



**Sezione
di
Pisa**

Stasera parliamo di

VNA

Vector Network Analyzer

Introduzione all'uso del VNA e della carta di Smith

13/03/2026 © ARI Sezione di Pisa - i5WHC



Sezione di Pisa

L'enorme sviluppo delle tecnologie digitali ha reso disponibili microprocessori con enorme potenza di calcolo a prezzi irrisori.

Questo ha permesso tra le varie cose la realizzazione di strumenti di misura a costi abbordabili per l'hobbista, strumenti che fino a non molto tempo fa erano disponibili solo a livello professionale ed a costi elevatissimi.

Un esempio è dato dalla grande diffusione in ambito amatoriale del NanoVNA, strumento economico ma molto potente la cui descrizione sarà oggetto di questa serata.

Introduzione all'uso del VNA

Prima di addentrarci nella descrizione dello strumento è opportuno fare alcune considerazioni preliminari:

VNA è l'acronimo di Vector Network Analyzer e cioè Analizzatore Vettoriale di Rete

*Per comprendere meglio il funzionamento e l'utilizzo di un VNA è opportuno definire la differenza che esiste tra una grandezza «**Scalare**» e una grandezza «**Vettoriale**» e la conseguente differenza che esiste tra misurare grandezze scalari e grandezze vettoriali*

Introduzione all'uso del VNA

La fisica definisce grandezze «scalari» tutte quelle grandezze che sono definite dal solo valore numerico e dalla relativa unità di misura senza che il suo valore cambi in base all'orientamento o al sistema di riferimento utilizzato, ad esempio sono grandezze scalari: pressione, temperatura, densità, volume, tempo, massa, energia, ecc.

Si definiscono invece grandezze «vettoriali» tutte quelle grandezze che sono definite oltre che da un valore numerico (modulo) anche da una direzione e da un verso (fase o argomento), a differenza delle grandezze scalari una grandezza vettoriale varia in funzione del sistema di riferimento utilizzato. Sono grandezze vettoriali ad esempio: forza, velocità, accelerazione, campo elettrico, campo magnetico, ecc.

Per «misurare» una grandezza scalare è sufficiente misurarne il suo valore numerico mentre per misurare una grandezza vettoriale oltre al suo valore numerico (modulo) dobbiamo misurare anche il suo angolo di fase (argomento)

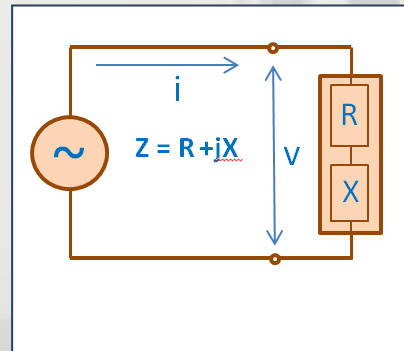
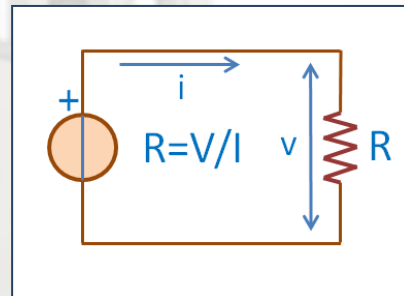
Introduzione all'uso del VNA

Definizione di «impedenza»:

L'impedenza è una grandezza elettrica che rappresenta la caratteristica di un conduttore di «opporsi» al passaggio della corrente ed è pari al rapporto tra la tensione V applicata ai suoi capi e la corrente I che circola nel conduttore.

In regime di correnti continue il rapporto tra tensione e corrente è una grandezza scalare (resistenza) in quanto tra tensione e corrente non c'è mai differenza di fase.

In regime di correnti alternate il valore di questo rapporto (impedenza) è invece una grandezza vettoriale in quanto tra tensione e corrente può essere presente una differenza di fase.

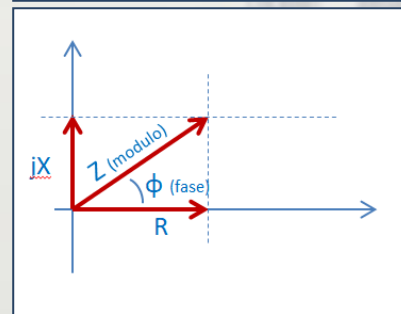
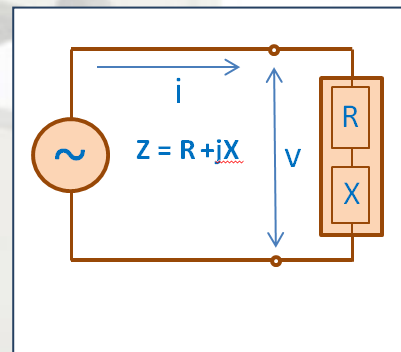


Introduzione all'uso del VNA

Definizione di «impedenza»:

Il valore dell'impedenza può quindi essere espresso in forma vettoriale (modulo e fase) o molto più comunemente sotto forma di «numero complesso» nella forma «a+jb» dove «a» rappresenta la componente «resistiva» R , mentre «jb» rappresenta la componente «reattiva» X .

Tra la tensione ai capi di R e di X c'è sempre una differenza di fase pari a 90° ($\pi/2$) che è positiva se la reattanza X è «induttiva» è invece negativa se la reattanza X è «capacitiva»

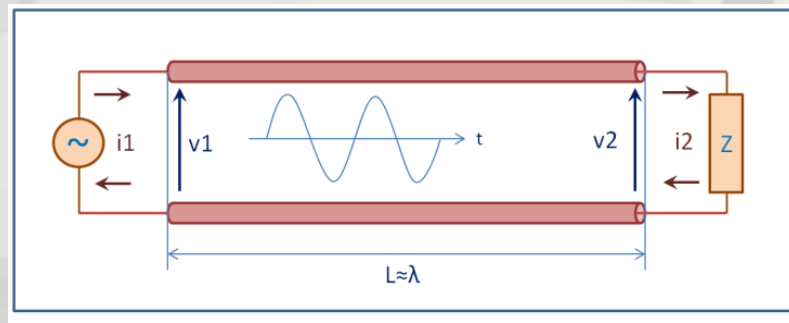
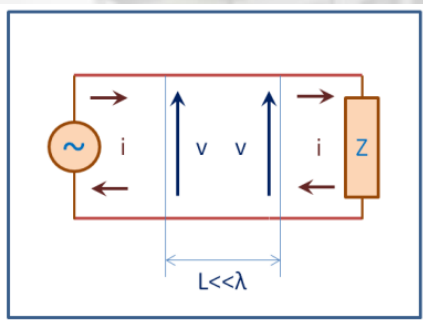


Introduzione all'uso del VNA

Con le regole dell'elettrotecnica classica lo studio del comportamento di un circuito elettrico in regime di correnti alternate non tiene conto delle dimensioni fisiche del circuito stesso ipotizzando che il tempo di propagazione delle cariche elettriche nel circuito sia «nullo».

Questa ipotesi può considerarsi valida fintanto che le dimensioni fisiche dei circuiti in esame risultano molto minori della lunghezza d'onda dei segnali che li percorrono.

Se invece la dimensione del circuito non è trascurabile rispetto alla lunghezza d'onda, la distribuzione delle tensioni e delle correnti nel circuito non può più essere considerata uniforme. Questo avviene quando il «periodo» ($1/F$) del segnale elettrico non è trascurabile rispetto al tempo che il segnale impiega per percorrere il circuito stesso e il suo comportamento deve quindi essere analizzato con la «Teoria delle Linee di Trasmissione».



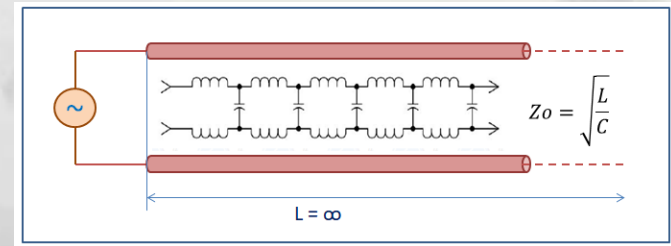
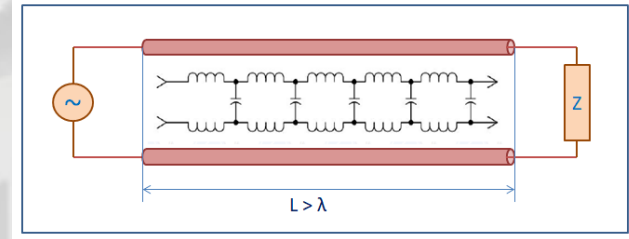
Teoria delle «Linee di Trasmissione»

Senza entrare nello specifico della teoria delle linee di trasmissione proviamo però a fissare alcuni concetti base che ci serviranno in seguito per effettuare e interpretare correttamente le misure che andremo ad eseguire:

Una linea di trasmissione può sempre essere assimilata ad un circuito LC a costanti distribuite e quando è chiusa su una impedenza Z uguale alla propria **impedenza caratteristica Z_0** si comporta come una linea di lunghezza infinita nella quale il segnale **si propaga solo in modo progressivo**, la stessa si presenta al generatore con una impedenza Z_0 il cui valore è pari a:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

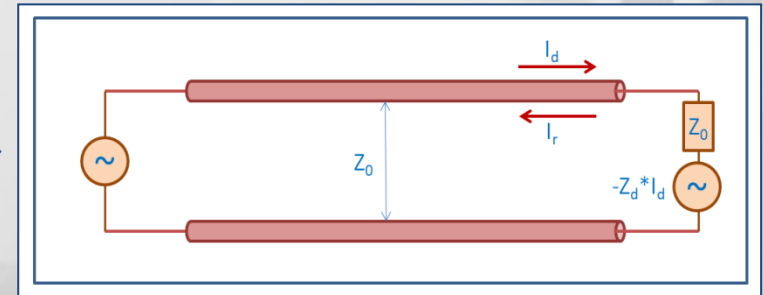
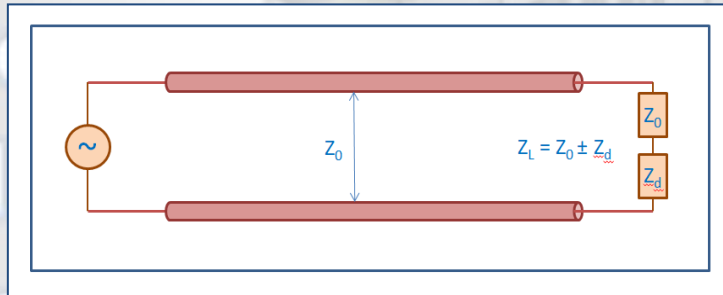
L = Induttanza per unità di lunghezza
 C = Capacità per unità di lunghezza



Teoria delle «Linee di Trasmissione»

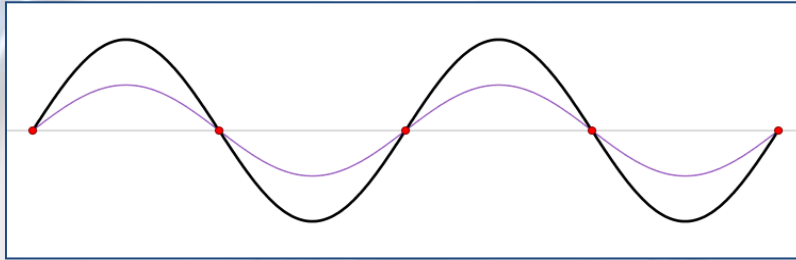
Se terminiamo una linea di trasmissione con un carico la cui impedenza Z_L sia diversa dall'impedenza caratteristica Z_0 della linea, possiamo immaginare l'impedenza di terminazione Z_L come composta dalla serie di due impedenze, la prima di valore Z_0 pari all'impedenza caratteristica della linea, e la seconda di valore Z_d pari alla differenza tra Z_0 e Z_L .

La potenza erogata dal generatore si distribuirà in maniera proporzionale sulle due impedenze, una parte, quella relativa a Z_0 si dissiperà effettivamente in regime di onda progressiva su Z_L mentre la la quota parte dell'energia che si sarebbe dovuta dissipare su Z_d in realtà rappresenta la potenza che riflessa indietro verso il TX darà origine ad un regime di «onde stazionarie» a causa della differenza di ampiezza e fase dei due flussi che si propagano in direzione opposta lungo la linea.

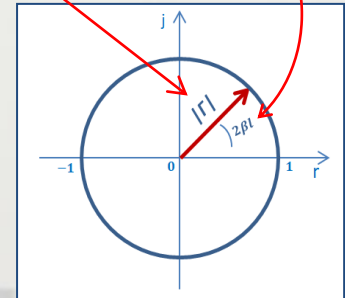


Teoria delle «Linee di Trasmissione»

La composizione dei due flussi isofrequenziali che si propagano in direzione opposta lungo la linea determina, in funzione delle rispettive ampiezze e fasi, valori di tensione e di corrente diversi da punto a punto della linea stessa ma la cui posizione rimane «stazionaria», tali valori si ripetono ciclicamente ogni $\lambda/2$



$$\Gamma = \frac{V_R}{V_D} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} e^{2\beta l}$$



Si definisce «**Coefficiente di riflessione**» Γ (gamma) il rapporto «**vettoriale**» tra la tensione riflessa V_R e la tensione diretta V_D . Il coefficiente di riflessione è quindi una grandezza vettoriale il cui modulo è compreso tra 0 e 1 ($0 < |\Gamma| < 1$) e il cui argomento è compreso tra -180° e $+180^\circ$. E' possibile dimostrare che lungo una linea in regime di onde stazionarie **il modulo del coefficiente di riflessione è costante** mentre l'argomento, dato dalla differenza di fase tra le due componenti, varia lungo la linea **con ciclicità $\lambda/2$**

Teoria delle «Linee di Trasmissione»

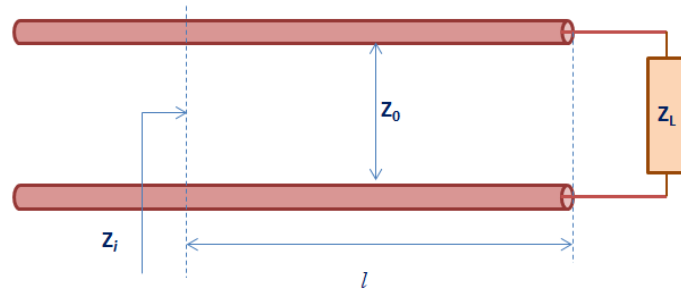
Determinare analiticamente il valore che Z_i può assumere in un punto generico lungo una linea in regime di onde stazionarie non è un calcolo banale e non lo era soprattutto prima dell'avvento dei microprocessori ma da quanto abbiamo visto fino a qui possiamo comunque fare alcune interessanti considerazioni:

- *Il valore che può assumere Z_i è compreso tra un valore massimo Z_{max} e un valore minimo Z_{min} che come abbiamo visto dipendono dal valore del SWR*
- *Anche nel caso in cui Z_0 e Z_L siano valori puramente resistivi lungo la linea Z_i assumerà **alternativamente con ciclicità $\lambda/4$ componenti reattive sia induttive che capacitive tranne che a distanza pari ad un multiplo intero di $\lambda/4$***

Coefficiente di riflessione $\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$

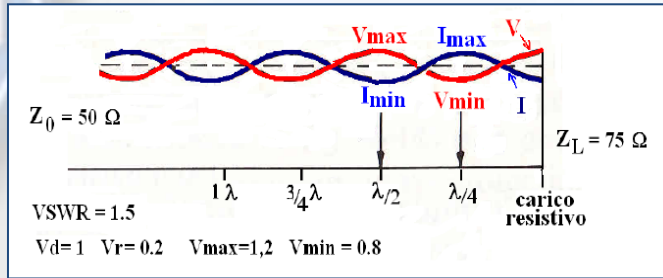
$$Z_i = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)}$$

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$



Teoria delle «Linee di Trasmissione»

*Sempre la teoria delle linee di trasmissione ci dice che il **Rapporto di Onda Stazionaria (ROS o SWR)** è definito come il rapporto tra la tensione massima V_{max} e la tensione minima V_{min} che si determinano lungo una linea in regime di onda stazionaria.*



$$SWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$Z_{min} = \frac{Z_0}{SWR} \quad Z_{max} = Z_0 * SWR$$

*Sebbene in una linea in regime di onde stazionarie i valori di tensione e corrente lungo la linea stessa siano diversi da punto a punto e si ripetano ciclicamente ogni $\lambda/2$, il rapporto tra V_{max} e V_{min} è comunque costante e quindi anche **il valore di ROS risulta costante in ogni punto della linea.***

Non sarà così invece per il valore dell'impedenza che si presenta lungo la linea in quanto le variazioni di ampiezza e fase della tensione e della corrente, lungo la linea stessa, sebbene il ROS sia costante, determinano variazioni di impedenza tra un valore minimo Z_{min} e un valore massimo Z_{max} con ciclicità $\lambda/4$

Introduzione all'uso del VNA

Alla luce di tutto quello che abbiamo visto fino ad ora possiamo adesso comprendere meglio l'affermazione fatta all'inizio:

Quando la dimensione del circuito non è trascurabile rispetto alla lunghezza d'onda dei segnali che lo percorrono, la distribuzione delle tensioni e delle correnti nel circuito non può più essere considerata uniforme e il suo comportamento non può essere analizzato con le regole dell'elettrotecnica classica.

E' per questo motivo che nel tempo sono stati sviluppati modelli teorici che possano dare un valido supporto nell'analisi e nella rappresentazione del comportamento dei circuiti ad alta frequenza. Nel campo RF, tra i tanti, due modelli teorici sono ormai considerati indispensabili per una corretta analisi e rappresentazione del comportamento di un circuito:

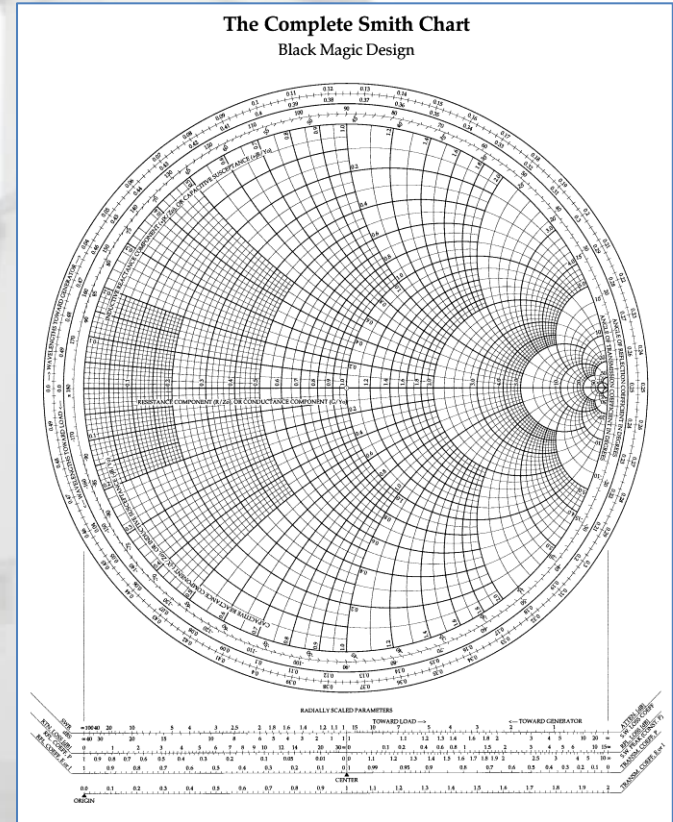
- La rappresentazione del comportamento di un'impedenza o di una linea con la Carta di Smith*
- Lo studio dei quadripoli con i parametri di diffusione (scattering) modello teorico su cui si basano gli analizzatori di reti vettoriali (VNA)*

La carta di SMITH

*Credo che ognuno di noi abbia avuto occasione, almeno una volta, di imbattersi nel «**diagramma polare**» noto come «**carta di Smith**»*

Chi ha un po' di esperienza in materia sa come si tratti di un potentissimo strumento grafico in grado di semplificare il calcolo e la rappresentazione di molti parametri utili in ambito RF tanto che viene correntemente utilizzata nella maggior parte della documentazione tecnica dei componenti RF (datasheet) per indicarne l'andamento dell'impedenza in funzione della frequenza così come nella strumentazione elettronica destinata alle misure RF come gli analizzatori vettoriali di reti (VNA).

Credo quindi sia utile cercare di comprendere meglio come funziona.

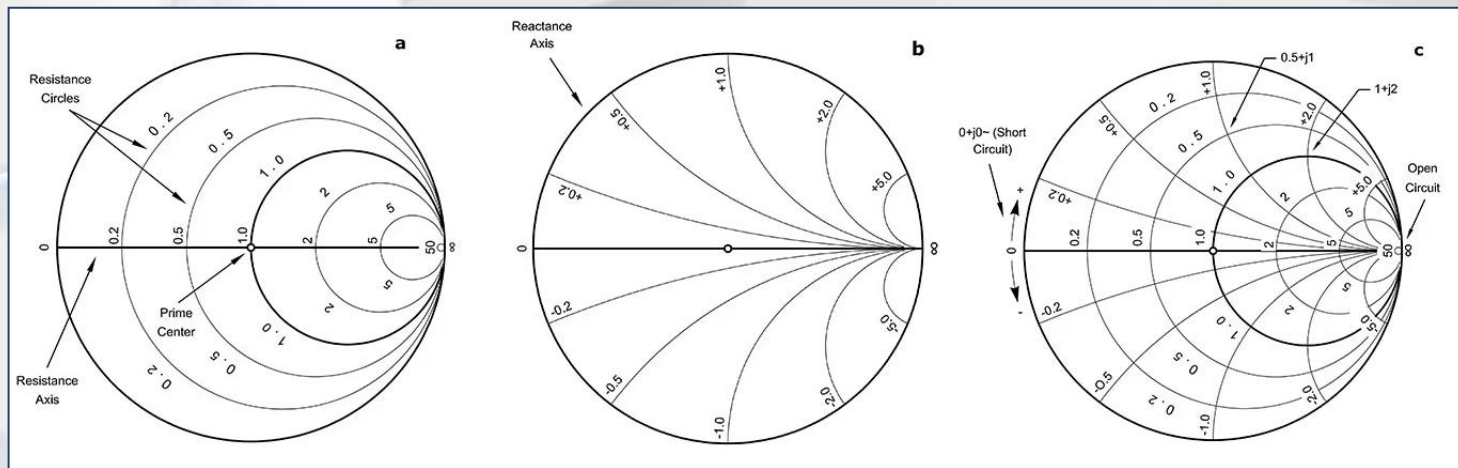


La carta di SMITH

La carta di Smith è un grafico polare del **coefficiente di riflessione complesso (Γ)** inventata dall'ingegnere del Bell Telephone Laboratories **Philip H. Smith** nel 1939.

La particolarità è quella di poter avere una rappresentazione simultanea in forma grafica delle componenti **resistive** e **reattive** di un'impedenza per tutta l'estensione dei valori reali di **R** (tra 0 e ∞) e di **X** (tra $-\infty$ e $+\infty$) il tutto su un unico foglio di carta.

La rappresentazione «polare» permette poi di fare facilmente, come vedremo, una serie di valutazioni/misurazioni anche di altri parametri tipici delle linee di trasmissione RF e non solo.



La carta di SMITH

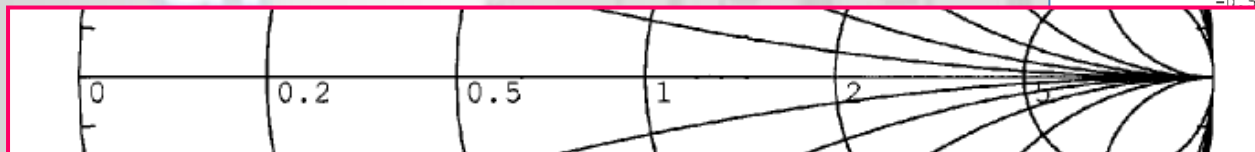
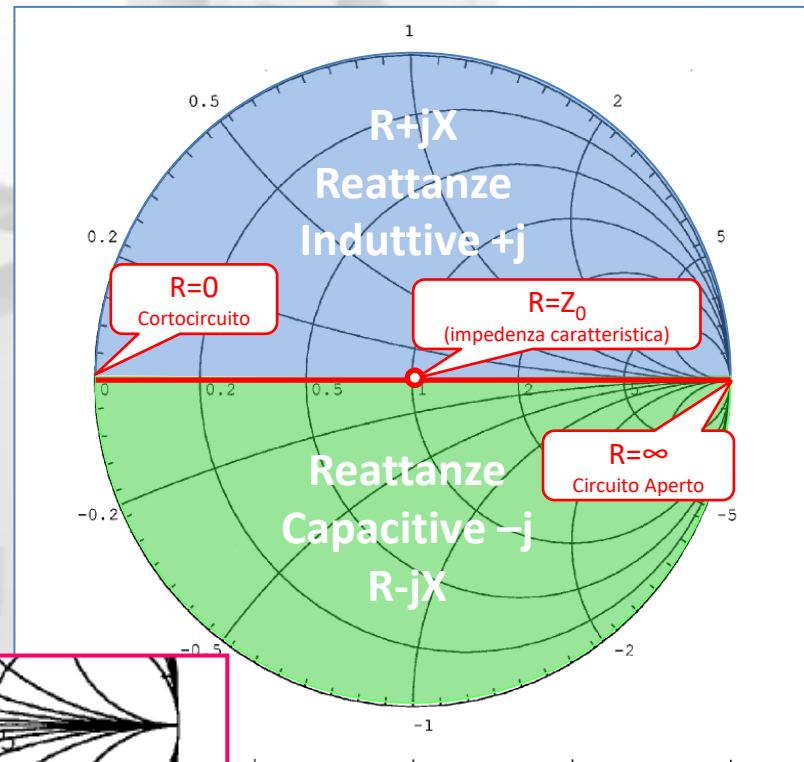
Trattandosi di un diagramma «polare» l'origine del grafico coincide con il centro della carta.

Nella carta Smith l'asse orizzontale che la divide in due aree semicircolari rappresenta i valori di resistenza «pura» e i valori vanno da 0 (estremo di sinistra) a ∞ (estremo di destra).

Il punto centrale con il valore 1 rappresenta l'impedenza «**normalizzata**» su cui stiamo lavorando (tipicamente 50Ω).

L'area semicircolare superiore rappresenta i valori di impedenza con componente reattiva di tipo «induttivo».

L'area semicircolare inferiore rappresenta i valori di impedenza con componente reattiva di tipo «capacitivo».



Sezione
di
Pisa

$Z_b = 10$

*Ma non
perché
fare i
valori n*

$$Z_a = 25 + j10 \Rightarrow 25/50 + j10/50 \Rightarrow 0,5 + j0,2$$

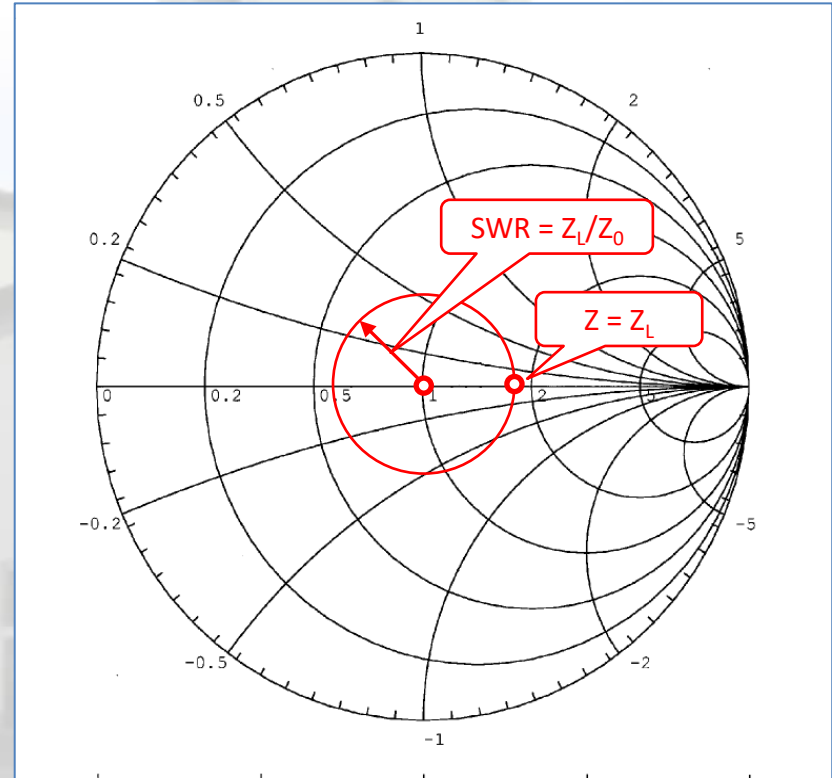
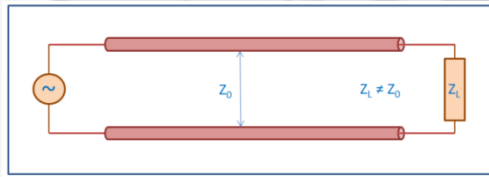
$$Z_a = 25 + j10 \Rightarrow 25/50 + j10/50 \Rightarrow 0,5 + j0,2$$

$$Z_b = 100 - j25 \Rightarrow 100/50 + j25/50 \Rightarrow 2 - j0,5$$

La carta di SMITH

Ma vediamo adesso una utilissima caratteristica della carta di Smith utilizzata con una linea di trasmissione: Abbiamo detto che la carta di Smith rappresenta il grafico del **coefficiente di riflessione complesso (Γ)** e abbiamo visto anche che i valori che l'impedenza assume lungo una linea chiusa su un valore generico $Z_L \neq Z_0$ si ripetono ogni $\lambda/2$.

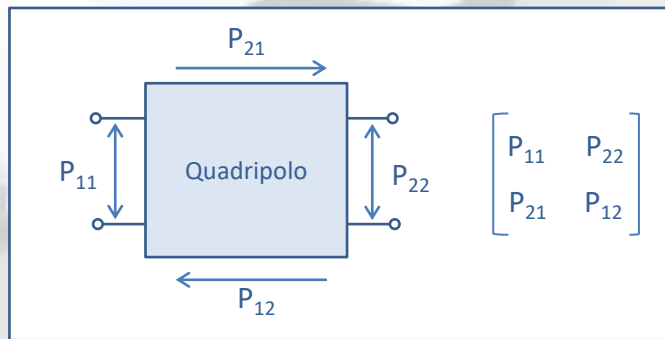
Se tracciamo un cerchio il cui centro coincide con quello della carta e passante per Z_L la dimensione del raggio rappresenta il modulo del coefficiente di riflessione $|\Gamma|$ da cui, come abbiamo visto, è possibile ricavare il valore di **SWR** relativo allo specifico valore di Z_L e di conseguenza **la circonferenza rappresenta tutti i valori di impedenza che la linea assume nell'arco di lunghezza compreso tra 0 e $\lambda/2$ che corrisponde ad una rotazione di 360° sulla circonferenza passante per Z_L**



Teoria dei quadripoli

La teoria dei quadripoli prevede lo studio del comportamento di un circuito elettrico comunque complesso attraverso la riduzione ad un modello (black box) dotato di 4 morsetti due di ingresso e due di uscita.

Attraverso l'adeguato studio dei parametri che il quadripolo presenta in ingresso e in uscita è possibile definire una matrice 2x2 che caratterizza completamente il comportamento del circuito.

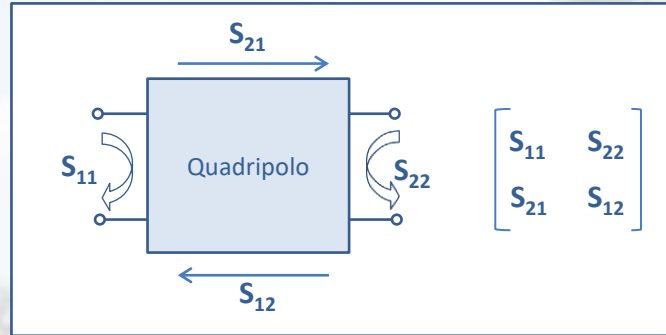


In funzione della tipologia di parametri elettrici valutati possiamo parlare di :

- *Modello a parametri Z*
- *Modello a parametri Y*
- *Modello a parametri H*
- *Modello a parametri S*

Teoria dei quadripoli

Nel caso specifico delle linee di trasmissione a RF e dei circuiti in alta frequenza il modello più utilizzato è quello a **parametri di diffusione (scattering)**



S_{11} è il coefficiente di riflessione in ingresso. Questo parametro indica la quantità di segnale di ingresso riflessa a causa del disadattamento di impedenza.

S_{21} è il coefficiente di trasmissione diretto. Questo parametro indica l'efficienza della trasmissione del segnale dall'ingresso all'uscita.

S_{12} è il coefficiente di trasmissione inversa. Questo parametro indica in che misura la porta 1 è isolata dai segnali che entrano nella porta 2.

S_{22} è il coefficiente di riflessione in uscita. Questo parametro indica la quantità di segnale di uscita riflessa a causa del disadattamento dell'impedenza in uscita

I parametri di Diffusione (Scattering)

Dall'analisi dei quattro **parametri di diffusione (scattering)** S_{11} - S_{21} - S_{22} - S_{12} è possibile ricavare tutte le informazioni necessarie a caratterizzare il dispositivo analizzato.

Questo è il principio su cui si basa il funzionamento di strumenti come gli «**Analizzatori Vettoriali di Reti**» (**VNA**) dove con l'ausilio di un processore che effettua i calcoli necessari, questi strumenti sono in grado di fornire qualsiasi informazione attraverso la misura e l'analisi dei parametri S



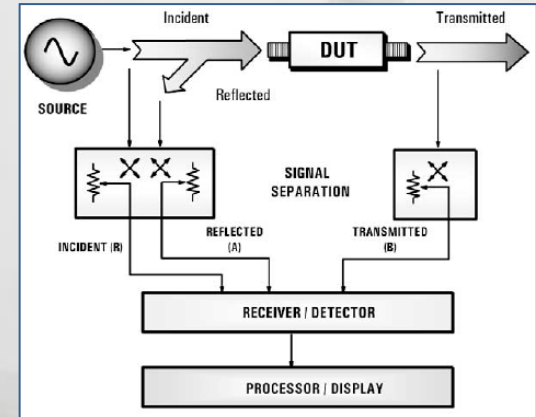
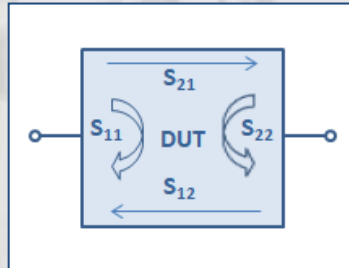
VNA professionale R&S 100KHz – 40GHz
Costo circa 25.000 €



NanoVNA per uso amatoriale 100KHz – 2GHz
Costo circa 100 €

Come funziona il VNA

Nella sua forma più elementare un VNA dispone di due porte a cui viene connesso il DUT (device under test) su cui vogliamo effettuare le misure. Lo strumento è costituito da un generatore di segnali e due detector collegati ad un accoppiatore direzionale connesso alla porta 1 e da un terzo detector collegato alla porta 2. I dati rilevati dai detector vengono poi passati ad un processore che li elabora e li rende disponibili per la visualizzazione. Il primo e secondo detector effettuano la misura «reflect S11» il terzo effettua la misura «through S21»

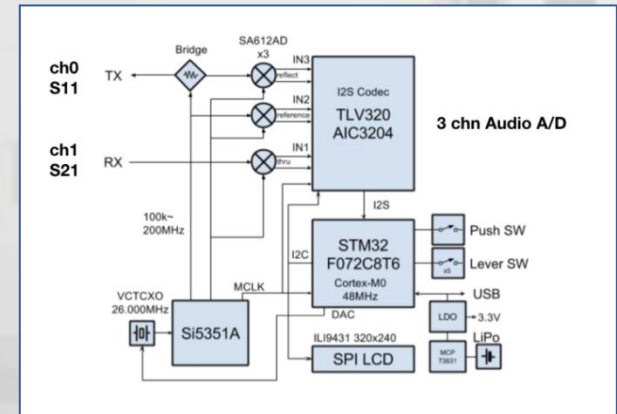
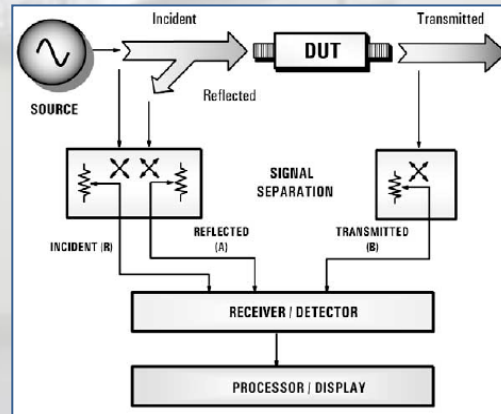
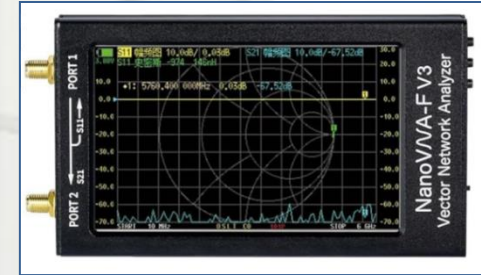


Il progetto Nano-VNA

Il progetto Nano-VNA nasce nel 2016

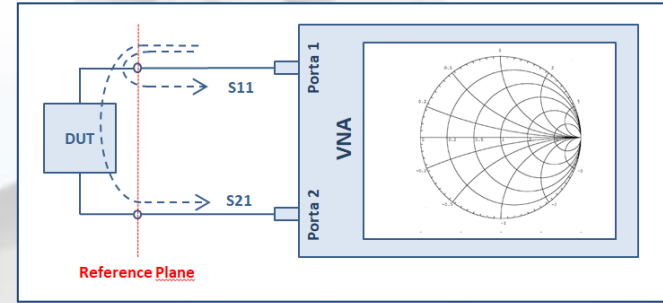
Si tratta di un progetto «open-source» tuttora in evoluzione e chi fosse interessato ad approfondirne la conoscenza può farlo visitando questi URL:

- <https://nanovna.com/>
- <https://nanorfe.com/nanovna-v2.html>
- <https://groups.io/g/nanovna-users>
- <https://github.com/nanovna>
- <https://ttrftech.netlify.app/posts/2016-06-10-nanovna-with-si5351a-and-stm32-in-design/>



Come funziona il VNA

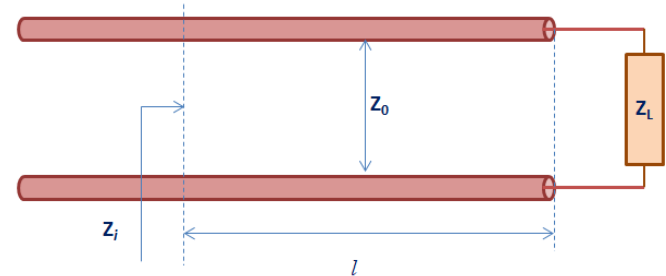
Una Caratteristica molto «potente» dei VNA è la possibilità di poter definire la posizione del «**reference plane**» cioè il punto esatto dove viene effettuata la misura attraverso la preventiva calibrazione dello strumento con la procedura **SOLT** (Short Open Load Thru) con l'impiego di specifiche terminazioni. In questo modo lo strumento potrà tenere di conto delle caratteristiche della linea che lo collega al DUT (Device Under Test) annullandone gli effetti sulla misura.



$$\text{Coefficiente di riflessione } \Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$Z_i = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)}$$

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$



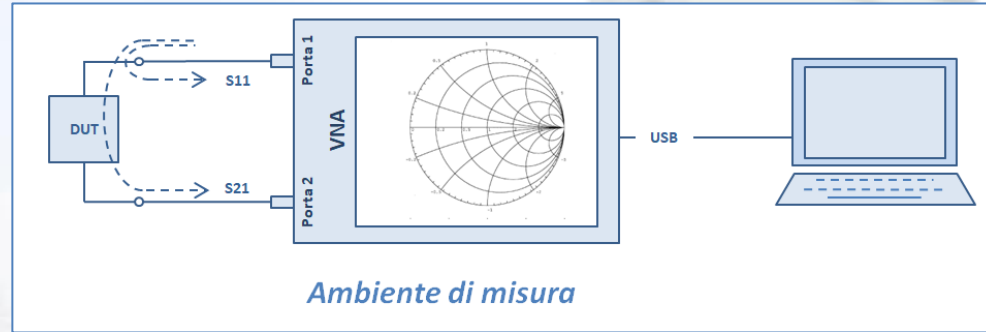


**Sezione
di
Pisa**

Passiamo adesso alla parte pratica:

Esempi pratici di misure con NanoVNA

Esempi pratici di misure con NanoVNA



Misure del coefficiente di riflessione (S_{11}):

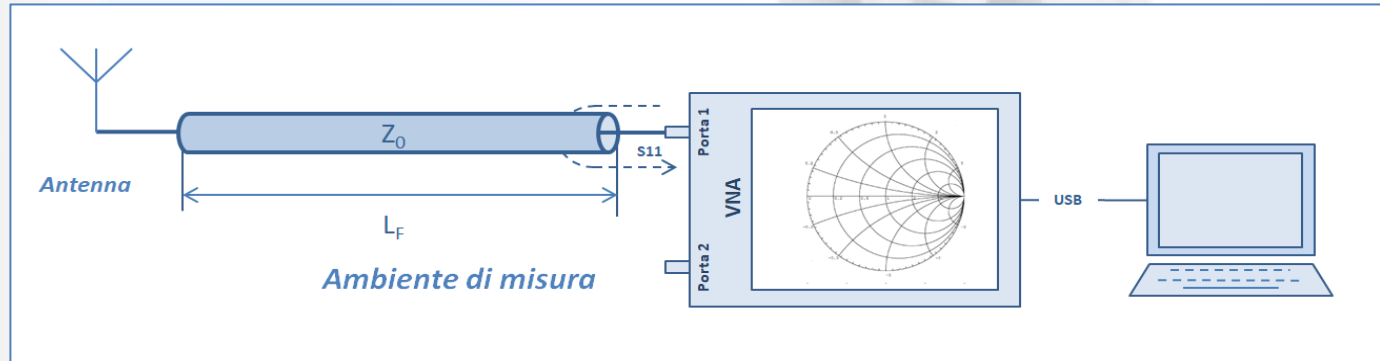
1. Misura del SWR di un'antenna
2. Misura dell'impedenza di un cavo e della sua lunghezza elettrica
3. Misura dell'impedenza di un induttore o di un condensatore
4. Misura delle caratteristiche di un nucleo toroidale (permeabilità e risonanza magnetica)
5. Curva di risposta di un UNUN (trasformatore di impedenza a larga banda)

Misure del coefficiente di trasmissione (S_{21}):

1. Misura della curva di risposta di un filtro
2. Misura del livello di attenuazione delle CMC in un balun (Guanella choke)

Esempi pratici di misure con NanoVNA

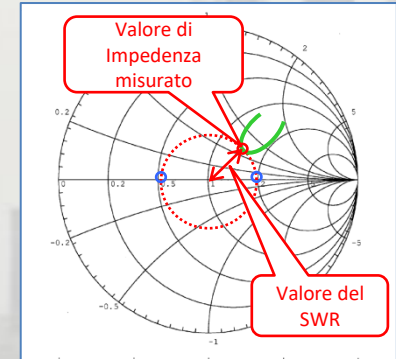
Misura del valore del SWR di un'antenna



Collegando il cavo di discesa dell'antenna alla porta 1 del VNA è possibile effettuare la misura diretta del valore di SWR settando la relativa visualizzazione sullo strumento (Display S11 SWR).

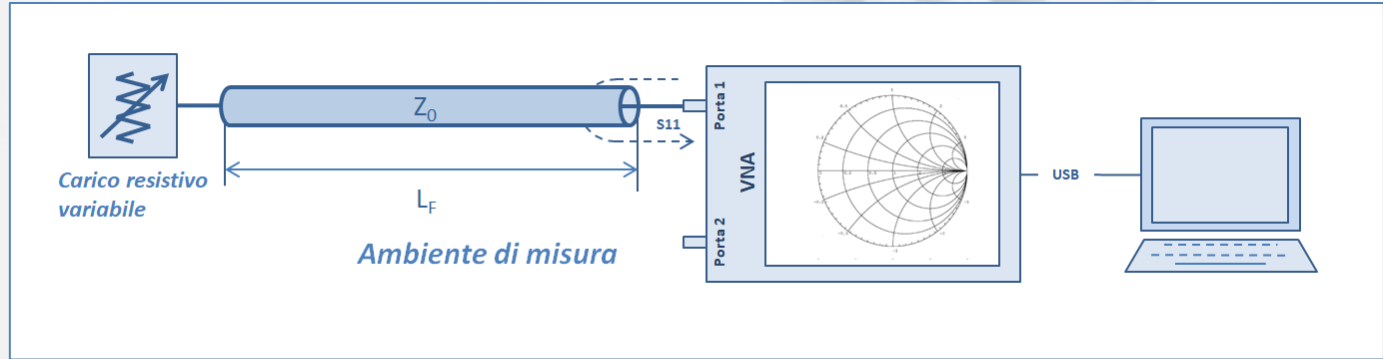
Se non è stata preventivamente effettuata una calibrazione che tenga di conto della lunghezza del cavo le misure di SWR, ed in particolare, di impedenza, sono relative ai valori che si presentano sulla terminazione del cavo lato strumento.

Se l'attenuazione del cavo è minima il valore di SWR coincide sostanzialmente con il valore reale in antenna, non è così invece, come abbiamo visto, con il valore letto dell'impedenza che può essere significativamente diverso da quello reale dell'antenna come mostra la visualizzazione su carta di Smith (Display S11 Smith Value R+L/C).



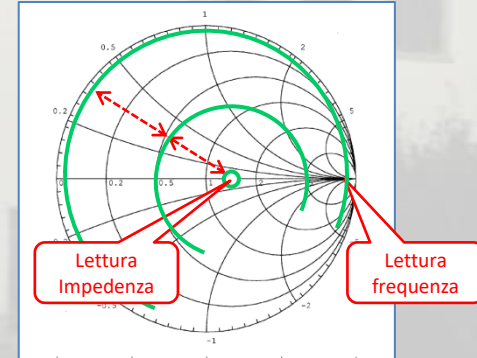
Esempi pratici di misure con NanoVNA

Misura dell'impedenza di un cavo e della sua lunghezza elettrica



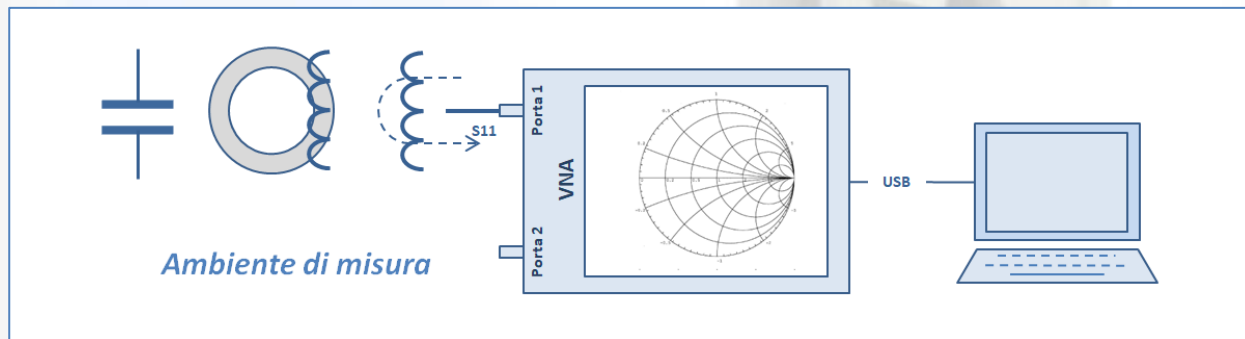
Con il cavo non terminato (aperto) la frequenza per la quale la traccia dello strumento passa per l'asse orizzontale a destra, è la frequenza che ci permetterà di calcolare la lunghezza elettrica L_{el} del cavo e il relativo fattore di velocità Fv qualora se ne conosca l'effettiva lunghezza fisica L_{fis} . Collegando al cavo un carico resistivo variabile e regolandone il valore fino a ridurre la traccia ad un unico punto sull'asse orizzontale sarà possibile leggere il valore di impedenza del cavo in corrispondenza di tale punto.

$$L_{el(m)} = \frac{150}{F_{(MHz)}} \quad \Rightarrow \quad Fv = \frac{L_{fis}}{L_{el}}$$

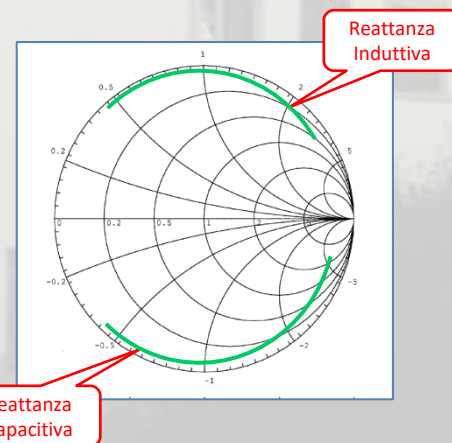


Esempi pratici di misure con NanoVNA

Misura dell'impedenza di un induttore o di un condensatore

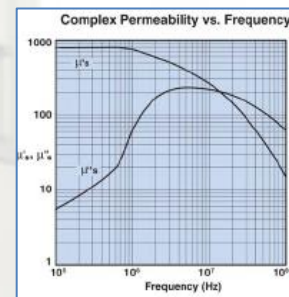
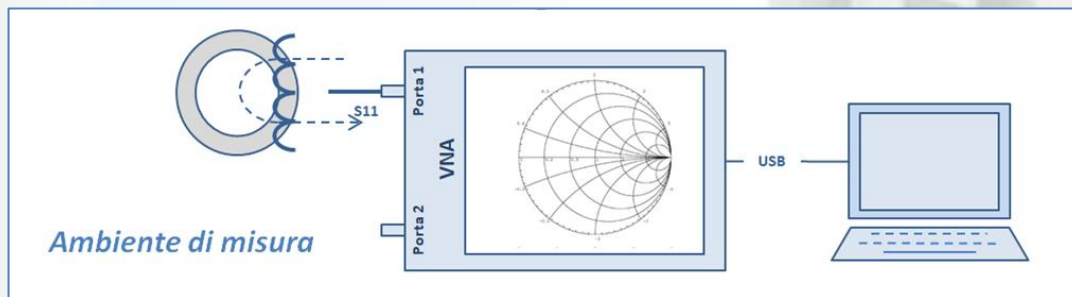


Con il VNA è possibile misurare facilmente il valore di impedenza (reattanza) di un induttore o di un condensatore a varie frequenze e quindi risalire al relativo valore di induttanza e capacità (Display S11 Smith Value $R+L/C$). Una cosa molto interessante è che con la misura di impedenza è possibile stabilire anche la «qualità» del componente misurandone il fattore di merito « Q » (Display S11 Format Q Factor) e verificarne il comportamento alle varie frequenze stabilendo così anche l'eventuale frequenza di «autorisonanza».



Esempi pratici di misure con NanoVNA

Misura delle caratteristiche di un nucleo toroidale (permeabilità e risonanza magnetica)



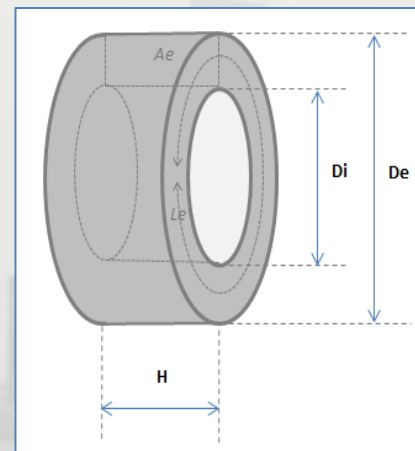
La misura di impedenza di un induttore avvolto su un nucleo toroidale permette anche di valutare le caratteristiche del nucleo stesso ed in particolare determinare il suo valore di permeabilità relativa μ_r e l'andamento delle perdite alle varie frequenze.

E' inoltre possibile stabilire anche il valore della frequenza di risonanza magnetica del materiale ferromagnetico con cui è realizzato il toroide, frequenza che come è noto coincide con **la frequenza per la quale il «Q» dell'induttore è uguale a 1** (Display S11 Format Q Factor)

$$\mu_r = 100 \cdot \frac{L_{(\mu H)} \cdot l_e(cm)}{1,257 \cdot N^2 \cdot A_{e(cm^2)}}$$

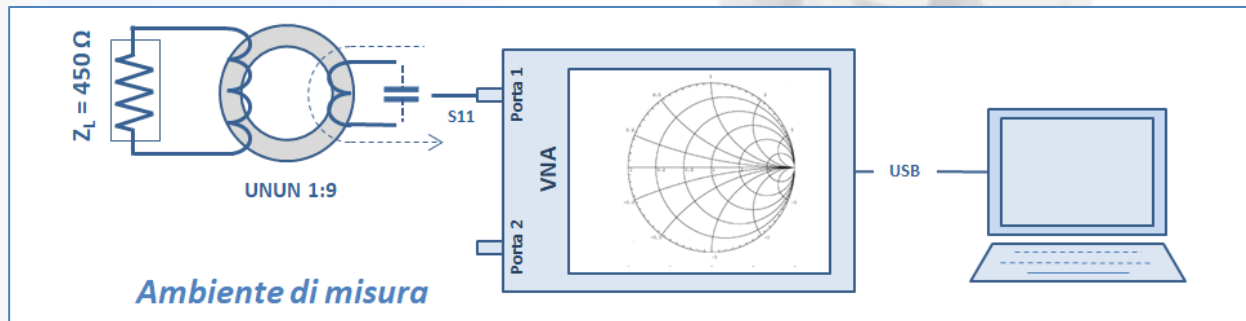
$$l_e = \frac{\pi(D_e + D_i)}{2}$$

$$A_e = H \cdot \frac{(D_e - D_i)}{2}$$



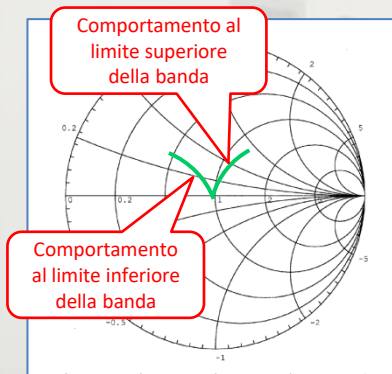
Esempi pratici di misure con NanoVNA

Curva di risposta di un UNUN (trasformatore di impedenza a larga banda)



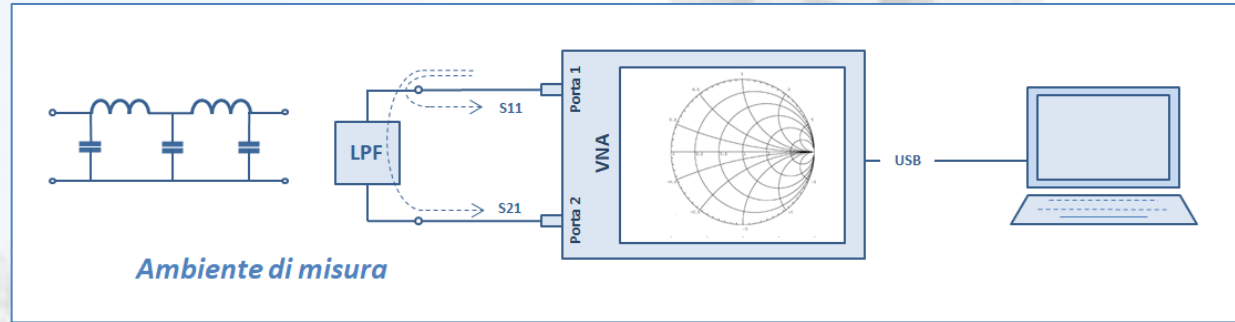
Per valutare il comportamento di un trasformatore a larga banda (UNUN) è sufficiente misurare l'andamento del relativo valore di SWR alle varie frequenze (Display S11 Format SWR) chiudendo il trasformatore sul suo corretto carico resistivo come indicato nello schema della misura.

La visualizzazione dell'impedenza su carta di Smith ci da comunque una indicazione visiva più immediata dell'andamento in funzione della frequenza ed è soprattutto utile se si vuole effettuare la «compensazione» in frequenza del trasformatore che normalmente si ottiene collocando un condensatore di opportuna capacità in parallelo al primario



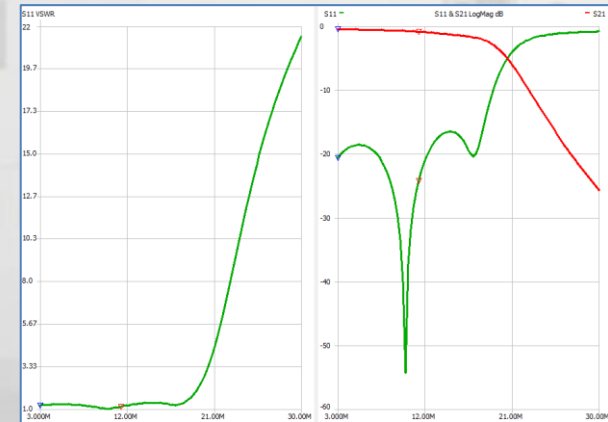
Esempi pratici di misure con NanoVNA

Misura della curva di risposta di un filtro



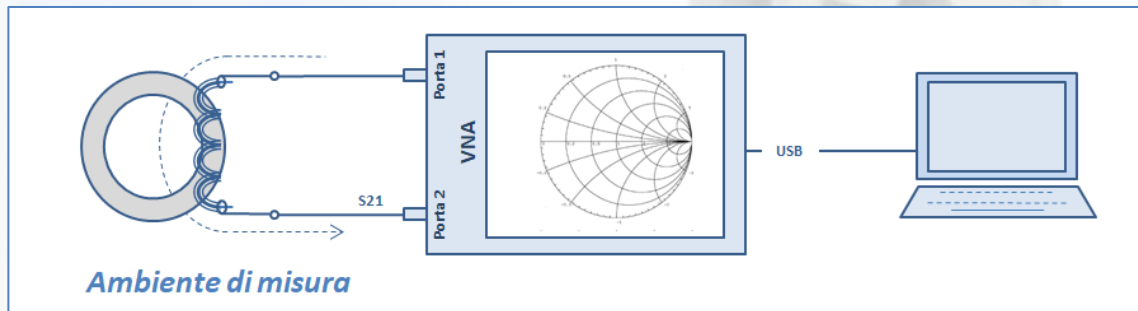
Dopo aver visto alcuni esempi di misure «**reflect**» (S_{11}) vediamo adesso il caso di una misura «**through**» (S_{21}) con l'uso di entrambe le porte del VNA.

Il caso tipico è quello della misura della curva di risposta di un filtro LC ed in particolare vedremo un esempio di misura del comportamento di un filtro LPF di cui andremo a visualizzare l'impedenza (S_{11} Return Loss) e l'attenuazione (S_{21} Gain) in funzione della frequenza



Esempi pratici di misure con NanoVNA

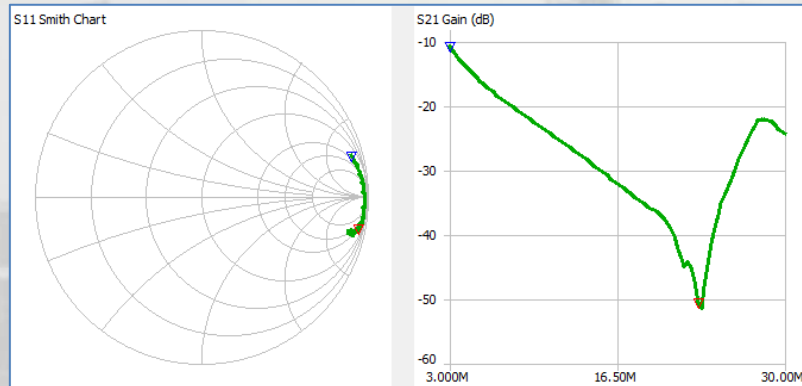
Misura del livello di attenuazione delle CMC in un balun (Guanella choke)



E' possibile misurare l'attenuazione introdotta sulle CMC (correnti di modo comune) dal classico balun di corrente (Guanella choke) collegando la sola calza esterna del cavo delle due estremità del balun alle porte del VNA.

Impostando la visualizzazione del S21 Gain è possibile visualizzare l'andamento dell'attenuazione introdotta dal balun alle varie frequenze.

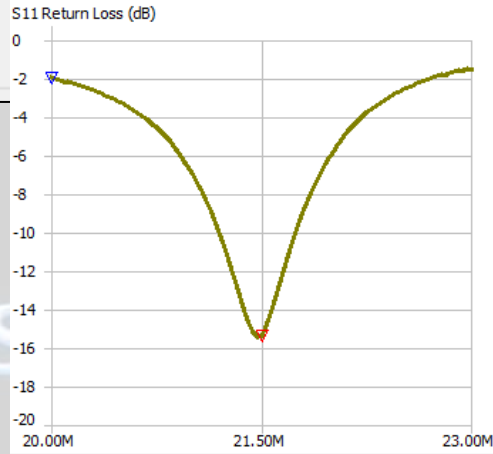
Collegando il cavo alle porte del VNA è possibile verificare come il balun non introduca invece alcuna attenuazione sulle correnti di modo differenziale che scorrono all'interno del cavo stesso



S11 Smith Chart

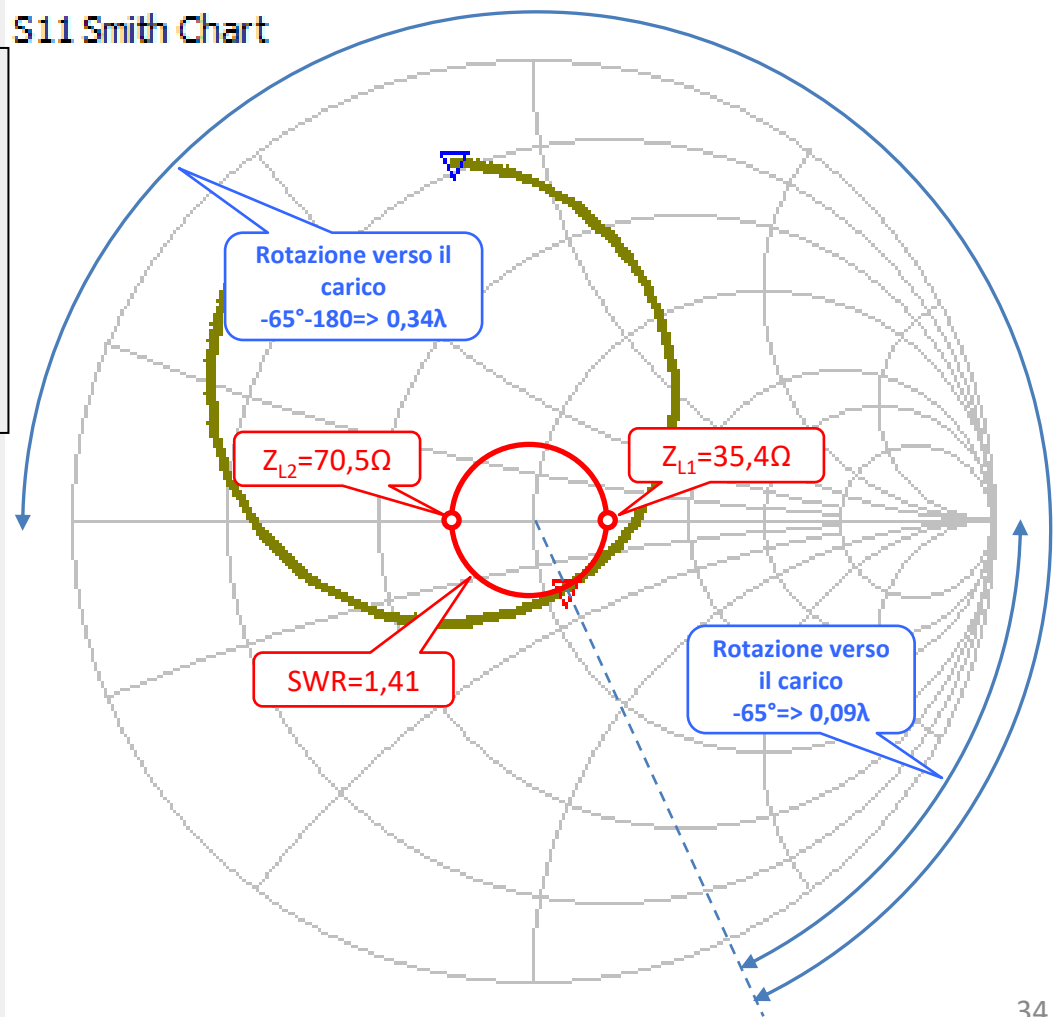
Marker 1

Frequency: 21.5000 MHz	VSWR: 1.410
Impedance: $54.9 - j17.4 \Omega$	Return loss: -15.377 dB
Series L: -129.05 nH	Quality factor: 0.318
Series C: 424.64 pF	S11 Phase: -64.93°
Parallel R: 60.415 Ω	S21 Gain:
Parallel X: 38.924 pF	S21 Phase:



frequenza di
 configurato il V
 cui opera la
 la misura
 e su carta
 probabilmente
 nile a quello

Proviamo ad interpretarlo





Sezione
di
Pisa

Grazie

