

Domenico Marini • I8CVS
E-mail: domenico.i8cvs@tin.it

Questo grande sconosciuto che va conosciuto Come funziona il Rosmetro...

Premessa

Noi OM usiamo giornalmente il Rosmetro limitandoci a leggere il valore del ROS detto in inglese VSWR "Voltage Standing Wave Ratio" o anche semplicemente SWR "Standing Wave Ratio" contentandoci del fatto che tanto più il ROS è basso meglio funziona l'antenna ma ciò non basta per sfruttare completamente tutte le prestazioni che il Rosmetro può fornire. Generalmente pochi OM conoscono a fondo il principio fondamentale su cui si regge il funzionamento di questo grande strumento teoricamente poco conosciuto e quindi lo scopo di questo articolo non è tanto quello di descrivere la sua autocostruzione bensì quello di svelare i vari trucchi su cui il suo funzionamento si regge nonché di interpretare nella giusta veste i numeri che sono alla base delle sue indicazioni e prestazioni per cui lo scopo di questa trattazione è quello di fare in modo che dopo la sua lettura il seguente rapporto dia un risultato il più vicino possibile a 1

OM che usano il Rosmetro e non sanno come funziona
OM che usano il Rosmetro e sanno come funziona

Introduzione alla conoscenza del Rosmetro

Il pannello frontale di un Rosmetro monta due strumenti, normalmente due microamperometri oppure un solo microamperometro doppio a due aghi incrociati.

Un microamperometro ha la scala POWER tarata in watt che indica la "Potenza Incidente" ossia la Potenza in watt che va dal generatore TX verso il carico antenna tramite la linea di trasmissione in cavo coassiale da 50 Ω

L'altro microamperometro ha la scala VSWR o SWR tarata in ROS ossia in "Rapporto di Onde Stazionarie" che va da ROS = 1 a ROS = ∞ e generalmente la scala del ROS è doppia ossia è tarata anche in percentuale di "Potenza Riflessa" che va da 0% se ROS = 1 e fino al 100% se ROS = ∞.

Ovviamente se l'antenna ha ROS = 1 la percentuale di Potenza Riflessa sarà 0% perché tutta la potenza RF del TX viene assorbita dal carico mentre se l'antenna che rappresenta il carico venisse scollegata leggeremmo circa ROS = ∞ e la percentuale di potenza riflessa sarebbe circa il 100% vale a dire che la potenza incidente del TX dopo aver percorso tutta la linea di trasmissione

e trovando il carico di antenna scollegato verrebbe totalmente riflessa indietro al TX a meno delle perdite RF di andata e ritorno che si avrebbero nella stessa linea di trasmissione. La relazione più importante da ricordare senza conoscere la quale incorreremmo in un trabocchetto è che la potenza RF effettivamente erogata da un TX, collegato ad una linea con ROS diverso da 1, è sempre uguale alla differenza fra la Potenza Incidente e la Potenza Riflessa per cui:

$$\text{Potenza RF di uscita TX} = \text{Potenza Incidente} - \text{Potenza Riflessa}$$

Più in dettaglio la Potenza Incidente è quella che si legge sullo strumento POWER mentre la Potenza Riflessa è quella in percentuale da 0% al 100% rispetto alla Potenza Incidente e che si legge sulla doppia scala dello strumento che segna il ROS o VSWR oppure SWR, chiamiamolo come ci pare.

La formula di cui sopra ci dice che il modo più comune di sbagliare a interpretare le misure del Rosmetro è quello di attribuire sempre la potenza di uscita in watt del TX alla lettura dello strumento POWER e ciò come vedremo è inesatto perché in presenza di onde stazionarie e di ROS l'indicazione dello strumento POWER non fornisce direttamente la potenza di uscita RF del TX bensì indica solo la Potenza Incidente. Per Potenza Incidente si intende quella che va dal TX verso l'antenna ossia la Potenza di uscita del TX

sommata alla Potenza Riflessa che ridiscesa al TX risale in antenna da cui ne deriva che la potenza di uscita RF effettiva erogata dal TX che leggiamo sullo strumento POWER in presenza di ROS maggiore di 1 è sempre minore della Potenza Incidente ed è tanto minore più il ROS è maggiore.

Ad esempio, se la Potenza Incidente che leggiamo sullo strumento POWER fosse 100 watt quando il ROS = 2 o comunque maggiore di 1 l'errore concettuale più frequente e comune che si commetterebbe sarebbe quello di dire che la potenza RF di uscita del TX è 100 watt mentre in realtà è inferiore perché i 100 watt di uscita TX sarebbero corretti soltanto se l'antenna avesse un ROS = 1.

Facciamo allora due utili verifiche con un esempio numerico per dimostrare che quanto sopra affermato è vero.

Verifica N° 1

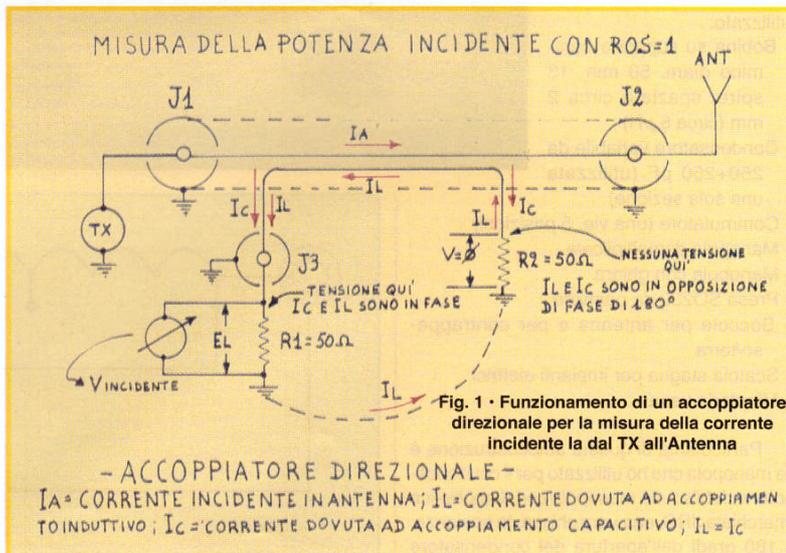
Regoliamo la potenza del TX affinché la Potenza Incidente indicata dallo strumento POWER sia 100 watt a fondo scala e supponiamo che il rapporto di onde stazionarie dell'antenna che leggiamo sullo strumento SWR sia ROS = 3 ossia un valore alto e cattivo davvero. Vogliamo calcolare la percentuale della Potenza Riflessa rispetto alla Potenza Incidente che leggiamo sulla doppia scala dello strumento SWR. Usando la seguente formula cominciamo col calcolare il Coefficiente di Riflessione che si pronuncia RHO e si scrive con la lettera greca ρ.

$$\rho = (\text{ROS} - 1) / (\text{ROS} + 1) = (3 - 1) / (3 + 1) = 2/4 = 0.5$$

Tuttavia il Coefficiente di Riflessione ρ è dato anche dalla seguente formula:

$$\rho = (\sqrt{W_r}) / (\sqrt{W_i}) \text{ dove } W_r \text{ è uguale alla Potenza Riflessa e } W_i \text{ è uguale alla Potenza Incidente}$$

Col dato $W_i = 100$ watt già noto e quello



di $\rho = 0.5$ che abbiamo calcolato possiamo ricavare la Potenza Riflessa W_r incognita con la seguente formula:

$$\sqrt{W_r} = \rho \cdot \sqrt{W_i} \text{ e in numeri si ottiene:}$$

$$\sqrt{W_r} = 0.5 \cdot \sqrt{100} = 0.5 \cdot 10 = 5 \text{ da cui:}$$

$$W_r = 5^2 = 25\% \text{ di } 100 \text{ watt ossia } W_r = 25 \text{ watt e siccome:}$$

Potenza Incidente W_i meno Potenza Riflessa W_r = Potenza di uscita TX ne deriva che in numeri:

$$100 - 25 = 75 \text{ watt di potenza di uscita RF effettiva del TX}$$

Ciò dimostra che leggere una Potenza Incidente di 100 watt sullo strumento POWER in presenza di ROS = 3 e dire che 100 watt sono la Potenza di uscita del TX è un errore madornale in quanto in questo esempio si dimostra che il TX eroga soltanto 75 watt, un bello scherzetto davvero perché il Rosmetro cambia le carte in tavola a chi non lo sa interpretare.

Verifica N° 2

Regoliamo la potenza del TX affinché la Potenza Incidente W_i indicata dallo strumento POWER sia 100 watt a fondo scala e supponiamo che la Potenza Riflessa W_r rispetto alla Potenza Incidente W_i che leggiamo sulla doppia scala dello strumento SWR sia il 25% ossia 25 watt. Vogliamo calcolare il corrispondente ROS dell'antenna che leggiamo sullo strumento SWR. Con i valori di W_r e W_i già in nostro possesso calcolati nella Verifica N° 1 ricaviamo il Coefficiente di Riflessione ρ dell'antenna e il ROS con le seguenti due formule:

$$\rho = (\sqrt{W_r} / \sqrt{W_i}) = (\sqrt{25} / \sqrt{100}) = 5/10 = 0.5$$

$$\text{ROS} = (1 + \rho) / (1 - \rho) = (1 + 0.5) / (1 - 0.5) = 1.5 / 0.5 = 3$$

Dalle due Verifiche risulta che la Potenza Riflessa di 25 watt e il corrispondente ROS = 3 sono coincidenti e i due valori si leggono sullo stesso punto della scala dello strumento SWR come bisognava dimostrare.

Principio di funzionamento del Rosmetro

Il cuore del Rosmetro è un dispositivo chiamato "Accoppiatore Direzionale" il cui schema elettrico di principio è visibile in Fig. 1 e Fig. 2 mentre l'aspetto elettromeccanico del dispositivo smontato e aperto è visibile nel guscio di Foto 1.

L'Accoppiatore Direzionale permette di prelevare dalla linea di trasmissione una piccola parte della Potenza Incidente inviata dal TX all'antenna che in genere è 100 volte inferiore o -20 dB più bassa della Potenza Incidente e questa proprietà si chiama disaccoppiamento o coupling in inglese.

L'Accoppiatore Direzionale permette nel contempo di prelevare anche una piccola parte di Potenza Riflessa che in presenza di ROS discende dall'antenna e ritorna all'uscita del TX e nello stesso dispositivo il disaccoppiamento o coupling è ugualmente di 100 volte o -20 dB. Il prelievo della Potenza Incidente e il prelievo della Potenza Riflessa sono contemporanei ma indipendenti fra loro nel senso che il valore di uno sente molto poco la presenza dell'altro e questa proprietà di non vedersi fra loro si chiama "Direttività" che in genere nei buoni Accoppiatori Direzionali professionali raggiunge e supera anche i 30 dB ossia mille volte.

Come si vede in Fig. 1 e Fig. 2 l'Accoppiatore Direzionale consiste in una linea di trasmissione coassiale che inizia sul connettore J1 centrale connesso al TX e termina sul connettore J2 che va all'antenna. La linea di trasmissione centrale è lasciamente accoppiata a un loop di prelievo parallelo che va al connettore J3 e che fornisce un accoppiamento induttivo e capacitivo con la linea centrale. La linea centrale e il loop di prelievo si vede bene anche in Foto 1 relativa all'Accoppiatore Direzionale surplus del RADAR AN/UPX-6 che è stato aperto e lavora da 1010 MHz a 1030 MHz ma che si adatta benissimo per costruire un Rosmetro per microonde a 1296 MHz.

Siccome la linea centrale e quella del loop di prelievo sono parallele per una certa lunghezza, oltre all'accoppiamento induttivo esiste fra loro anche un certo accoppiamento capacitivo e questa proprietà viene sfruttata per escogitare un trucco geniale che è il solo modo che permette agli Accoppiatori Direzionali di funzionare.

Il trucco consiste nel dimensionare la lunghezza del loop di prelievo e la sua distanza dalla linea centrale in modo tale che il valore dell'accoppiamento induttivo sia uguale a quello dell'accoppiamento capacitivo in modo tale che le due correnti IL e IC che si generano nel loop di prelievo siano di uguale valore come si vede in Fig. 1 e Fig. 2. Vediamo ora passo per passo come lavora questo trucco da un punto di vista elettrico e vettoriale.

Caso in cui non esistono onde stazionarie e ROS = 1

Osservando la Fig. 1 si vede che la corrente incidente IA scorre sul conduttore centrale della linea coassiale e va dal connettore J1 collegato al TX fluendo verso il connettore J2 collegato all'antenna.

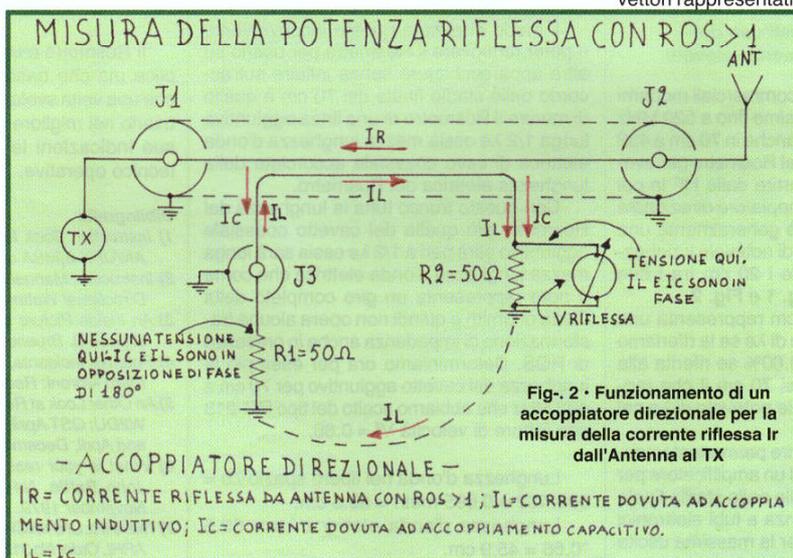
A causa dell'accoppiamento induttivo esistente fra la linea centrale e il loop di prelievo una certa tensione viene applicata al loop di prelievo generando in questo una corrente IL che per le leggi sull'induzione scorre verso la sinistra del disegno cioè da J2 a J1 ossia in direzione opposta alla corrente IA che fluisce sul conduttore centrale della linea coassiale fra J1 e J2. Nel contempo a causa dell'esistente accoppiamento capacitivo fra la linea centrale e il loop di prelievo si genera anche una corrente capacitiva IC che in Fig. 1 scorre dall'alto verso il basso componendosi con la corrente IL e dando per risultante due vettori in fase rappresentati da due frecce rivolte nello stesso verso che sommandosi fra loro generano la tensione EL ai capi del resistore di carico R1 da 50 Ω connesso al connettore J3 ma ai capi del resistore R1 vi è collegato il voltmetro VINC che misurando EL indicherà dopo la taratura il valore della Potenza Incidente W_i .

Nello stesso tempo sul lato opposto del loop di prelievo si vede che la corrente induttiva IL e quella capacitiva IC hanno i vettori rappresentati da due frecce di uguale

ampiezza che hanno verso contrario e quindi le due tensioni sono in opposizione di fase di 180° e perciò essendo di valore uguale si cancellano a vicenda per cui ai capi del resistore R2 da 50 Ω la tensione risultante è zero.

Caso in cui esistono onde stazionarie e il ROS è > di 1

Osservando Fig. 2 si vede che se la corrente che scorre nella linea J1 e J2 viene invertita come nel caso di presen-



za di potenza riflessa W_r dovuta ad onde stazionarie allora la sua corrente riflessa I_R scorre da destra verso sinistra del disegno ossia ritorna dall'antenna in J2 verso il TX che si trova in J1. A causa dell'accoppiamento induttivo fra la linea centrale e il loop di prelievo una certa tensione viene applicata al loop di prelievo generando in questo una corrente I_L che per le leggi sull'induzione scorre verso destra in direzione opposta alla corrente riflessa I_R che invece fluisce sul conduttore centrale della linea coassiale andando dall'antenna verso il TX da J2 a J1. Nel contempo a causa dell'esistente accoppiamento capacitivo fra la linea centrale e il loop di prelievo si genera anche una corrente capacitiva I_C che in Fig. 2 scorre dall'alto verso il basso componendosi con la corrente I_L e dando per risultante due vettori in fase di pari ampiezza rappresentati da due frecce rivolte nello stesso verso che sommandosi fra loro generano la tensione E_L ai capi del resistore di carico R_2 da 50 Ω ma ai capi del resistore R_2 vi è collegato il voltmetro V_{ref} che misurando E_L indicherà dopo la taratura il valore della Potenza Riflessa W_r .

Nello stesso tempo sul lato opposto del loop di prelievo si vede che la corrente induttiva I_L e quella capacitiva I_C hanno i vettori rappresentati da due frecce di pari ampiezza che hanno verso contrario e quindi le due tensioni sono in opposizione di fase di 180° e perciò essendo di uguale valore si cancellano a vicenda per cui ai capi del resistore R_1 da 50 Ω la tensione risultante è zero.

Sulla base dei due casi menzionati si vede che un accoppiatore direzionale inserito lungo una linea di trasmissione può misurare sia la Potenza Incidente W_i sia quella riflessa W_r .

Precauzione nell'uso dei Rosmetri su frequenze elevate

In genere i Rosmetri commerciali moderni coprono frequenze massime fino a 520 MHz e quindi sono utilizzabili anche in 70 cm a 432 MHz. Tuttavia la forma del Rosmetro per avere buona direttività a partire dalle HF in poi ha internamente un accoppiatore direzionale abbastanza lungo che è generalmente una linea coassiale tubolare di notevole lunghezza che raggiunge anche i 20 cm fra i due connettori J1 e J2 di Fig. 1 e Fig. 2.

La lunghezza di 20 cm rappresenta una percentuale trascurabile di λ_e se la riferiamo alle HF ma diventa il 28.60% se riferita alla lunghezza d'onda λ_e dei 70 cm il che rappresenta una percentuale notevole di λ_e nel libero spazio.

Se decidiamo di inserire permanentemente il Rosmetro all'uscita di un amplificatore per 70 cm del tipo accordabile nello stadio finale come quelli di alta potenza a tubi elettronici e regoliamo l'accordo per la massima uscita

leggendo la massima Potenza Incidente sullo strumento POWER del Rosmetro tutto funzionerà nel migliore dei modi.

Tuttavia, se dopo aver accordato lo stadio finale decidiamo di rimuovere il Rosmetro per utilizzarlo altrove succede che l'amplificatore dei 70 cm ritrovandosi con una linea di trasmissione più corta del 28.60% si troverà disaccordato mentre noi ci illudiamo che lo stadio finale eroghi sempre la stessa potenza RF di uscita specie se come accade quasi sempre l'antenna presenta onde stazionarie che possono determinare valori normali di ROS da 1.5 a 2.

Il disaccordo dello stadio finale dei 70 cm è dovuto al fatto che su frequenze elevate in presenza di ROS una linea di trasmissione che dopo l'accordo venga accorciata anche di poco opera una trasformazione di impedenza che viene vista come diversa dallo stadio finale dei 70 cm che disaccordandosi assorbirà una corrente DC maggiore o mi-

Mezza lunghezza d'onda elettrica $1/2 \lambda_e = 45.9 / 2 = 22.9$ cm (connettori compresi).

Alla lunghezza di 22.9 cm di cavo dobbiamo sottrarre la lunghezza del Rosmetro il cui accoppiatore direzionale con dielettrico aria è lungo 20 cm.

Trasformiamo la lunghezza di 20 cm con dielettrico aria nella sua equivalente lunghezza di cavo RG-213 con fattore di velocità $V_f = 0.66$ e otterremo $20 * 0.66 = 13.2$ cm per cui la lunghezza effettiva di cavo RG-213 da aggiungere al Rosmetro connettori compresi sarà: soltanto $22.9 - 13.2 = 9.7$ cm.

Ne deriva che accordando l'amplificatore dei 70 cm con inseriti il Rosmetro più 9.7 cm di cavo addizionale lungo la linea di trasmissione l'accordo rimarrà invariato per la massima uscita RF anche disinserendo il Rosmetro più il cavetto addizionale lungo 9.7 cm.

Va da sé che tale misura calcolata nell'esempio di cui sopra è valida soltanto per i 432 MHz mentre se volessimo applicare lo stesso criterio su un amplificatore dei 144 MHz o per 50 MHz dovremmo ricalcolare le lunghezze dei cavetti aggiuntivi usando lo stesso criterio di questo esempio fatto per i 432 MHz. È evidente che ci serve un cavetto aggiuntivo per ogni frequenza almeno a salire in frequenza da 50 MHz in poi escludendo le frequenze inferiori a 50 MHz giacché la percentuale di lunghezza del Rosmetro rispetto alle lunghezze d'onda HF è trascurabile e inserendo o disinserendo

il Rosmetro nella linea di trasmissione fra TX ed antenna non si introducono errori di accordo apprezzabili sullo stadio finale.

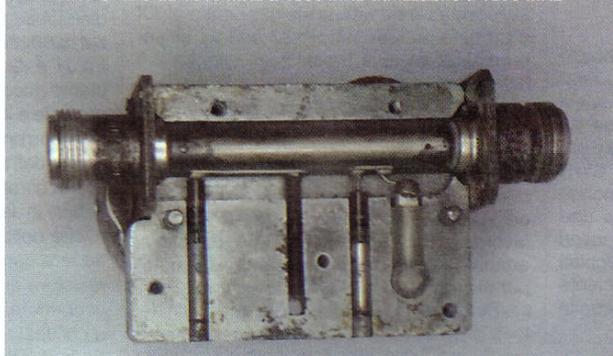
Conclusione

Il Rosmetro è uno strumento molto semplice ma che nasconde in sé molti trucchi che una volta svelati permetteranno all'OM di usarlo nel migliore dei modi ricavando dalle sue indicazioni le massime soddisfazioni tecniche operative.

Bibliografia

- 1) *Instruction Book for RADAR Recognition Sets AN/UPX-6(MSA and AN/UPX-6X (MSA).*
- 2) *Instruction Manual for THRULINE Model 43 RF Directional Wattmeter.*
- 3) *An Inside Picture of Directional Wattmeters by Warren B. Bruene, W0TTK.*
- 4) *Potenza Incidente, Riflessa, Dissipata di ISTDJ Piero Moroni: RadioRivista 3/80 pag. 408.*
- 5) *An Other Look at Reflection by M. Walter Maxwell W2DU: QST April, June, August, October 1973 and April, December 1974 and August 1976.*
- 6) *What is your real Standing Wave Ratio ? by John Battle, N4OE, Ham Radio Magazine November 1979.*
- 7) *The ARRL UHF/MICROWAVE Experimenter Manual, ARRL Order No 3126 ISBN 0-87259-312-6.*

Foto 1 - Vista interna dell'accoppiatore direzionale del RADAR AN / UPX-6 da 1010 MHz a 1030 MHz utilizzabile a 1296 MHz



nore ma erogherà comunque una potenza RF inferiore di cui non ci accorgiamo per la mancanza in linea dello strumento POWER del Rosmetro che prima ci misurava la Potenza Incidente RF durante l'accordo.

Il modo di evitare questo inconveniente e poter rimuovere il Rosmetro per usarlo su altre apparecchiature senza influire sull'accordo dello stadio finale dei 70 cm è quello di munire il Rosmetro di una linea aggiuntiva lunga $1/2 \lambda_e$ ossia mezza lunghezza d'onda elettrica di cavo coassiale accorciata della lunghezza elettrica del Rosmetro.

Con questo trucco tutta la lunghezza del Rosmetro più quella del cavetto coassiale aggiuntivo sarà pari a $1/2 \lambda_e$ ossia sarà lunga mezza lunghezza d'onda elettrica che come è noto rappresenta un giro completo della Carta di Smith e quindi non opera alcuna trasformazione di impedenza anche in presenza di ROS. Determiniamo ora per esempio la lunghezza del cavetto aggiuntivo per 70 cm a 432 MHz che abbiamo scelto del tipo RG-213 con fattore di velocità $V_f = 0.66$.

Lunghezza d'onda nel libero spazio $\lambda_0 = 300/432 = 0.695$ metri = 69.5 cm.

Lunghezza d'onda elettrica $\lambda_e = 69.5 * 0.66 = 45.9$ cm.