



## Application note AN-003

# MISURA E ACCORDO DI ANTENNE

*Un esempio pratico di verifica e accordo di semplici antenne con  
analizzatore di reti scalare*

IV3XXE Andrea Spagnol  
IW3SQT Franco Milan

### **Indice:**

Introduzione

1. Richiami sui parametri delle antenne
2. Misura R.O.S.: allestimento del sistema di misura
3. Misure di guadagno: allestimento del sistema di misura e parametri di calcolo
4. Eliminazione delle interferenze durante le misure: consigli pratici
5. Esempio pratico n. 1: monopolo per 70 cm
6. Esempio pratico n. 2: loop in ferrite per 1,8 MHz
7. Conclusioni

---

## Introduzione

Il continuo e rapido sviluppo della tecnologia elettronica ha portato gli apparati usati per le comunicazioni radio ad essere estremamente complessi e rendendo ormai impossibile per un autocostruttore ottenere prestazioni paragonabili.

Il settore delle antenne offre tuttavia ancora un po' di spazio per costruirsi in casa un oggetto semplice ma in grado di svolgere adeguatamente la sua funzione.

Purtroppo, se la costruzione meccanica può essere semplice, tutt'altro che semplice è effettuare un accordo accurato.

Elad però propone a un prezzo abbordabile, uno strumento adatto anche per misure di impedenza e efficienza di radiazione delle antenne: l'analizzatore di reti scalare SNA 2550: copre il range di frequenze da 0,4 a 2.500 MHz con misura contemporanea di R.O.S. e guadagno / perdita di inserzione.

E' uno strumento *PC-based*, cioè viene controllato da un PC dotato di un software specifico.

Per dare una serie di indicazioni specifiche per le misure sulle antenne, presentiamo alcuni esempi applicativi.

In particolare, saranno descritte la costruzione e le misure effettuate su due antenne:

- un monopolo in  $\frac{1}{4} \lambda$  accordato a 435 MHz
- una antenna loop avvolta su nucleo in ferrite operante a 1,8 MHz

Per completare la trattazione, saranno anche descritti brevemente alcune definizioni e relazioni matematiche.

## 1. Richiami sui parametri delle antenne

L'antenna è fondamentalmente un sistema di adattamento di impedenza tra un circuito elettrico e lo spazio libero; quindi è in grado di trasferire l'energia presente nel circuito verso lo spazio circostante.

Questa energia viene diffusa (irradiata) da un campo elettromagnetico, ossia da due campi (elettrico e magnetico) fra loro correlati.

Da questo funzionamento discende il comportamento e il significato dei vari parametri in grado di descrivere le caratteristiche di una antenna.

Rivediamo le definizioni dei principali parametri delle antenne:

- Polarizzazione:  
lineare (orizzontale o verticale): orientamento del vettore elettrico nella direzione della massima irradiazione
- Diagramma di irradiazione:  
diagramma dell'intensità di radiazione in funzione della direzione di irradiazione
- Guadagno:  
rapporto tra le massime intensità di radiazione dell'antenna in test e dell'antenna di riferimento con la stessa potenza di ingresso; antenna di riferimento: dipolo a mezz'onda o radiatore isotropico
- Impedenza:  
impedenza a radiofrequenza vista dai terminali di eccitazione dell'antenna; varia in funzione della frequenza e degli oggetti in prossimità dell'antenna stessa
- Larghezza di banda:  
banda di possibile utilizzazione dell'antenna; può essere definita in funzione della variazione in funzione della frequenza di:
  - guadagno
  - impedenza
  - direttività
  - polarizzazione
  - combinazione di due o più delle caratteristiche sopra citate

### Bibliografia:

Jasik "Antenna Engineering Handbook" McGraw – Hill 1961

Balanis "Antenna Theory Analysis and Design" Wiley 1982; 1997

## 2. Misura R.O.S.: allestimento del sistema di misura

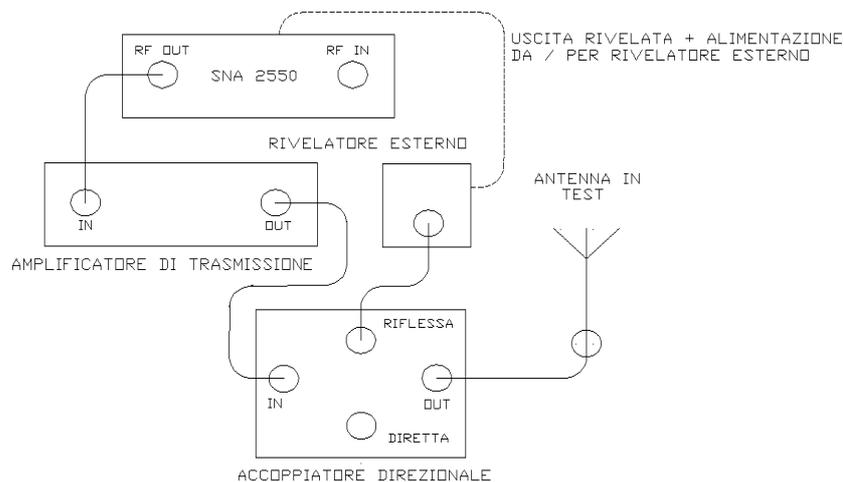
Il banco di misura deve essere allestito in accordo con i seguenti criteri:

- applicare all'antenna il massimo livello di segnale misurabile: per massimizzare il rapporto tra segnale applicato e disturbi captati dall'antenna
- usare cavi di collegamento con la minima perdita e il miglior R.O.S. disponibili: per minimizzare l'effetto dei cavi sulla misura, sia l'attenuazione del cavo sia il suo R.O.S. possono alterare in maniera significativa la misura con un analizzatore di reti scalare
- tenere l'antenna distante qualche lunghezza d'onda da oggetti metallici: la vicinanza di parti conduttive (o anche di parti ad elevata costante dielettrica) altera l'impedenza dell'antenna
- eseguire la misura in un ambiente privo di forti campi elettromagnetici: il rivelatore di R.O.S. a larga banda è sensibile a segnali in banda e fuori banda captati dall'antenna collegata alla porta di ricezione
- non eseguire la misura in ambienti con pareti con elevata riflessione delle onde elettromagnetiche: la riflessione da più pareti anche relativamente lontane può alterare la risonanza dell'antenna
- eseguire la misura su frequenze e in momenti tali da non disturbare utenti di servizi radio, in particolare non disturbare le frequenze televisive (i segnali video analogici sono estremamente sensibili a interferenze di ampiezza molto ridotta)

Inoltre bisogna prestare attenzione a interpretare correttamente la curva di R.O.S. ottenuta: alcune geometrie di antenne ed elementi di carico dell'antenna, introducono molte risonanze supplementari, non corrispondenti a modi di irradiazione efficienti; in generale la vera risonanza di una antenna corrisponde al minimo di R.O.S. più basso in frequenza.

La misura del R.O.S. non è applicabile alle antenne attive: in questo caso la misura che si ottiene è quella del R.O.S. di uscita dell'amplificatore interno dell'antenna attiva.

Per le frequenze oltre 1 GHz e disponendo di un accoppiatore direzionale o un ponte riflettometrico di alta precisione, si possono ottenere risultati più precisi effettuando la misura come per il guadagno, usando il rivelatore della potenza diretta (vedere figura).



**Figura 1:** banco di misura R.O.S. con ponte esterno

### 3. Misure di guadagno: allestimento del sistema di misura e parametri di calcolo

Il banco di misura deve essere allestito in accordo con i criteri esposti al punto precedente.

Inoltre è necessaria una antenna di riferimento per la misura della potenza irradiata, collegata preferibilmente dal lato di ricezione.

La scelta più semplice è usare un dipolo a  $\lambda / 2$  (guadagno 2,14 dB rispetto al radiatore isotropico); questa soluzione consente di avere un valore preciso per il guadagno dell'antenna di riferimento ma un'antenna più direttiva riduce gli errori dovuti a segnali interferenti e aumenta il valore del segnale ricevuto.

Per frequenze UHF o superiori, una antenna a tromba rettangolare ha un guadagno calcolabile con adeguata precisione per misure discretamente precise.

Se non si dispone di una antenna con un guadagno ben conosciuto, si possono utilizzare due antenne identiche, se disponibili.

La distanza R tra le antenne usate per la misura dovrebbe essere:

1a.  $R \geq \lambda / \Pi$  per antenne lineari

1b.  $R \geq 2 D^2 / \lambda$  per antenne ad apertura ( $D =$  massima dimensione dell'antenna da misurare)

Si consiglia di effettuare la misura con una distanza diverse volte il valore minimo calcolato dalle due formule.

Per calcolare il guadagno, si deve stimare l'attenuazione dello spazio tra le due antenne; la potenza ricevuta è:

$$2. \quad P_r = P_t * G_r * G_t (\lambda / 4 \Pi R)^2 \quad (\text{formula di Friis})$$

Per ottenere il guadagno in dB:

$$3. \quad G_x \text{ (dB)} = [10 \log (P_r / P_t) + 20 \log (4 \Pi R / \lambda)] - 10 \log G_{\text{rif}}$$

Nel caso di due antenne uguali:

$$4. \quad G_x \text{ (dB)} = 0,5 * [10 \log (P_r / P_t) + 20 \log (4 \Pi R / \lambda)]$$

Dove:

- a.  $P_r$  è la potenza trasmessa
- b.  $P_r$  è la potenza ricevuta
- c.  $P_r / P_t$  è l'attenuazione misurata dall'analizzatore di reti
- d.  $20 \log (4 \Pi R / \lambda)$  è l'attenuazione di spazio libero
- e.  $G_x \text{ (dB)}$  è il guadagno in dB dell'antenna da misurare
- f.  $10 \log G_{\text{rif}}$  è il guadagno in dB dell'antenna di riferimento

Il guadagno si può esprimere rispetto al radiatore isotropo ideale o rispetto al dipolo a  $\lambda / 2$  (inserendo il fattore di correzione di 2,14 dB ai risultati ottenuti; prestare attenzione anche a come viene espresso il guadagno dell'antenna di riferimento, se dBi o dBd).

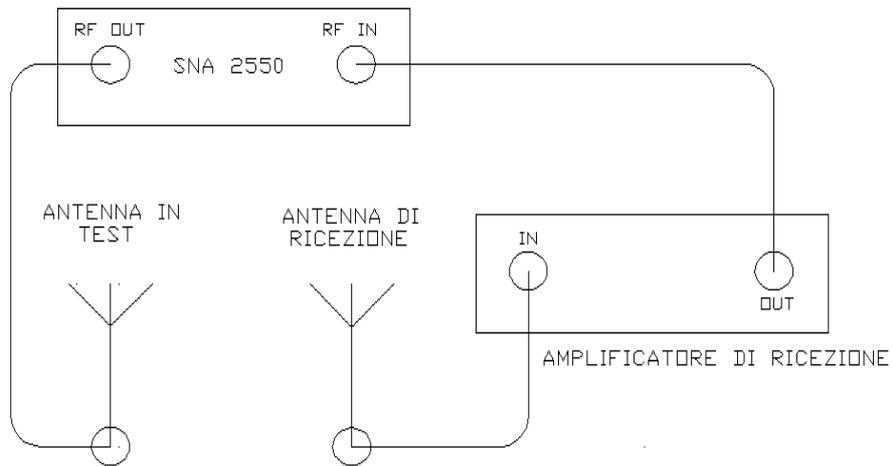
In generale, l'attenuazione di spazio libero ammonta a circa 22 dB per una distanza uguale a  $\lambda$ , valore adeguatamente misurabile con la normale dinamica dell'analizzatore di reti; per distanze maggiori potrebbe essere necessario inserire un amplificatore sul lato di trasmissione (con le necessarie precauzioni atte ad evitare di disturbare i ricevitori radio operanti nelle vicinanze, dato il livello più elevato presente all'uscita dell'amplificatore).

Per ottenere la misura contemporanea di R.O.S. e guadagno, l'analizzatore di reti dovrà essere dotato dell'opzione "**ingresso per rivelatore esterno**" e si dovrà inserire un accoppiatore direzionale con rivelatore tra amplificatore e antenna da misurare (vedere sito Elad per maggiori dettagli sugli accessori disponibili).

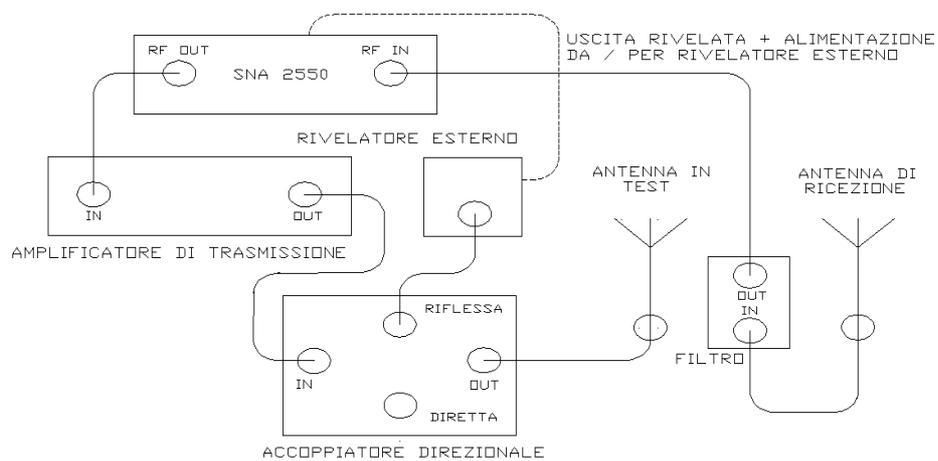
Molto probabilmente, sarà anche opportuno inserire sul lato di ricezione un filtro per le frequenze misurate: le bande più affollate di segnali intensi sono la banda FM (88 – 108 MHz) e le bande TV UHF (IV / V: 470 – 860 MHz).

#### Bibliografia:

Macnamara "Handbook of Antennas for EMC" Artech House 1995



**Figura 2:** banco di misura R.O.S. e guadagno (se le antenne sono molto vicine non serve amplificatore di ricezione)



**Figura 3:** banco di misura R.O.S. e guadagno con amplificatore, rivelatore esterno e filtro anti - interferenze

---

## 4. Eliminazione delle interferenze durante le misure: consigli pratici

Le misure su antenne in spazi aperti, dato l'attuale affollamento dello spettro, crea sicuramente difficoltà dovute ai segnali interferenti, soprattutto se, come nel caso dell'SNA 2550, si usano rivelatori a larga banda.

Per limitarne gli effetti, si consiglia di seguire alcuni accorgimenti:

- Cercare le posizioni delle antenne che minimizzano la captazione delle interferenze: cercare di sfruttare i minimi di irradiazione dell'antenna di riferimento in ricezione
- Quando possibile, effettuare la misura in orari di minor affollamento dello spettro: i giorni festivi generalmente sono indicati per la minor attività industriale (minori disturbi da commutazioni nelle bande HF)
- Provare a effettuare la misura sia con la polarizzazione verticale che orizzontale: la maggior parte delle emissioni verso mezzi mobili avviene con polarizzazione verticale; al contrario le emissioni delle emittenti televisive avvengono con polarizzazione verticale; a seconda delle frequenze di misura, una polarizzazione oppure l'altra sarà meno affetta da interferenze
- Usare come antenna di ricezione un'antenna ad alta direttività e lobi laterali ridotti
- Effettuare la misura possibilmente in una posizione depressa rispetto al livello normale del terreno per utilizzare il terreno stesso come schermatura; uno scantinato ampio può essere un luogo conveniente

## 5. Esempio pratico n. 1: monopolo per banda 70 cm (435 MHz)

Il primo esempio è un monopolo in  $\frac{1}{4} \lambda$  realizzato con filo argentato da 1 mm di diametro; il connettore BNC svolge anche la funzione di sostegno e isolamento del monopolo.

Come piano di massa è stata usata inizialmente una piastra di vetronite monofaccia di dimensioni circa 10 X 10 cm.

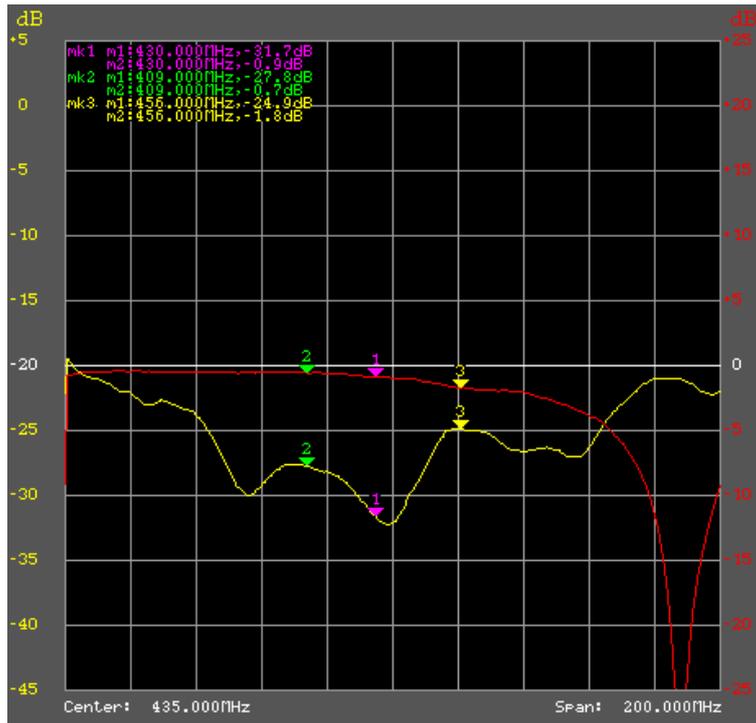
A 435 MHz  $\frac{1}{4} \lambda$  vale circa  $300.000 / (4 \times 435) = 172$  mm; per avere un margine di taratura, il filo è stato tagliato a circa 190 mm.

La misura d'irradiazione è stata effettuata usando come antenna di ricezione un monopolo commerciale distante circa mezzo metro dall'antenna da accordare.

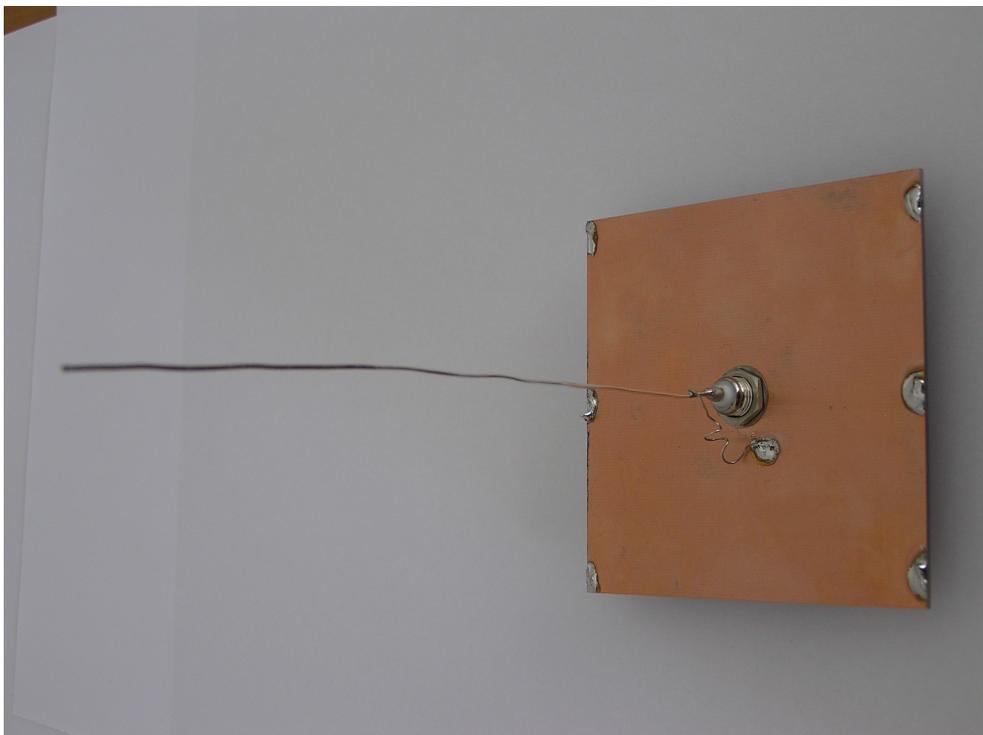
Per ottenere risultati corretti per l'attenuazione di propagazione, la distanza dovrebbe essere maggiore, ma la procedura di misura rimarrebbe la stessa, salvo la necessità, per distanze elevate, di aggiungere un pre-amplificatore per la ricezione.

Il primo tentativo di accordo porta a risultati poco incoraggianti: la risonanza appare a circa 520 MHz (figure 4 e 5).

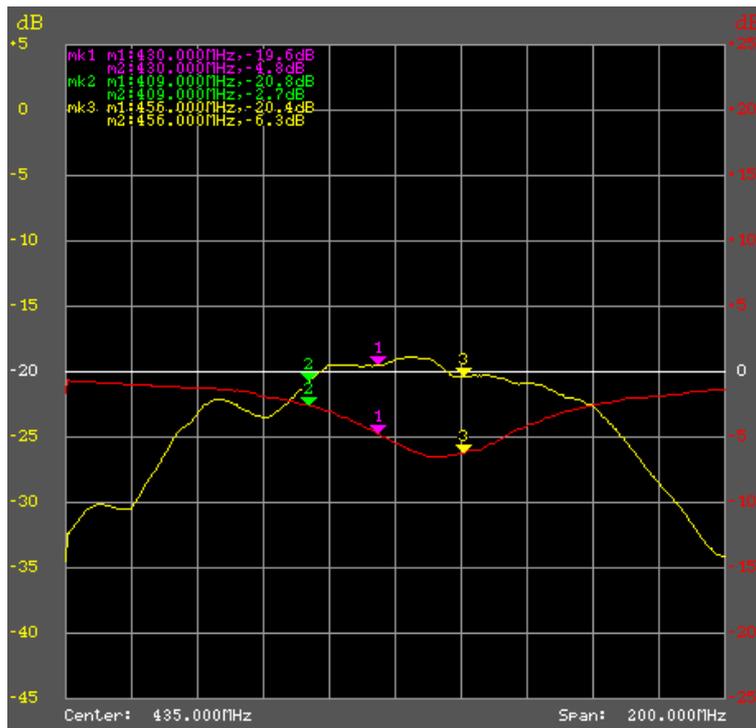
Aggiungendo altre due piastre di vetronite a quella usata per il piano di massa, la risonanza si porta circa alla frequenza desiderata; accorciando di circa un centimetro il filo si ottiene la risonanza alla frequenza esatta, ma il R.O.S. non è ancora ottimale (figure 6 e 7): per raggiungere un buon adattamento di impedenza, dopo qualche tentativo, è stata aggiunta un'induttanza di 2 spire da 4 mm di filo da 0,5 mm tra massa e la base dell'antenna (figura 8).



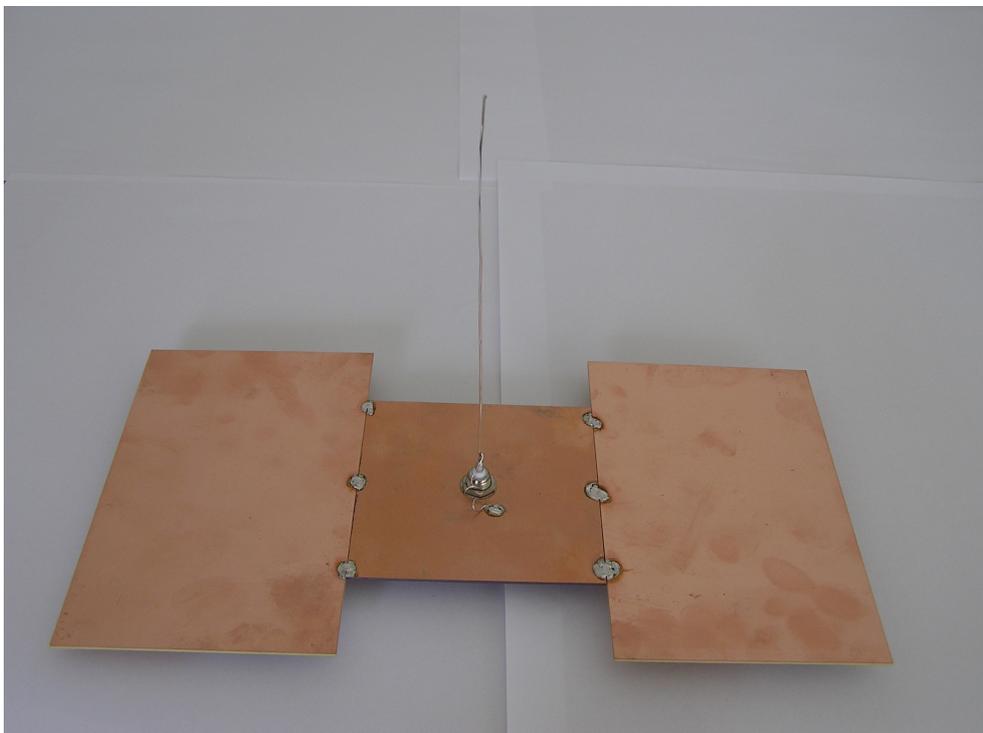
**Figura 4:** curva di risposta monopolo con piano di massa ridotto



**Figura 5:** foto del monopolo con piano di massa ridotto



**Figura 6:** curva di risposta monopolo con piano di massa ampio



**Figura 7:** foto del monopolo con piano di massa ampio

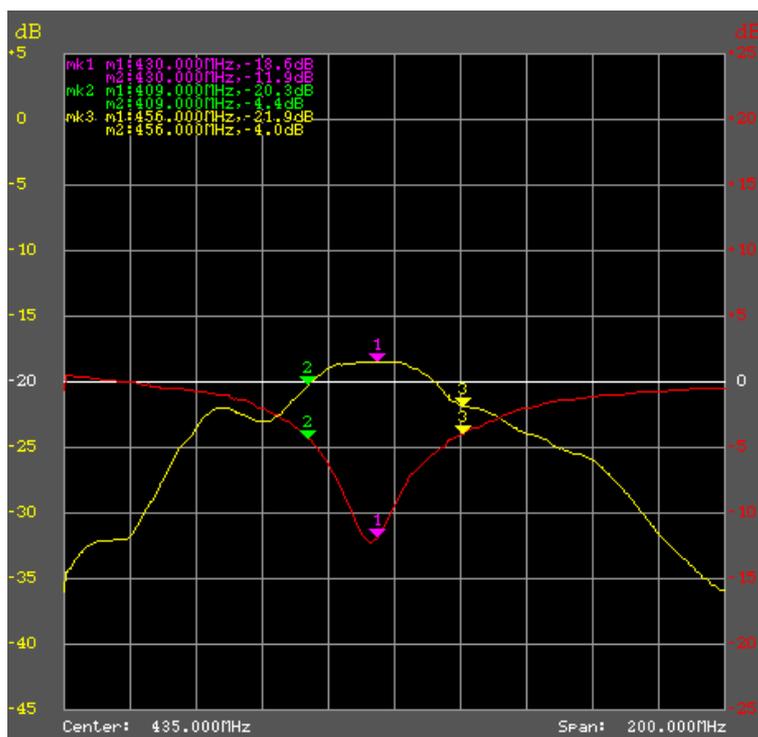


Figura 8: curva di risposta monopolo con piano di massa ampio e induttanza di compensazione

## 6. Esempio pratico n. 2: loop in ferrite per 1,8 MHz

Il secondo esempio ha per oggetto un'antenna molto diversa, sia come frequenza sia come costruzione meccanica: un'antenna loop multi – spire con nucleo in ferrite.

La frequenza di lavoro prevista è 1,8 MHz, la banda radioamatoriale dei 160 m.

Per avere l'accordo a questa frequenza con una capacità di circa 10 pF, serve un'induttanza dell'ordine di 1 mH.

Su una bacchetta di ferrite con diametro 10 mm e lunghezza 120 mm, per avere un'induttanza misurata di 1,05 mH, sono state avvolte 99 spire di filo smaltato con diametro 0,3 mm.

Per l'accordo è stato usato un condensatore variabile 5 – 20 pF.

L'adattamento di impedenza è ottenuto con un avvolgimento accoppiato con 28 spire dello stesso filo.

L'efficienza di radiazione è sicuramente bassa, ma sufficiente per la ricezione di segnali abbastanza forti.

Come si può vedere dalla figura 11, la banda passante è di circa 50 kHz; il R.O.S. è molto sensibile al numero e alla posizione delle spire dell'avvolgimento di accoppiamento; anche la regolazione del condensatore variabile è molto critica.

Per misurare l'irradiazione sono state usate due antenne diverse:

- un'antenna attiva a bassa amplificazione con uno stilo di circa 30 cm (figura 11)
- un'antenna loop con due spire di diametro circa 1,5 cm (figura 12)

Ovviamente la seconda antenna ha un'efficienza a questa frequenza molto bassa: dalle figure 11 e 13 si vede una differenza di segnale ricevuto di circa 30 dB.

Le misure sono state effettuate a una distanza di circa 5 cm tra antenna in test e antenna di ricezione, cercando di trovare la direzione di massima irradiazione.

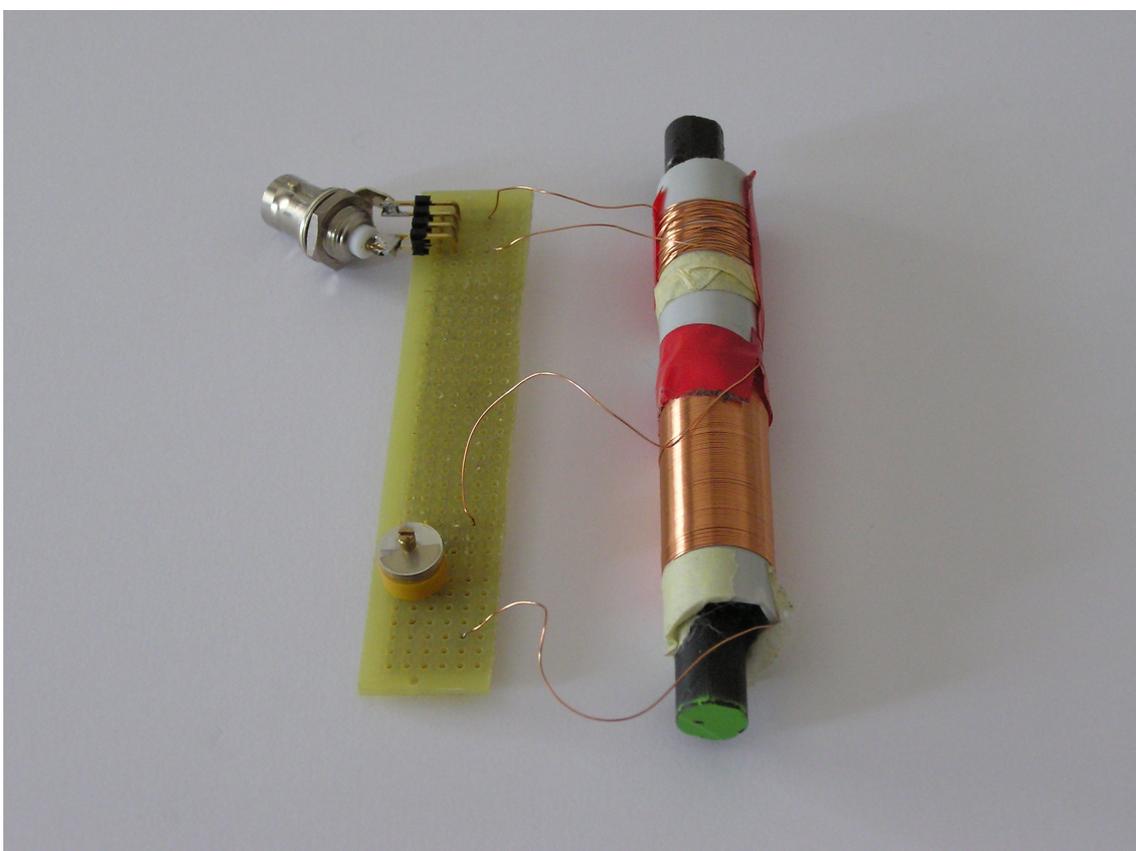
---

Non sono stati usati né amplificatori né filtri in quanto queste frequenze sono affette da interferenze nella banda di misura generate da alimentatori a commutazione e da commutazioni elettromeccaniche, non eliminabili con filtri.

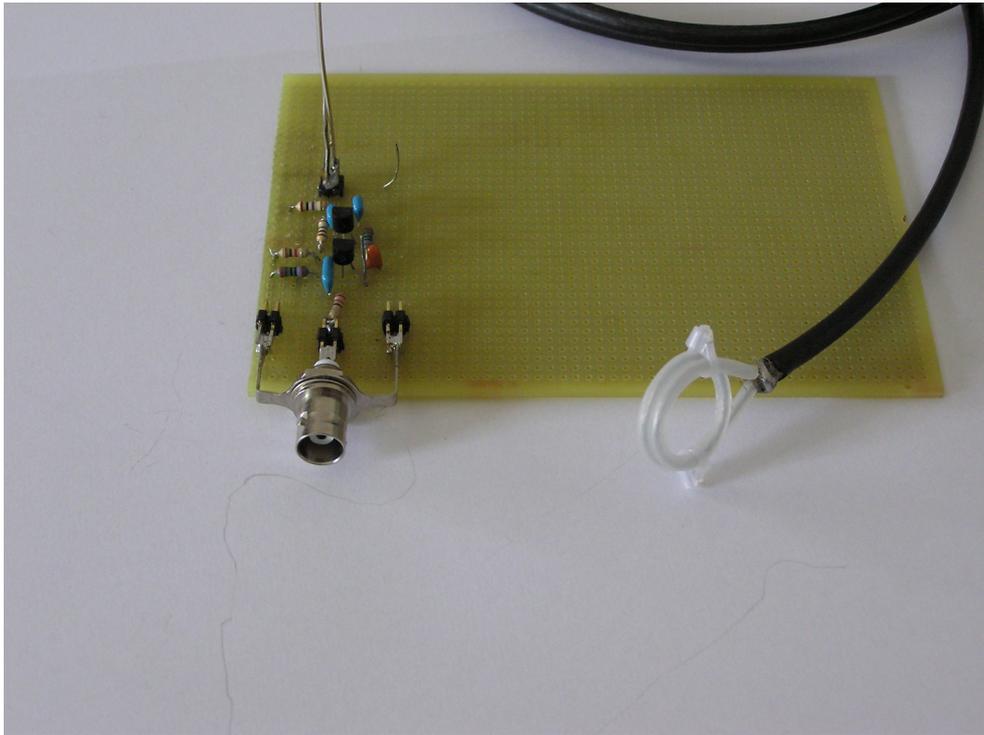
Il circuito dell'antenna attiva è costituito da due inseguitori di emettitore in cascata, il primo con un JFET e il secondo con un BJT.

La larghezza di banda è di circa 200 MHz; è alimentata a 12 V con 25 mA.

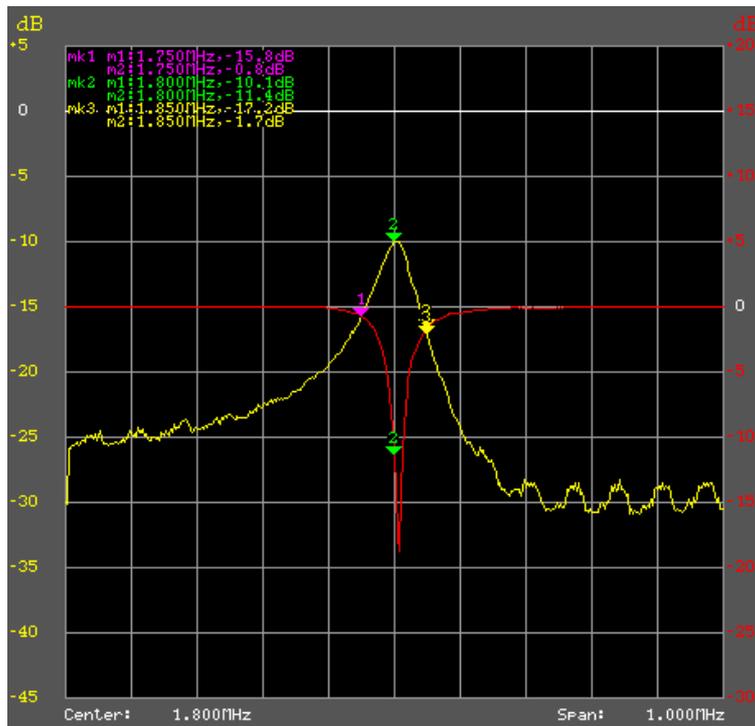
Non è stata effettuata nessuna calibrazione per verificare la sua efficienza.



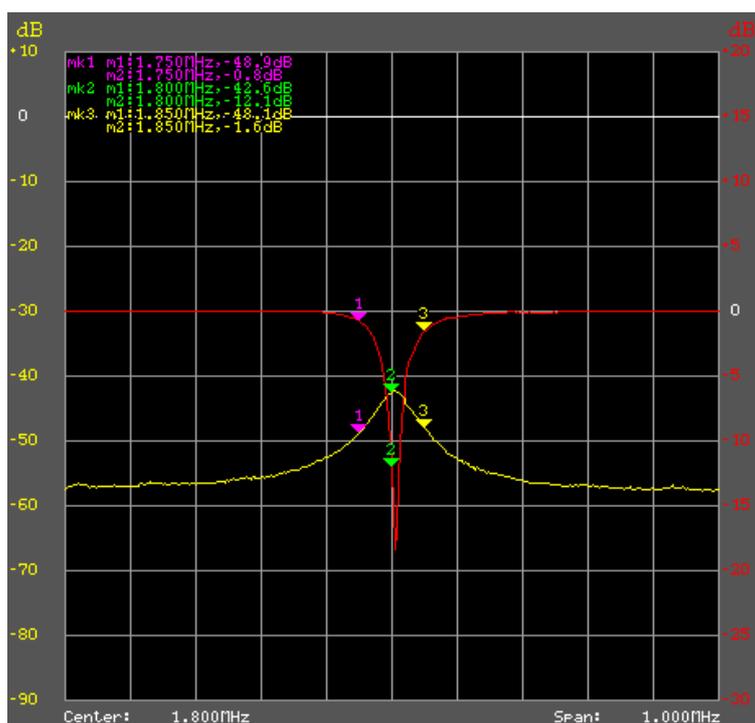
**Figura 9:** foto antenna loop in ferrite per 1,8 MHz



**Figura 10:** foto antenna attiva e antenna loop usate per le misure



**Figura 11:** curva di risposta loop in ferrite; segnale ricevuto con antenna attiva a 5 cm (irregolarità nella misura dirette dovute a disturbi da alimentatori switching, compreso quello del PC)



**Figura 12:** curva di risposta loop in ferrite; segnale ricevuto con antenna loop in aria a 5 cm

## 7. Conclusioni

Si sono esaminate le configurazioni di misura più consigliabili per il test di antenne utilizzando l'analizzatore di reti SNA 2550.

Sono stati poi descritti due esempi realizzativi per fornire alcune considerazioni pratiche supplementari.

Nel primo esempio si è evidenziato l'effetto del piano di massa sull'adattamento di impedenza, fattore spesso sottovalutato nell'uso pratico delle antenne di piccole dimensioni.

Nel secondo esempio, si è suggerito l'uso di un'antenna attiva per la ricezione, allo scopo di impiegare una singola antenna (di dimensioni ridotte) per il test di antenne su tutte le bande HF.

Anche lo strumento consente di realizzare facilmente un banco di misura di buone prestazioni, una certa attenzione deve essere posta all'effetto delle interferenze; questo vale in modo particolare per la misura del guadagno (o irradiazione), mentre per la sola misura del R.O.S., è quasi sempre sufficiente la configurazione di base.

L'uso di filtri e amplificatori permette di sfruttare nel modo migliore la dinamica di misura dello strumento; le loro caratteristiche ottimali, per i risultati migliori, dipendono fortemente da ogni singola condizione di misura, tuttavia saranno in futuro messi a catalogo alcuni modelli di uso più frequente.

In casi estremi, dove le interferenze sono molto intense e molto vicine alla frequenza di misura si può ricorrere all'uso di un analizzatore di spettro come ricevitore calibrato (contattare Elad per indicazioni più complete).

Anche l'ambiente circostante alle antenne utilizzate ha molta influenza, in particolare per frequenze basse e antenne poco direttive: le riflessioni degli oggetti vicini possono rendere la misura imprecisa.