

Progetto, costruzione e collaudo di trappole in cavo coax per la banda dei 10m

(12-10-2015)

È possibile realizzare trappole risonanti parallelo avvolgendo uno spezzone di cavo coassiale su un supporto cilindrico e collegando la calza del primo terminale al conduttore centrale del secondo terminale come è indicato nella figura seguente [1].

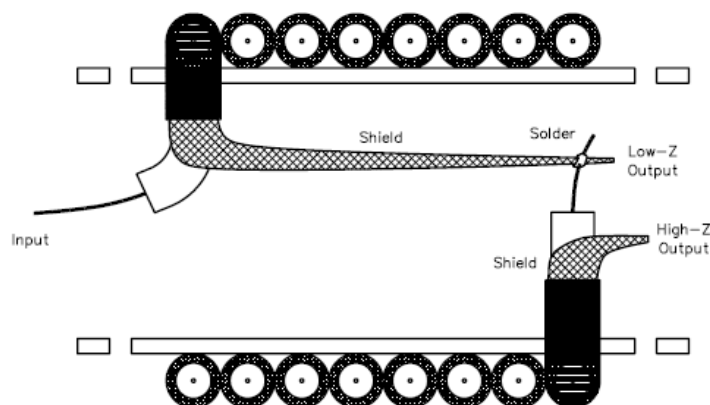


Fig.1- Disegno costruttivo di una trappola risonante realizzata con il cavo coassiale.

La costruzione di figura consente due configurazioni a seconda che si scelga l'uscita a bassa impedenza (Low-Z Output) oppure quella ad alta impedenza (High-Z Output).

In sostanza si tratta di una bobina realizzata con un cavo coassiale che utilizza la capacità distribuita fra i conduttori interno ed esterno per implementare la capacità C_p del circuito risonante parallelo equivalente di *Fig.2*.

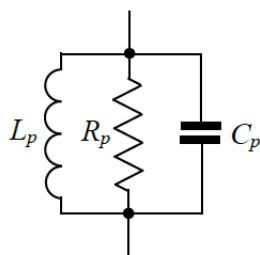


Fig.2- Schema equivalente alla risonanza di una trappola come quella di Fig.1.

È immediato intuire che la capacità dipende dalla lunghezza del cavo coassiale usato, l'induttanza dal numero di spire, dal diametro del supporto e dalla distanza fra spira e spira.

Caratteristiche dei cavi coassiali per la realizzazione delle trappole.

I cavi coassiali usati per realizzare le trappole per essere facilmente avvolti su un supporto cilindrico di diametro adeguato devono avere una buona flessibilità.

Il diametro D del supporto su cui è avvolto il cavo impone un limite superiore al raggio di curvatura minimo e quindi al diametro d del cavo stesso. La limitazione sul diametro d limita, a sua volta, la potenza del segnale che transita dalla trappola.

Generalmente per queste trappole come cavo è usato l'RG-58 le cui caratteristiche principali sono riassunte nella tabella seguente [1].

Nominal Characteristics of Commonly Used Transmission Lines

RG or Type	Part Number	Nom. Z_0 W	VF %	Cap. pF/ft	Cent. Cond. AWG	Diel. Type	Shield Type	Jacket Matl	OD inches	Max V (RMS)	Matched Loss (dB/100)			
											1 MHz	10	100	1000
RG-58	Belden 7807A	50	85	23.7	#18 Solid BC	FPE	FC	PE	0.195	300	0.3	1.0	3.0	9.7
RG-58	TMS LMR200	50	83	24.5	#17 Solid BC	FPE	FC	PE	0.195	300	0.3	1.0	3.2	10.5
RG-58	WM CQ124	52	66	28.5	#20 Solid BC	PE	S	PE	0.195	1400	0.4	1.3	4.3	14.3
RG-58	Belden 8240	52	66	28.5	#20 Solid BC	PE	SS	P1	0.193	1900	0.3	1.1	3.8	14.5
RG-58A	Belden 8219	53	73	26.5	#20 Flex TC	FPE	SS	P1	0.195	300	0.4	1.3	4.5	18.1
RG-58C	Belden 8262	50	66	30.8	#20 Flex TC	PE	S	P2N	0.195	1400	0.4	1.4	4.9	21.5
RG-58A	Belden 8259	50	66	30.8	#20 Flex TC	PE	S	P1	0.192	1900	0.4	1.5	5.4	22.8

Approximate Power Handling Capability (1:1 SWR, 40°C Ambient):

RG-58 Style	1.8 MHz	7	14	30	50	150	220	450	1 GHz
	1350	700	500	360	250	150	120	100	50

Legend:

ASPE	Air Spaced Polyethylene	DRF	Davis RF	P1	PVC, Class 1	SM	Smooth Aluminum
BC	Bare Copper	FC	Foil + Tinned Copper Braid	P2	PVC, Class 2	SPC	Silver Plated Copper
CC	Corrugated Copper	FEP	Teflon® Type IX	PE	Polyethylene	TC	Tinned Copper
CCA	Copper Cover Aluminum	Flax	Flexible Stranded Wire	S	Single Braided Shield	TFE	Teflon® Systems
CCS	Copper Covered Steel	FPE	Foamed Polyethylene	SC	Silver Coated Braid	UF	Ultra Flax
CXP	Cable X-Parts, Inc.	Holix	Holix Andrew Corp Holix	SCCS	Silver Plated Copper Coated Steel	WM	Wireman
D	Double Copper Braids	N	Non-Contaminating				

Tab.1- Principali caratteristiche dei cavi RG-58.

La capacità per metro C_0 di un cavo RG-58 con polietilene solido come dielettrico (costante dielettrica relativa $\epsilon_r = 2,3$) è uguale a 95pF, circa.

Tenendo conto che l'impedenza caratteristica di un cavo privo di perdite è data da $Z_0 = \sqrt{L_0/C_0}$, l'induttanza per metro risulta $L_0 = 237$ nH/m.

Circuito equivalente.

Per risalire al circuito equivalente sono state avvolte $N=4$ spire di RG-58 su un supporto ricavato da un tubo di PVC avente un diametro $D=40$ mm, quindi sulla trappola così costruita sono state fatte misure di induttanza, capacità e impedenza.

In **Fig.3** è rappresentato il cavo coassiale con i relativi collegamenti ed i terminali di ingresso e uscita. Le misure, per frequenze comprese fra 2 e 30MHz, sono state fatte fra i terminali **A**, **B** e **C** considerati a coppie ed aprendo, a seconda del tipo di misura, il collegamento fra il terminale **A** e **B**.

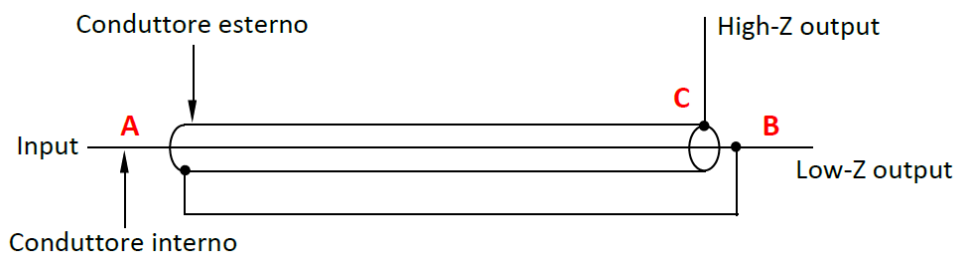


Fig.3 - Cavo coassiale disteso di una trappola come quella di Fig.1 con i relativi collegamenti.

Dalle misure è stato ricavato il circuito equivalente di **Fig.4**, valido alle basse frequenze, quelle la cui lunghezza d'onda risulta molto maggiore della lunghezza del cavo coassiale che costituisce l'avvolgimento della trappola.

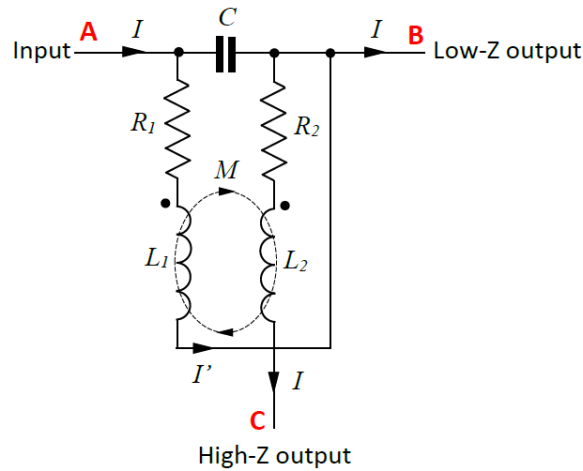


Fig.4 – Schema equivalente di una trappola realizzata con cavo coassiale, come quella di **Fig.1**.

(Nello schema di **Fig.4**, con i pedici 1 e 2 sono indicate l'induttanza e la resistenza del conduttore interno e della calza del coassiale, con C ed M la capacità e il coefficiente di mutua induzione fra i due.)

La capacità C è uguale alla capacità C_0 (pF/m) del cavo moltiplicata per la sua lunghezza, le induttanze L_1 ed L_2 risultano maggiori dell'induttanza L_0 (nH/m) del cavo moltiplicata per la sua lunghezza perché tengono conto che lo stesso cavo non è disteso come in **Fig.3**, ma è avvolto sul supporto della trappola.

Per il circuito equivalente relativo all'uscita a bassa impedenza, il ramo R_2 - L_2 risulta "appeso" e non è percorso da corrente. Inoltre dal confronto con il circuito di **Fig.2** è immediato concludere che $C_p = C$. Infine se le perdite del ramo R_1 - L_1 sono trascurabili ($R_1 \approx 0$) è $L_p = L_1$ e $R_p = X_{L1}^2 / R_1$, con X_{L1} reattanza corrispondente ad L_1 , calcolata alla frequenza f_0 di risonanza.

Per il circuito equivalente relativo all'uscita ad alta impedenza, L_1 ed L_2 sono accoppiate per mutua induzione ed il ramo R_2 - L_2 è interessato dall'intera corrente I di uscita. In questo caso risalire a L_p , C_p ed R_p non è immediato. Risolvendo il circuito equivalente di **Fig.4** ed imponendo l'equivalenza alla risonanza con quello di **Fig.2**, nelle ipotesi che il flusso generato dall'avvolgimento del conduttore interno sia totalmente accoppiato con quello costituito dalla calza (flusso disperso nullo oppure, in altri termini, coefficiente di accoppiamento k fra L_1 ed L_2 unitario), perdite trascurabili ($R_1, R_2 \approx 0$) troviamo: $L_p = 4 \cdot L_1$, $C_p = C/4$ e $R_p = 4 \cdot L_1 / (C \cdot R_1)$.

In **Tab.2** sono riassunte le conclusioni ottenute dall'analisi circuitale descritta sopra, valide nelle ipotesi semplificative indicate.

Parametro	Uscita bassa impedenza	Uscita alta impedenza
L_p	L_1	$4 \cdot L_1$
C_p	C	$C / 4$
R_p	X_{L1}^2 / R_1	$4 \cdot L_1 / CR_1$

Tab.2 – Valori degli elementi L_p , C_p ed R_p del circuito di **Fig.2** in funzione degli elementi del circuito di **Fig.4**, nelle ipotesi semplificative di perdite trascurabili, $L_1=L_2$, e accoppiamento magnetico fra conduttore interno e calza senza flusso disperso.

Nelle ipotesi semplificative ammesse (generalmente valide) i due circuiti equivalenti, a bassa ed alta impedenza, hanno la stessa frequenza di risonanza f_0 data da:

$$f_0 = 1/2\pi \sqrt{L_p C_p} = 1/2\pi \sqrt{L_1 C}$$

Anche il fattore di bontà Q alla risonanza risulta indipendente dall'uscita prescelta e vale:

$$Q = \omega_0 C_p R_p = 1/\omega_0 C R_1$$

Il fattore di bontà Q è un parametro importante per la caratterizzazione delle due trappole perché ne definisce la banda di funzionamento.

Il fatto che i due circuiti equivalenti abbiano la stessa frequenza di risonanza f_0 e lo stesso fattore di bontà Q non significa che abbiano anche la stessa impedenza.

In **Fig.5** è rappresentato l'andamento del modulo delle impedenze viste fra il terminale di ingresso e i terminali bassa ed alta impedenza al variare della frequenza.

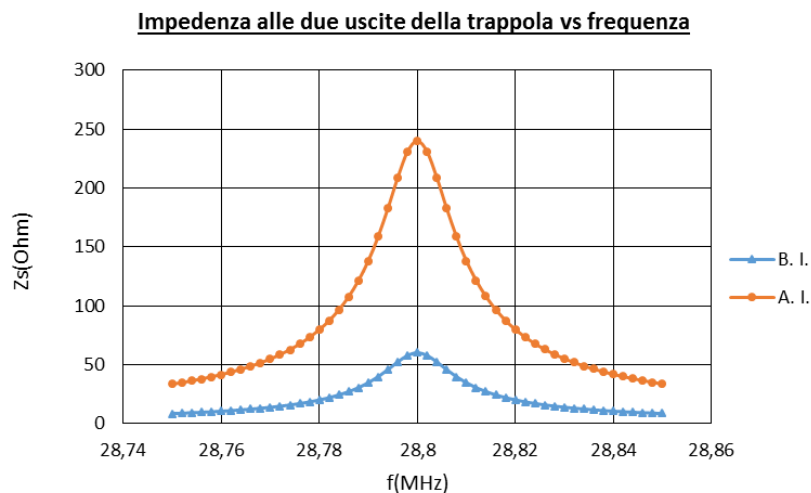


Fig.5 – Andamento dell'impedenza Z_s viste fra il terminale d'ingresso e i terminali bassa ed alta impedenza al variare della frequenza in prossimità della frequenza di risonanza.

Come si vede (e potevamo immaginare dalla distinzione delle due uscite come bassa ed alta impedenza) l'impedenza vista dai terminali alta impedenza è maggiore di quella vista dai terminali bassa impedenza.

Il rapporto fra i moduli delle due impedenze è uguale a 4 per cui alla risonanza la tensione che si localizza fra l'ingresso e l'uscita alta impedenza è 4 volte quella che si localizza fra l'ingresso e l'uscita bassa impedenza. Dal punto di vista pratico questo limita ad un valore più basso la potenza del segnale che alla risonanza la trappola può arrestare senza danneggiarsi.

[Dimensionamento delle trappole risonanti nella banda dei 10m.](#)

Per dimensionare le trappole è necessario esprimere la frequenza di risonanza f_0 mediante i parametri costruttivi delle stesse.

Una formula approssimata per l'induttanza L_l del conduttore centrale del cavo avvolto è [2]:

$$L_1 = \frac{(D+d)^2 N^2}{25.4 [18(D+d) + 40Nd]} \quad [\mu\text{H}]$$

con N numero di spire, D diametro del supporto dell'avvolgimento e d diametro del cavo, espressi in mm. Nella precedente, per il cavo ed il supporto è stata considerata una permeabilità magnetica relativa $\mu_r = 1$.

La capacità C fra conduttore centrale e calza, al netto dei tratti di cavo usati per collegare fra loro i due estremi dell'avvolgimento, è data da:

$$C = C_0 l = \pi C_0 (D+d) N \cdot 10^{-3} \quad [\text{pF}]$$

con C_0 capacità per unità di lunghezza del cavo espressa in pF/m e i diametri D e d espressi in mm. Nella precedente $l = \pi(D+d)N$ rappresenta la lunghezza del cavo coassiale.

Sostituendo le precedenti nell'espressione di f_0 si trova:

$$f_0 = \frac{10^3}{2\pi \sqrt{\frac{(D+d)^2 N^2}{25.4 \cdot [18(D+d) + 40Nd]} \cdot \pi C_0 (D+d) N \cdot 10^{-3}}} \quad [\text{MHz}] \quad (1)$$

che, stabilito D ed il tipo di cavo (per d e C_0), consente di tracciare la curva che fornisce f_0 al variare di N .

In **Fig.6** è rappresentato il grafico che si ottiene per $D = 40\text{mm}$ e per il cavo RG-58.

Entrando sulle ordinate con la frequenza che interessa, sull'ascissa corrispondente al punto intercettato sulla curva si legge il numero di spire. Nel nostro caso entrando con $f_0 = 28\text{MHz}$ sulle ascisse si legge $N = 3,5$ spire.

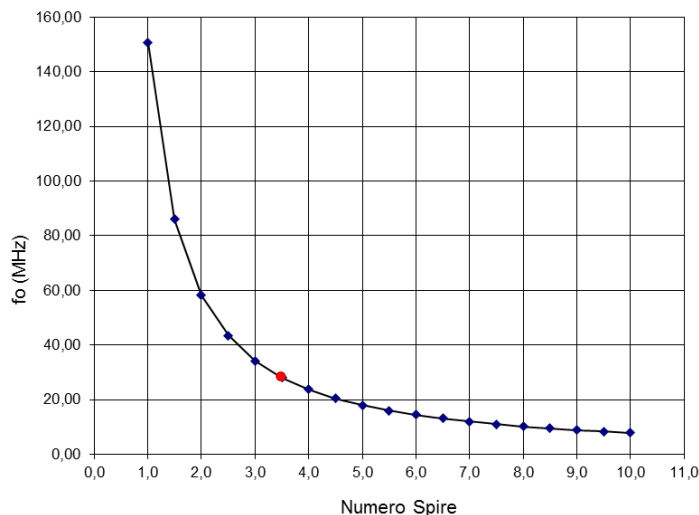


Fig.6 – Curva che fornisce la frequenza di risonanza di una trappola come quella di **Fig.1** al variare del numero N di spire. Cavo RG-58, diametro del supporto $D=40\text{mm}$.

La (1) è stata verificata costruendo quattro trappole con $N=1, 2, 3, 4$ spire e misurando le corrispondenti frequenze di risonanza.

Per le misure sono stati utilizzati due metodi diversi, quello del grid-dip meter e quello della risposta in frequenza mediante generatore e bolometro.

Il primo metodo consente la misura della frequenza di risonanza propria della trappola senza coinvolgere in modo diretto il ramo L_2-R_2 del circuito di **Fig.4** e quindi la misura della frequenza di risonanza della trappola relativa all'uscita bassa impedenza.

Il secondo metodo offre la possibilità di misurare in modo separato le frequenze di risonanza dei due circuiti equivalenti relativi alle due uscite a bassa impedenza e ad alta impedenza.

Il set-up di misura impiegato per il primo metodo (grid-dip meter) è costituito dall' analizzatore d'antenna MFJ-269 provvisto di un opportuno probe che lo trasforma in grid-dip meter. Il probe viene avvicinato al circuito sotto misura come è rappresentato in **Fig.7**, ad una distanza sufficiente ad evidenziare il dip provocato, nella misura di SWR, dalla condizione di risonanza.



Fig.7 – Posizione tipica del probe collegato all'analizzatore d'antenna MFJ-269 rispetto alla trappola per la misura della frequenza di risonanza con il metodo del grid-dip meter.

Il set-up di misura impiegato per il secondo metodo è costituito dall' MFJ-269, utilizzato come generatore di segnale, un test-jig provvisto di due condensatori di piccola capacità e da un bolometro (Power Meter HP 432A + Power Sensor HP 478A). I condensatori devono essere di bassa capacità per isolare il circuito sotto misura dal generatore e dal Power Sensor, compatibilmente con la sensibilità del Power Sensor ed il livello disponibile del segnale che il generatore è in grado di fornire. Nel nostro caso i due condensatori sono stati scelti con una capacità C_a di 1,5pF. Lo schema è rappresentato in **Fig.8**.

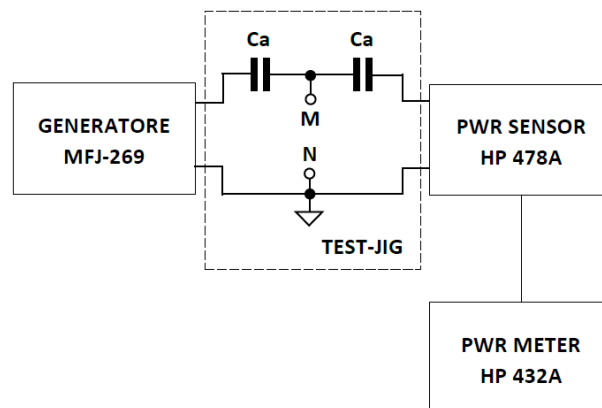


Fig.8 – Schema del banco di misura per misurare la frequenza di risonanza della trappola con il secondo metodo.

Con M ed N sono indicati i terminali a cui deve essere collegato il circuito sotto misura. La procedura consiste nel variare la frequenza del segnale fornito dal generatore fino ad ottenere il massimo della potenza indicata dal bolometro. La frequenza f_0' , letta sull'MFJ-269, corrispondente è la frequenza di risonanza dell'insieme composto dalla trappola e dal test-jig, così, per la presenza dei due condensatori C_a , la frequenza f_0' risulta minore della frequenza di risonanza parallelo f_0 propria della trappola.

Questo metodo consente anche di misurare il fattore di bontà Q' dello stesso insieme e da questo risalire al fattore di bontà Q della trappola. Il fattore di bontà Q' si calcola come rapporto fra la frequenza di risonanza f_0' e la differenza $(f_2 - f_1)$, con f_1 ed f_2 frequenze del segnale in corrispondenza delle quali la potenza indicata dal bolometro risulta uguale alla massima ridotta di 3dB.

Le formule che consentono di risalire dai valori di f_0' e Q' a quelli di f_0 e Q sono le seguenti [3]:

$$f_0 = f_0' \sqrt{1 + \frac{2C_a'(f_0')}{C_p}} \quad (2) \quad Q = Q' \frac{f_0' R_p(f_0)}{f_0 R_p(f_0')} \left[1 + \frac{2R_p(f_0')}{R'(f_0')} \right] \quad (3)$$

dove, per valori molto bassi di C_a , C_a' ed R' possono approssimarsi con C_a e $X_{C_a}^2/R_{S,L}$.

Sempre nelle precedenti, C_p ed R_p sono gli elementi del circuito equivalente alla risonanza di **Fig.2** ed $R_{S,L}$ sono le impedenze d'uscita del generatore di segnale e d'ingresso del Power Sensor uguali, nel nostro caso, a 50Ω .

In **Fig.9**, a destra è rappresentato il test-jig descritto con assemblata una trappola pronta per le misure mentre a sinistra è rappresentato il set-up di misura con l'MFJ-269, il test-jig ed il power sensor del bolometro.

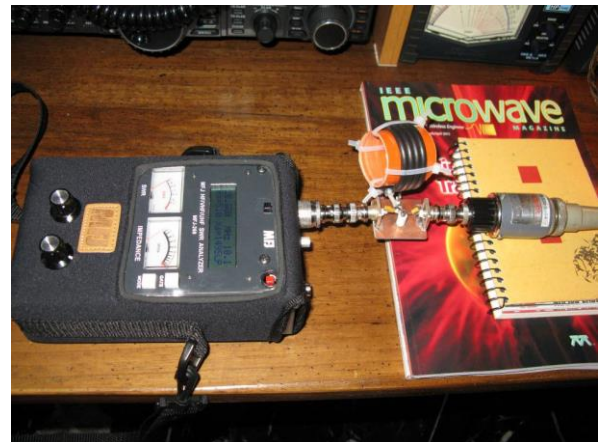
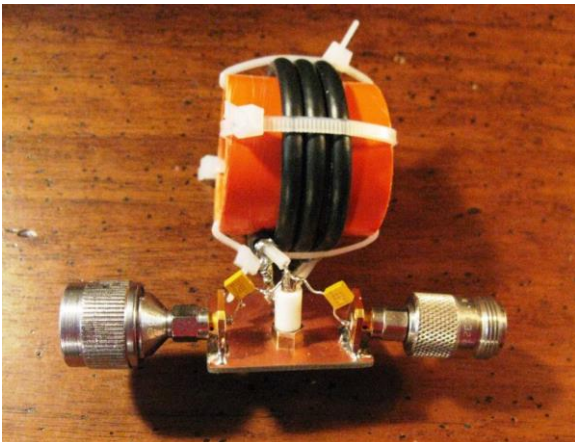


Fig.9 – Trappola assemblata sul Test-Jig di misura e Test-Jig montato sul banco di misura fra il generatore di segnale (MFJ-269) e il Power Sensor (HP-478A).

Misure con il metodo del grid-dip meter.

Nel grafico di **Fig.10** sono confrontate le misure fatte con il metodo del grid-dip meter per $N=2, 3, 4$ con i valori ottenuti dalla formula (1). La misura per $N=1$ non è stata possibile perché non è stato possibile apprezzare il dip della risonanza.

L'accordo fra i valori misurati e quelli calcolati è buono.

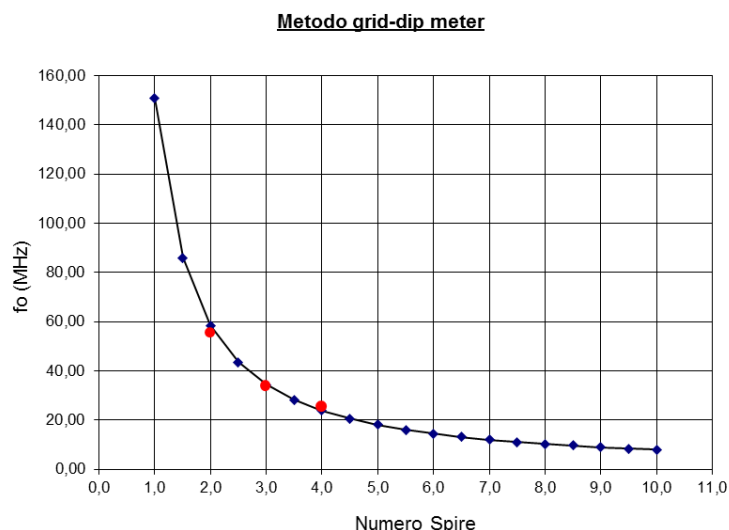


Fig.10 – Confronto fra le misure fatte per $N=2,3,4$ con il metodo del grid-dip meter e la curva teorica.

Misure con il metodo bolometrico.

In **Fig.11** sono confrontate le misure fatte per l'uscita bassa impedenza con il metodo bolometrico e corrette con la (2), con i valori ottenuti dalla formula (1). Per $N=2, 3$ e 4 i valori ottenuti dalle misure sono abbastanza allineati con quelli calcolati, anche se gli scostamenti sono maggiori rispetto a quelli trovati con il metodo del grid-dip meter. Per $N=1$ lo scostamento fra il valore misurato ed il valore calcolato rimane alto anche dopo la correzione dell'errore sistematico di misura. Due possono essere i motivi, uno legato alla (1), che per $N=1$ è meno esatta, l'altro legato ai parassiti introdotti dal Test-Jig di cui non è stato tenuto conto.

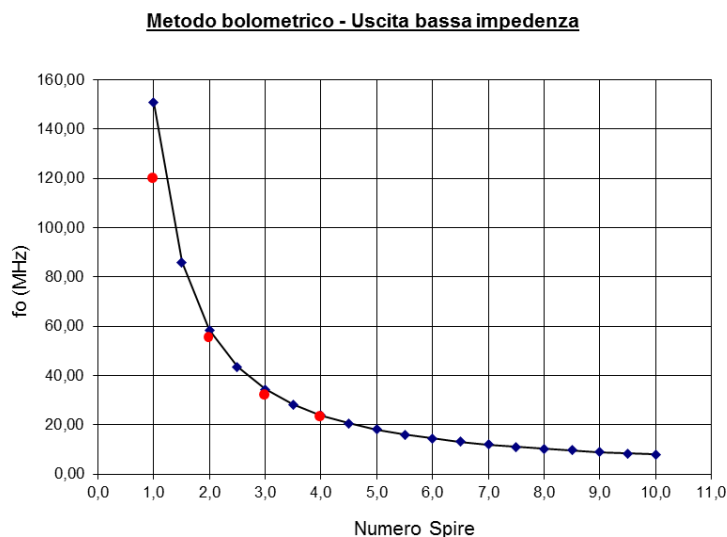


Fig.11 – Confronto fra le misure fatte per l'uscita bassa impedenza con il metodo bolometrico e corrette con la (2) e la curva teorica.

In **Fig.12** sono confrontate le misure fatte per l'uscita alta impedenza con il secondo metodo e corrette con la (2), con i valori ottenuti dalla formula (1). Valgono le stesse considerazioni fatte per l'uscita a bassa impedenza. Le misure confermano quanto concluso per via teorica e cioè che, per quanto riguarda la frequenza di risonanza le due uscite possono ritenersi equivalenti.

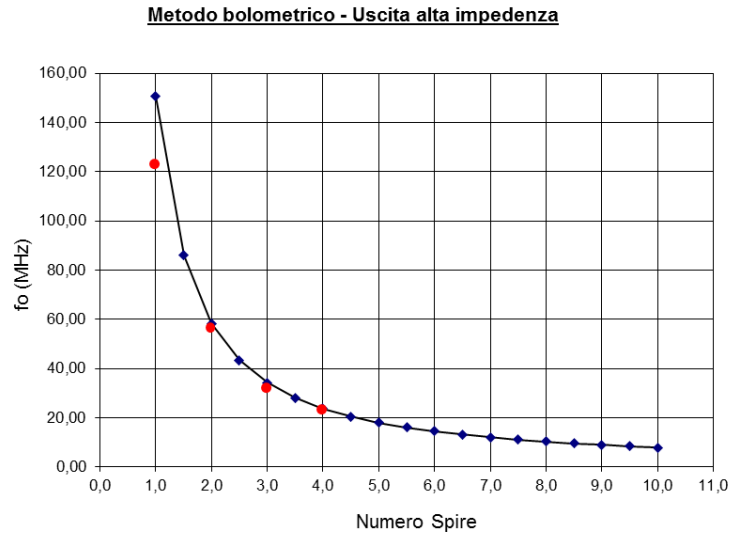


Fig.12 – Confronto fra le misure fatte per l’uscita alta impedenza con il metodo bolometrico e corrette con la (2) e la curva teorica.

Per il Q , in **Tab.3** sono riportati i valori misurati e quelli corretti con la (3). Come si vede non si notano differenze significative fra le due uscite. Questo conferma le conclusioni a cui si è giunti per via teorica. Tra l’altro possiamo ritenere che i valori di **Tab.3** siano confermati da quelli di Table 1, pag. 7-15 di [1], riportati per comodità in **Tab.4**. Valori questi dichiarati come misurati con un Q-metro Boonton, calibrato.

N spire	Uscita bassa impedenza			Uscita alta impedenza		
	$f_0(\text{MHz})$	Q'	Q	$f_0(\text{MHz})$	Q'	Q
1	119,06	66,33	158,86	123,98	41,52	169,77
2	52,68	142,74	199,99	53,29	87,38	181,73
3	32,50	163,63	191,09	32,52	130,96	195,21
4	23,08	188,74	204,54	23,03	150,89	189,69

Tab.3 – Valori misurati e valori corretti per il fattore di bontà nei due casi di uscita a bassa impedenza ed uscita ad alta impedenza.

Table 1							
Trap Q							
Frequency (MHz)	3.8	7.15	14.18	18.1	21.3	24.9	28.6
High Z out (Ω)	101	124	139	165	73	179	186
Low Z out (Ω)	83	103	125	137	44	149	155

Tab.4 – Valori del fattore di bontà di trappole in cavo coax misurati con un Q-metro Boonton, calibrato (da [1], pag. 7-15, Table 1)

Costruzione delle trappole.

L'obiettivo è la costruzione di una coppia di trappole come quelle descritte, risonanti alla frequenza di 28,8MHz, realizzate con cavo RG-58 su un supporto avente un diametro di 40mm, ricavato da un tubo in PVC.

Trappola prototipo.

Per iniziare le prime prove e trovare, per approssimazioni successive, il numero di spire e la lunghezza ottimale dell'avvolgimento, è stata realizzata una trappola prototipo.

Come risulta dai grafici della frequenza di risonanza al variare del numero di spire delle figure precedenti, la trappola per risuonare a 28,8MHz dovrà avere un numero di spire N compreso fra 3 e 4. Interpolando le frequenze misurate con il metodo del grid-dip meter (punti evidenziati in rosso in **Fig.10**) si trova che in prima approssimazione ad $f_0=28,8\text{MHz}$ corrisponde un numero di spire $N=3,3$. Le spire non devono essere accostate in modo stretto l'una all'altra perché l'avvicinamento o l'allontanamento delle stesse deve permettere la messa a punto della frequenza di risonanza della trappola dopo l'installazione. La soluzione costruttiva adottata è mostrata in **Fig.13**. Il cavo coassiale è fissato al supporto mediante due fori posti alle estremità dell'avvolgimento. Attraverso gli stessi fori il cavo passa all'interno dove è effettuata la saldatura fra calza e conduttore centrale mostrata in **Fig.1**. La calza e il conduttore centrale che (nella configurazione alta impedenza) saranno collegati all'antenna sono riportati verso l'esterno attraverso altri due fori, infine, per fissare la trappola ai bracci dell'antenna, il supporto è provvisto di quattro fori, due a due allineati, rinforzati mediante un rivetto di ottone.

Con una trappola realizzata con $N=3,3$ spire è stata trovata una frequenza di risonanza massima (spire completamente allontanate) di 28,291MHz, minore dei 28,8MHz desiderati ed una variazione della frequenza di risonanza Δf_0 al variare della distanza fra le spire insufficiente in quanto limitata a poche centinaia di KHz.



Fig.13 – Trappola prototipo.

Per aumentare f_0 il numero N delle spire è stato ridotto a 3,25 e lo spazio destinato all'avvolgimento è stato aumentato al valore riportato nel disegno di foratura del supporto rappresentato in **Fig.14**.

In queste condizioni è stata trovata una frequenza di risonanza massima di 29,885MHz ed una variazione della frequenza di risonanza $\Delta f_0 = 1,115\text{MHz}$, circa. Valori accettabili.

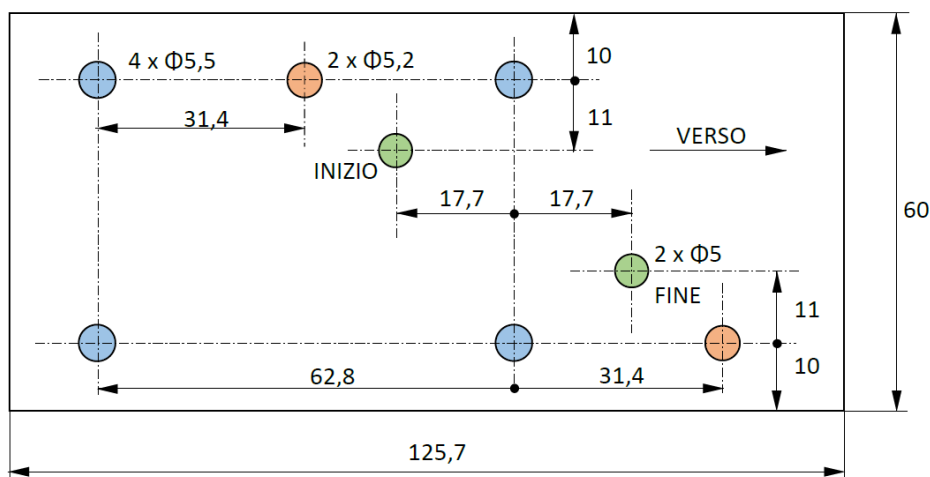


Fig.14 - Disegno di foratura del supporto in PVC per il prototipo 2° tentativo.

La lunghezza totale del cavetto RG-58 con cui è stata realizzata la trappola è 58cm e i tratti scoperti alle estremità per i collegamenti sono lunghi 4cm. In **Fig.14** i fori per il coassiale sono quelli di colore verde, con la freccia a destra è indicato il verso dell'avvolgimento. Con i colori marrone e azzurro sono indicati i fori per i collegamenti e per il fissaggio all'antenna.

Trappole N.01 e N.02

Sfruttando l'esperienza fatta con la trappola prototipo si decide di passare alla costruzione delle due trappole definitive. A ciascuna delle due trappole è stato attribuito un numero identificativo, inoltre per rendere minimo l'errore di misura di f_0 e confrontabili misure su trappole diverse è stato stabilito di accoppiare il probe dell'MFJ-269 alla trappola sottomisura per un SWR (in corrispondenza del dip) maggiore di 10:1, misurato con il probe affacciato all'interno della trappola e con l'asse del probe parallelo all'asse della trappola.

Prima di realizzare le nuove trappole, sono state ripetute le misure delle frequenze di risonanza della trappola prototipo 2° tentativo operando secondo i criteri stabiliti. Poiché le frequenze di risonanza misurate sono risultate minori rispetto a quelle di nostro interesse, per le nuove trappole il numero N di spire è stato ridotto da 3,25 a 3,23 e la lunghezza dei tratti scoperti è stata aumentata da 4 a 4,2cm. Il nuovo disegno di foratura del supporto è rappresentato in **Fig.15**.

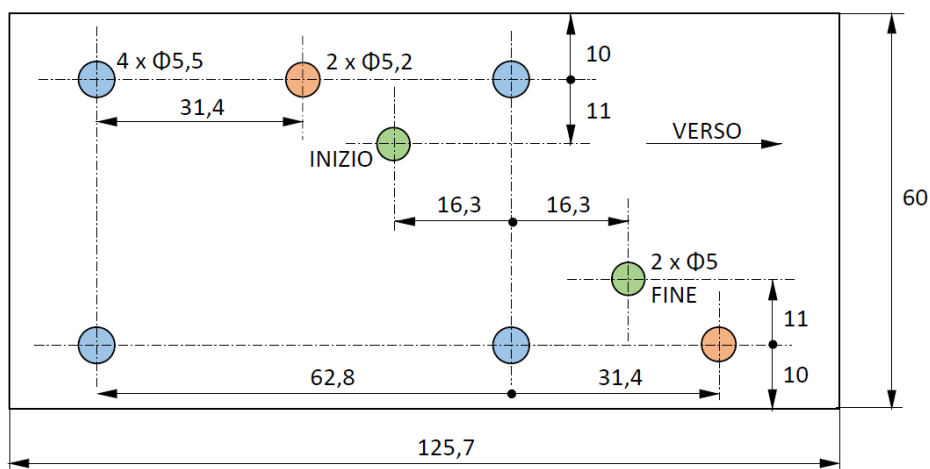


Fig.15 - Disegno di foratura del supporto in PVC per le trappole N.01 e N.02.

Le frequenze di risonanza misurate due trappole sono riportate in **Tab.5**.

Trappola	Condizioni di misura		f_0 (MHz)
01	Spire accostate.		
	Probe lato IN	SWR=17,1:1	28,423
	Probe lato OUT	SWR=17,0:1	28,469
	Spire allontanate.		
02	Spire accostate.		
	Probe lato IN	SWR=14,6:1	28,510
	Probe lato OUT	SWR=12,6:1	28,521
	Spire allontanate.		
02	Probe lato IN	SWR=19,1:1.	29,284
	Probe lato OUT	SWR=16,8:1	29,331

Tab.5 – Frequenze di risonanza delle trappole N.01 e 02.

La trappola N.01 è tarabile nel range 28,4 – 29,3MHz, la N.02 nel range 28,5 – 29,3MHz, circa.

Il disegno di foratura di **Fig.15** è stato pensato per la soluzione realizzativa di **Fig.16**.

In particolare, la trappola sostenuta direttamente dai fili dell'antenna attraverso i fori muniti di rivetto di **Fig.13**. Il collegamento elettrico ai fili dell'antenna è realizzato mediante capocorda ad anello fissati mediante dado e rondelle a due viti di acciaio inossidabile, passo M5, fissate, a loro volta, mediante dado e rondella, al supporto in PVC. La trappola è chiusa agli estremi mediante due dischi incollati al bordo della stessa trappola con colla bicomponente, stuccati e verniciati. Scopo della chiusura è proteggere l'interno della trappola, dove ci sono le saldature, dalla pioggia. Le chiusure così fatte purtroppo non sono sufficienti a sigillare perfettamente la trappola, rimangono aperti i fori attraverso i quali la trappola è fissata all'antenna, per cui c'è da aspettarsi che la frequenza di risonanza della trappola possa variare con le condizioni dell'atmosfera come ad esempio il contenuto di umidità.

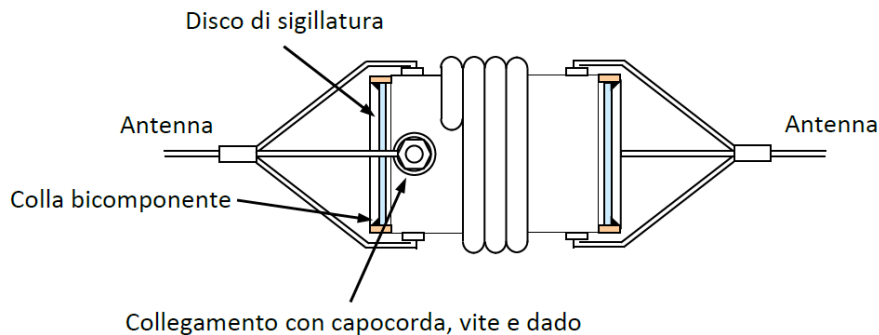


Fig.16 – Ipotesi realizzativa delle trappole N.01 e N.02.

Da una nuova caratterizzazione di una delle due trappole eseguita dopo avere inserito le due viti per il collegamento elettrico all'antenna ed avere collegato a queste, internamente al supporto, i terminali del cavo coassiale, come è possibile vedere in **Fig.17**, è stato trovato che a causa della presenza del supporto la frequenza di risonanza f_0 della trappola risulta spostata in basso di circa 540KHz.



Fig.17 – Trappole N.01 e 02.

Un'altra differenza importante rispetto alle trappole prototipo è la difficoltà riscontrata, in questo caso, per ottenere il dip. Questa difficoltà ha fatto pensare ad un abbassamento del fattore di bontà Q della trappola. Non è detto che questo comprometta il funzionamento della trappola, ma sicuramente spinge a ricercare soluzioni migliorative. Un altro aspetto fa sorgere dei dubbi sull'affidabilità del collegamento diretto dell'antenna al supporto. Alla frequenza di risonanza della trappola ai capi della stessa e quindi fra i punti di ancoraggio della stessa all'antenna, si presenta un massimo di tensione (ventre di tensione) che può provocare un passaggio di corrente sulla superficie del supporto e nel tempo, un danneggiamento irreversibile della trappola.

Una realizzazione che consente di superare le problematiche esposte è quella mostrata in **Fig.18**.

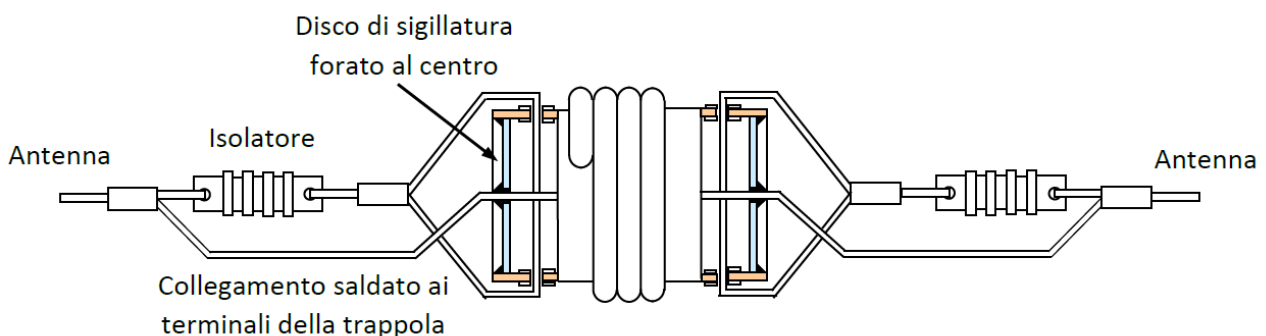


Fig.18- Soluzione realizzativa che consente di superare le problematiche legate al collegamento elettrico fra antenna e supporto della soluzione di **Fig.16**.

Nella soluzione di **Fig.18** il supporto della trappola è isolato dall'antenna mediante due isolatori ed i terminali della trappola sono collegati all'antenna mediante due fili con guaina che attraversano al centro i dischi di sigillatura. Dei fili di collegamento (corti rispetto alle lunghezze d'onda dei segnali in gioco, ma non trascurabili) se ne dovrà tenere conto nel dimensionamento dell'antenna.

Trappole N.03 e N.04

In **Fig.19** è rappresentato il disegno di foratura del supporto usato per le trappole N.03 e 04 realizzate come mostrato in **Fig18**.

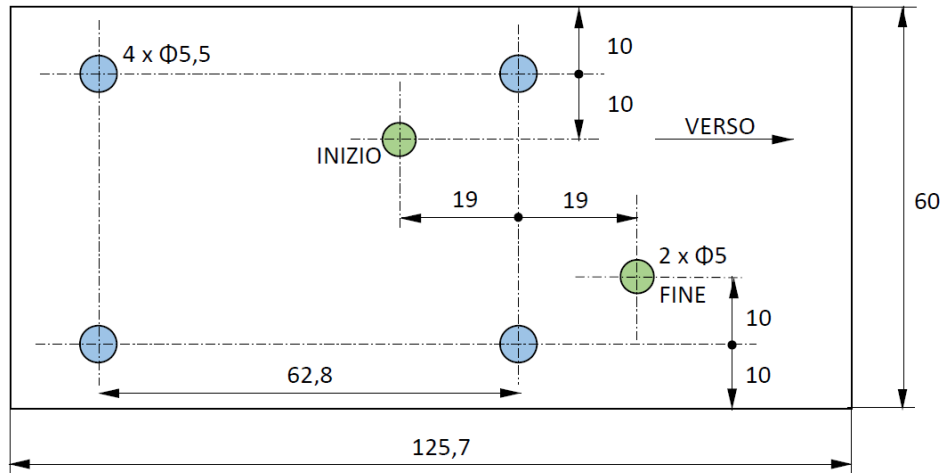


Fig.19 – Disegno di foratura del supporto in PVC per le trappole N.03 e N.04.

Rispetto al disegno di foratura di **Fig.15**, la distanza tra i fori di ancoraggio della trappola (azzurri) e quelli di passaggio del cavo coassiale (verdi) è ridotta di 1mm per aumentare da 18 a 20mm lo spazio che ospita l'avvolgimento e quindi l'intervallo di sintonia di f_0 , inoltre la distanza fra i fori di passaggio del cavo coassiale è stata portata da 32,6mm a 38mm con un incremento di N da 3,23 a 3,27 spire per compensare l'aumento della spaziatura fra spira e spira dovuto all'aumento dello spazio che ospita l'avvolgimento.

Anche in questo caso è stato utilizzato uno spezzone di RG-58 lungo 58cm, sguainato alle estremità per 4,1cm e dal lato output (alta e bassa impedenza) di **Fig.1** con la lunghezza dell'isolante del cavo coassiale scoperto dalla calza ridotta a 1,3cm.

Le frequenze di risonanza misurate con le due trappole realizzate secondo il disegno di foratura del supporto di **Fig.18**, sono riportate in **Tab.6**. (La trappola N. 03 è stata indicata in tabella con 03R per una rilavorazione in corso d'opera che ha comportato la sostituzione del cavo coassiale.)

Trappola	Condizioni di misura		f_0 (MHz)
03R	Spire accostate.	SWR=23,3:1	28,472
	Spire allontanate.	SWR=26,1:1	29,225
04	Spire accostate.	SWR=27:1	28,678
	Spire allontanate.	SWR=28,7:1	29,212

Tab.6 - Frequenze di risonanza delle trappole N.03R e 04.

Una volta assemblate e dopo la prima caratterizzazione di **Tab.6**, le saldature sono state verniciate con smalto rosso per proteggerle, dopodiché sono stati saldati i fili che collegano la trappola all'antenna.

In **Tab.7** sono riportate le frequenze di risonanza misurate dopo ogni operazione.

Trappola	Condizioni di misura	Iniziali	Con vernice	Con i fili
03R	Spire accostate.	28,472	28,431	27,485
	Spire allontanate.	29,225	29,054	27,897
04	Spire accostate.	28,678	28,664	27,713
	Spire allontanate.	29,212	29,164	28,447

Tab.7 - Frequenze di risonanza delle due trappole dopo le operazioni indicate nella prima riga.

Come si vede non ci sono differenze sostanziali fra le misure di f_0 fatte prima e dopo la verniciatura delle saldature, mentre per effetto dei fili di collegamento all'antenna f_0 si è abbassata mediamente di circa 1MHz.

Infine sono stati inseriti i dischi di chiusura e sono stati incollati con colla bicomponente al supporto. Essiccata la colla è stato applicato dello stucco che dopo la levigatura è stato verniciato con smalto nero.

A questo punto è stata ripetuta la misura della frequenza di risonanza.

Poiché dall'esterno non è stato possibile eccitare con il probe in dotazione all' MFJ-269 la risonanza, si è fatto ricorso al sistema di eccitazione di **Fig.20** costituito da una mezza spira inserita fra le spire della trappola. Le misure così ottenute sono riportate in **Tab.8**.

Al fatto che la modalità di accoppiamento dello strumento di misura alla trappola non ha consentito di ottenere alla risonanza un SWR maggiore di 10:1, come stabilito, non è stata data molta importanza perché queste misure sono state ritenute più qualitative che quantitative.

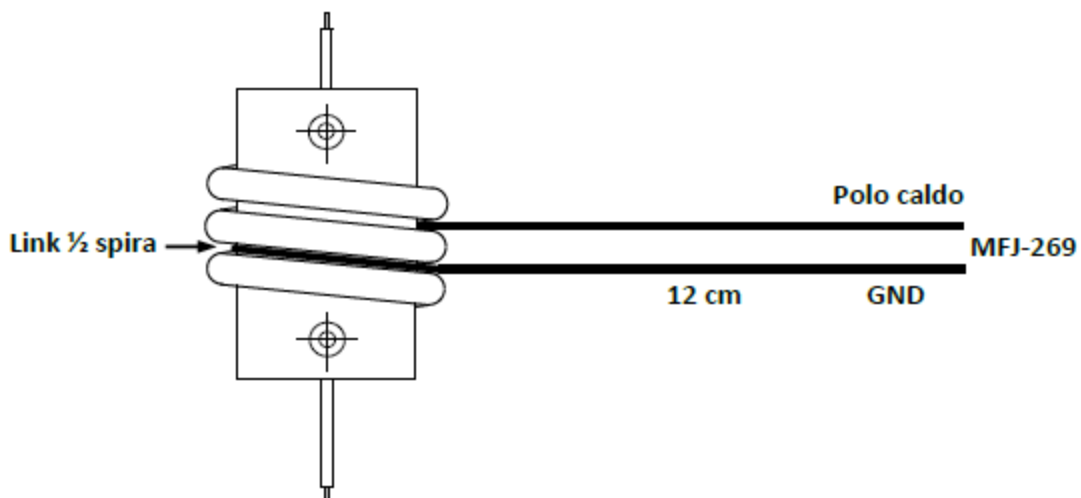


Fig.20 – Link per misurare la frequenza di risonanza dall'esterno della trappola.

Trappola	Condizioni di misura		f_0 (MHz)
03R	Spire accostate.	SWR = 4,3:1	27,900
	Spire allontanate.	SWR = 3,7:1	28,862
04	Spire accostate.	SWR = 3,8:1	28,011
	Spire allontanate.	SWR = 4,2:1	29,278

Tab.8 – Misure della frequenza di risonanza sulle trappole N.03R e 04 a costruzione terminata.

In *Fig.21* è rappresentata una delle due trappole realizzate come mostrato in *Fig.18*.



Fig.21 – Trappola a fine costruzione.

Collaudo delle trappole.

Le trappole costruite come descritto sopra sono state inserite in un'antenna OCFD (Off Center Fed Dipole), chiamata impropriamente dalla maggioranza degli OM "Windom".

L'antenna in oggetto è stata dimensionata simulandola con il software (disponibile in rete) 4NEC2X, tenendo conto delle limitazioni di spazio, in lunghezza e in altezza, imposte dal luogo di installazione.

A fronte di una lunghezza totale disponibile di circa 20m, quella dei due bracci è stata scelta in modo da ottenere più o meno lo stesso SWR, da aggiustare attraverso il balun-trasformatore per ottenere nel punto di collegamento al cavo di discesa un buon adattamento a 50Ω, alle frequenze di risonanza dell'antenna che la Windom teorica, per una lunghezza totale di 20m, ha nelle bande dei 40, 20, 15 e 10m.

La scelta fatta di realizzare il ramo più corto lungo 3,9m e quello più lungo 14,8m consente di ottenere un buon adattamento a 100Ω nelle bande dei 40, 20 e 25m, ma un adattamento non altrettanto buono nella banda dei 10m.

Per ottenere l'accordo nella banda dei 10m, le simulazioni dell'antenna sono state ripetute inserendo sui due rami dell'antenna, ad una distanza di 2,5m dal punto di alimentazione, due trappole classiche, realizzate con induttanza e capacità in parallelo, risonanti a 28MHz.

I risultati ottenuti dalle simulazioni sono stati lusinghieri. Alla risonanza le due trappole isolano la parte rimanente dei rami dell'antenna oltre 2,5m dal punto di alimentazione e l'antenna risultante è costituita da un semplice dipolo lungo $\lambda/2$ nella banda dei 10m. Fuori dalla risonanza la trappola si presenta come un carico induttivo che "allunga" i due rami dell'antenna e che, quindi, deve essere compensato accorciando i due rami dell'antenna al di là delle trappole rispetto al caso in cui le trappole non ci siano.

In *Fig.22* è rappresentata l'antenna realizzata dai risultati ottenuti dalle simulazioni con 4NEC2X.

Il balun è di tipo 2:1 realizzato mediante un balun 1:1 con un trasformatore "unun" 2:1.

L'antenna è stata realizzata sul tetto a terrazza del palazzo di sette piani dove abito, ad una altezza di circa 26m dal terreno circostante.

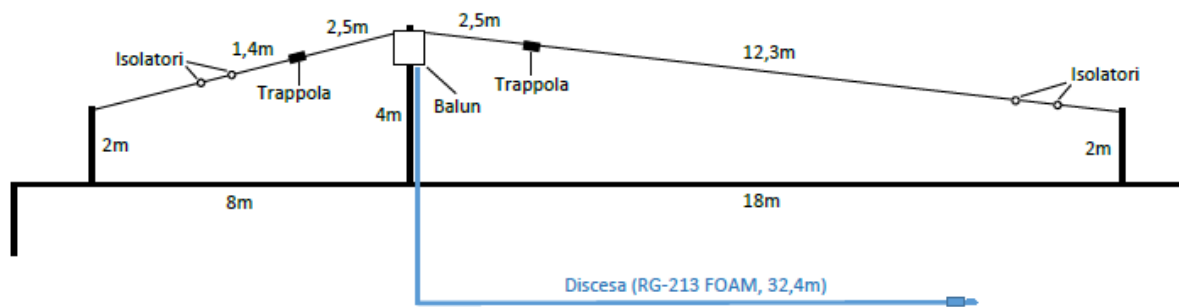


Fig.22 – OCFD sul quale sono state collaudate le trappole.

In **Tab.9** sono riportati i valori dell'induttanza e della capacità del circuito risonante parallelo equivalente di **Fig.2** alla risonanza delle trappole N.03R e 04.

La capacità della trappola uscita bassa impedenza (49,8pF) è stata calcolata dalla lunghezza del cavo e dalla sua capacità per unità di lunghezza (95pF/m). L'induttanza per la stessa uscita (0,613μH) è stata calcolata imponendo la risonanza a 28,8MHz. I corrispondenti valori per l'uscita alta impedenza (12,45pF e 2,452μH) sono stati calcolati conto delle relazioni riportate in **Tab.1**.

Parametro	Uscita bassa impedenza	Uscita alta impedenza
$L_p(\mu\text{H})$	0,613	2,452
$C_p(\text{pF})$	49,8	12,45

Tab.9 – Induttanza e capacità delle trappole N.03R e 04, alla risonanza calcolate come descritto sopra.

Per valutare il diverso comportamento delle trappole a seconda dell'uscita scelta sono state costruite altre due trappole come le N.03R e 04 cablando l'uscita a bassa impedenza.

In **Fig.23** sono rappresentati i due bracci del dipolo con inserite le trappole in coax. A sinistra il braccio più corto a destra quello più lungo. Le trappole sono state assemblate sull'antenna tenendo conto delle indicazioni contenute in [4], cioè con il terminale di uscita dello schema di **Fig.1** dal lato alimentazione antenna (lato balun) e con quello di ingresso dal lato isolatori.

In **Fig.24** sono confrontati i grafici ottenuti dai valori di SWR misurati all'estremità del cavo di discesa dell'antenna senza trappole, antenna con trappole uscita alta impedenza e antenna con trappole uscita bassa impedenza. Nella stessa figura è riportato il grafico dell'SWR ottenuto dalle simulazioni dell'antenna con le trappole classiche, realizzate mediante induttanza e capacità in parallelo.

Come si può notare la frequenza corrispondente al minimo di SWR è spostata leggermente in basso rispetto alla frequenza di risonanza delle trappole e le trappole con l'uscita alta impedenza hanno una banda più larga rispetto a quelle con l'uscita bassa impedenza. Fissato un VSWR massimo di 2:1 la banda dell'antenna con le trappole alta impedenza si estende da 27,5 a 28,7MHz, quella con le trappole bassa impedenza da 27,7 a 28,3MHz, a fronte di una banda disponibile per i 10m che va da 28 a 29,7MHz.

Lo spostamento della frequenza di minimo per l'SWR rispetto alla frequenza di risonanza delle trappole conferma la necessità di fornire la trappola di dispositivi di accordo della stessa una volta che è posta in opera. L'insufficienza di banda per coprire completamente quella disponibile costringe, se non si vuole usare un accordatore, a centrare la trappola sulla parte di banda che più interessa.

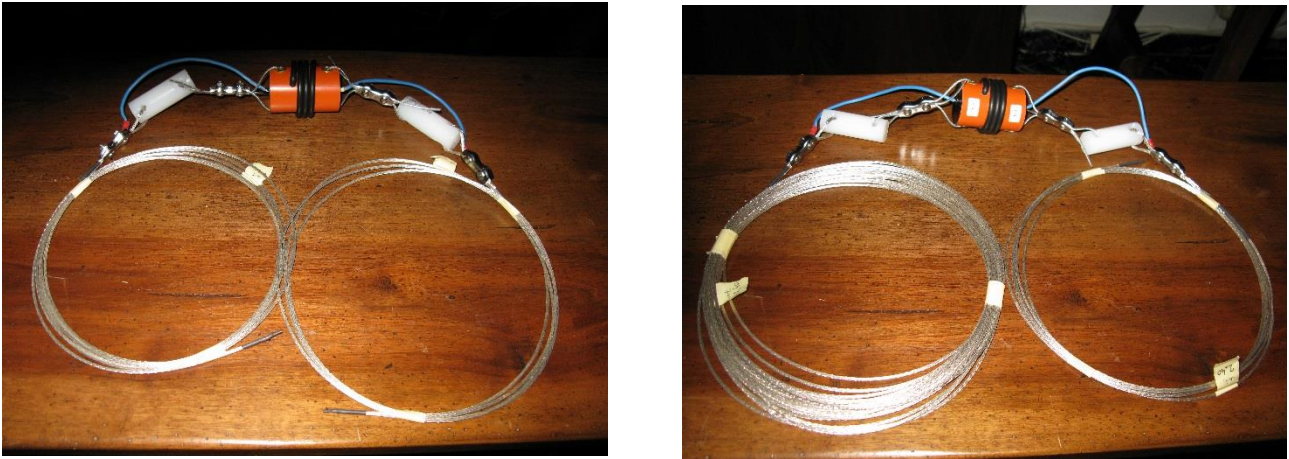


Fig.23 – Bracci del dipolo con inserite le trappole in cavo coax nella versione definitiva.

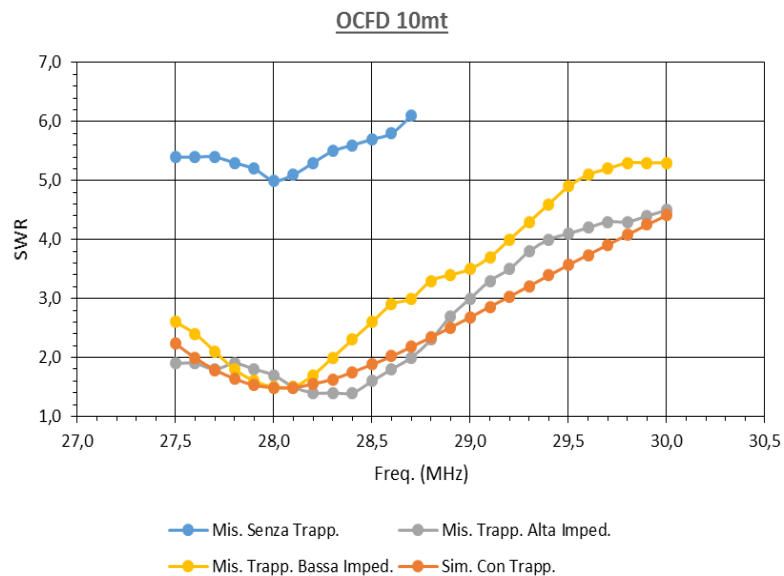


Fig.24 – SWR dell'antenna di Fig.22 misurato all'estremità libera del cavo di discesa nelle condizioni di assenza di trappole e al variare dell'uscita (alta o bassa impedenza) delle trappole. SWR dell'antenna con trappole tradizionali (induttanza e capacità in parallelo) simulata con 4NEC2X.

Riferimenti.

- [1] ARRL Antenna Book, 21a Edizione, Chapter 7 – Multiband Antennas
- [2] R.C.Sommer, N4UU, *Optimizing Coaxial-Cable Traps*, QST Dec.1984, pag.37- 42
- [3] R.Pardini, IZ5TEK, *Misure su Circuiti Risonanti Parallelo*, Settembre 2015 in <http://www.aripisa.it/index.php/autocostruzione>,
- [4] R.Briatta, N.Neri, *Costruiamo le Antenne filari*, C&C s.r.l