

IMPARIAMO AD USARE IL VECTOR NETWORK ANALYZER (VNA) ADATTARE UN CARICO CON RETE AD L COL VNA

Articolo pubblicato su Radio Rivista 12/2020 e 01/2021

IW2FND Attolini Lucio Via XXV Aprile, 52/b 26037 San Giovanni in Croce (CR) www.iw2fnd.it

1. Premessa

Uno degli usi del VNA è quello dell'adattamento ai 50 Ohm di un carico disadattato, come quello di un'antenna. L'utilità del VNA in questo caso si manifesta appieno sia nella fase di dimensionamento sia nella fase di verifica.

Vedremo, dopo la consueta introduzione teorica, un esempio pratico di come lo strumento ci possa aiutare.

2. Adattamento energetico

E' noto a tutti gli OM che per avere il massimo rendimento possibile è necessario che il "carico" debba essere adattato al trasmettitore ma probabilmente non tutti sanno il perché. Per spiegare ciò è necessario rifarsi al modello più generale di generatore collegato al carico. In figura 14-1 sono rappresentati un generatore di tensione sinusoidale ideale, la sua impedenza interna Z_g e l'impedenza di carico Z_o . Tutti i dispositivi sono pensati lineari e tempo invarianti.

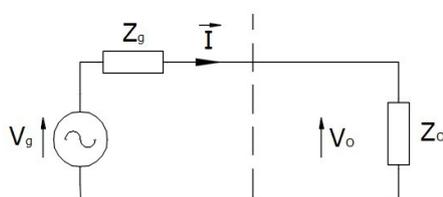


Fig.14-1

Modello generatore-carico

A sua volta entrambe le impedenze complesse Z possono essere scomposte nella loro parte reale R (resistenza) e nella loro parte immaginaria X (reattanza); figura 14-2.

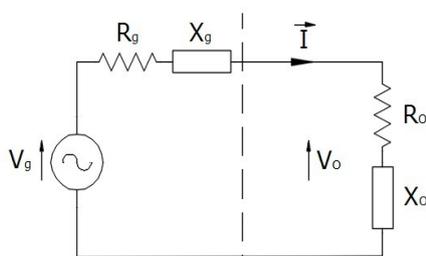


Fig.14-2

Modello generatore-carico con Z serie

Nel modello di figura 14-2 la potenza utile P trasferita al carico è quella dissipata dalla resistenza R_o ed altro non è:

$$P = |I|^2 R_o \quad 14.1$$

Fatti tutti i dovuti calcoli, dalla 14.1 si ricava che la potenza utile P è:

$$P = \frac{|V_g|^2 R_o}{(R_g + R_o)^2 + (X_g + X_o)^2} \quad 14.2$$

Dalla 14.2 si vede che la potenza utile è massima quando il termine reattivo in X è nullo; tale condizione si ha se $X_g = -X_o$. La cosa è ragionevole perché la parte reattiva immagazzina energia ma non è utile al carico perché limita la corrente I che circola nella

maglia e di conseguenza riduce la potenza dissipata su R_o ; come risulta dalla formula 14.1. Se la parte reattiva è nulla allora la formula 14.2 diventa:

$$P = \frac{|V_g|^2 R_o}{(R_g + R_o)^2} \quad 14.3$$

La 14.3 ha il suo massimo quando $R_g = R_o$ ed in tal caso la potenza utile al carico vale:

$$P = \frac{|V_g|^2}{4 R_o} \quad 14.4$$

Ecco spiegato il perché, per avere il massimo trasferimento di energia (che altro non è che la potenza per il tempo) tra il generatore ed il carico occorre che:

$$\begin{cases} X_g = -X_o \\ R_g = R_o \end{cases} \quad 14.5$$

Purtroppo la reattanza X dipende dalla frequenza, per cui, la condizione di massimo trasferimento di energia al carico può avvenire solo ad una determinata frequenza o, se ci si accontenta di stare vicino al massimo, in una piccola banda attorno alla frequenza del massimo trasferimento di potenza.

Vi ricordo che la reattanza di un condensatore ideale è:

$$X_c = -\frac{1}{2\pi fC} \text{ Ohm} \quad 14.6$$

mentre nell'induttore è:

$$X_L = 2\pi fL \text{ Ohm} \quad 14.7$$

Le formule inverse sono:

$$C = -\frac{1}{2\pi fX_c} \quad 14.8$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad 14.9$$

E' evidente che all'aumentare della frequenza f la reattanza capacitiva X_c diminuisce mentre quella induttiva X_L aumenta. Ad una certa frequenza le due reattanze saranno uguali e di segno opposto ma non appena la frequenza aumenta (o diminuisce) le due non saranno più uguali e la loro somma non sarà più nulla.

3. Reti di adattamento

Nei sistemi radioamatoriali è opportuno adattare l'impedenza per il massimo trasferimento dell'energia ed il valore dell'impedenza convenzionale è $Z=50+j0$; in pratica è una resistenza pura (la parte $+j0$ nemmeno si mette).

Non sempre però il carico presenta un'impedenza di 50 Ohm quindi, appena prima del carico disadattato, si pone una rete di adattamento che interviene per riportare l'impedenza disadattata a quella convenzionale di 50 Ohm puri.

Ciò, per esempio, deve essere fatto quando vogliamo collegare un'antenna corta (in termini di lunghezza d'onda) al trasmettitore o alla linea di trasmissione; che notoriamente hanno un'impedenza caratteristica Z_o di 50 Ohm. Tale adattamento però funziona solo in un piccolo segmento di frequenza attorno a quella che rende massima l'energia trasferita.

La rete di adattamento più comune è quella a due componenti, detta ad L, cioè una reattanza in parallelo ed una in serie al carico disadattato. In figura 14-3 potete vedere un esempio di rete di adattamento resa dalle reattanze X_1 ed X_2 .

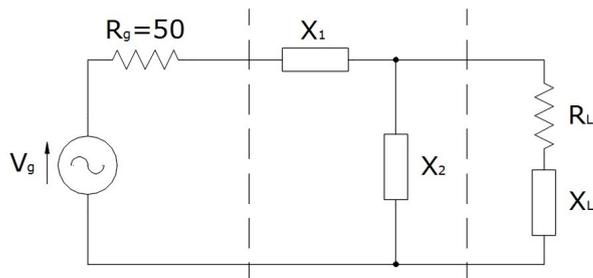


Fig.14-3

Generatore, rete di adattamento e carico

Le reattanze X_1 ed X_2 sono solitamente realizzate con induttanze e condensatori perché sono elementi non dissipativi (in teoria, ma in pratica hanno sempre una componente dissipativa più o meno grande).

Nei paragrafi precedenti abbiamo visto come misurare un'impedenza col VNA e come rappresentarla sulla carta di Smith. Così facendo ci troveremo in un particolare punto della carta ed a seconda della posizione in cui si trova la nostra impedenza di carico Z_L potremo scegliere in figura 14-4 la tipologia di rete di adattamento che più ci piace; basta che la Z_L caschi in un'area chiara e non tratteggiata.

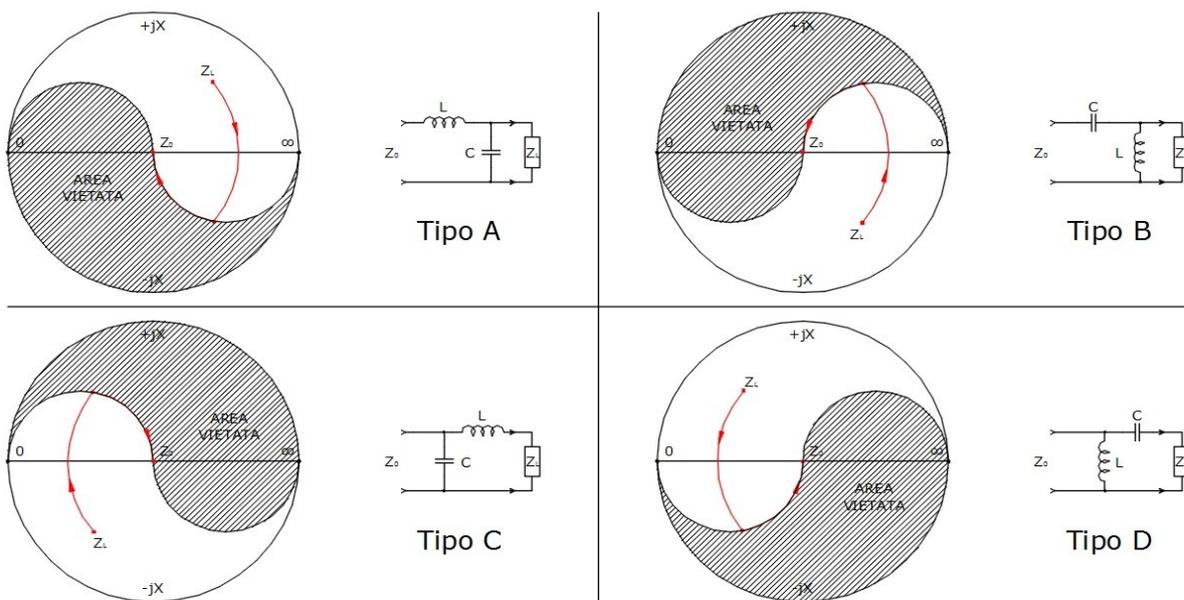


Figura 14-4: Reti di adattamento con induttanza e condensatore

Vorrei farvi notare che con la tipologia A e C (o la tipologia B e D), in teoria, si adatta qualsiasi carico all'impedenza di 50 Ohm.

Mi soffermo ancora un poco sulla carta di Smith [1] perché ci aiuta parecchio nel dimensionamento della rete di adattamento.

Notate che l'adattamento perfetto lo si ottiene quando si arriva al centro della carta nel punto indicato con Z_0 e che ogni qual volta che inseriamo un componente in parallelo al carico (tipi A e B) ci muoviamo su di un tratto di circonferenza che, se completo, passerebbe per il punto 0, a SX sul diametro principale, mentre quando poniamo un componente in serie al carico (tipi C e D) ci muoviamo su di un tratto di circonferenza che, se completo, passerebbe per il punto ∞ , a DX sul diametro principale. Non solo, quando l'elemento che si inserisce nella rete (sia in serie che in parallelo) è un condensatore (tipi A

e D) il verso della freccia è in basso mentre se si inserisce un'induttanza (tipi B e C) il verso della freccia è in l'alto.

Ciò che vi ho fatto notare è una regola ed in quanto tale vale la pena spiegarla. Per fare ciò riprendiamo quanto detto sulla carta di Smith, cioè che è un altro modo per rappresentare le impedenze e, per essere più generale possibile, vengono normalizzate all'unità.

$$Z' = R' + jX' = R/Z_0 + jX/Z_0 \quad 14.10$$

Z' è l'impedenza normalizzata rispetto all'impedenza convenzionale $Z_0=50$ Ohm.

Useremo sempre l'apice per indicare l'impedenza normalizzata.

La trasformazione inversa ovviamente è la seguente:

$$Z = R + jX = R' \cdot Z_0 + jX' \cdot Z_0 \quad 14.11$$

Le impedenze normalizzate verranno rappresentate sulla carta di Smith nel punto d'incrocio tra il cerchio a resistenza costante e l'arco di cerchio ad impedenza costante; figura 14-5 (immagine presa da [2]).

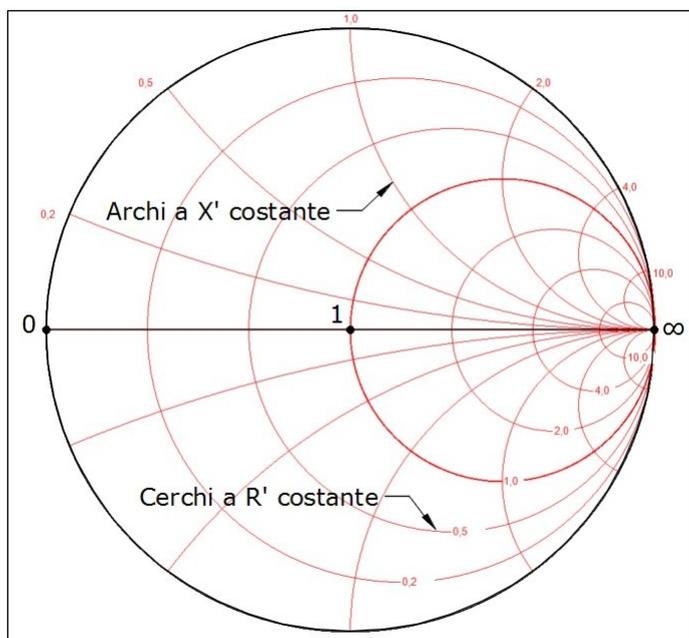


Figura 14-5: Carta di Smith delle impedenze

Sul diametro centrale della carta vi sono tutte le impedenze che hanno reattanza $X'=0$; quindi sono tutti i valori reali. A sinistra c'è il corto circuito $R'=0$, al centro l'adattamento perfetto $R'=1$ mentre a destra si ha il circuito aperto $R'=\infty$.

Allo stesso modo potremmo tracciare la carta di Smith delle ammettenze normalizzate Y' .

Le equazioni che permettono di passare dalla configurazione serie (Z , R e X) alla configurazione parallelo (Y , G e B) e viceversa sono le seguenti:

$$Y = G + jB = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} \quad 14.12$$

$$Z = R + jX = \frac{G}{G^2 + B^2} - j \frac{B}{G^2 + B^2} \quad 14.13$$

L'ammettenza Y normalizzata, posto $Y_0=1/Z_0$ si ottiene dalla 14.14:

$$Y' = G' + jB' = G/Y_0 + jB/Y_0 = G \cdot Z_0 + jB \cdot Z_0 \quad 14.14$$

La relazione inversa che restituisce l'ammettenza NON normalizzata é:

$$Y = G + jB = G' \cdot Y_0 + jB' \cdot Y_0 = G'/Z_0 + jB'/Z_0 \quad 14.15$$

La carta che esce è, rispetto a quella di figura 14-5, ruotata di 180° rispetto al centro ed è rappresentata in figura 14-6. Ruotando di 180° la carta di figura 14-5 la metà sotto a reattanze negative nella 14-6 passa sopra quindi la carta di Smith delle ammettenze ha

nel semicerchio sopra le suscettanze negative (quelle induttive) e sotto quelle positive (capacitive) esattamente l'opposto di ciò che avviene nella carta di Smith delle impedenze. Oltre al segno delle suscettanze, il punto comune a tutti i cerchi passa da destra a sinistra ma il circuito aperto resta a DX (suscettanza nulla) così come il corto circuito resta a SX (suscettanza ∞); così come le induttanze restano nel semidisco sopra e le capacità in quello sotto. In pratica i componenti veri restano al loro posto ruotano solo i cerchi e gli archi.

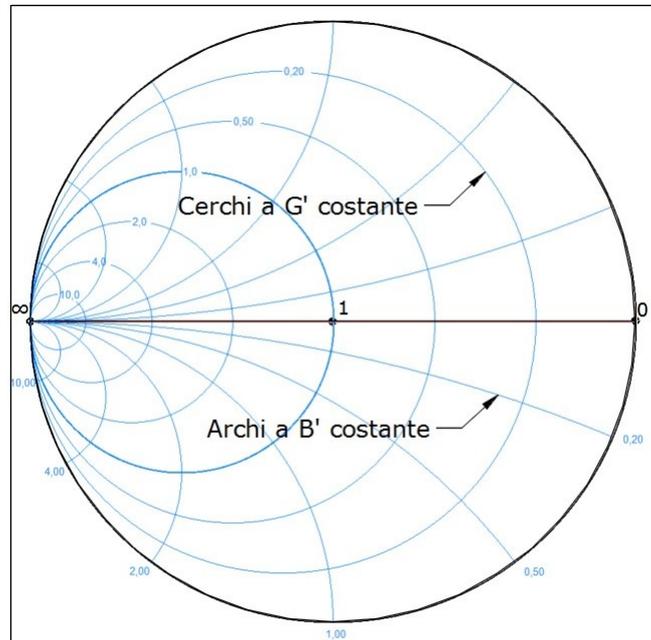


Figura 14-6: Carta di Smith delle ammettenze

Per cui, sul diametro centrale della carta vi sono ancora tutte le ammettenze che hanno suscettanza $B'=0$; quindi sono tutti i valori reali. A sinistra c'è ancora il corto circuito $G'=\infty$, al centro l'adattamento perfetto $G'=1$ mentre a destra si ha il circuito aperto $G'=0$.

Dalla suscettanza, quando positiva, si ricava la capacità:

$$C = \frac{B_C}{2\pi f} \quad \text{in Farad} \quad 14.16$$

mentre se negativa si ricava l'induttanza:

$$L = -\frac{1}{2\pi f B_L} \quad \text{in Henry} \quad 14.17$$

Quindi il cerchio indicato dalla freccia di figura 14-5 ha $R'=0,5$ che corrisponde a $R=25$ Ohm mentre l'arco indica $X'=1$ che corrisponde a $X=50$ Ohm. Allo stesso modo se ci riferiamo alla figura 14-6 avremo $G'=0,2$ e $B'=0,2$ (perché nella semicirconferenza inferiore le suscettanze sono positive) quindi i valori NON normalizzati con la 14.15 sono $G=0,004$ Siemens, $B=0,004$ Siemens.

Tutto questo per dire che se al nostro carico disadattato viene posto in serie un dispositivo reattivo (cioè un condensatore o un induttore) la parte reale R del carico risultante non varierà e quindi la nostra impedenza percorrerà una delle circonferenze a R costante di figura 14-5 (quelle rosse) intercettando più o meno archi a seconda del valore della reattanza messa in serie. Le capacità tenderanno a far diminuire la reattanza del carico disadattato mentre le induttanze la faranno aumentare.

Se invece al nostro carico disadattato viene posto in parallelo un dispositivo reattivo la parte reale G (conduttanza) del carico risultante non varierà e quindi la nostra ammettenza percorrerà una delle circonferenze a G costante di figura 14-5 (quelle blu) intercettando più o meno archi a seconda del valore della suscettanza B messa in serie. Le capacità

tenderanno sempre a far diminuire la reattanza X (la B aumenta ma la X diminuisce) del carico disadattato mentre le induttanze la faranno aumentare. La figura 14-7 rappresenta l'inserimento di una capacità in serie ed in parallelo.

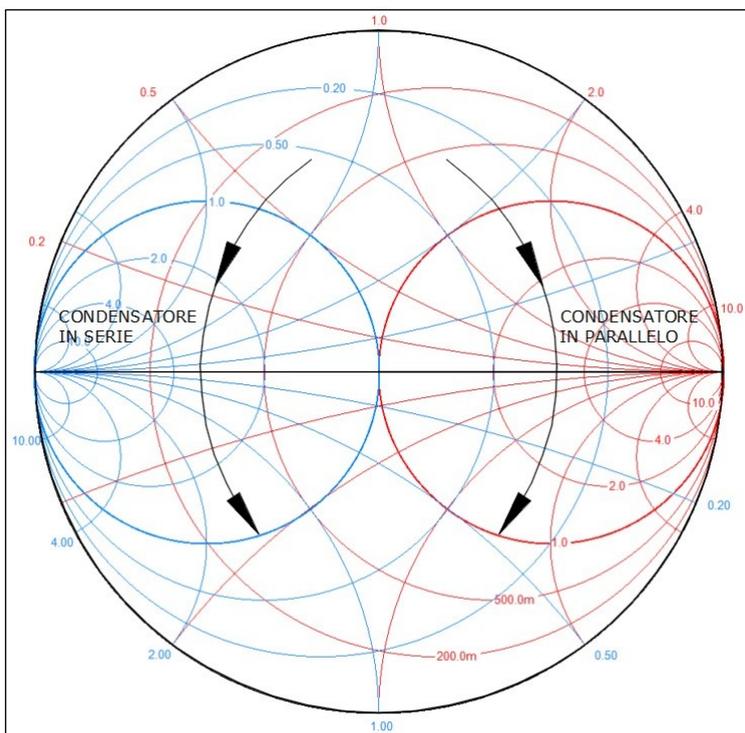


Figura 14-7: Capacità in serie e in parallelo

Allo stesso modo la figura 14-8 rappresenta l'inserimento di un'induttanza in serie ed in parallelo.

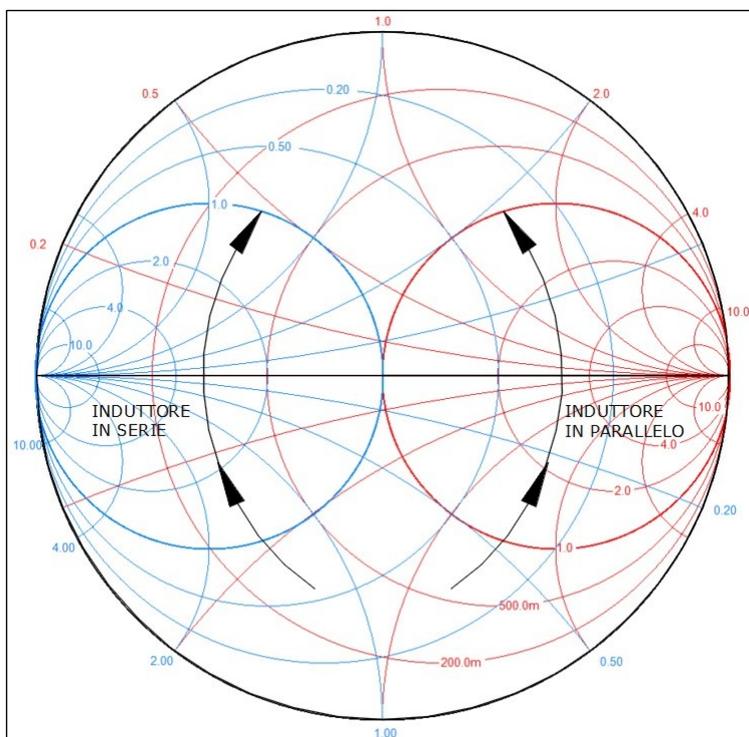


Figura 14-8: Induttore in serie e in parallelo

Stampatevi in testa le figure 14-7 e 14-8 perché risulteranno molto utili per individuare il componente da mettere in serie o in parallelo ai carichi disadattati per raggiungere l'adattamento perfetto.

Facciamo un esempio perché altrimenti ci perdiamo.

Ipotizziamo d'avere un carico disadattato $Z_1=150-j50$ @14,000MHz, di voler mettere un condensatore in parallelo di capacità C pari a 82pF e voler sapere il valore dell'impedenza finale Z_2 . Col metodo classico, cioè con la carta di Smith cartacea, occorre prima normalizzare Z_1 a $Z_0=50$ Ohm con la 14.10 e poi trovare l'ammettenza equivalente con la 14.12 (perché con elementi in parallelo è meglio usare la carta delle ammettenze):

$$Z'_1 = R/Z_0 + jX/Z_0 = 150/50 - j50/50 = 3 - j1 \quad 14.18$$

$$Y'_1 = \frac{R'}{R'^2 + X'^2} - j \frac{X'}{R'^2 + X'^2} = 3/10 + j1/10 = 0,3 + j0,1 \quad 14.19$$

Il punto da trovare sulla carta di Smith delle ammettenze (linee color blu) è $Y'_1=0,3+j0,1$ che chiameremo punto P1. Calcoliamo ora il valore della suscettanza normalizzata B'_c da aggiungere al carico col condensatore in parallelo, ciò per poter percorrere il cerchio a conduttanza costante $G'_1=0,3$ a partire dal punto P1 con $B'_1=0,1$. La suscettanza da aggiungere la calcoliamo invertendo la 14.16:

$$B_c = 2\pi fC = 6,28 \cdot 14 \cdot 10^6 \cdot 82 \cdot 10^{-12} = 7,20 \cdot 10^{-3} \text{ Siemens} \quad 14.20$$

che normalizzata con la 14.14 diventa:

$$B'_c = jB_c \cdot Z_0 = j7,20 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = j0,36 \quad 14.21$$

Poiché il condensatore viene posto in parallelo le suscettanze si sommano ed il punto P2 ha ammettenza normalizzata Y'_2 :

$$Y'_2 = G'_1 + j(B'_1 + B'_c) = 0,3 + j(0,1 + 0,36) = 0,3 + j0,46 \quad 14.22$$

Quindi dovremo percorrere il cerchio blu della carta di Smith delle ammettenze a $G'=0,3$ dal punto P1 verso il basso, perché inseriamo un condensatore, finché non incontriamo l'arco azzurro con $B'_2=0,46$. In figura 14-9 c'è la rappresentazione grafica dell'operazione.

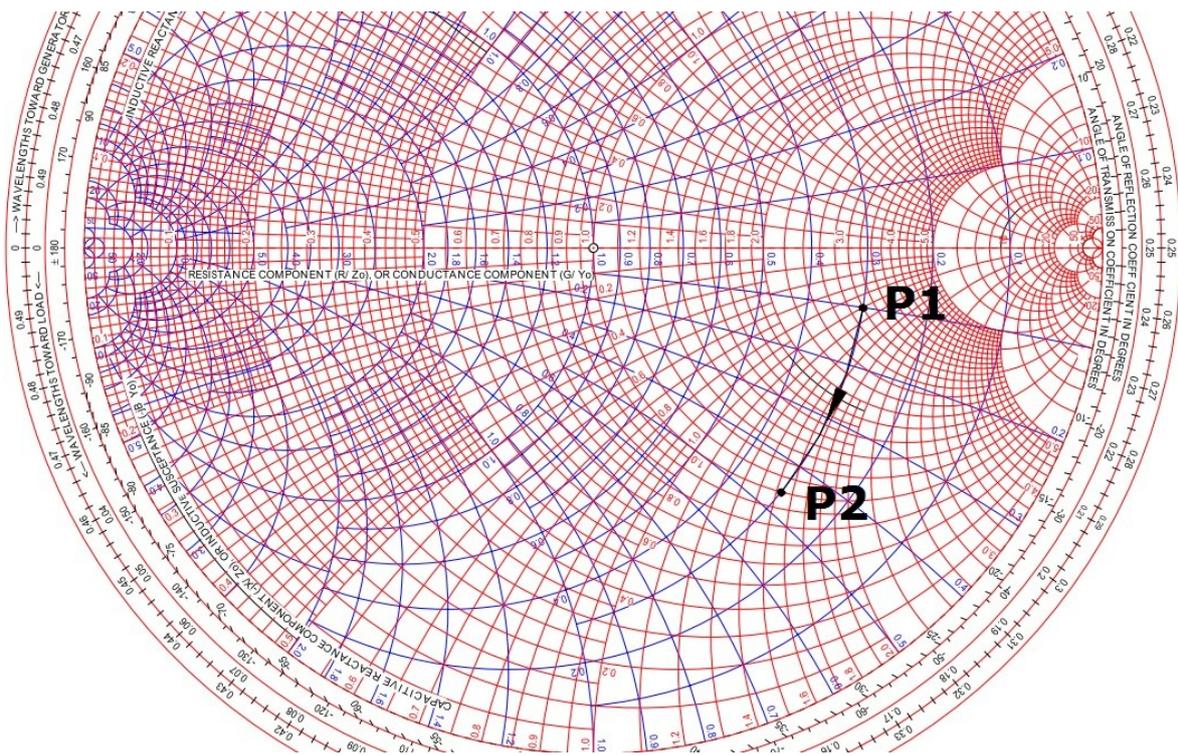


Figura 14-9: Capacità in parallelo col metodo classico

Ora non ci resta che trovare l'equivalente Z'_2 con la 14.15 e poi de-normalizzare con la 14.11 per trovare finalmente la Z_2 .

$$Z'_2 = \frac{G'_2}{G'^2_2 + B'^2_2} - j \frac{B'_2}{G'^2_2 + B'^2_2} = \frac{0,3}{0,3016} - j \frac{0,46}{0,3016} = 0,994 - j1,525 \quad 14.23$$

$$Z_2 = R' \cdot Z_0 + jX' \cdot Z_0 = 0,994 \cdot 50 - j1,525 \cdot 50 = 49,7 - j76,25 \text{ Ohm} \quad 14.24$$

Notate che la Z_2 risultante ha la parte reale praticamente adattata perché il punto P2 cade proprio sul cerchio delle resistenze normalizzate (quello rosso) uguale ad 1. L'esempio

non è stato scelto a caso infatti se ora percorriamo il cerchio rosso a resistenza costante dal punto P2 al centro della carta (punto P3) avremo ottenuto l'adattamento a 50 Ohm. Poiché il tratto viene percorso sul cerchio rosso si tratta di mettere una reattanza in serie al carico Z_2 e dato che il tratto è percorso verso l'alto sarà un'induttanza. Il suo valore deve essere tale da compensare la parte reattiva del carico Z_2 , e cioè:

$$X_2 = X_L = 76,25 \text{ Ohm} \quad 14.25$$

Tale reattanza alla frequenza di 14,000MHz, dalla 14.9 è:

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{76,25}{6,28 \cdot 14 \cdot 10^6} = 867 \text{ nH} \quad 14.26$$

Graficamente diventa come in figura 14.10 cioè un adattamento di tipo A.

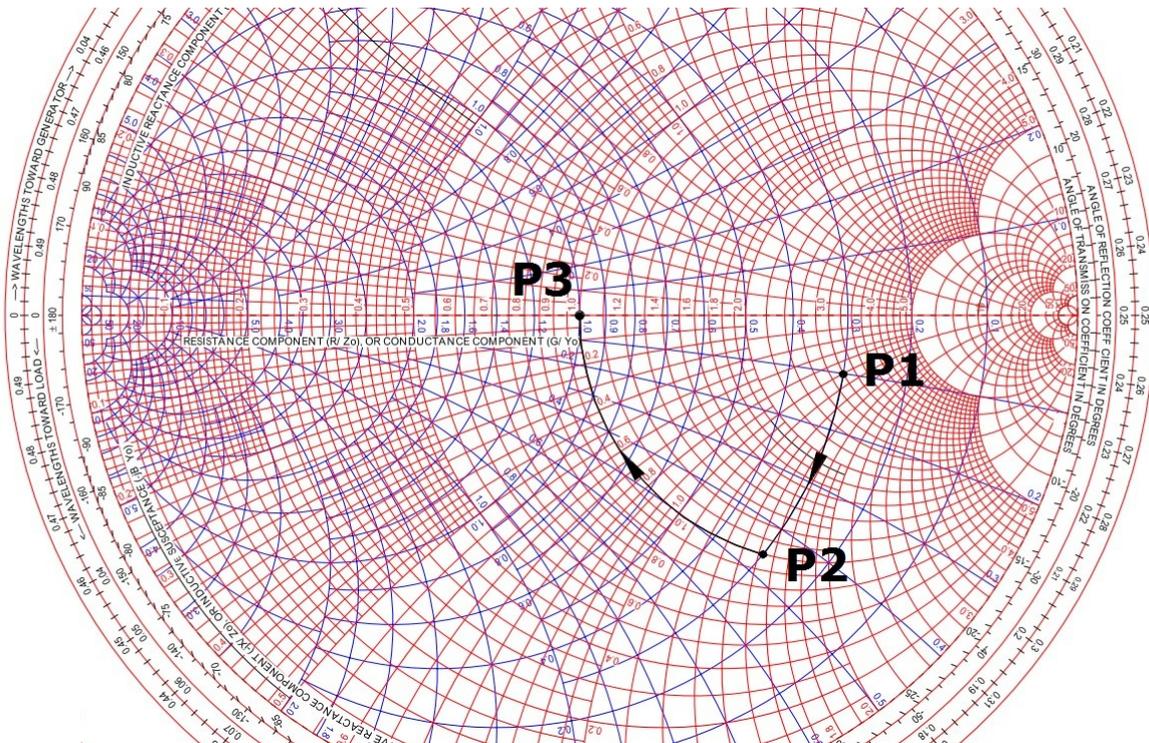


Figura 14-10: Con induttore in serie

Con metodo simile avremmo potuto realizzare l'adattamento col tipo B; cosa che vi lascio come esercizio.

Infine vi faccio notare che se cambiassimo la frequenza le cose cambierebbero radicalmente al punto che non vi sarebbe più l'adattamento. Ciò conferma che l'adattamento energetico è dipendente dalla frequenza ed è valido solo per una piccola banda intorno alla frequenza di accordo.

Il metodo classico non è decisamente semplice ma vedremo che se utilizziamo un SW per la carta di Smith (io uso quello in [2] perché ho licenza d'uso ma ce ne sono diversi free) possiamo evitare di fare tanti calcoli e quindi errori; inoltre i SW per le carte di Smith usano carte che lavorano direttamente alla Z_0 che si vuole (quindi non normalizzate), ed alla frequenza che si vuole; una pacchia! Per questo motivo d'ora in avanti userò il SW [2].

Prima di terminare questa trattazione teorica, voglio ricordare che le reti di adattamento a due componenti non sono solo quelle di figura 14-4 ma, in casi più ristretti, si possono utilizzare anche le reti con reattanze dello stesso tipo; vedi figura 14-11.

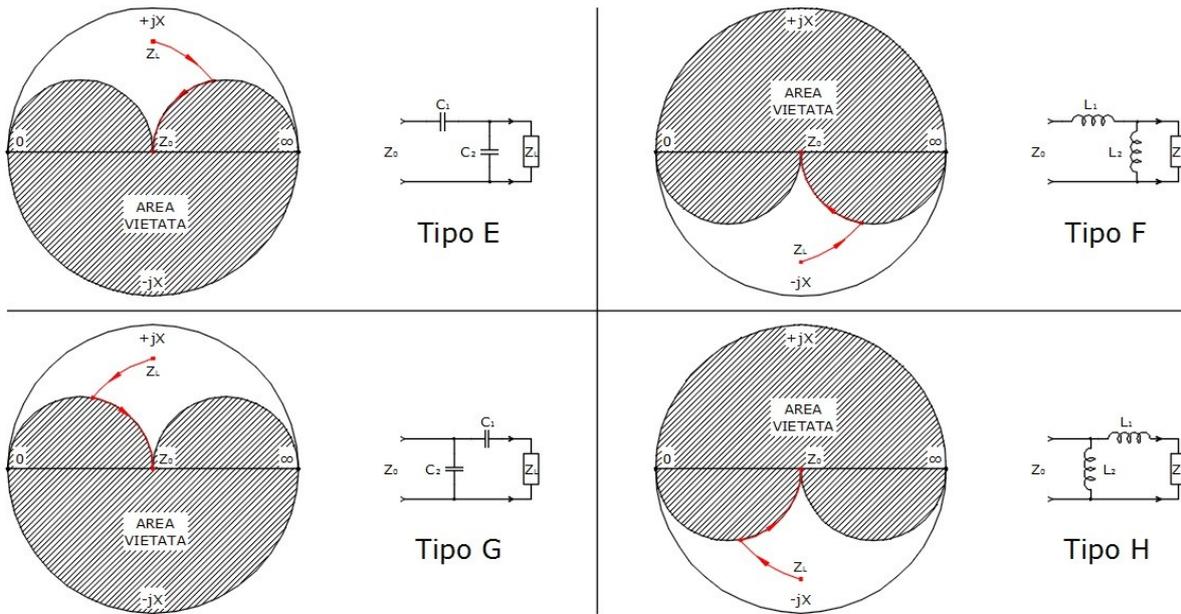


Figura 14-11: Reti di adattamento con reattanze dello stesso tipo

Il metodo grafico è sempre quello visto nell'esempio: se si aggiungono suscettanze in parallelo si seguono i cerchi blu se si aggiungono reattanze in serie si seguono i cerchi rossi; le induttanze sono "leggere" tirano in sù mentre le capacità sono "pesanti" tirano in giù.

4. Adattamento col VNA

Ora vediamo di adattare un carico disadattato, come un'antenna verticale, con l'ausilio del VNA. La prima cosa da fare è calibrare il VNA col kit SOL per portare il piano di misura alla fine dello spezzone di cavo che useremo per fare la misura del nostro carico disadattato. Non è necessario utilizzare più porte basta un VNA ad una porta ed io ho usato il mio analizzatore d'antenna.

Fatto ciò colleghiamo il VNA, col cavo di prolunga usato nella calibrazione, esattamente nel punto dove vogliamo mettere la rete di adattamento a due componenti e svolgiamo la misurazione; figura 14-12. Ho riportato a fianco i dati misurati; notate la posizione del piano di misura dopo la calibrazione.

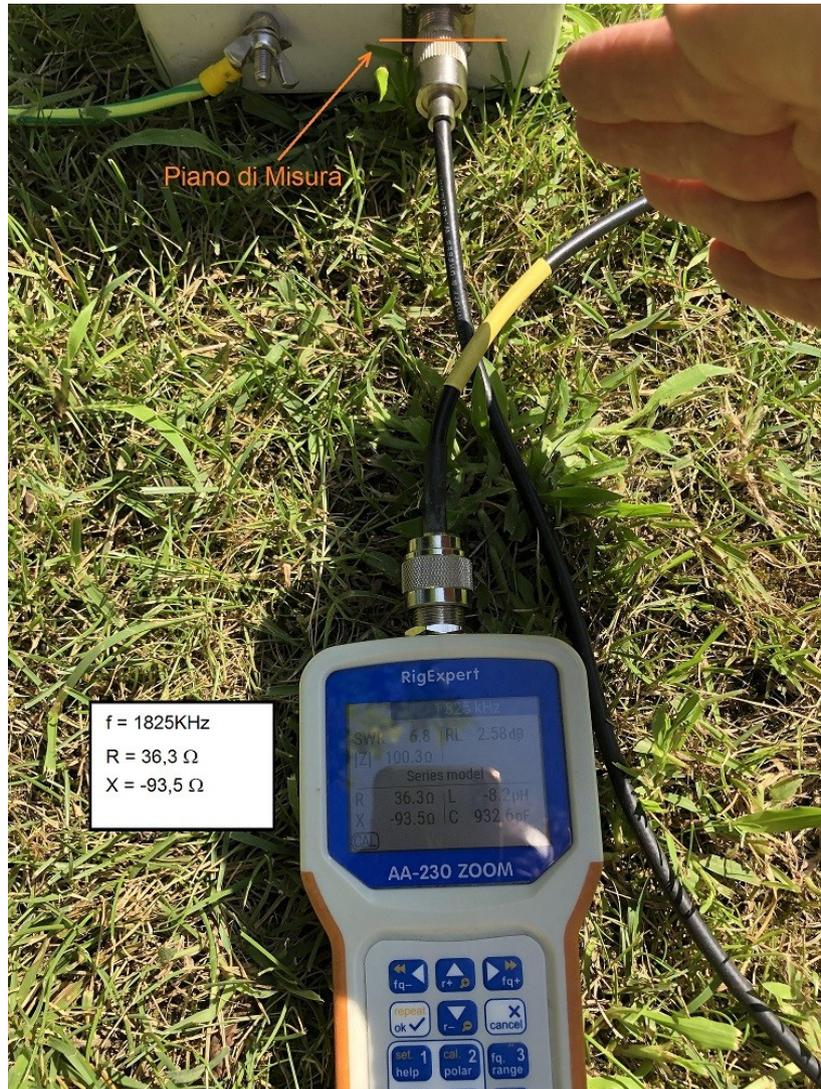


Figura 14-12: Set up di misura

Poiché la misura è risultata $Z=36,3-j93,5$ ci troviamo nel semidisco capacitivo della carta di Smith e precisamente nel punto DP1 di figura 14-13. Tale posizione permette gli adattamenti di tipo: B, C, F ed H.

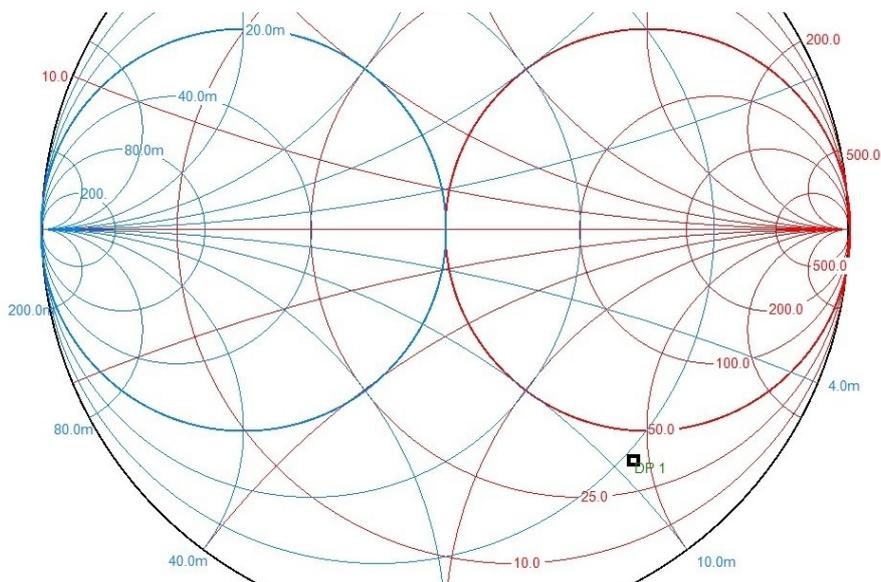


Figura 14-13: Punto di partenza DP1

Le tipologie con gli induttori in parallelo sono da preferire perché si tratta di un'antenna verticale di dimensioni ragguardevoli (24m) quindi esposta alle scariche elettrostatiche dovute alle condizioni meteo. Per cui scegliamo l'adattamento tipo B.

Quindi il primo dispositivo da aggiungere è un'induttanza in parallelo tale da incontrare il cerchio a 50 Ohm (rosso) nel semidisco superiore (punto TP2) e poi mettere in serie una capacità tale da raggiungere il centro della carta (punto TP3); figura 14-14.

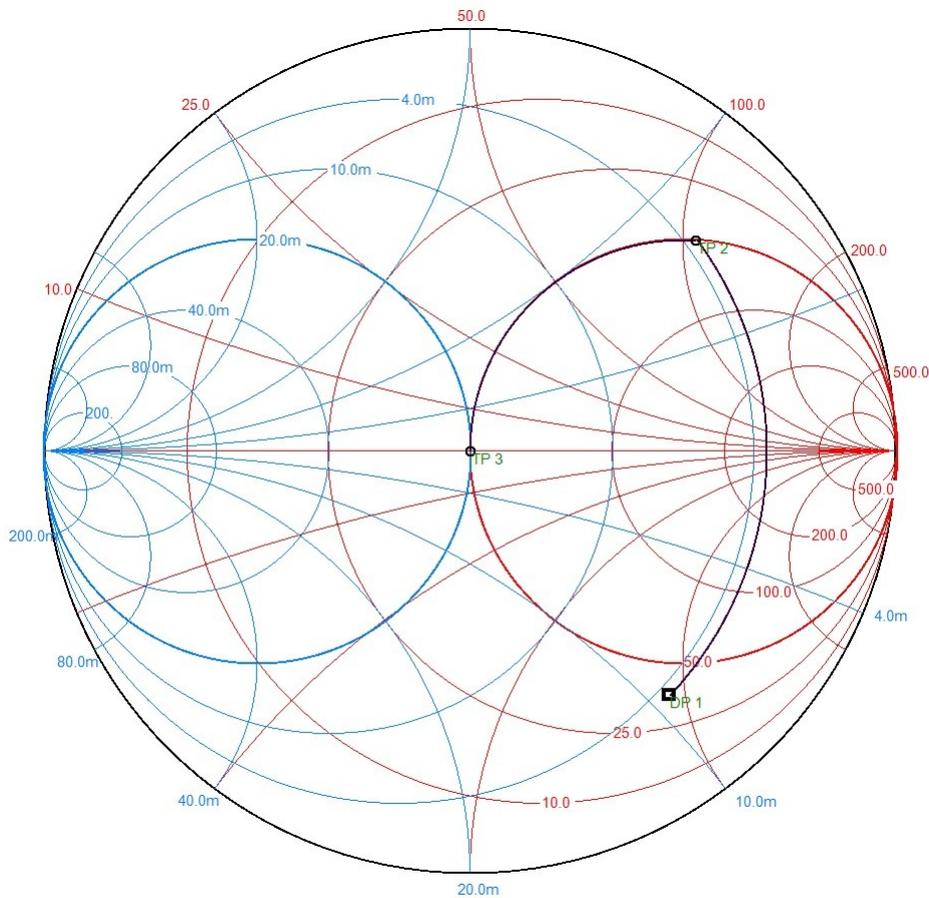


Figura 14-14: Adattamento tipo B

Con l'ausilio del SW [2] si ricavano immediatamente i valori di $L=5,1\mu\text{H}$ e di $C=818\text{pF}$ alla frequenza di 1825KHz. La rete di adattamento, quindi, è quella di figura 14-15.

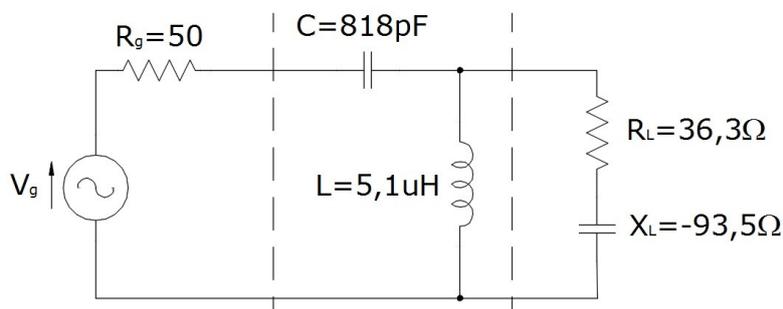


Fig.14-15

Figura 14-15: Carico disadattato con rete di adattamento a L

Prepariamo ora una schedina come quella di figura 14-16 ove abbiamo collegato il carico Z_L creato con resistenze e condensatori discreti, di buona qualità.

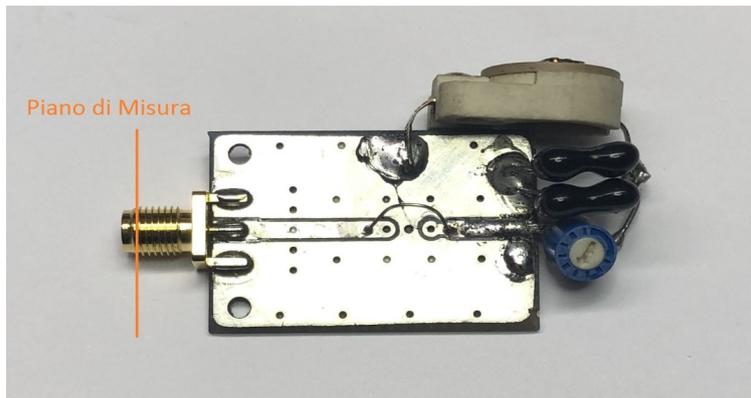


Figura 14-16: Schedina di prova con carico da adattare

La capacità del carico da adattare C_L , alla frequenza di lavoro, sarà data dalla 14.8:

$$C_L = -\frac{1}{2\pi fX_L} = \frac{1}{6,28 \cdot 1825 \cdot 10^3 \cdot 93,5} = 933 \text{ pF} \quad 14.27$$

capacità ottenuta dal parallelo di alcuni condensatori in mica argentata: 390pF+470pF+compensatore ceramico da 100pF; in serie alla capacità verso massa c'è un trimmer resistivo da 100 Ohm, che simula la resistenza. Un cavallotto cortocircuita il gap che c'è in mezzo alla pista, ove verrà posto l'elemento serie.

Dopo aver calibrato il VNA, e aver portato il piano di misura nella posizione che vedete in figura 14-16, si lancia una scansione per verificare che il risultato sia quello atteso (figura 14-17).

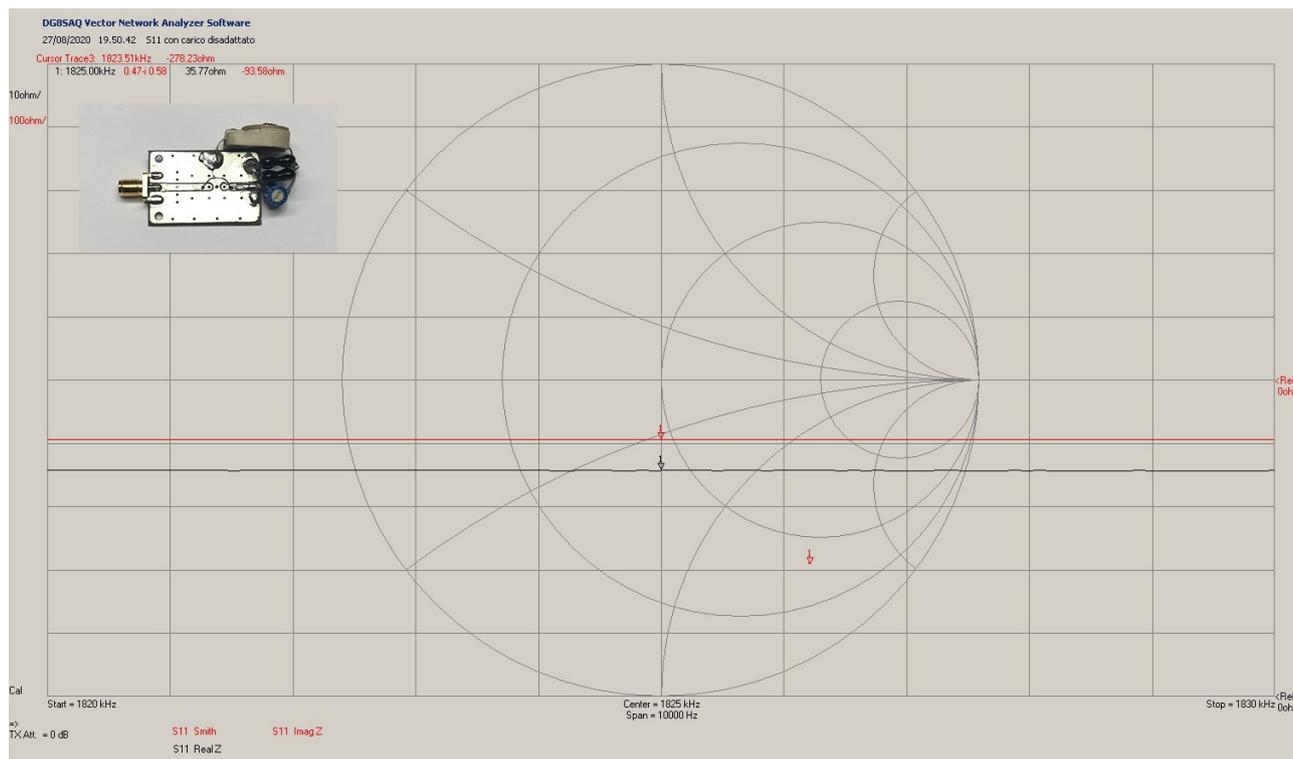


Figura 14-17: Carico disadattato; punto DP1 sulla carta di Smith

Col SW Mini Ring Core Calculator [3] si calcola l'induttanza. Io ho utilizzato un core T50-2 ove ho avvolto 32 spire. L'induttanza così ottenuta è intorno ai 5,1 μH (figura 14-8).

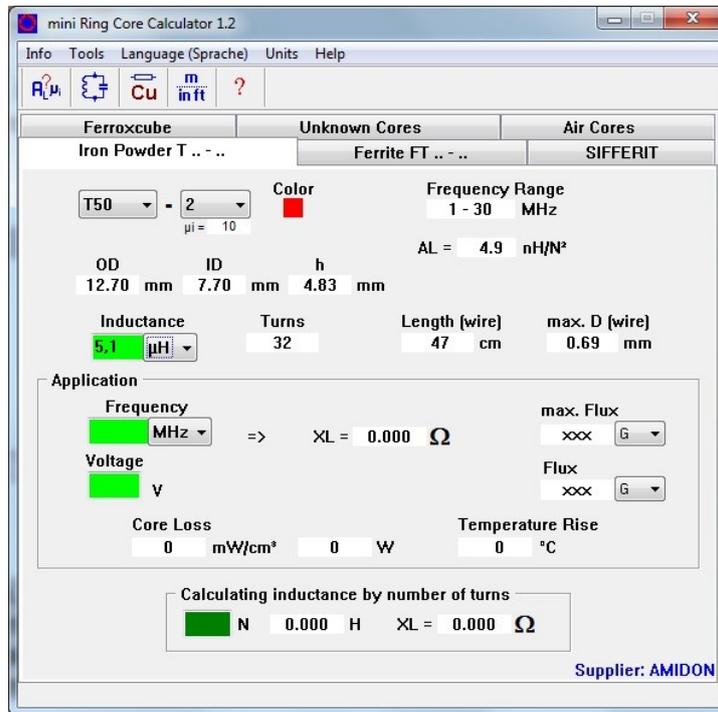


Figura 14-18: Mini Ring Core Calculator, calcolo induttanza

Inserita l'induttanza in parallelo al carico disadattato di figura 14-16 e lanciata la scansione si ottiene:

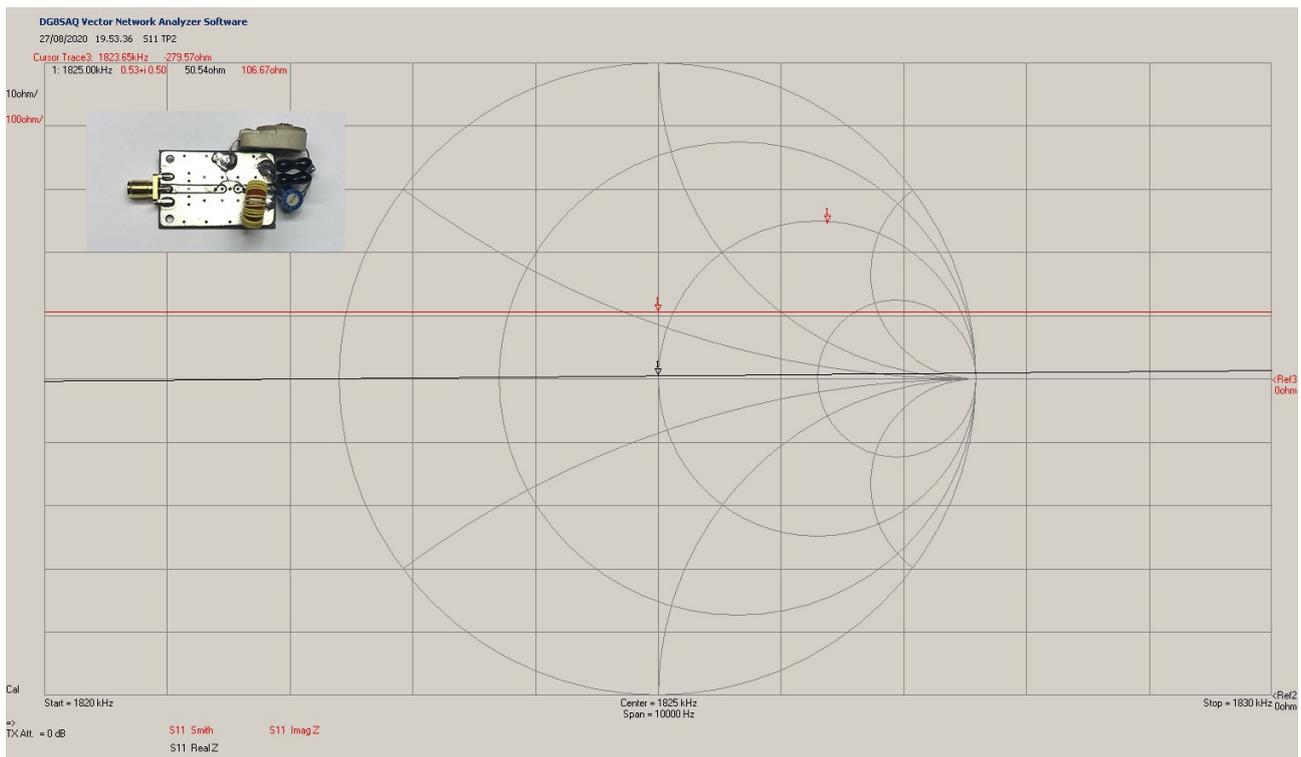


Figura 14-19: Carico disadattato con in parallelo induttanza da 5,1uH; punto TP1

Notate che, in seguito all'inserimento dell'induttanza, il punto sulla carta si è spostato esattamente sul cerchio unitario (figura 14-19), cioè quello con resistenza $R=50$ Ohm, che corrisponde esattamente al punto TP1.

Ora non resta che togliere il cavallotto e mettere al suo posto un condensatore da 820pF. L'effetto è quello che vedete in figura 14-20, cioè quello di perfetto adattamento; punto TP2.

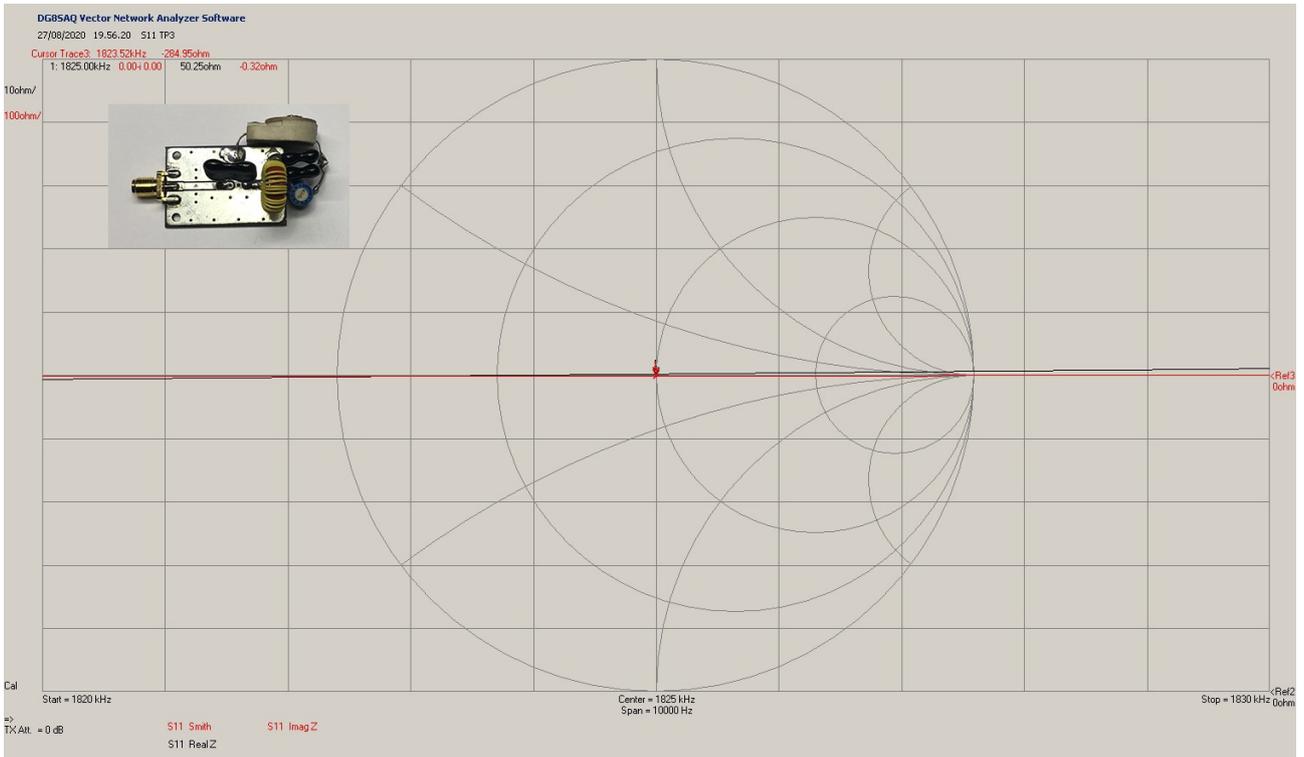


Figura 14-20: Perfetto adattamento; punto TP2

Poiché il perfetto adattamento si ha solo in un intorno della frequenza di calcolo, col VNA, verifichiamo la larghezza della banda intorno al punto di massimo trasferimento dell'energia. Tutto ciò per trovare il range di frequenza entro il quale l'SWR risulta inferiore ad 1,2; curva blu di Figura 14-21.



Figura 14-21: Limite SWR=1,2 tra i marker 2 e 3

Il marker 2 segna 1789KHz ed il marker 3 segna 1875KHz, la larghezza di banda ove l'SWR è minore di 1,2 è di 86KHz. Non è molto grande ma come vedete è ancora accettabile.

Non tutti i mali vengono per nuocere infatti al di fuori della banda passante la rete di adattamento funge da filtro (passa alto) e contribuisce a selezionare le frequenze utili da quelle indesiderate, che saranno respinte al mittente sotto forma di onda stazionaria. Vi faccio notare che le tipologie A e C sono dei passa basso mentre le tipologie B ed E sono dei passa alto.

La larghezza della banda è strettamente legata al fattore di merito Q complessivo, che altro non è che il rapporto tra la parte reattiva X e la parte resistiva R dell'impedenza Z:

$$Q = \frac{|X|}{R} \quad 14.28$$

Tale rapporto è rappresentato sulla carta di Smith da archi a Q costante che potete vedere in figura 14-22 tracciati color blu.

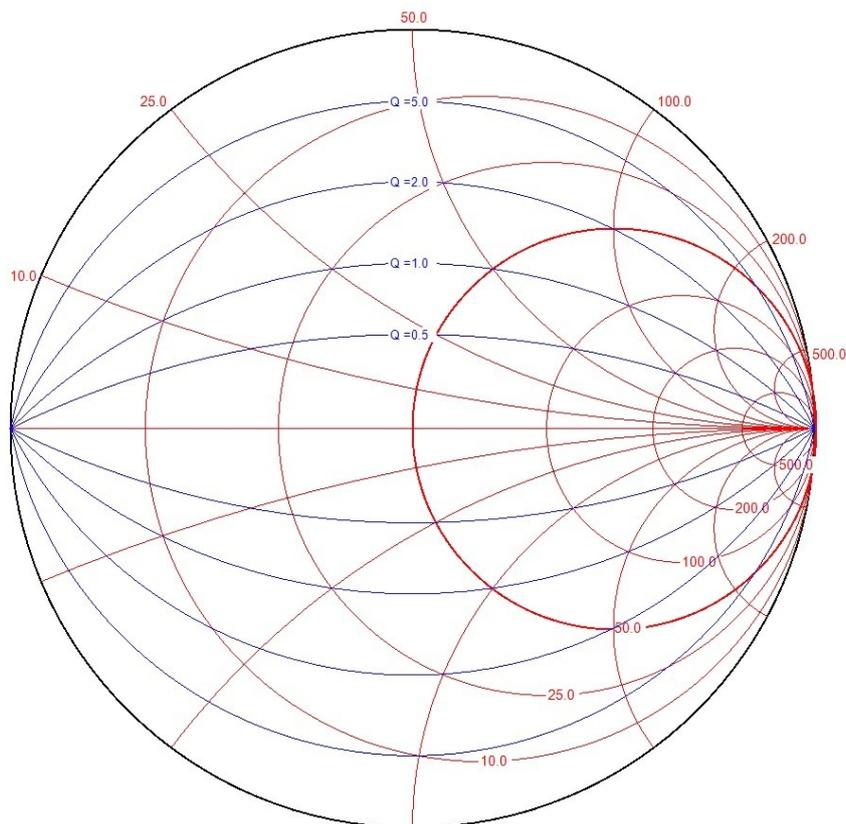


Figura 14-22: Archi a Q costante

Se avessimo voluto mantenere il Q al di sotto di un certo valore avremmo dovuto usare un altro sistema di adattamento a più sezioni; ma questa è un'altra storia.

Ovviamente la simulazione col VNA sul carico simulato ha un significato illustrativo della teoria svolta nel paragrafo precedente. Nella pratica si realizzano subito i componenti che si intendono inserire nel punto in cui si è svolta la misura; nel mio caso sul piano di misura di figura 14-12.

I componenti dovranno essere di buona qualità (cioè avere piccoli elementi parassiti) e dovranno tenere la potenza. Solitamente il condensatore è di tipo variabile, in aria, e l'induttanza si realizza con filo in alluminio, di generosa sezione, avvolta anch'essa in aria. Ma anche qui la fantasia si sbizzarrisce.

Una volta inserita la rete di adattamento nel punto stabilito utilizzeremo di nuovo il VNA per verificare la bontà dell'adattamento, collegando il VNA a valle della rete di adattamento col metodo indicato in figura 14-12.

5. Indice

1. Premessa.....	1
2. Adattamento energetico.....	1
3. Reti di adattamento.....	2
4. Adattamento col VNA.....	9

6. Bibliografia

- 1: P. H. Smith, Electronic applications of the Smith chart, 2006
- 2: Prof. Fritz Dellsperger, M. Baud; Smith V4.1; Bern University May/2018
- 3: Mini Ring Core Calculator V1.2; AMIDON