TX

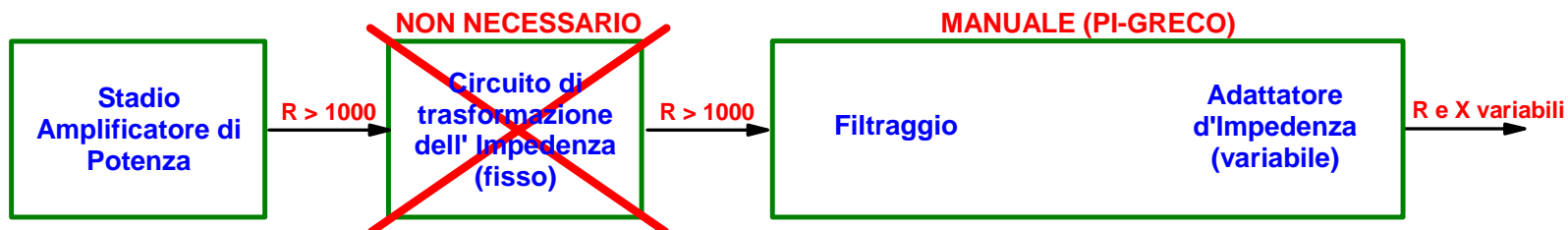
TRASMETTITORE SOLID-STATE SENZA ACCORDATORE



TRASMETTITORE SOLID-STATE CON ACCORDATORE ENTROCONTENUTO



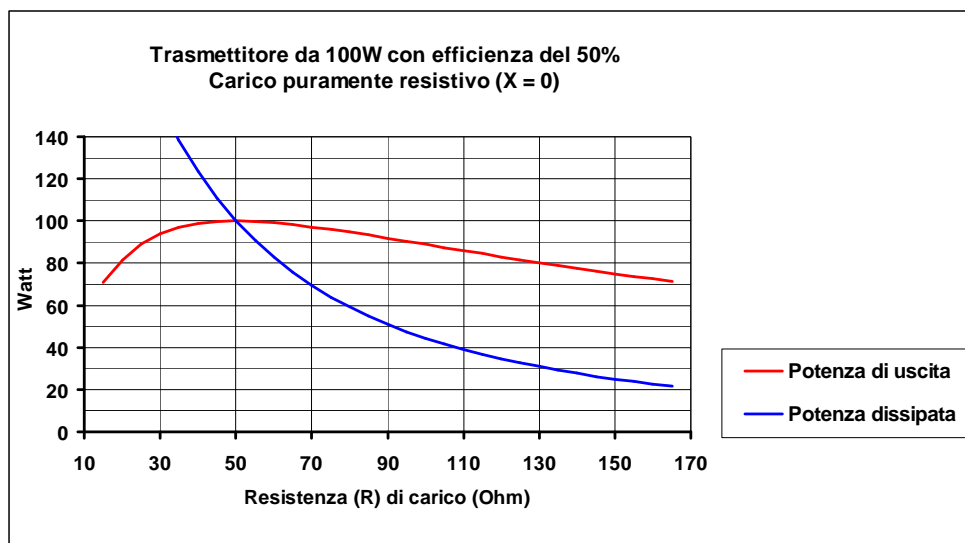
TRASMETTITORE A VALVOLE



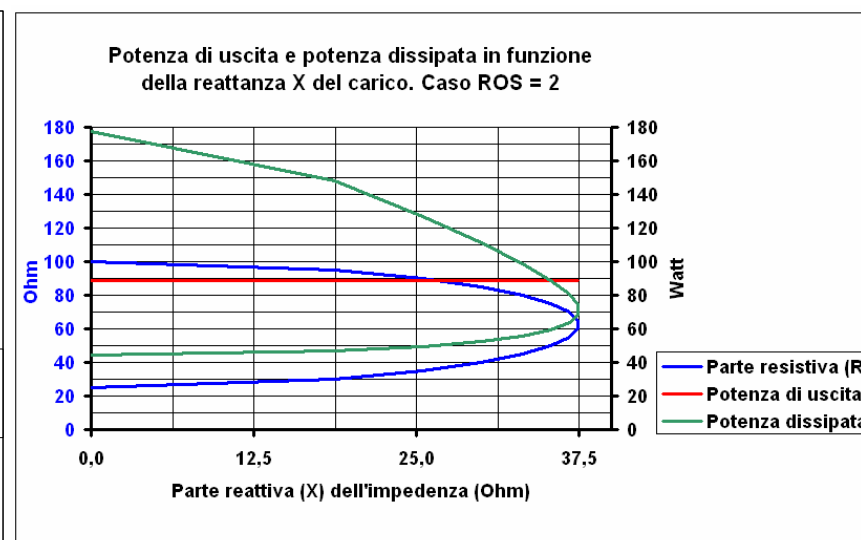
Il Trasferimento di Potenza

Effetti del Disadattamento

- 1) La potenza che il TX eroga non è la massima possibile:
 - delle moderate discrepanze di **Z** non danno però luogo a forti diminuzioni
- 2) Potenziali rischi di avaria per lo stadio finale di potenza del TX:
 - tendenzialmente, si manifestano una maggiore dissipazione nello stadio (specie se la **R** di carico è bassa), e tensioni RF più elevate (specie se la **R** di carico è alta)
 - in pratica i rischi sono fortemente mitigati da un apposito circuito, presente in tutti i TX, che “frena” lo stadio di potenza quando l’Impedenza di carico sia diversa da **R= 50, X= 0**



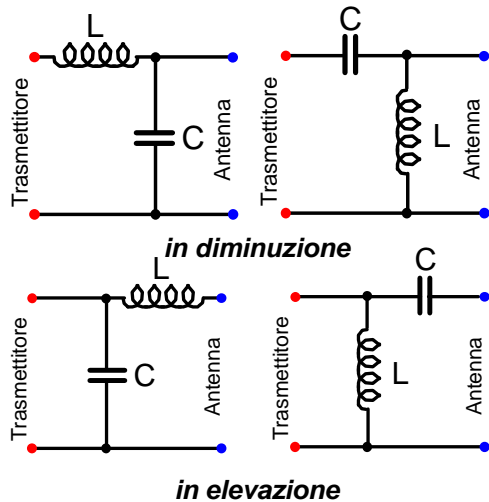
**Potenza dissipata e potenza di uscita
al variare della **R** del carico**



Influenza di una **X diversa da 0 sulle potenze
dissipata e di uscita, a parità di disadattamento**

L'Adattamento d'Impedenza

I Circuiti più Comuni



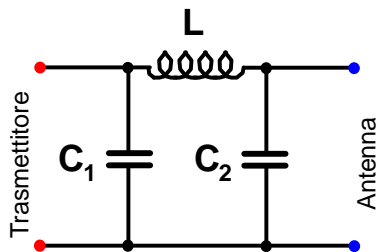
VANTAGGI

- Semplicità
- Basse perdite

SVANTAGGI

- Proprietà filtranti non elevatissime
- Fattore Q non controllabile
- Configurazione diversa per trasformazione in diminuzione od in elevazione

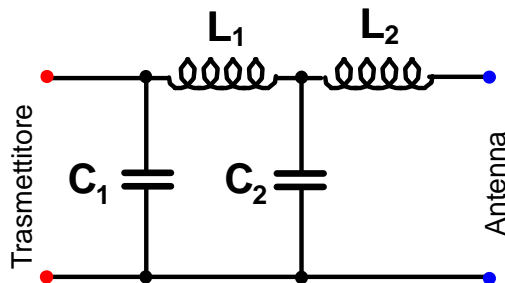
Circuiti "ad L" (L network)



- Possibilità di controllo del Q
- Filtraggio più efficace

- Maggiore complessità
- Maggiori perdite

Circuito "a Pigreco" (Pi network)



- Massimi gradi di libertà nel progetto
- Filtraggio ancora più efficace

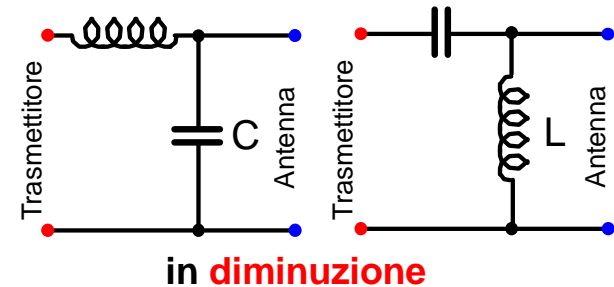
- Complessità e perdite ancora maggiori
- Commutazione più complessa per impiego su più bande di frequenza

Circuito Pi-L network 10JX - Mercoledì Tecnici della Sezione ARI di Roma

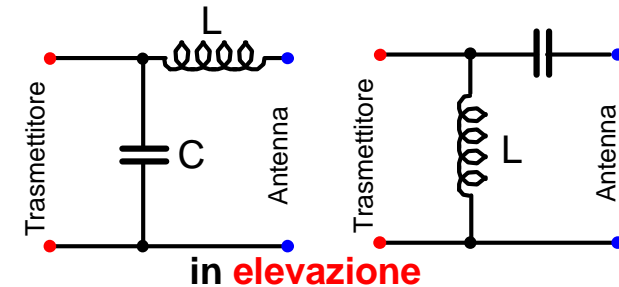
Il Circuito ad L

Le Configurazioni Possibili

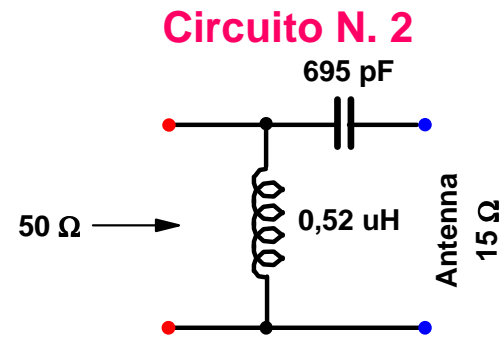
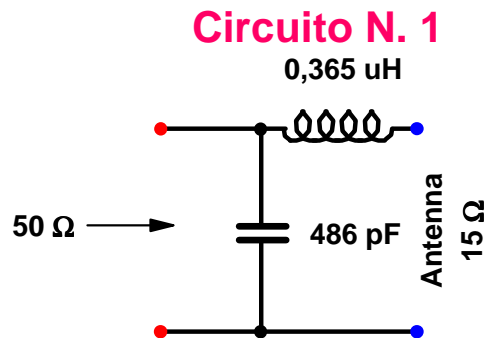
- Adattamento in **diminuzione** della **R** d'antenna (l'antenna viene a trovarsi una reattanza in **parallelo**):



- Adattamento in **elevazione** della **R** d'antenna (l'antenna viene a trovarsi una reattanza in **serie**):



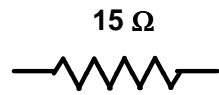
- Esempio: adattamento in **elevazione** a **R** = 50 Ω di un'antenna che presenti una **Z** pari a **R** = 15, **X** = 0, alla frequenza di 10 MHz



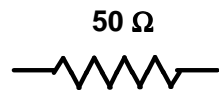
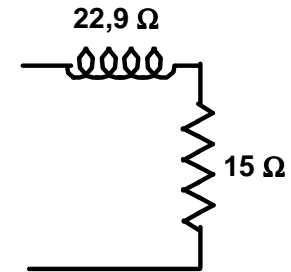
I due circuiti sono del tutto equivalenti, libera scelta !

Il Circuito ad L

Spiegazione dell'Esempio (circuito N. 1)



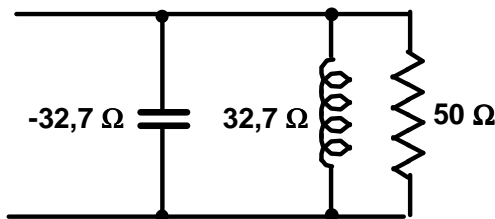
Aggiungiamo in serie un'induttanza fisica da 0,365uH ($X = 22,9 \Omega$), valore scelto in modo che la successiva trasformazione serie-parallelo faccia risultare una R pari a 50 Ω



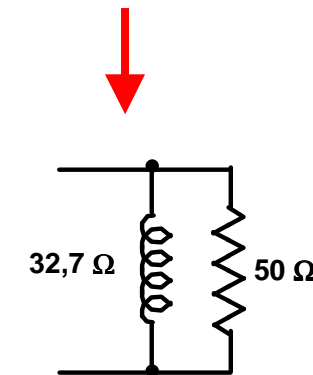
$Q = 1,53$ ($= 22,9/15 = 50/32,7$)
(rigidamente legato al rapporto di trasformazione)

Trasformazione del circuito da serie a parallelo

Rimane quindi la sola resistenza da 50 Ω



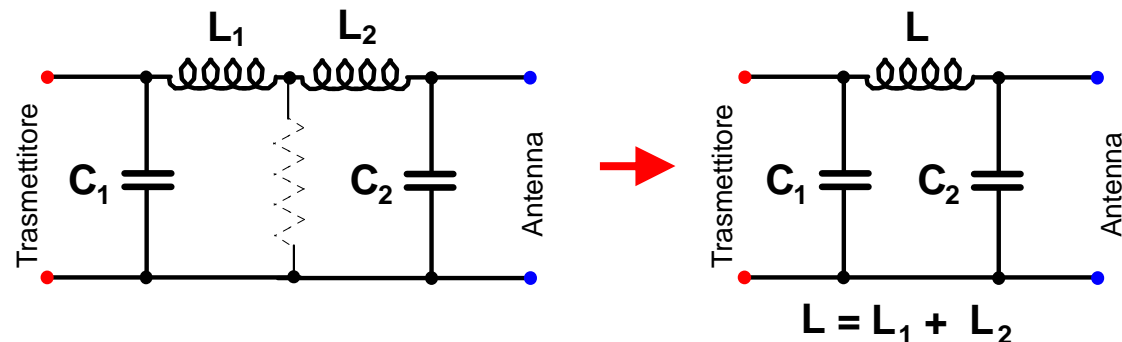
L'induttanza virtuale da 32,7 Ω viene eliminata mediante un condensatore parallelo di pari reattanza (486 pF)



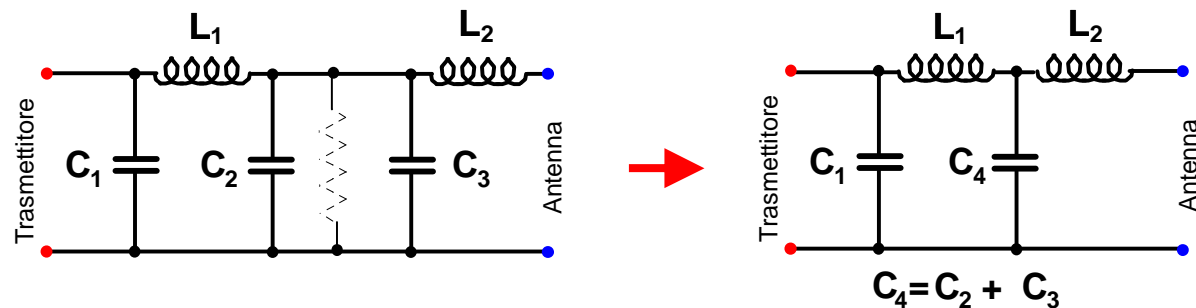
Il Circuito a Pi-Greco e Pi-L

Caratteristiche

- Il circuito a Pi-greco può essere visto come la cascata di due circuiti ad L, con resistenza intermedia (fittizia) selezionabile a piacere:
 - libera scelta del Q, indipendentemente dal rapporto di trasformazione



- Nel circuito Pi-L si fa seguire il Pi-greco da un'ulteriore cella di tipo L:
 - forti gradi di libertà nel progetto



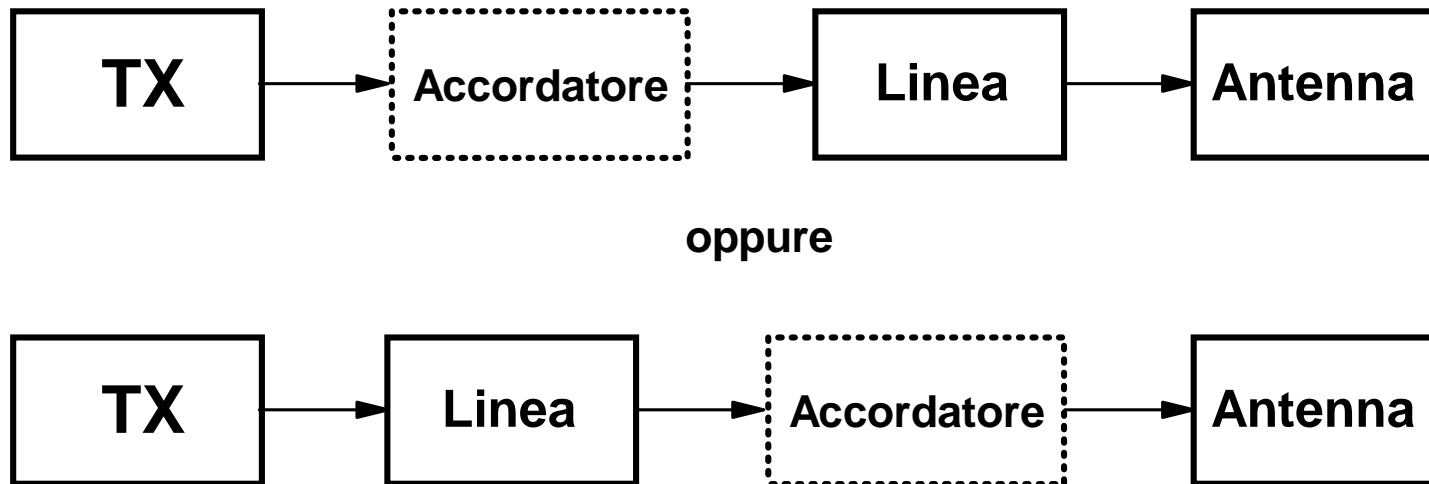
L'Adattamento d'Impedenza

Le Perdite

- I circuiti di adattamento comportano inevitabilmente delle perdite conseguenti alla potenza che viene dissipata nei componenti (non ideali) che li costituiscono:
 - perdite negli induttori:
 - ◆ se in aria: legate principalmente alla resistenza del conduttore
 - ◆ se su nucleo: legate anche al materiale ed alla densità di flusso
 - perdite nei condensatori:
 - ◆ nella struttura metallica: legate alla costruzione ed alla sua resistenza
 - ◆ e nel dielettrico: legate al materiale ed alla potenza reattiva
- Tutte queste perdite aumentano generalmente all'aumentare della frequenza (effetto pelle), delle tensioni RF e delle correnti RF in gioco
 - nel progettare le antenne va tenuto presente come i valori di tensione e corrente possano diventare elevati quando si abbia a che fare con:
 - ◆ con bassi valori di **R**
 - ◆ ed alti valori di **X**

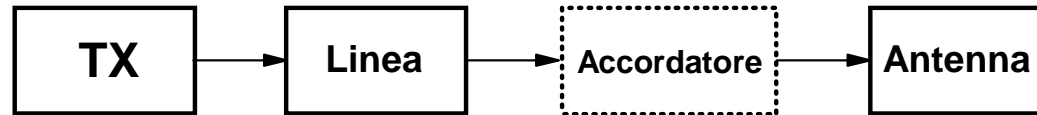
Esaminiamo ora cosa cambia

***in presenza di una linea di trasmissione
(ad es. un cavo coassiale) con Impedenza
caratteristica di 50Ω tra TX ed antenna***



Presenza di una Linea di Trasmissione

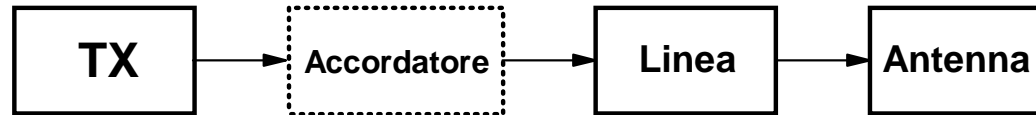
Caso 1: Accordatore Posto tra Linea ed Antenna



- In questo caso, ove la Z d'antenna non ecceda certi limiti, sarà possibile fare in modo che la linea risulti terminata su $R=50$, $X=0$
 - basterà regolare i controlli dell'accordatore in modo tale da ottenere la corretta trasformazione della Z dell'antenna
 - in tali condizioni la linea si dice adattata, e su essa vige quindi un Rapporto di Onda Stazionaria (ROS) pari ad 1
 - una linea adattata presenta $R=50$, $X=0$ al TX, il quale potrà così emettere tutta la potenza di cui è capace
- La presenza di una linea adattata tra TX e antenna comporta le seguenti conseguenze:
 - una certa **attenuazione** (in dB), pari a quella specificata dal costruttore nelle tabelle caratteristiche. Detta attenuazione aumenta con la frequenza
 - una limitazione alla **massima potenza trasmissibile**, anch'essa riportata nelle tabelle. Detta potenza diminuisce con la frequenza)

Presenza di una Linea di Trasmissione

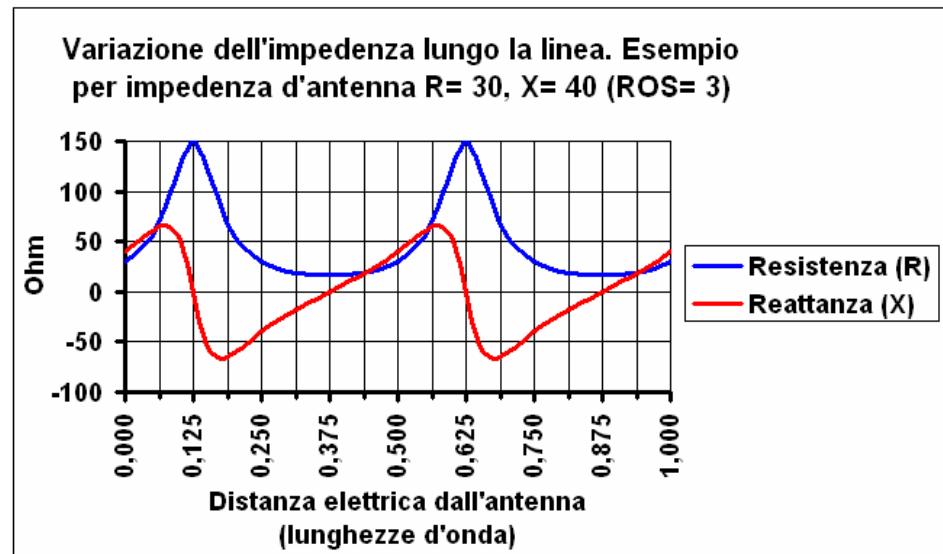
Caso 2: Accordatore Posto tra TX e Linea



- Sfortunatamente porre l'accordatore sotto l'antenna non è sempre agevole o conveniente, e ci si dovrà spesso accontentare di porlo in stazione, ovvero tra TX e linea
- Cosa cambia per il fatto che la linea può ora trovarsi chiusa su una Z diversa da quella sua caratteristica, e quindi risultare non adattata?
 - a parte casi particolari, la linea **trasforma** la Z dell'antenna in un **diverso valore**, in funzione della sua lunghezza
 - **sorge sulla linea un $ROS > 1$** (N.B il valore del ROS dipende **esclusivamente** dalla Z di chiusura della linea, ovvero dalla Z dell'antenna):
 - ◆ **come si vedrà meglio più avanti, un $ROS > 1$ comporta un aumento dell'attenuazione della linea e dei più stringenti limiti di potenza**
- Scopo dell'accordatore è ora quello di mostrare al TX $R = 50$, $X = 0$ consentendogli così di emettere tutta la potenza di cui esso è capace

Presenza di una Linea di Trasmissione

La Trasformazione d'Impedenza Operata dalla Linea



Esempio di come una Z d'antenna pari a $R=30$, $X=40$ venga trasformata dalla linea in funzione della sua lunghezza

- Per certe lunghezze della linea, una Z generica (ovvero con componente X non nulla) viene trasformata in una Z puramente resistiva, mentre una Z puramente resistiva verrebbe generalmente trasformata in una Z generica
- Il compito dell'accordatore (ovvero trasformare una Z generica in $R=50$, $X=0$) non cambia. A parità di ROS , non si può facilmente stabilire se certi valori di Z possano essere più agevolmente gestiti dall'accordatore rispetto ad altri:
 - ◆ a priori, non avrebbe quindi senso tagliare la linea a misura
 - ◆ si potrebbero però sperimentalmente determinare delle lunghezze "migliori" di altre

Presenza di una Linea di Trasmissione

Effetti di un ROS > 1

- L'**unico** effetto **esternamente** percepibile della presenza di ROS > 1 è la modificazione delle principali proprietà della linea:
 - l'**attenuazione** diventa, in linea generale, superiore a quella di tabella
 - anche la **limitazione di potenza** diventa superiore a quella di tabella
- All'**interno** della linea si manifestano altri effetti (variazioni periodiche di V ed I, sfasamenti, ecc.), che non hanno però alcuna rilevanza ai nostri fini
- Da quanto detto si evince come non abbia senso dire, come spesso si sente, che il ROS possa essere causa di avaria per i transistor finali:
 - quello che conta per il TX è solo il valore di **Z** su cui viene terminato: una volta che l'accordatore sia stato regolato in modo da presentare **R= 50, X= 0** al TX, questo non avrebbe modo di accorgersi della presenza di ROS > 1 sulla linea !
 - anche se, come già detto, i potenziali rischi conseguenti alla eventuale terminazione del TX su dei diversi valori di **Z** vengono comunque minimizzati dal suo circuito interno di protezione

Presenza di una Linea di Trasmissione

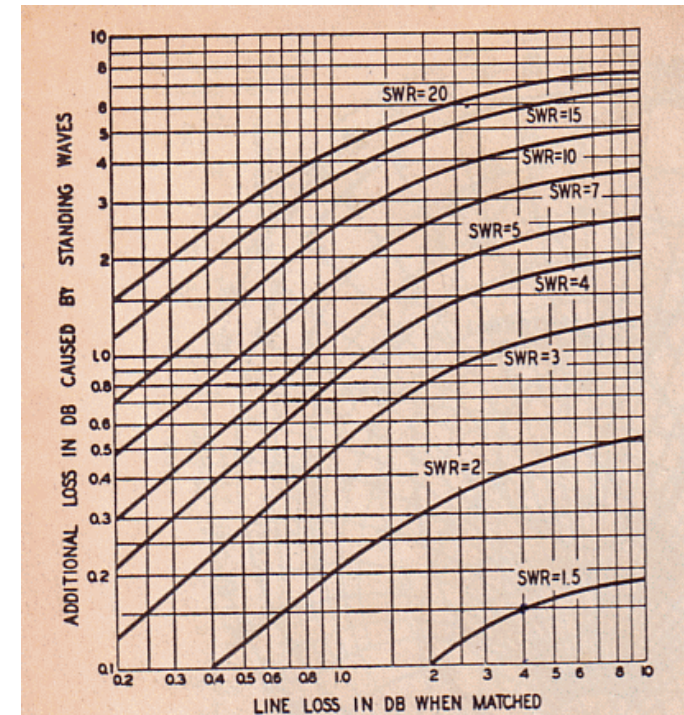
L'Aumento dell' Attenuazione della Linea

- Un $ROS > 1$ comporta un'aumento dell'attenuazione della linea rispetto ai dati di tabella, che è però solo significativo ove:

- il ROS sia molto elevato
- la linea presenti già di per sé una notevole attenuazione

- In pratica:

- in presenza di linea a bassa attenuazione (ad es. in HF), l'attenuazione addizionale dovuta al ROS è anch'essa usualmente bassa (a meno che questo non sia elevatissimo):
 - ◆ con una linea che perde 1dB, occorre un ROS di oltre 4 per perdere un ulteriore dB
- quando l'attenuazione della linea sia invece di per sé elevata (VHF/UHF), il ROS può comportare un'attenuazione addizionale significativa:
 - ◆ con una linea a forte perdita la misura di ROS effettuata in stazione non è attendibile



***Una trattazione più approfondita del ROS è riportata in:
<http://www.qsl.net/i0jx/ros.html>***

E a questo punto....

***... possiamo esaminare il comportamento
di una generica antenna non risonante
in termini di impedenza e prestazioni***

Le Antenne Non Risonanti

L'Adattamento d'Impedenza

- In un'antenna “non risonante” (alla frequenza di lavoro):
 - la componente reattiva **X** della sua Impedenza **Z** risulta non nulla, ovvero capacitiva (-) o induttiva (+)
 - inoltre la componente resistiva (**R**) assume un valore generalmente diverso da quello standard di 50Ω
- Peraltro, utilizzando un accordatore posto ai terminali dell'antenna e che agisca in maniera tale da:
 - compensare la **X**, facendo così apparire l'antenna come se risonasse
 - e trasformare la **R** in 50Ωsi potrà comunque riportare la **Z** al valore di **R**= 50, **X**= 0
- Qualora l'accordatore venga invece posto in stazione:
 - il compito dell'accordatore rimane concettualmente immutato (a parte i diversi valori di **R** e di **X** che la linea restituisce)
 - ma va tenuta in conto l'attenuazione aggiuntiva dovuta al ROS

Le Antenne Non Risonanti

Le Prestazioni

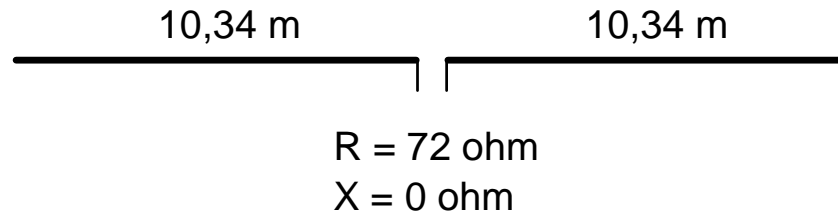
- Una volta stabilito che, in linea generale, il problema dell'adattamento d'Impedenza è comunque superabile, a quali aspetti occorre allora porre l'attenzione? Principalmente tre:
 - le **proprietà radianti** dell'antenna (guadagno, direzionalità, ...) che dipendono esclusivamente dai suoi parametri fisici (lunghezza, altezza dal suolo, ...)
 - l'**efficienza dell'accordatore** (in termini di perdite ohmiche), la quale dipende significativamente anche dai valori di **Z** da adattare
 - l'**attenuazione addizionale** della linea, che può diventare significativa se il ROS è molto elevato
- Da tutto quanto detto emerge chiaramente come non sia giustificata la comune credenza che, per poter funzionare bene, un'antenna debba essere di per sé risonante
- Un'esame approfondito delle problematiche riguardanti i numerosi tipi di antenna non sarebbe possibile in questa sede:
 - pertanto ci si limiterà qui ad analizzare esaminare, a titolo di esempio, il caso di un semplice dipolo operato in condizioni di non risonanza

Le Antenne Non Risonanti

Esempio Considerato

■ Nel seguito si farà costante riferimento a:

- ad un dipolo tagliato (ovvero risonante) sui 7.0 MHz



- che venga utilizzato anche (fuori risonanza), ad esempio nel campo di frequenza 1.8 MHz - 50 MHz
- cambiando la lunghezza del dipolo cambierebbero i risultati numerici alle varie frequenze, fermi rimanendo comportamenti e conclusioni

■ E' opportuno distinguere due casi:

- utilizzo su frequenze minori della frequenza di risonanza
- utilizzo su frequenze maggiori della frequenza di risonanza

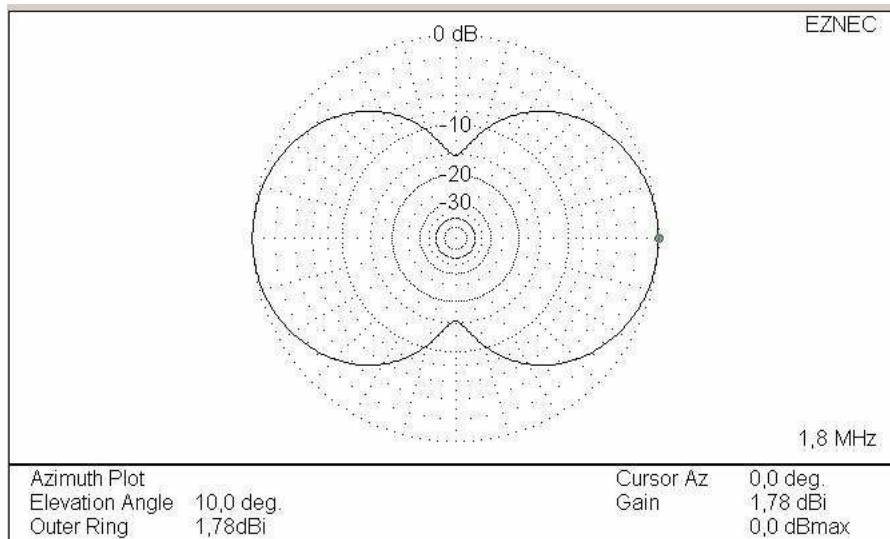
e, per entrambi i casi, esaminare quindi come vari:

- il diagramma di radiazione
- l'Impedenza **Z**

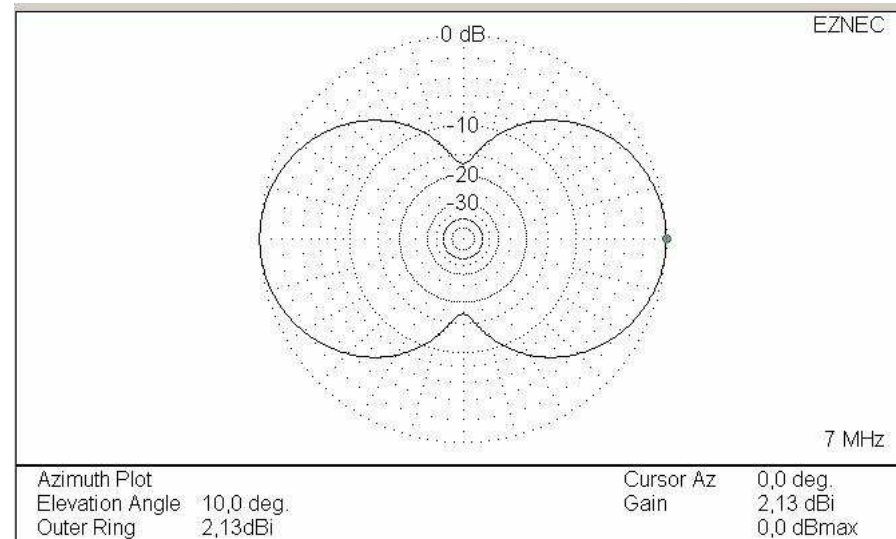
Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa < Frequenza di Risonanza

Diagrammi di radiazione azimuthali di un dipolo orizzontale tagliato per risonanza a 7 MHz



Direttività @ 1.8 MHz

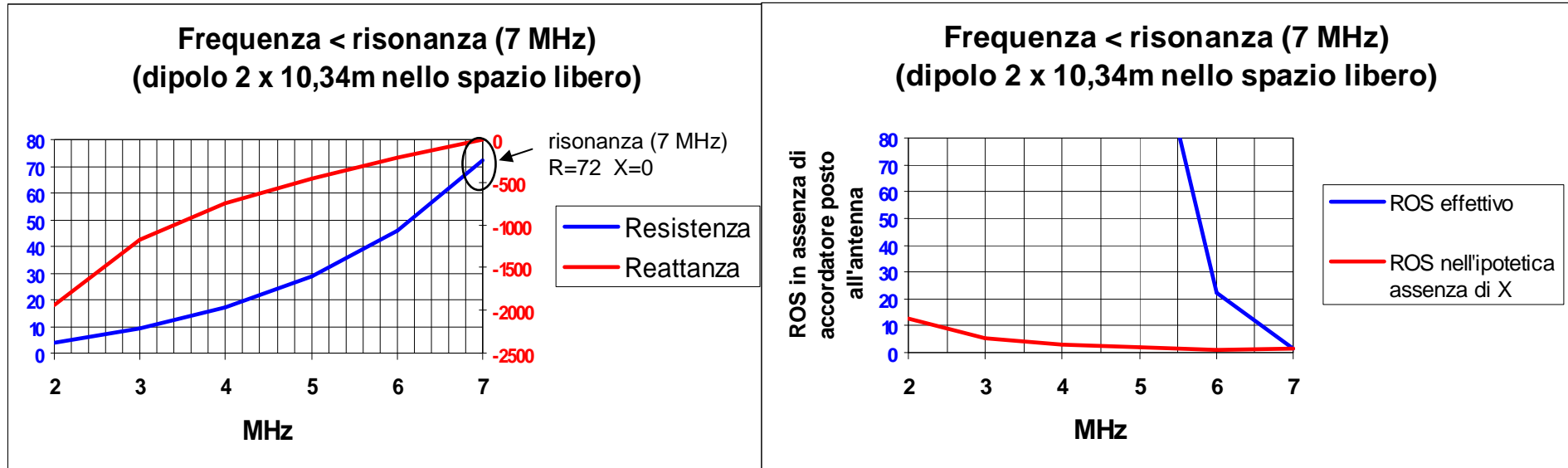


Direttività @7 MHz (risonanza)

- **Le differenze sono minime:**
 - **limitata variazione di guadagno**
 - **diagramma di radiazione quasi identico**

Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa < Frequenza di Risonanza



■ Variazione della **Z** dell'antenna con la frequenza:

● Resistenza (**R**):

- ◆ diminuisce costantemente al diminuire della frequenza
- ◆ e si mantiene quindi sempre più bassa della **R** a risonanza

● Reattanza (**X**):

- ◆ è sempre negativa (ovvero capacitiva)
- ◆ aumenta la diminuire della frequenza
- ◆ ha un drammatico impatto sull'elevato ROS che inevitabilmente si manifesta in assenza di accordatore posto direttamente all'antenna

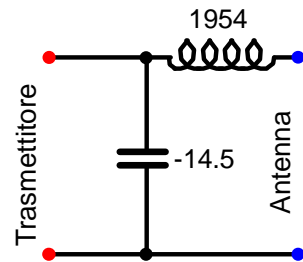
Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa < Frequenza di Risonanza

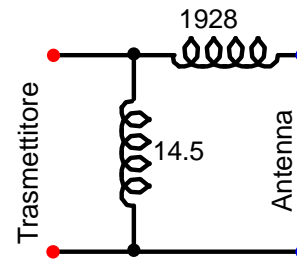
■ Esempio di accordatore posto direttamente all'antenna (a 2 MHz):

- a 2 MHz l'antenna presa ad esempio presenta $R= 3.9$, $X= -1941$

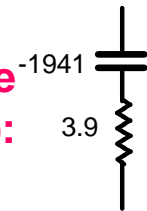
- ◆ dato che vi è una forte X capacitiva, l'elevazione della R risulta anche realizzabile adottando un circuito ad L non classico (due induttanze):



oppure

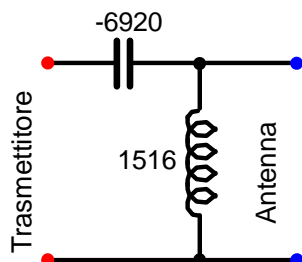


N.B. i valori sono in ohm

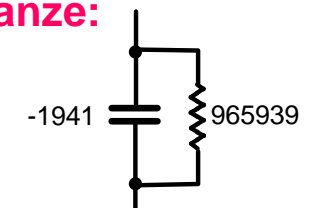
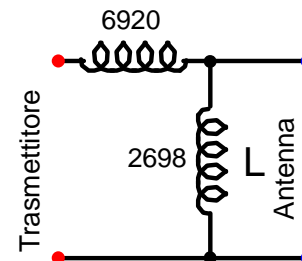


- peraltro l'equivalente parallelo di $R= 3.9$, $X= -1941$ da luogo ad una R molto maggiore della R a risonanza:

- ◆ ed è quindi anche possibile utilizzare il circuito in diminuzione di R
- ◆ anche in questo caso si può adottare un circuito con due induttanze:



oppure



Equivalente parallelo

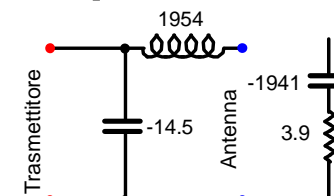
32

Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa < Frequenza di Risonanza

- A causa del basso valore di R e dell'elevato valore di X , si registrano forti tensioni e correnti RF, che possono comportare elevate perdite nel circuito d'accordo. Ad esempio con 1000W RF a 2MHz:

- su C : corrente= 15.4A tensione= 223V
- su L : corrente= 16.0A tensione= 31kV (wow!)



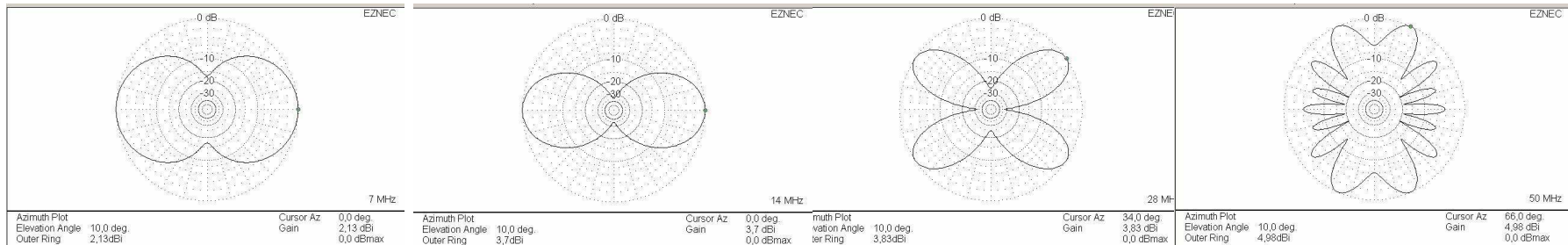
- Concludendo, quando la frequenza di lavoro sia minore di quella di risonanza (ovvero quando l'antenna risulti "corta"):

- il diagramma di radiazione non varia significativamente con la frequenza
- ma al diminuire della frequenza si riscontra:
 - ◆ un forte diminuzione della R , con conseguente aumento delle correnti RF in gioco e quindi delle perdite nell'accordatore
 - ◆ dei valori di X elevatissimi, che comportano dei valori di ROS enormi (ove l'accordatore venga posto in stazione), con conseguente elevata attenuazione aggiuntiva (pur se mitigata dalla diminuzione dell'attenuazione propria della linea)
 - ◆ valori di X così elevati potrebbero anche essere difficilmente gestibili da un tipico accordatore posto all'antenna
- il sistema va quindi ben studiato, onde evitare rendimenti troppo scarsi

Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa > Frequenza di Risonanza

Diagrammi di radiazione azimuthali di un dipolo orizzontale tagliato per risonanza a 7 MHz



Direttività @ 7 MHz (ris.)

Direttività @ 14 MHz

Direttività @ 28 MHz

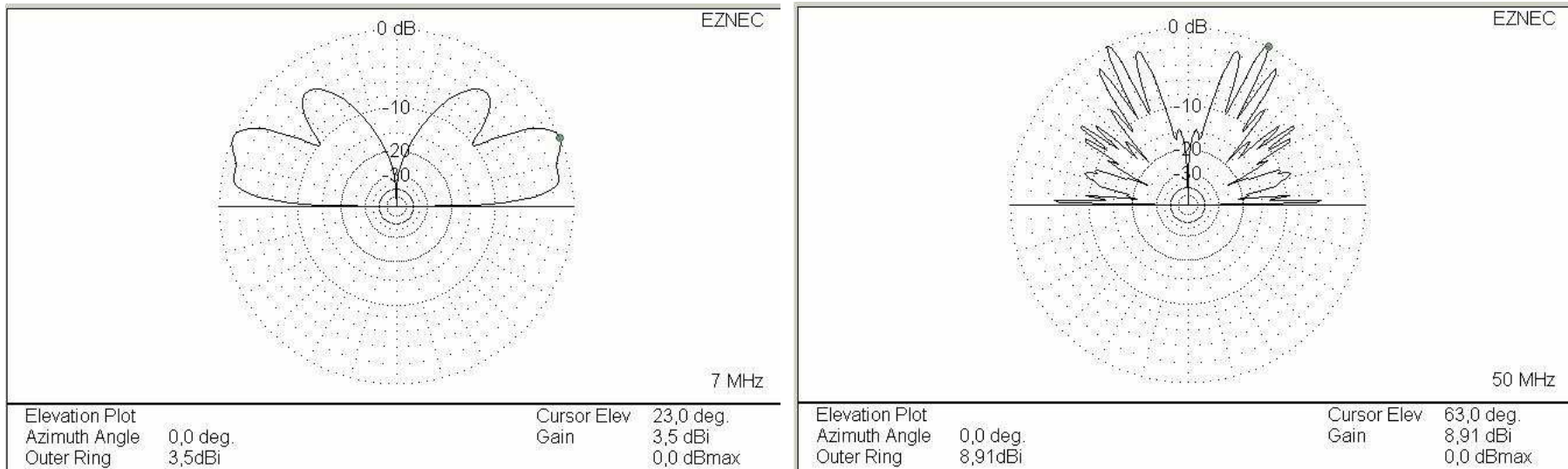
Direttività @ 50 MHz

- Si osserva come, salendo di frequenza:
 - il guadagno massimo aumenti
 - il lobo si frastagli
 - cambi la direzione di massimo guadagno
- In definitiva, si viene a perdere il controllo sulla direzionalità dell'antenna

Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa > Frequenza di Risonanza

Diagrammi di radiazione zenithali di un dipolo verticale tagliato per risonanza a 7 MHz
(N.B.: i diagrammi variano fortemente con l'altezza dell'antenna sul terreno)



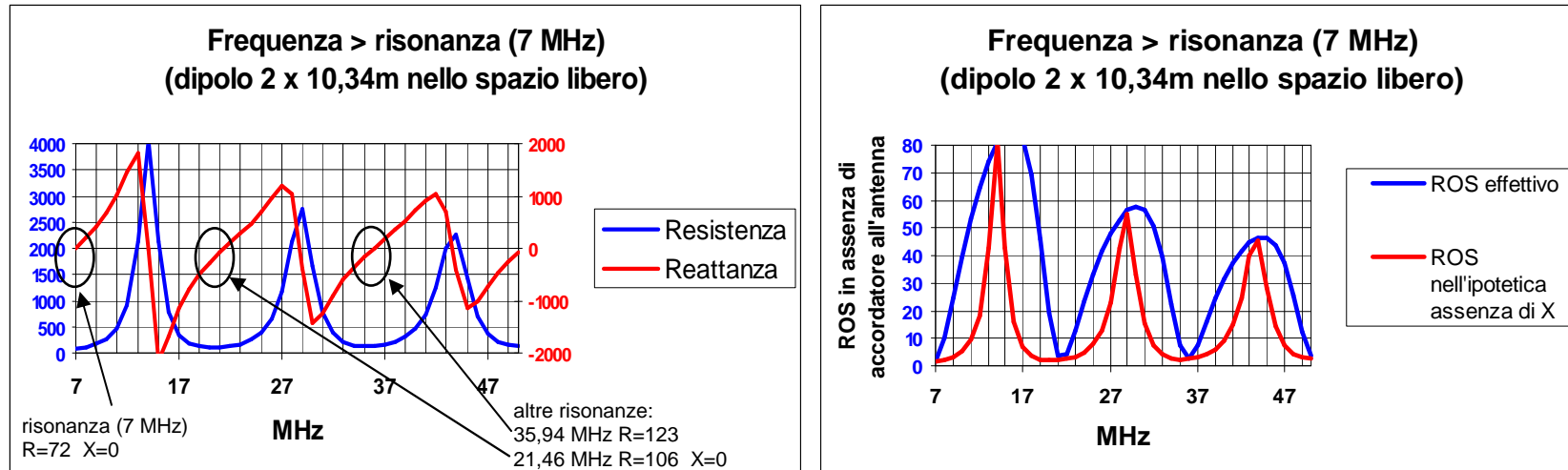
Direttività @ 7 MHz (risonanza)

Direttività @ 50MHz

- **Se poi il dipolo venisse posto verticalmente, all'aumentare della frequenza si riscontrerebbe:**
 - **oltre al frastagliamento del lobo**
 - **anche un indesiderabile aumento dell'angolo di radiazione**

Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa > Frequenza di Risonanza



■ Variazione di **Z** con la frequenza:

- si riscontrano risonanze ($X=0$) alle frequenze multiple dispari (21, 35 ...):
 - ◆ ove la **R** risulta un pò superiore (100 ... 150 ohm) alla **R** di risonanza
- ed anche alle frequenze multiple pari (14, 28 ...):
 - ◆ anche se più difficilmente sfruttabili dato che la **R** qui assume valori molto elevati

■ In generale si può dire che:

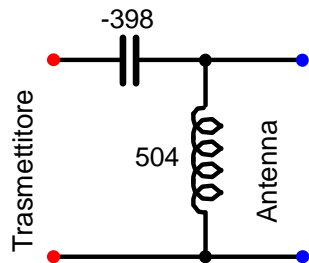
- la **R** si mantiene sempre superiore alla **R** di risonanza
- la **X** assume valori negativi o positivi, anche molto elevati, contribuendo così al ROS che si manifesta in assenza di accordatore posto all'antenna

Le Antenne Non Risonanti

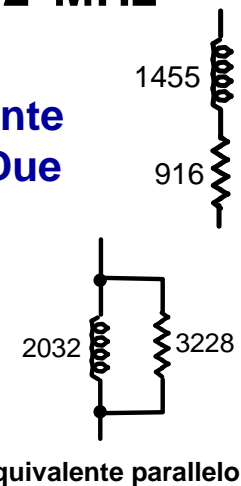
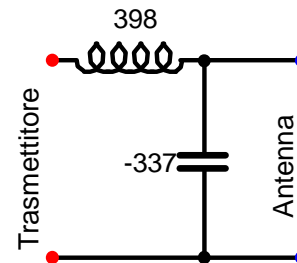
Frequenza Operativa > Frequenza di Risonanza

- Esempio di accordatore posto direttamente all'antenna, a 12 MHz ove l'antenna ha comportamento **induttivo** ($R=916$, $X=1455$)

- dovendosi ridurre la R , il circuito di adattamento andrà necessariamente calcolato con riferimento all'equivalente parallelo della Z d'antenna. Due circuiti di adattamento risultano possibili:



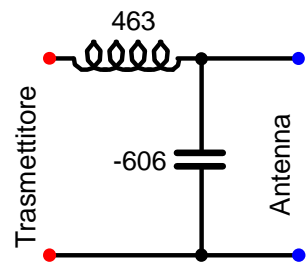
oppure



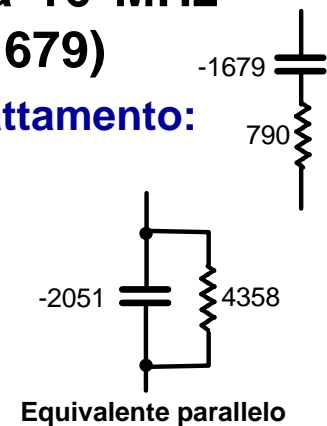
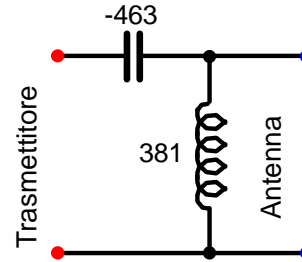
Equivalente parallelo

- Esempio di accordatore posto direttamente all'antenna, a 16 MHz ove l'antenna ha comportamento **capacitivo** ($R=790$, $X=-1679$)

- con procedura simile si determinano due possibili circuiti di adattamento:



oppure



Equivalente parallelo

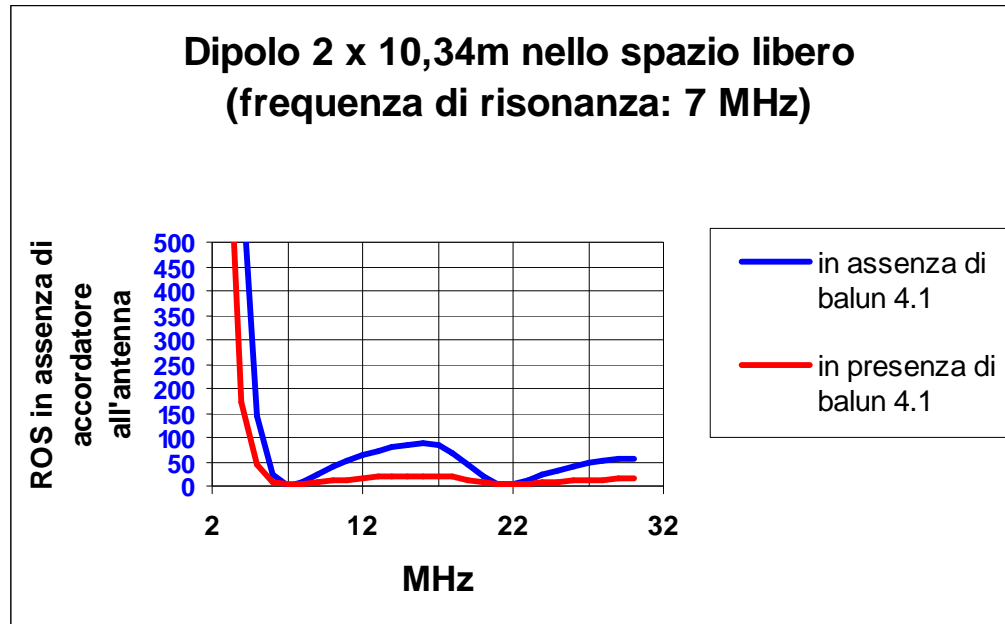
Le Antenne Non Risonanti

Frequenza Operativa > Frequenza di Risonanza

- **Concludendo, quando la frequenza di lavoro sia **maggiore** di quella di risonanza (ovvero l'antenna risulti "lunga"):**
 - **la lunghezza dell'antenna andrà scelta in modo da:**
 - ◆ **assicurare un buon diagramma di radiazione su tutte le frequenze di interesse**
 - ◆ **ed anche evitare che su dette frequenze cadano dei valori di **R** ed **X** critici**
 - **vi sono comunque dei rischi intrinseci di scarso rendimento del sistema:**
 - ◆ **con l'accordatore posto in stazione i valori di ROS possono risultare comunque elevati, con conseguenti forti aumenti di attenuazione della linea (la situazione peggiora all'aumentare della frequenza)**
 - ◆ **le perdite nell'accordatore tendenzialmente crescono con la frequenza**
 - **è quindi opportuno verificare se si possano identificare soluzioni per migliorare il rendimento complessivo. Tenendo conto che i valori di **R** e di **X** sono mediamente elevati, si può pensare a:**
 - ◆ **l'utilizzo di un trasformatore di riduzione dell'Impedenza (ad es. 4:1), che potrà essere integrato nel *balun* nel caso del dipolo (antenna simmetrica), o che diversamente sarà un semplice *unun***
 - ◆ **l'impiego di una discesa con più elevato valore di **R** (ad es. 300 ohm)**

Le Antenne Non Risonanti

Soluzioni per il Miglioramento del ROS: *Balun* 4:1

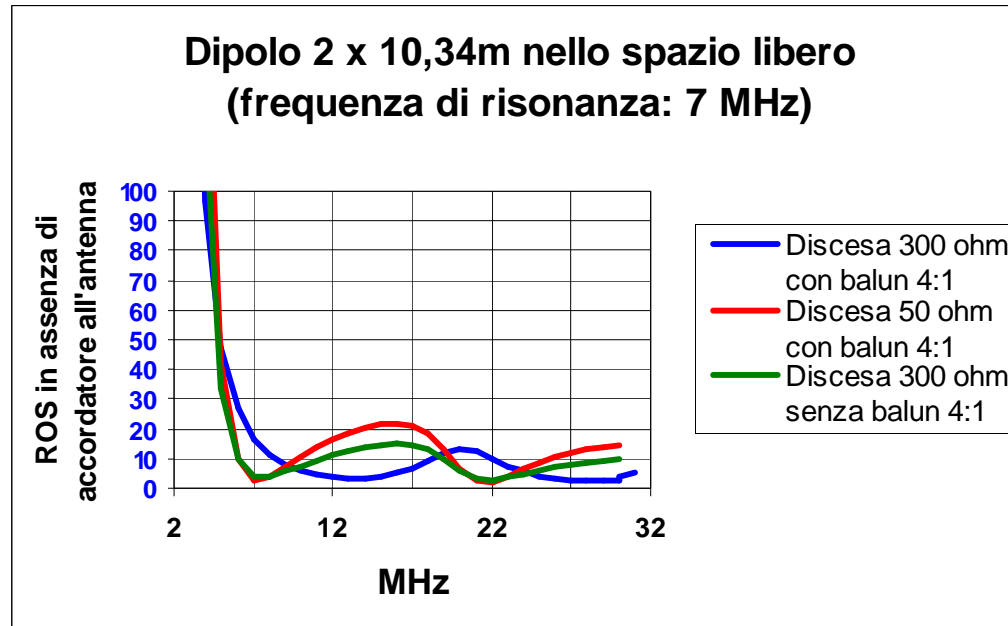


ROS in presenza di un *balun* con rapporto di riduzione 4:1 interposto tra antenna e discesa a 50Ω

- Al di sopra della risonanza si rileva un miglioramento generalizzato del ROS
- Al di sotto di detta frequenza l'approccio non sembra molto promettente:
 - si riscontra un miglioramento del ROS (anche se i valori permangono comunque molto elevati), grazie alla riduzione dei forti valori di **X** ivi presenti
 - ma andrebbe valutato l'impatto della riduzione dei già bassi valori di **R** sulle perdite nell'accordatore

Le Antenne Non Risonanti

Soluzioni per il Miglioramento del ROS: Discesa a 300Ω



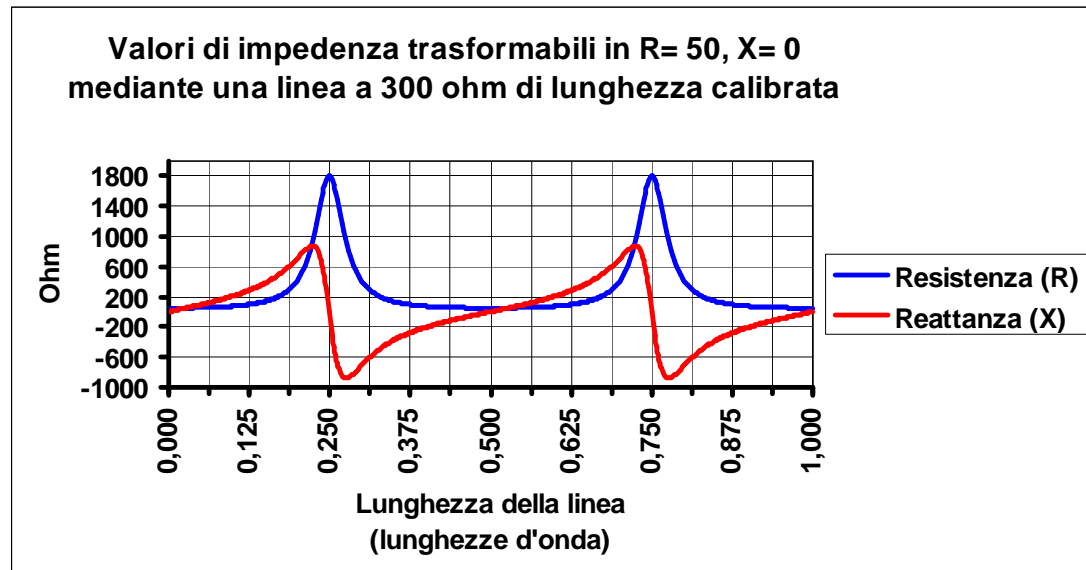
ROS in presenza di un *balun* con rapporto di riduzione 4:1 interposto tra antenna e discesa a 300Ω

- Con la discesa in piattina a 300Ω e *balun* 4:1, si ha un generale miglioramento del ROS, tranne che nelle vicinanze delle frequenze di risonanza (7, 21 MHz):
 - in assenza di *balun* i valori di ROS non cambiano molto, ma la distribuzione è diversa
- Rimane da valutare la possibile criticità, nei riguardi dell'accordatore, dei valori di **R** ed **X** che gli si presentano

Le Antenne Non Risonanti

Soluzioni per il Miglioramento del ROS: Discesa a 300Ω

- Una tecnica può essere quella di regolare opportunamente la lunghezza della discesa a 300 ohm:
 - il ROS non cambia con la lunghezza della discesa
 - ma, variando la lunghezza, è possibile fare in modo che i valori di R ed X che si presentano all'accordatore (in stazione) siano non lontani da $R= 50$. $X=0$, così da facilitarne il compito
 - ◆ al limite, se si è fortunati, potrebbe non servire affatto l'accordatore!
 - rimane però il problema che la lunghezza della discesa andrebbe variata banda per banda
- Il grafico mostra i valori di R ed X d'antenna (in assenza di *unun*) trasformabili in $R= 50$ ed $X=0$ tramite una discesa a 300 ohm di opportuna lunghezza:
 - ad es. con una discesa lunga 0.25 lunghezze d'onda si trasforma $R= 1800$, $X=0$ in $R= 50$. $X=0$



Infine, in chiusura....

... parliamo brevemente di cosa vada tenuto presente al momento di concepire l'installazione della cosiddetta antenna a "Canna da Pesca"

L'Antenna a "Canna da Pesca"

Generalità

- L'antenna a "Canna da Pesca" è un semplice radiatore verticale operato su varie frequenze in condizioni di non risonanza
- Sta avendo un buon successo principalmente grazie alla sua:
 - alta versatilità
 - basso costo
 - impatto visivo abbastanza modesto
 - disponibilità di accordatori automatici
- Su Internet è possibile trovare un gran numero di progetti ai quali si rimandano gli interessati:
 - progetti che peraltro possono essere non sempre riproducibili, a causa della forte dipendenza dal contesto (ad es. dal piano di terra)
- Giova quindi esaminare brevemente i principali aspetti da tenere presenti nelle scelte progettuali, tenendo presente che:
 - quanto già esposto nei riguardi del dipolo rimane comunque valido, mutatis mutandis, anche per questo tipo d'antenna

L'Antenna a "Canna da Pesca"

Lunghezza del Radiatore e Campo di Frequenze

- Realizzare un'antenna che copra, con efficienza accettabile, l'intera banda 3.5-30 MHz, o peggio 1.8-30 MHz, non è affatto facile:
 - se troppo corta può presentare nella parte bassa della gamma valori molto ridotti di **R** e molto elevati di **X** che comportano:
 - ◆ perdite elevate nei componenti dell'accordatore
 - ◆ ed forti valori di ROS se l'accordatore è posto in stazione
 - se troppo lunga non presenta un buon diagramma di radiazione alle frequenze più elevate
- Occorrerà inoltre regolare opportunamente la lunghezza del radiatore in modo che su nessuna delle frequenze di lavoro si riscontrino valori di **R** e di **X** che possano rendere critico l'accordo:
 - data la relazione armonica tra molte bande amatoriali, converrà scegliere una lunghezza che non risuoni su nessuna di dette bande
- Lunghezze tipicamente proposte:
 - per un antenna che copra 7-30 MHz: intorno agli 8 metri
 - per un antenna che copra 3.5-14 MHz: intorno ai 15 metri

L'Antenna a "Canna da Pesca"

Piano di Terra

- Trattandosi di antenna concettualmente asimmetrica, occorrerebbe idealmente disporre di un buon piano di terra o, in subordine, di un struttura quanto più possibile “fredda” per la RF che agisca da contrappeso
- In difetto, la funzione di contrappeso verrebbe implicitamente svolta dalla calza del cavo di discesa, lungo il quale la RF si andrebbe “spegnendo”:
 - in tal caso anche la calza del cavo entra a far parte del sistema radiante
 - è allora bene che la discesa non sia troppo corta, onde evitare presenza di RF sul telaio del TX alle frequenze più basse
- Soluzioni possibili, in ordine di preferenza:
 - almeno un radiale a quarto d'onda per ogni frequenza operativa
 - una raggiera di fili quanto più numerosi e lunghi possibile i quali, grazie alla loro capacità verso terra, possano costituire un efficace contrappeso
 - collegamento a strutture metalliche (ringhiere, impianto idrico) tramite conduttori più corti possibile (1 m max.)
- Vengono talvolta proposte delle soluzioni meno complesse (ad es. piccoli radiali da 50 cm), ma di dubbia efficacia

L'Antenna a "Canna da Pesca"

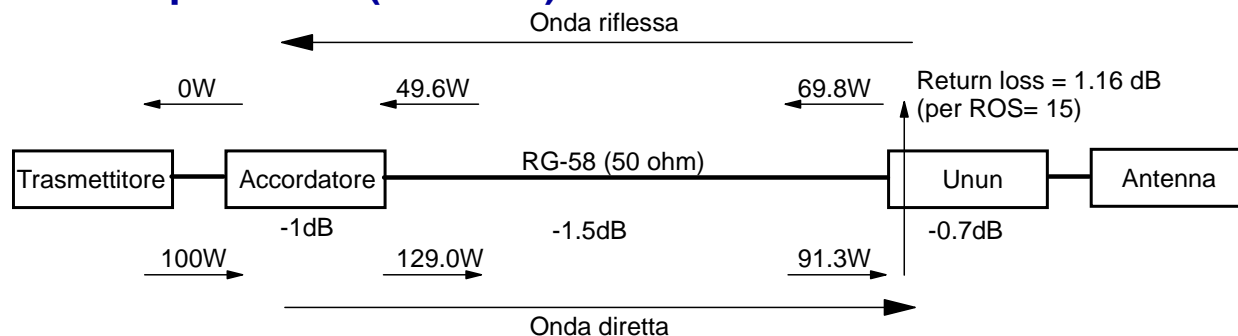
Adattamento di Impedenza

- **Adattare l'Impedenza su numerose frequenze, conseguendo al tempo stesso una buona efficienza complessiva, è compito non facile, anche avendo ben scelto la lunghezza del radiatore**
- **Con l'accordatore posto all'antenna, i problemi maggiori sorgono alle frequenze minori di quella di risonanza ove:**
 - **il basso valore di R può comportare elevate perdite a causa delle forti correnti circolanti**
 - **gli elevati valori di X potrebbero non essere compatibili con il *tuning range* dei tipici accordatori**
- **Ove l'accordatore venga invece posto in stazione, vanno anche considerati i seguenti aspetti:**
 - **il ROS può risultare molto elevato, con conseguente notevole aumento dell'attenuazione del cavo, anche quando questa sia nominalmente bassa**
 - **giòva quindi sperimentare soluzioni che possano portare a ridurre il ROS**

L'Antenna a "Canna da Pesca"

Implicazioni di un ROS Elevato

- Ponendo l'accordatore in stazione, si avrà generalmente a che fare con valori di ROS elevati, fino a 10 ... 15 od anche oltre:
 - bisognerà quindi mettere a budget svariati dB di extra attenuazione nel cavo
 - e tener presente che il ROS misurato risulterà molto più basso di quello effettivo
- Esempio numerico:
 - discesa: 30 metri in RG-58, con attenuazione propria di 1.5 dB @ 14 MHz
 - attenuazione dell'accordatore: 1 dB (ottimistico!)
 - attenuazione dell'unun: 0.7 dB
 - ROS effettivo ipotizzato (all'unun): **15**



- Risultati del calcolo per 100W di potenza trasmessa:
 - potenza effettiva all'accordatore: $129.0 - 49.6 = 79.4\text{W}$ (ovvero $100\text{W} - 1\text{dB}$)
 - potenza effettiva entrante in antenna: $91.3 - 69.8 = 21.5\text{W}$
 - perdita totale effettiva nel sistema: $0.7 + 10 \log(21.5 / 100) = 7.4\text{dB}$
 - ROS apparente (misurabile in stazione a monte dell'accordatore): **4.3**

L'Antenna a "Canna da Pesca"

Conclusioni

- Non si tratta di un'antenna "rose e fiori" come potrebbe talvolta sembrare leggendo quanto si trova scritto al riguardo:
 - si parla molto della **R** dell'antenna, ma poco della **X** ...
- Dall'esempio illustrato si evince come possano esistere situazioni nelle quali si verificano perdite significative ma non immediatamente evidenti:
 - d'altra parte anche una perdita di 5 ... 10 dB (1 ... 2 *S-units*) potrebbe passare inosservata, o quasi, ove non si disponga di riferimenti assoluti di confronto
- Utilizzare un accordatore all'antenna è certamente la soluzione migliore, anche se sarà comunque opportuno sperimentare soluzioni migliorative:
 - compensare (ove il *tuning range* dell'accordatore non sia sufficiente) la **X** dell'antenna tramite reattanze in serie, eventualmente commutate
 - utilizzare un *unun* che riduca la **Z** dell'antenna, verificandone l'impatto sulle frequenze più basse (riduzione della **R** e conseguenze dell'induttanza propria), ed eventualmente escludendolo sulle frequenze ove non risulti vantaggioso
 - diverse configurazioni di radiali, contrappesi e terre
- Con l'accordatore in stazione si potrebbe inoltre provare:
 - la discesa a 300 ohm, con *unun* posto all'antenna oppure in stazione

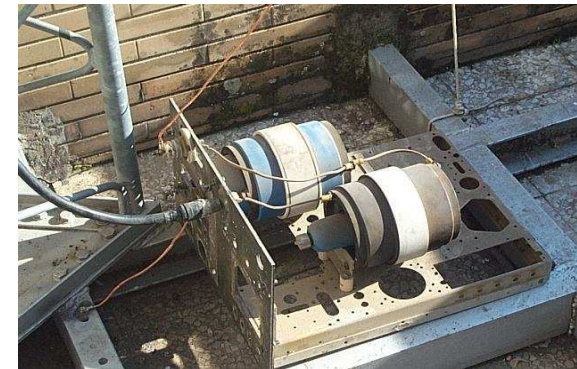
nell'accomiatarci....

... una soluzione per le frequenze più basse

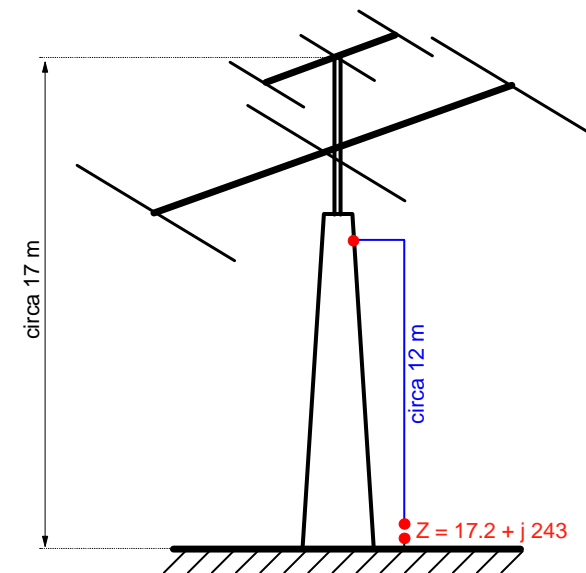
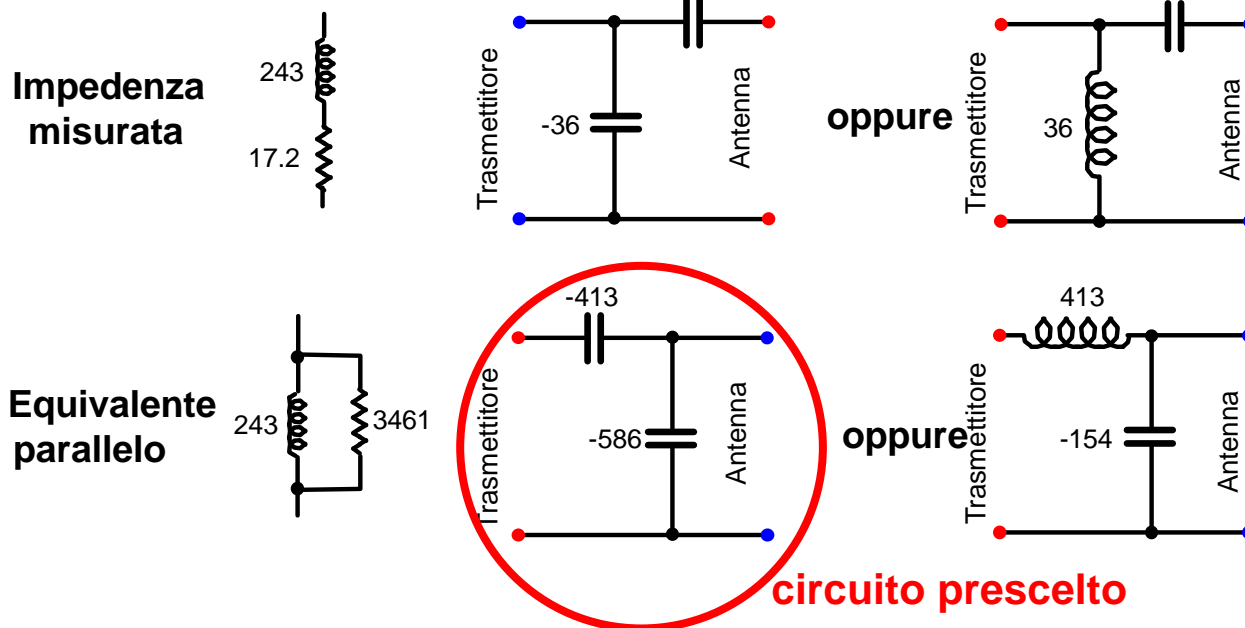
La Shunt-Fed Tower

Semplice ed Efficace

- Esempio di un traliccio utilizzato come radiatore in 160 metri (1.835 MHz):
 - il loop di alimentazione del traliccio presenta una X positiva (**induttiva**)
 - in questo caso diventa possibile adottare, tra i quattro possibili, un circuito di adattamento che utilizzi solamente dei condensatori



Accordatore



Schema del traliccio di IOJX