

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

I radioamatori, la legge e la misura dei "nostri" campi elettromagnetici

Premessa

1ª Parte - Questo articolo tratta le disposizioni del DM 10 Settembre 1998 Nr. 381 relativo all'esposizione ai Campi Elettromagnetici. Viene descritto un metodo semplice di misura coi mezzi caratteristici della (*Ham Ingenuity*) dei radioamatori con mezzi minimi e, il modo per farlo, è quello di avere le idee chiare su alcuni semplici concetti affinché i nostri impianti radioelettrici, siano conformi alle attuali disposizioni di Legge.

Cosa dice il DM Nr. 381?

Per le frequenze da 3 a 3000 MHz, ossia quelle di maggior uso per noi OM, il Campo Elettrico E, non deve essere superiore a 20 V/m (volt per metro) a cui corrisponde un valore di Campo Magnetico H prodotto da una corrente $I = 0,05$ A/m (ampere per metro) e, in conseguenza, una densità di potenza pari a 1 W/m^2 (watt per metro quadrato).

Tuttavia, in corrispondenza di edifici abitati a permanenze non inferiori a quattro ore che rappresenta il caso tipico di persone che vivono fra le pareti di un'abitazione, il DM 381 recita che non devono essere superati i seguenti valori di campo, indipendentemente dalla frequenza e mediati su un qualsiasi intervallo di tempo di sei minuti.

6 V/m per il campo elettrico
0,016 A/m per il campo magnetico
0,10 W/m² per la densità di potenza dell'onda piana equivalente

e ciò per tutte le frequenze comprese da 3 a 300 GHz.

Il significato di V/m, A/m e W/m²

Noi OM, lo dobbiamo sapere sia per nostra cultura tecnica sia per non essere impreparati e subire passivamente eventuali ispezioni ai nostri impianti di antenna e di stazione.

Per comprendere in modo intuitivo, ma rigoroso, il significato fisico dei parametri che caratterizzano il Campo Elettromagnetico, occorre fare le seguenti considerazioni.

Fra l'antenna trasmittente e quella ricevente, c'è soltanto il LIBERO SPAZIO e le antenne sono dunque i trasduttori che collegano il trasmettitore e il ricevitore con il libero spazio.

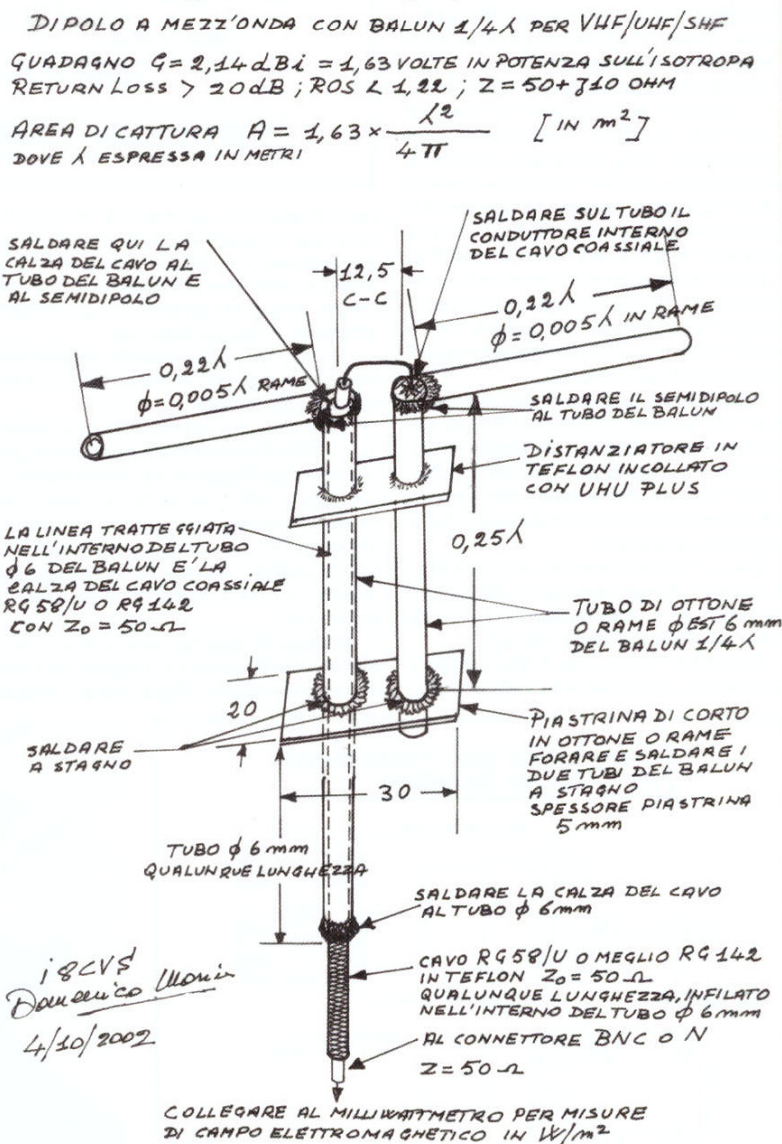
Cosa è in realtà il libero spazio e in quale mezzo si propagano le onde elettromagnetiche?

Il "libero spazio" è paragonabile a "una linea di trasmissione" analoga a un cavo

coassiale, chiamiamolo come vogliamo, che però non si vede materialmente ma che esiste in realtà e che collega fra loro l'antenna trasmittente con quella ricevente e, cosa importante, la cui impedenza caratteristica è $Z_0 = 120 \times \pi = 377 \Omega$ e quindi bisogna immaginare che la nostra antenna e tutte quelle dei nostri corrispondenti, siano collegate fra loro da una rete di infinite linee di trasmissione con impedenza caratteristica di 377Ω e questa rete di linee è appunto il libero spazio.

Ciò stabilito, mettiamoci ora davanti all'antenna trasmittente lungo la direttrice verso cui irradia (**Fig. 3**) e immaginiamo di poter fare la seguente misura.

Fig. 1 • Misure normalizzate per dipolo a mezz'onda



Anche se non esiste in realtà supponiamo per ipotesi, di possedere un voltmetro a radiofrequenza in grado di misurare la tensione V esistente fra due punti qualsiasi presi ai capi dell'impedenza di 377Ω nel libero spazio.

Se ponessimo i due puntali dell'ipotetico voltmetro alla distanza di 1 metro fra loro, nel libero spazio, su un piano perpendicolare al senso di radiazione dell'antenna trasmittente noi misureremmo la tensione del Campo Elettromagnetico in V/m , ossia quanti volt ci sono ai capi di questa invisibile impedenza di 377Ω nel libero spazio e alla distanza di 1 metro. Supponiamo di aver misurato con l'ipotetico voltmetro la tensione di $6 V/m$ (volt per metro) e giacché l'abbiamo misurata ai capi di 377Ω , ne deriva che per la Legge di Ohm la corrente che circola nell'interno di questo libero spazio della lunghezza di 1 metro, è $I = V/R$ ossia $I = 6 / 377 = 0,016$ ampere e questa corrente è proprio l'intensità del Campo Magnetico H espressa in A/m (ampere per metro).

Supponiamo ora di prendere una superficie quadrata di libero spazio perpendicolare al senso di radiazione dell'antenna trasmittente e che abbia i quattro lati lunghi 1 metro per cui la sua superficie sia di $1 m^2$ (1 metro quadrato).

Posizioniamo questa superficie davanti all'antenna trasmittente, in modo che sia perpendicolare al senso di radiazione e mettiamola nello stesso punto in cui prima abbiamo misurato i $6 V/m$ (Fig. 3) e vedremo che per la legge di Ohm, il fronte d'onda piana che parte dall'antenna trasmittente e che attraversa continuamente questa superficie di libero spazio, contiene nel suo interno una densità di potenza pari a

$$W = V^2 / R \text{ ovvero a } 6^2 / 377 = 0,1 \text{ W} / m^2 \text{ (watt per metro quadrato)}$$

Ora che abbiamo definito il significato di densità di potenza del Campo Elettromagnetico in watt per metro quadrato, vediamo come fare per misurare realmente questa potenza in transito e ricavare con la legge di Ohm dai W/m^2 , i rispettivi valori di tensione e corrente espressi in V/m e A/m .

Come misurare la potenza del campo elettromagnetico in W/m^2

L'OM deve effettuare misure di potenza su bande strette attribuite al Servizio di Radioamatore e quindi il suo strumento risulta meno costoso di uno commerciale a larga banda e si può autocostruire e calibrare con notevole precisione.

Col criterio di misurare direttamente la potenza del Campo Elettromagnetico in W/m^2 , si possono usare milliwattmetri per RF che vanno dal più economico TPM 4 da DC a 11 GHz della SSB Electronics, fino al Power Meter HP 435 A da 0,05 a 18 GHz reperibile ormai nel mercato surplus, a prez-

zo veramente di OM. Il vantaggio per l'OM di dotarsi di un milliwattmetro, è anche quello di poterlo utilizzare per innumerevoli altre misure di potenza RF in laboratorio, che vanno da un massimo di 100 mW a un minimo di $3 \mu W$ (microwatt) con scale analogiche già calibrate e ciò non è poco.

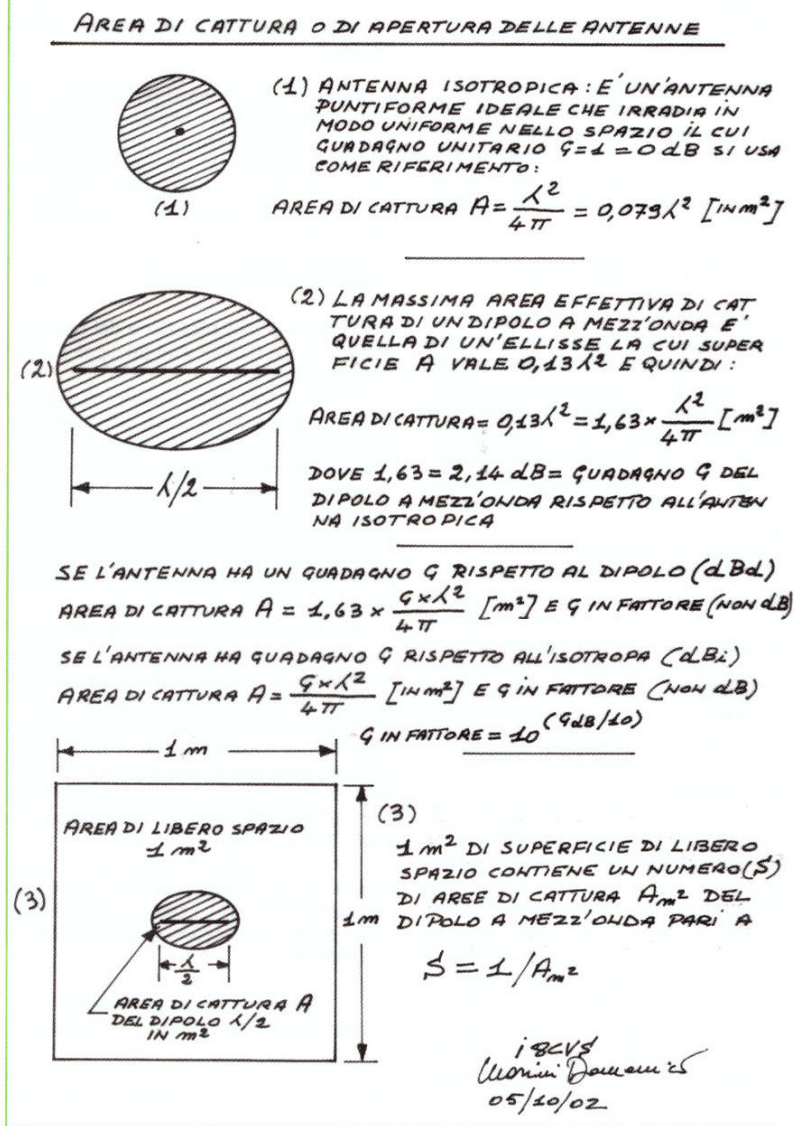
Il cuore della misura della potenza del Campo Elettromagnetico, è la sonda che è molto semplice da realizzare ed è anche molto precisa perché in VHF e superiori, si tratta di realizzarle come in Fig. 1 un dipolo a mezz'onda risonante sulla frequenza da misurare, oppure recuperarlo già pronto da una vecchia antenna, mentre per le HF, si utilizzano le proprietà elettriche del "dipolo corto".

Perché si può usare il dipolo a mezz'onda come sonda?

Il principio fisico di funzionamento del dipolo a mezz'onda, è molto semplice perché, immerso nel libero spazio, è in grado di estrarre da questo tutta l'energia del Campo Elettromagnetico contenuto nella sua area di cattura A e questa si può esattamente calcolare come indicato in (Fig. 2)

Per visualizzare l'area di cattura A in modo intuitivo, bisogna immaginare che il dipolo a mezz'onda sia circondato da un'area di cattura A o apertura, che, immersa nel libero spazio è in grado di assorbire tutta l'energia del Campo Elettromagnetico che vi entra e che viene inviata ad uno strumento che la

Fig. 2 - Area di cattura o apertura delle antenne



misura in watt, mentre al di fuori di questa area A, l'energia del Campo Elettromagnetico non può essere assorbita (Fig. 2)

In natura, nulla passa direttamente dal tutto al nulla, e quindi, anche l'area di cattura A o apertura del dipolo, passa dall'assorbire energia al non assorbirne affatto con la stessa legge dell'ottica geometrica che governa il passaggio dalla luce all'ombra attraverso la penombra. La formula che permette di calcolare l'area di cattura A o apertura di un dipolo a mezz'onda espressa in metri quadrati, è la seguente (Fig. 2)

$$A = 1,63 \times \frac{\lambda^2}{4 \times \pi} \text{ [in metri quadrati]}$$

dove:

1,63 è il guadagno in potenza del dipolo a mezz'onda pari a 2,14 dB rispetto all'antenna isotropica

λ^2 = lunghezza d'onda in metri al quadrato su cui il dipolo risuona.

Come si vede dalla formula, l'area di cattura A o apertura di un dipolo a mezz'onda, aumenta, aumentando la lunghezza d'onda λ , che si trova al numeratore della frazione, e quindi A in metri quadrati, aumenta abbassando la frequenza f su cui il dipolo risuona.

Il criterio della misura

Mettiamo il dipolo a mezz'onda davanti all'antenna trasmittente e orientiamolo con la stessa polarizzazione orizzontale o verticale come in (Fig. 3). Se ora colleghiamo il dipolo al milliwattmetro, misuriamo direttamente in watt quanta potenza del Campo Elettromagnetico viene estratta dal libero spazio e raccolta nell'area di cattura A del dipolo che abbiamo calcolato con la formula in (Fig. 2)

Tuttavia, per ottenere la densità di potenza in W/m^2 , noi dobbiamo calcolare la densità di potenza contenuta nella superficie di libero spazio S pari a 1 metro quadrato posta perpendicolarmente davanti al fronte d'onda in arrivo dall'antenna trasmittente come in (Fig. 3) e quindi ci dobbiamo porre la seguente domanda: "Quante aree di cattura A del dipolo a mezz'onda ci vogliono per ottenere un'area di libero spazio S pari a 1 metro quadrato?"

Ovviamente, la risposta sarà che $S = 1/A$, dove 1 è uguale a 1 metro quadrato, vale a dire, che il numero di aree di cattura A necessario per formare la superficie S di 1 metro quadrato, è uguale a 1 metro quadrato diviso per l'area di cattura A del dipolo espressa anch'essa in metri quadrati come in (Fig. 2)

La stessa domanda potrebbe essere formulata anche in quest'altra maniera: "Quanti dipoli di area di cattura A messi in fase fra loro ci vogliono affinché la loro area di cattura totale raggiunga il valore S di 1 metro quadrato?" Il risultato sarà identicamente $S = 1/A$ (Fig. 2)

Come si fa per calcolare il valore di W/m^2 ? Per ottenere finalmente la densità di potenza in W/m^2 raccolta sulla superficie di 1 metro quadrato, basta prendere la lettura del milliwattmetro, convertirla da mW a watt e moltiplicarla semplicemente per il numero di dipoli necessario per ottenere il valore di S come mostrato in (Fig. 3). Una volta calcolato il valore del Campo Elettromagnetico in W/m^2 , giacché sappiamo che l'impedenza del libero spazio è 377Ω (possiamo ricavare con la legge di Ohm sia il valore del campo elettrico E in V/m (volt per metro) sia quello del campo magnetico H in A/m (ampere per metro) usando la legge di Ohm:

$$E = \text{SQR}(377 \times W/m^2)$$

[Campo Elettrico in V/m]

$$H = \text{SQR}(W/m^2 / 377)$$

[Campo magnetico in A/m]

Nota: Il simbolo SQR sta per radice quadrata.

Facciamo un esempio per la banda dei 70 cm pari a 432 MHz: abbiamo realizzato il dipolo a mezz'onda per 432 MHz, secondo le misure ricavabili da (Fig. 1) oppure l'abbiamo recuperato da una vecchia antenna Yagi per 432 MHz. Lunghezza d'onda $\lambda = 300/432 = 0,694$ metri

$$\text{Area di cattura } A = 1,63 \times \frac{0,694^2}{4 \times 3,14} = 0,0625 \text{ metri quadrati (Fig. 2)}$$

Il fattore di moltiplicazione del milliwattmetro è $S = 1/0,0625 = 15,98$ dipoli a mezz'onda. (Fig. 2)

Poniamoci col dipolo davanti all'antenna trasmittente, a una distanza superiore a quella del "campo vicino", e quindi, nella zona del "campo lontano", come più avanti si tratterà in dettaglio. (Fig. 3). Orientiamo il dipolo per la massima indicazione del milliwattmetro e supponiamo di leggere 30 mW, che convertirò in watt, ossia $30mW/1000 = 0,03$ watt e, la densità di potenza nel punto di misura, risulta $0,03 \times 15,98 = 0,479 W/m^2$.

Se questa potenza resta costante per qualunque intervallo di tempo di 6 minuti, è superiore al massimo consentito dal DM Nr. 381, che prevede un massimo di $0,10 W/m^2$ in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore e, di conseguenza, nella nostra misura, anche il valore del Campo Elettrico E risulta superiore a 6 V/m perché dalla legge di Ohm si ricava $E = \text{SQR}(377 \times 0,479) = 13,44$ V/m.

Parimenti, anche il valore del Campo Magnetico H, risulta superiore agli $0,016$ A/m del DM Nr. 381 perché, sempre dalla legge di Ohm, si ricava $H = \text{SQR}(0,479/377) = 0,0356$ A/m.

A quale distanza dall'antenna trasmittente bisogna fare le misure?

A partire dall'antenna trasmittente, si distinguono due zone, quella del "campo vicino" e quella del "campo lontano". (Fig. 3)

La zona del campo vicino

Entro questa zona, il Campo Elettrico E e quello magnetico H, non sono perpendicolari fra loro e perciò le misure risultano complicate e gli errori sono maggiori di quelli che si commettono nelle misure nel campo lontano. La zona del campo vicino, si estende a partire dall'antenna trasmittente e arriva fino a una distanza in metri dall'antenna calcolabile con la seguente formula:

$$\text{Distanza del campo vicino} \leq (2 \times D^2) / \lambda$$

[in metri] come si vede in (Fig. 3)

Dove:

D = diametro in metri dell'area di cattura A dell'antenna trasmittente;

λ = lunghezza d'onda in metri.

Siccome il diametro D aumenta con l'aumentare dell'area di cattura A e quindi del guadagno di antenna, questa formula mostra che la zona del campo vicino aumenta con l'aumentare del guadagno dell'antenna trasmittente perché D si trova al numeratore della frazione e aumenta col diminuire della lunghezza d'onda λ , che si trova al denominatore e quindi aumenta con l'aumentare della frequenza. La formula per calcolare D è la seguente: $D = \text{SQR}(A / \pi) \times 2$ [in metri] mentre la zona di massima densità di potenza nell'interno del campo vicino, si trova a una distanza dall'antenna trasmittente, calcolabile con la formula $P_{max} = (0,2 \times D^2) / \lambda$ [in metri], come si vede in (Fig. 3).

La zona del campo lontano

Il campo lontano, inizia e si estende a partire dal punto in cui termina il campo vicino calcolato con le formule di cui sopra e di (Fig. 3). Nella zona del campo lontano, il campo elettrico E, è perpendicolare al campo magnetico H e, le misure del campo elettromagnetico, sono semplici e gli errori sono minori di quelli che si commettono facendo le misure entro il campo vicino.

Determinazione del campo vicino

Bisogna conoscere il guadagno G dell'antenna trasmittente. Se G è riferito all'antenna isotropica è dato in dBi, e se G è riferito al dipolo a mezz'onda, è espresso in dBd, e ciò perché il dipolo a mezz'onda guadagna 2,14 dB = 1,63 volte rispetto all'antenna isotropica e quindi un'antenna con guadagno di 13 dBd, ha un guadagno $G = 13 + 2,14 = 15,14$ dBi. Se invece il guadagno è espresso solo in dB, bisogna intendere che sia riferito all'antenna isotropica e quindi dB equivale a dire dBi.

Esempio numerico

Un'antenna Yagi per 432 MHz guadagna 13 dBd e per calcolare dove finisce il campo vicino e dove comincia il campo lontano, bisogna prima calcolare l'area di cattura A, in metri quadrati con la formula:

$$A = 1,63 \times \frac{G \times \lambda^2}{4 \times \pi}$$

dove:

G = guadagno di antenna in fattore di potenza e quindi $G = 10^{(13/10)} = 20$ volte;
 λ = lunghezza d'onda = $300/432 = 0,694$ metri;
 1,63 = guadagno in fattore del dipolo a mezz'onda rispetto all'isotropia.

Sostituendo, si ottiene:

$$A = 1,63 \times \frac{20 \times 0,694^2}{4 \times 3,14} = 1,25 \text{ metri quadrati}$$

Il diametro D dell'area di cattura circolare A, pari a 1,25 metri quadrati, è $D = \text{SQR}(1,25/3,14) \times 2 = 1,26$ metri.

Il campo vicino (Fig. 3) parte dall'antenna e finisce a una distanza $\leq (2 \times D^2) / \lambda$ ossia $\leq (2 \times 1,26^2) / 0,694 = 4,57$ metri dall'antenna e, da questa distanza in poi, si entra nella zona del campo lontano.

Misura di campo E.M. nell'interno del campo vicino

Se ci mettiamo a una distanza inferiore a 4,57 metri dal centro di fase dell'antenna, la misura di potenza col dipolo e milliwattmetro, va fatta sui tre assi ortogonali X, Y, Z come indicato in (Fig. 3).

Mettere il dipolo orizzontale ed orientarlo fino a ottenere la massima lettura di potenza sul milliwattmetro che chiameremo Wx.

Tenendo il dipolo orizzontale, ruotarlo di 90°, prendere nota della nuova potenza letta e chiamarla Wy.

Partendo da questa posizione, ruotare il dipolo di 90° e metterlo verticale, prendere nota della nuova potenza letta e chiamarla Wz.

Avendo misurato direttamente potenze e non tensioni o correnti, bisogna sommare direttamente le tre componenti ortogonali Wx + Wy + Wz e convertire il valore da mW a watt.

Nota: Se avessimo misurato tensioni o correnti, avremmo dovuto fare il loro prodotto vettoriale facendo la radice quadrata della somma dei quadrati di V o di I, ma il dipolo assorbe potenza dal libero spazio e quindi basta sommare le tre potenze misurate sugli assi ortogonali X-Y-Z e ciò perché il wattmetro fa già il quadrato di V e di I.

Supponiamo di aver misurato i seguenti valori di potenza: (Fig. 3)

Wx = 20 mW, Wy = 12 mW,

Wz = 3 mW per cui Wx + Wy + Wz = 20 + 12 + 3 = 35 mW

Da cui $35 \text{ mW}/1000 = 0,035$ watt

Abbiamo visto che per un dipolo per 432 MHz, il coefficiente di moltiplicazione S della lettura del milliwattmetro, è 15,98, per cui, la densità di potenza del campo elettromagnetico in W/m² misurata nella zona dove finisce il campo vicino e comincia il campo lontano risulta:

$0,035 \times 15,98 = 0,559 \text{ W/m}^2$ e, da questa potenza, sapendo che l'impedenza del libero spazio è 377 Ω calcoliamo i valori del campo elettrico E e del campo magnetico H con la legge di Ohm:

$E = \text{SQR}(377 \times 0,559) = 14,52 \text{ V/m}$ [volt per metro]

$H = \text{SQR}(0,559/377) = 0,0385 \text{ A/m}$ [ampere per metro].

Densità di potenza dell'onda piana equivalente = $0,559 \text{ W/m}^2$.

Ne deriva che, in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore, questi valori di E ed H misurati nella zona del campo vicino dell'esempio a 4,57 metri dall'antenna trasmittente, sono superiori ai massimi ammissibili dal DM Nr. 381.

Misura di campo E.M. nell'interno del campo lontano

La misura è uguale a quella nel campo vicino, ma è più semplice, perché la potenza viene misurata su un solo asse, in quanto nella zona di campo lontano, il campo elettrico è perpendicolare a quello magnetico e,

se la polarizzazione dell'antenna trasmittente è orizzontale, il dipolo viene disposto orizzontalmente e orientato per il massimo della lettura di potenza sul milliwattmetro e così analogamente per le altre polarizzazioni.

La procedura di calcolo non cambia, e, nel caso in esempio dell'antenna per 432 MHz con guadagno di 13 dBd preso in esame, la misura va fatta a distanze superiori a 4,57 metri dall'antenna il più possibile lontano da questa, ponendo il dipolo di misura in una zona col minor numero di ostacoli ma in corrispondenza di edifici abitati, compatibilmente a una apprezzabile lettura di potenza sul milliwattmetro.

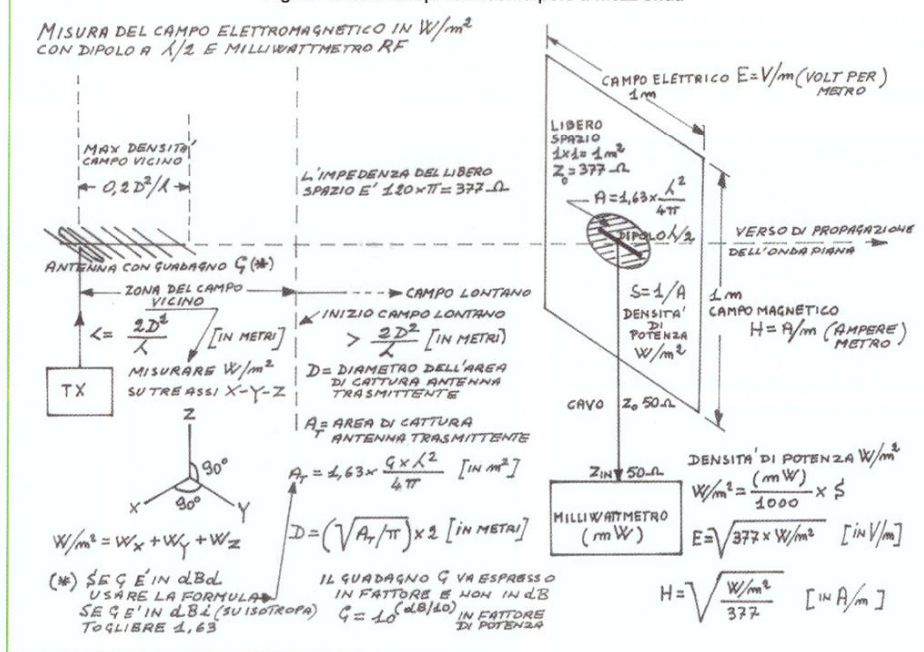
Esempio numerico

Allontaniamoci dall'antenna e mettiamoci a una distanza superiore di 4,57 metri, ossia nella zona del campo lontano, in corrispondenza di edifici abitati e, dopo aver orientato il dipolo per la massima lettura di potenza sul milliwattmetro, leggiamo una potenza di 5 mW, da cui $5 \text{ mW}/1000 = 0,005$ watt.

Abbiamo visto che per un dipolo per 432 MHz, il coefficiente di moltiplicazione S della lettura del milliwattmetro, è 15,98 per cui, la densità di potenza del campo elettromagnetico in W/m² misurata in tale zona del campo lontano, risulta $0,005 \times 15,98 = 0,08 \text{ W/m}^2$ e da questa potenza sapendo che l'impedenza del libero spazio è 377 Ω (ricaviamo i valori del campo elettrico E e del campo magnetico H, con la legge di Ohm:

$E = \text{SQR}(377 \times 0,08) = 5,49 \text{ V/m}$ [volt per metro];

Fig. 3 - Misura campi E.M. con dipolo a mezz'onda



—• Teoria •—

$H = \sqrt{SQR} (0,08 / 377) = 0,015 \text{ A/m}$ [ampere per metro].

Densità di potenza dell'onda piana equivalente = $0,08 \text{ W/m}^2$. Ne deriva che, in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore, questi valori di E ed H, misurati nella zona prescelta del campo lontano, sono inferiori ai massimi ammissibili dal DM Nr. 381 e quindi sono adeguati.

Bibliografia

"Overviews on Nonionizing Radiation" April 1977 International Radiation Protection Association, presented by U.S. Department of Health, Education, and Welfare.

"Evaluating Compliance with FCC Guideline for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields" Additional Information for Amateur Radio Stations Supplement B (Edition 97-01) to OET Bulletin 65 (Edition 97-01) by the Federal

Communication Commission Office of Engineering & Technology

"FCC RF-Exposure Regulations-The Station Evaluation" QST January 1998 pagg. 50-55.

"Presentation of EMC" Definition of Electro-Magnetic Compatibility by the UK Defence Standard 59-41.

E. Hare KA1CV, The FCC's New RF-Exposure Regulations, QST Jan 1997, pag. 47.

The ARRL UHF/ Microwave Experimenters Manual, Chapter 2.

I - continua

Domenico Marini • I8CVS

E-mail: domenico.i8cvs@tin.it

I radioamatori, la legge e la misura dei "nostri" campi elettromagnetici

Premessa

2ª Parte -Contrariamente a quanto si possa credere, il radioamatore può essere esposto a un notevole campo elettromagnetico, sia quando effettua regolazioni di ROS "a caldo" stando a pochi centimetri dalle antenne alimentate in trasmissione,

e sia nell'interno della stazione, perché in mancanza di adeguate schermature dei racks e in vicinanza di amplificatori lineari di elevata potenza per HF e ancor più per VHF e superiori, le tensioni a RF e le correnti a RF circolanti nell'interno dei contenitori, sono molto elevate e, in prossimità dei circuiti accordati LC, i campi raggiungono

DIPOLLO A MEZZ'ONDA CON BALUN 1/4λ PER VHF/UHF/SHF
GUADAGNO $G = 2,14 \text{ dBi} = 1,63 \text{ VOLTE IN POTENZA SULL'ISOTROPIA}$
RETURN LOSS > 20dB; ROS < 1,22; $Z = 50 + j10 \text{ OHM}$

AREA DI CATTURA $A = 1,63 \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \text{ [IN m}^2\text{]}$
DOVE λ ESPRESSA IN METRI

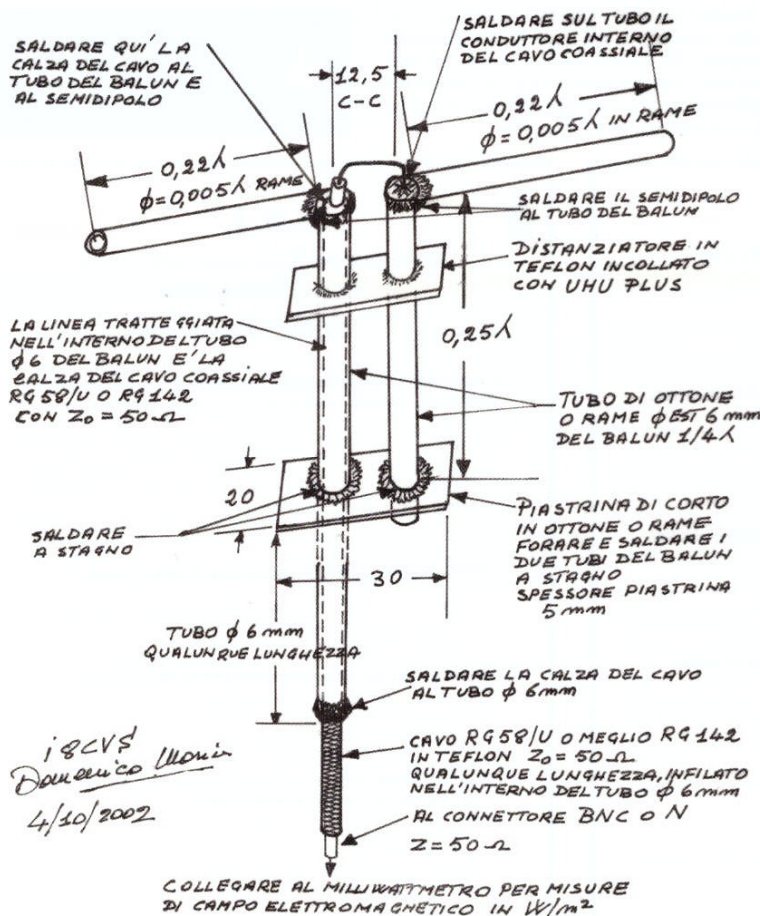
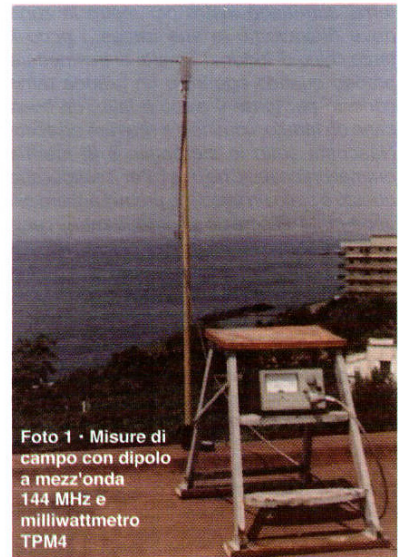


Fig. 1 - Misure normalizzate per dipolo a mezz'onda con balun



valori pericolosi in V/m (volt per metro) e A/m (ampere per metro). Per verificarlo, è sufficiente tenere un tubo al neon con una sola mano e avvicinarlo ai circuiti accordati LC dello stadio finale, per vederlo illuminare spontaneamente dalla distanza di 20 o 30 centimetri, senza null'altro toccare.

Non sempre, i materiali con cui sono realizzati i contenitori, sono adatti a una schermatura conforme alle norme Standard EMC 59-41, adottate nelle apparecchiature militari.

I punti deboli dei contenitori per amplificatori RF, sono le fenditure di aerazione che in genere sono aperte sui coperchi e pannelli laterali e così nelle apparecchiature per VHF e superiori, le fenditure si comportano da "spifferi" di RF diretti verso l'operatore.

Un amplificatore ben schermato da "spifferi" come il K2RIW da 1 kW RF per 432 MHz con due tubi 4CX250R, ha il contenitore in lamiera di ottone completamente chiuso da un fondo e un coperchio superiore dotati di "finger stock" e questi sono avvitati ciascuno con 16 viti alla distanza di 5 cm una dall'altra, mentre i fori per l'ingresso e l'uscita dell'aria, sono schermati con rete di ottone con maglia-tura più fitta di quella delle reti per moschiere. Se in caso di avaria si smontasse il coperchio superiore e si lavorasse per breve tempo a "caldo", cioè con l'amplificatore in funzione allo scopo di ricercare il guasto, si correrebbe il rischio di contrarre la cataratta ad entrambi gli occhi, perché l'amplificatore irradierebbe una notevole potenza come farebbe un forno a microonde, se rimosse le protezioni, venisse fatto funzionare col coperchio aperto.

E' quindi evidente che il misuratore di campo elettromagnetico descritto nella Parte 1ª di questo articolo, oltre che per misurare i campi irradiati dalle antenne, può essere validamente usato per rivelare l'esistenza di eventuali "spifferi" di RF irradiati dalle appa-



recchiature di stazione, forno a microonde della XYL compreso, nonché i cellulari perché il milliwattmetro è sempre lo stesso e l'unica cosa da cambiare è la sonda a RF ossia il dipolo a mezz'onda che deve risuonare alla frequenza dell'antenna o apparecchiature da controllare.

Per questo motivo, ho realizzato 5 dipoli sonda per le bande radiantistiche dei 144 MHz, 432 MHz, 1296 MHz, 2400 MHz e uno per la vecchia banda di telefonia cellulare dei 950 MHz.

Come funziona il dipolo a mezz'onda

La (Fig. 1) pubblicata anche nella Parte 1^a di questo articolo, riporta le misure del dipolo normalizzate in frazioni di lunghezza d'onda λ , e, come si vede dal disegno, la realizzazione è semplice ma dovendo il dipolo funzionare da sonda di misura tarata, questa deve essere molto precisa, perché è il solo dipolo che deve raccogliere nella sua area di cattura A l'energia dal libero spazio e una delle condizioni per farlo, è che il cavo coassiale che collega il dipolo al milliwattmetro, non irradi o raccolga energia e ciò si ottiene usando un efficiente quanto mai semplice "balun", composto da una linea di trasmissione bifilare in tubetto di rame lunga 0,25 λ ossia 1/4 d'onda, come illustrato in (Fig. 1)

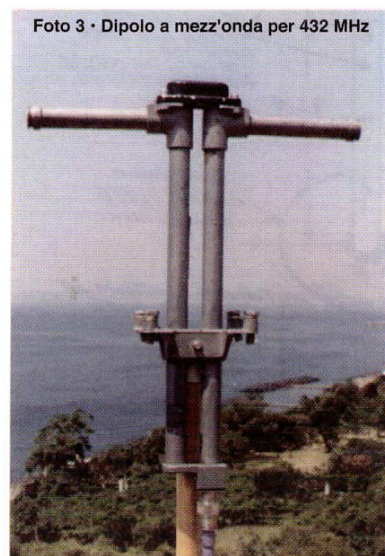
Il principio di funzionamento di questo balun in quarto d'onda, è molto semplice, in quanto si basa sui principi che governano le linee di trasmissione.

Come si vede in (Fig. 1) la linea di trasmissione bifilare, è realizzata con due tubetti di rame da 6 millimetri, con distanza dai centri, di 12,5 millimetri ed è lunga 0,25 λ ossia 1/4 λ ed è messa in cortocircuito a un'estremo su una piastrina di rame da 25 x 30 millimetri.

Quando una linea di trasmissione lunga

1/4 λ è messa in cortocircuito a un'estremo, l'impedenza che appare all'estremo opposto diventa infinita, in teoria, ma all'estremo opposto, ci sono collegati i due bracci del dipolo per cui la corrente che circola sulla superficie interna della calza del cavo coassiale di alimentazione, quando arriva al braccio del dipolo, trova impedenza bassa verso il dipolo ma impedenza altissima, verso la calza del cavo coassiale e ciò impedisce alla corrente RF di tornare indietro scorrendo sulla superficie esterna della calza, evitando così, che lo stesso cavo irradi nello spazio, diventando un'appendice indesiderata dell'antenna che falserebbe la sua area di cattura A.

Da notare che l'impedenza caratteristica



Zo della linea bifilare costituente il balun, non è affatto critica e si **può calcolare con la formula in calce alla (Fig. 2)** che è valida per linee bifilari in aria quando il rapporto D/d è > di 0,15 per cui se D = 12,5 millimetri e d = 6 millimetri come in (Fig. 1) il loro rapporto D/d = 2,1 cosicché risulta > di 1,5 e l'impedenza Zo diventa 163 Ω .

Tuttavia, realizzando i dipoli con il tubo esterno in rame naturale del cavo coassiale UT-141 con diametro esterno d = 3,58 millimetri, la distanza D fra i due centri della linea, si può diminuire fino a 7 millimetri in quanto il rapporto D/d = 1,95 è sempre > di 1,5 e l'impedenza Zo calcolata con la stessa formula, risulta 158 Ω ma la distanza inferiore fra i centri dei due conduttori permette di accorciare il conduttore interno del cavo coassiale che unisce un semidipolo all'altro, come si vede in (Fig. 2) che raffigura un dipolo a mezz'onda ottimizzato per 2400 MHz usato sia come sonda per misure di campo sia per misure di circolarità su antenne a polarizzazione circolare per traffico via satellite.

Da notare, inoltre, che usando il tubetto di rame del cavo UT-141 per realizzare i dipoli,

bisogna che questo sia in rame naturale e non stagnato esternamente, come in genere si trova in commercio o nel surplus, in quanto, per effetto pelle, la corrente a RF scorre sulla superficie esterna del tubo e lo stagno ha una resistenza ohmica molto maggiore di quella del rame per cui le perdite aumenterebbero, il rendimento del dipolo diminuirebbe e l'area equivalente di cattura A diverrebbe più piccola di quanto calcolato in teoria.

Il cavo semirigido con conduttore esterno in tubo di rame naturale, con diametro esterno d = 3,58 millimetri identico a quello del tipo UT-141, è denominato RG-402 e si trova in commercio presso l'indirizzo Internet riportato in Bibliografia al punto (7).

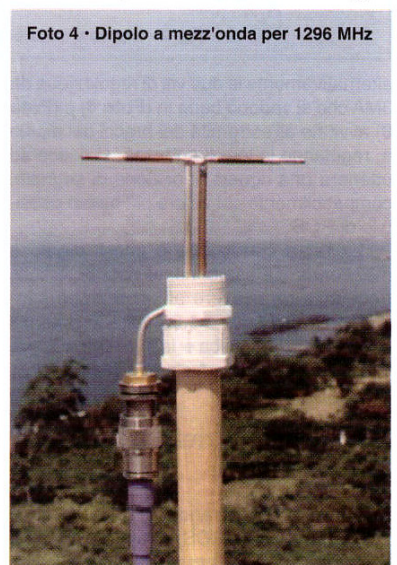
La seconda condizione è che il dipolo sia perfettamente bilanciato, vale a dire che l'energia RF raccolta da un braccio del dipolo lungo 0,22 λ sia uguale a quella raccolta dall'altro braccio simmetrico.

Il bilanciamento elettrico del dipolo, si ottiene facilmente durante la regolazione del ROS, sia che questa venga fatta con un semplice rosmetro sia mediante un generatore RF, collegato a un analizzatore di spettro o un milliwattmetro, attraverso un accoppiatore direzionale.

Il dipolo risulta elettricamente bilanciato, quando la tensione a RF è uguale ai due estremi aperti del dipolo, ma, non potendola misurare strumentalmente in modo facile, è sufficiente toccare alternativamente i due estremi del dipolo con un pezzetto di materiale isolante, osservando le variazioni del ROS.

Quando il bilanciamento è accettabile, si vede che toccando alternativamente i due estremi del dipolo col pezzetto di materiale isolante, la variazione del ROS risulta uguale.

Se le variazioni di ROS sono molto diverse fra loro, occorre accorciare o allungare



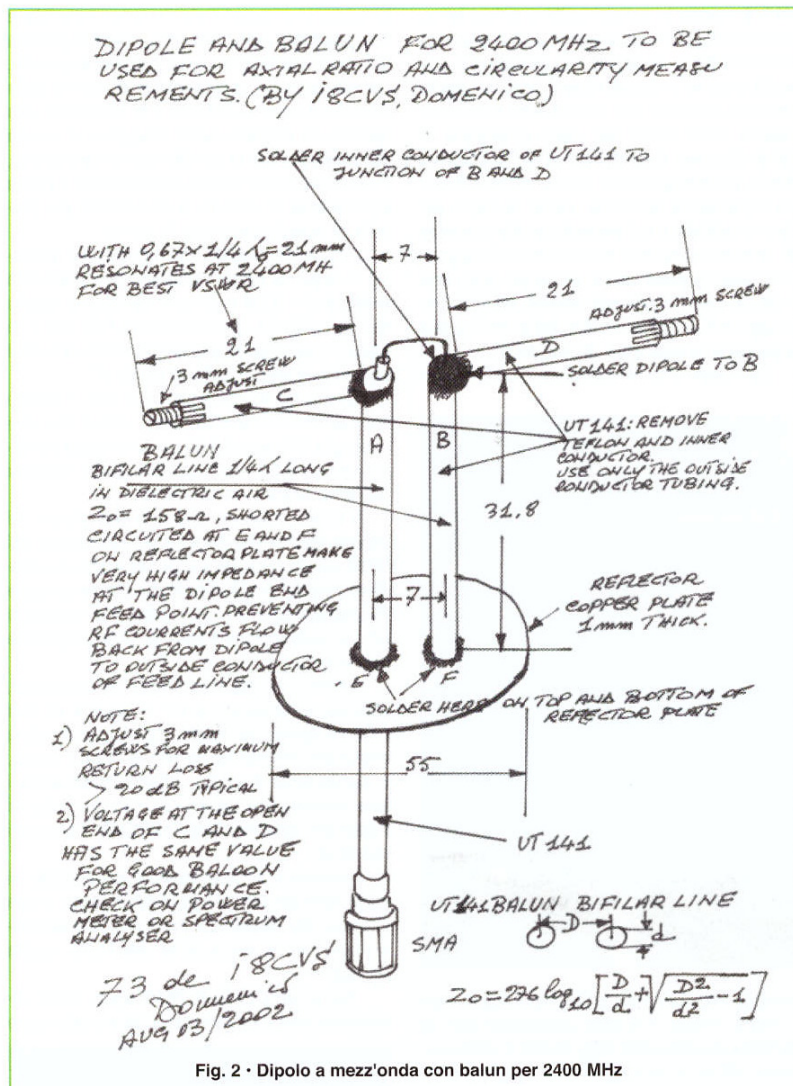


Fig. 2 - Dipolo a mezz'onda con balun per 2400 MHz

alternativamente le due viti di regolazione da 3MA che si vedono bene in (Foto 4) e (Foto 8) avvitate all'estremità dei bracci del dipolo e, regolando la loro lunghezza, si riesce ad ottenere una uguale variazione di segnale, compatibilmente col valore più basso possibile di ROS.

La terza condizione è che il dipolo a mezz'onda sia esattamente risonante sulla frequenza da ricevere affinché il suo guadagno sia 2,14 dB o 1,63 volte in potenza sull'antenna isotropica e la sua area efficace di cattura o apertura A sia effettivamente

$$A = 1,63 \times \frac{\lambda^2}{4\pi} [\text{metri quadrati}] \quad (1)$$

Ciò si ottiene tarando il dipolo in modo che il suo VSWR o ROS, chiamiamolo come vogliamo, sia il più basso possibile alla fre-

quenza di lavoro e tarando con cura il dipolo di (Fig. 1) o di (Fig. 2), si ottiene un ROS < di 1,22 corrispondente a un Return Loss > di 20 dB e una impedenza $Z = 50 + j 10 \Omega$ per cui l'incertezza sulla precisione della misura risulterà minima e la riduzione effettiva dell'area di cattura A, rispetto a quanto calcolato con la formula, sarà dovuta unicamente al rendimento reale del dipolo che in genere, come avviene in una antenna Yagi, risulta molto elevato.

La quarta condizione è che il cavo coassiale che collega il dipolo al milliwattmetro, sia il più corto possibile, lungo al massimo 3 metri, ed abbia la minore attenuazione possibile in frazioni di dB trascurabili alla frequenza di lavoro e io ho usato un cavo di precisione per misure di laboratorio di marca Gore lungo 2,7 metri dotato di connettori N maschio e femmina con attenuazione certificata di 0,6 dB a 2 GHz, connettori compresi,

e reperibile all'indirizzo Internet riportato in Bibliografia (7).

Le dimensioni del dipolo e del balun di (Fig. 1) derivano da quelle del dipolo per uso militare di (Foto 3) reperibile nel surplus e da me ritarato facilmente col generatore di segnali RF ed analizzatore di spettro per il minimo di ROS a 432 MHz in quanto i due bracci dei semidipoli e il punto di cortocircuito del balun come si vede in (Foto 3) sono telescopici e quindi la loro lunghezza è regolabile.

Le misure di questo dipolo sono state poi normalizzate in frazioni di lunghezza d'onda λ e riportate nel disegno di (Fig. 1) in modo da poter realizzare il dipolo scalato per qualsiasi altra frequenza.

Per frequenze superiori a 432 MHz, ho usato il tubetto di rame naturale diametro esterno 3,58 millimetri, ricavato dal cavo coassiale semirigido UT-141 o meglio RG-402, sfilando il conduttore interno col suo dielettrico in teflon e filettando internamente le due estremità dei bracci, per avvitare dentro due viti di ottone da 3MA senza testa, in modo da regolare la lunghezza del dipolo in fase di taratura per il minimo di ROS e per il miglior bilanciamento elettrico dei due bracci.

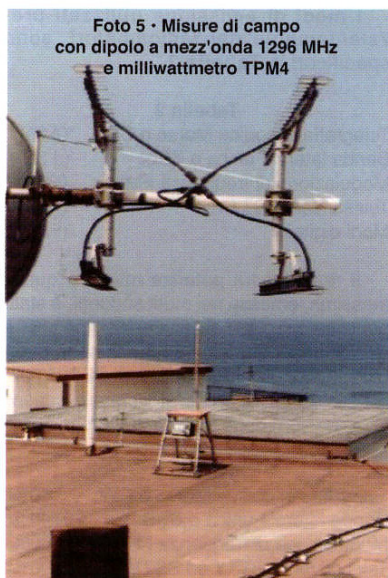
La (Foto 4) mostra il dipolo per 1296 MHz, la (Foto 8) fa vedere quello per 2400 MHz, utilizzabile sia per misure in banda radiostatica tropo e satelliti e sia per la verifica di "spifferi" sui forni a microonde il cui magnetron oscilla a 2450 MHz mentre, il dipolo in (Foto 10) a 950 MHz, serve per misure di campo sulla vecchia banda per cellulari dove mia figlia Isabella IW8CVS, telefona per le prove e fa le misure sul milliwattmetro TPM 4 della SSB Electronics.

Il milliwattmetro TPM 4, risulta facilmente trasportabile sul tetto, essendo alimentato a batterie e lavora da DC a 11 GHz con 6 portate commutabili da 0,3 mW a 100 mW, mentre il milliwattmetro o Power Meter HP 435A con testina HP 8481A da 3 μ W a 100 mW, è ancor più sensibile e quindi permette misure di campo a distanze maggiori, si trova sul mercato surplus a prezzo di OM e in laboratorio può servire ad altre innumerevoli misure su apparecchiature a RF da 0,05 a 18 GHz.

Dovendo effettuare misure di campo con potenze EIRP estremamente elevate e pericolose, nell'ordine di 10 W/m² e regolazioni a "caldo" su antenne Yagi o paraboliche ad alto guadagno, come si usa in EME, è consigliabile usare un wattmetro tipo BIRD 43 con elemento di misura da 5 watt.

L'ingresso del Bird, viene collegato al dipolo di misura a mezz'onda e l'uscita viene terminata su un carico fittizio da 50 Ω , 5 watt.

Siccome l'accoppiatore direzionale del Bird 43 è smontabile dal corpo del wattmetro, l'indicatore milliamperometrico di potenza, si può trasportare lontano dall'antenna mediante una linea in RG-58/U, mettendolo fuori del



lobo di radiazione dell'antenna e leggere le misure in luogo protetto.

Per la banda 144 MHz, il dipolo realizzato secondo le misure di (Fig. 1) risulterebbe troppo grande e ingombrante e quindi ho realizzato un dipolo a mezz'onda con due stili telescopici, recuperati da antenne interne di vecchi televisori Philips 17CE-1230, come visibile in Foto 1.

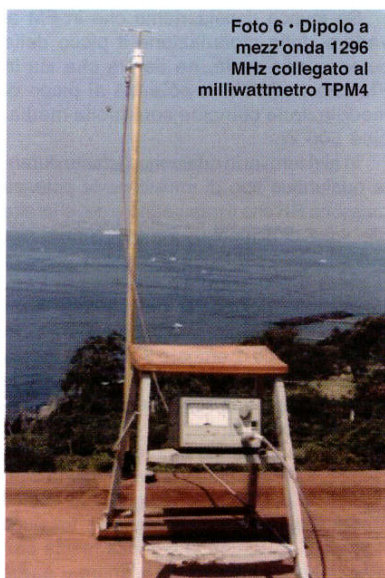
Al centro, in una scatola di alluminio ho montato un balun, rapporto 1:1, visibile in Foto 11 e costituito da due pezzi di cavo coassiale subminax in teflon tipo RG-178, lunghi 40 millimetri ciascuno e su cui sono montati 6 nuclei binoculari in ferroxcube 4B, ad alta permeabilità magnetica μ con codice colore arancione e 6 nuclei monocolori tipo 4C6 color verde a basso μ da 40 a 50.

Misurando il ROS, ho visto che il dipolo risuona a 144 MHz con ciascun braccio telescopico esteso per 480 millimetri.

Il ROS misurato, risulta 1,15 a 144 MHz e non varia facendo scorrere la mano lungo il cavo coassiale di alimentazione, segno questo che il balun funziona bene e che la corrente a RF, non circola sulla superficie esterna della calza del cavo.

Lo schema elettrico del balun 1:1, è riportato in (Fig. 3) è a larga banda, e perciò la lunghezza di 40 millimetri, non è affatto critica.

Per evitare di autocostruire il dipolo dei 144 MHz, si può usare quello recuperato da vecchie antenne per 2 metri e, in questo caso, i dipoli ripiegati o "folded dipole" sono più bilanciati di quelli adattati alla linea di trasmissione con l'uso del "gamma match" e un buon dipolo ripiegato candidato per queste misure, è quello recuperato dalle vecchie antenne Fracarro, modelli 5RA oppure 11RA.



In questi dipoli ripiegati, il rapporto fra i due conduttori, è tale che l'impedenza ai suoi morsetti è 200 Ω ma dovendo essere usati dai radioamatori, i dipoli sono già dotati di un balun bifilare con rapporto 4/1, per cui l'impedenza nel punto di alimentazione è 50 Ω con reattanze associate trascurabili per cui il ROS misurato, è molto basso e mai superiore a 1,2.

In ogni caso, qualunque dipolo ripiegato va bene, purché sia dotato di balun e, qualora mancasse, si può sempre realizzare il classico balun in cavo coassiale da $Z_0 = 50$ ohm lungo $1/2 \lambda$ elettrici, ossia lungo 68,7 centimetri, se il fattore di velocità del cavo è $fv = 0,66$, come nel comune RG-213 con dielettrico in polyethylene solido di largo impiego nelle antenne di noi OM.

Tabella 1 di taratura dei dipoli

Dopo aver realizzato i dipoli, e con l'ausilio di quanto già pubblicato nella Parte 1^a, del presente articolo, ora bisogna calcolare il valore dell'area di cattura A in metri quadrati con la formula (1) già riportata, dopodiché si dovrà calcolare il fattore di moltiplicazione $S = 1/A$ del milliwattmetro, per sapere quante aree di cattura di dipolo ci occorrono, per raccogliere la densità di potenza incidente su un metro quadrato di libero spazio, ossia per calcolare la potenza in W/m^2 dalla quale con la legge di Ohm sapendo che l'impedenza del libero spazio è 377 Ω sarà facile ricavare i valori di

campo elettrico in V/m e campo magnetico in A/m.

Banda MHz	Area di cattura A (m^2)	fattore di moltiplicazione $S = 1/A$
144	0,56	1,77
432	0,063	15,98
950	0,013	77,30
1296	0,007	143,87
2400	0,002	493,40

Esempio:

A una data distanza dall'antenna trasmettente in 1296 MHz, misuriamo sul milliwattmetro una potenza P pari a:

$P = 0,6 \text{ mW}$; $0,6 / 1000 = 0,0006 \text{ watt}$
 $0,0006 \times 143,87 = 0,0863 \text{ W/m}^2$ (watt per metro quadrato)

$E = \text{SQR}(377 \times 0,0863) = 5,7 \text{ V/m}$ (volt per metro)

$H = \text{SQR}(0,0863 (377)) = 0,015 \text{ A/m}$ (ampere per metro)

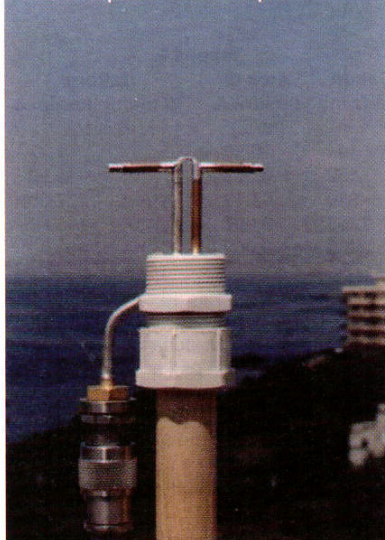
Per quanto già esposto nella Parte 1^a dell'articolo, questi valori, nel punto di misura, sono inferiori ai limiti massimi previsti dal DM Nr. 381 per l'esposizione a campi elettromagnetici, indipendentemente dalla frequenza e mediati su un qualsiasi intervallo di tempo di sei minuti, misurati in corrispondenza di edifici abitati a permanenze non inferiori a quattro ore, che rappresenta il caso tipico di persone che vivono fra le pareti di una casa.

Per quanto attiene le misure di campo in HF, le dimensioni del dipolo a mezz'onda diverrebbero proibitive e inoltre il sistema di misura con antenna a dipolo, è un sistema a banda stretta e ci vorrebbe un dipolo regolabile in lunghezza sulle varie frequenze. Volendo un sistema a banda larga, per frequenze HF, dove il dipolo diventa ingombrante, si usa il "dipolo corto".

Un dipolo di lunghezza inferiore a $\lambda/10$ ha una "lunghezza effettiva" uguale a metà della sua lunghezza fisica. Se è immerso in un campo elettrico di 1 V/m, ai suoi capi avremo una tensione in volt di $1/2$ della sua lunghezza in metri, indipendentemente dal



Foto 8 - Dipolo a mezz'onda per 2400 MHz



valore della frequenza. Se la lunghezza del "dipolo corto" fosse 10 centimetri, sempre con un campo di 1 V/m, la tensione sarebbe 0,05 volt. Chi volesse realizzare un misuratore di campo, anche per HF, che si basa su questo principio, troverà tutte le indicazioni nell'articolo di Piero Moroni I5TDJ in Bibliografia (4).

Limiti di potenza, modi di emissione dei radioamatori e il DM Nr. 381

L'Articolo 15 del Decreto Attuativo per l'attività radioamatoriale, Decreto Ministeriale 11 Febbraio 2003, recita:

(Limiti di potenza)

1. Fatte salve eventuali limitazioni delle potenze riportate dal piano nazionale di ripartizione delle frequenze, le stazioni del servizio di radioamatore possono operare con le seguenti potenze massime, definite come potenza di picco (p.e.p) cioè di potenza media fornita alla linea di alimentazione dell'antenna durante il ciclo a radiofrequenza, in corrispondenza della massima ampiezza dell'involuppo di modulazione.

classe A, fisso o mobile/portatile 500 W

Quanto sopra sancito dal Decreto Attuativo è concettualmente e tecnicamente inesatto perché ad esempio il p.e.p della trasmissione SSB e la potenza media non coincidono. Se infatti misuriamo la potenza media emessa con il sistema di prova a due toni troviamo che questa è 4 dB (2,51 volte) sotto il picco p.e.p. Questo è quanto scrive la Collins nel suo libro "Fundamental of SSB" pubblicato per la prima volta nel 1957. Cioè con un picco di 500 W troviamo che la potenza media in SSB è solo $500/2,51 = 200$ W.

Se invece consideriamo che in FM al variare della modulazione il picco della potenza non varia, ne deriva che sia in FM che in RTTY la potenza al picco di modulazione coincide con quella media, cioè 500 W.

In altri termini in qualunque istante durante qualunque tipo di emissione la potenza massima RF che il trasmettitore deve fornire alla linea di alimentazione di antenna, non può superare per legge 500 watt di potenza di picco o potenza p.e.p che sta per Peak Envelope Power ma per fornire una potenza di picco di 500 watt RF, il trasmettitore deve essere in grado di erogare 500 watt di uscita anche quando si trasmette in FM, oppure in RTTY, oppure una semplice portante continua non modulata.

Per quanto scritto autorevolmente dalla Collins, nei modi di emissione come la SSB durante il parlato o in telegrafia in codice Morse, durante la manipolazione fra punti e linee, è ovvio che la potenza media erogata dal trasmettitore, sia inferiore a quella p.e.p. di 500 watt durante il picco e quindi su un wattmetro per RF inserito sulla linea di trasmissione, leggeremo una potenza media di 200 watt ma, in FM e RTTY, possiamo legalmente erogare verso la linea di

I modi di emissione utilizzati prevalentemente dai radioamatori, sono specificati in **Tabella 2**.

Tabella 2

Telegrafia in codice Morse o CW:	(A1A)
Banda laterale unica o SSB:	(J 3E)
Modulazione di frequenza FM:	(F3E)
Telescrivente RTTY:	(F1E)
Modi digitali:	(F2D)

Il rapporto fra potenza media e quella massima, emessa nei modi suddetti, è stato pubblicato su QST Gennaio 1998 pag. 51 e questi dati riportati in **Tabella 3**, sono quelli ufficiali riconosciuti sul bollettino OET65 pubblicato dal FCC (Federal Communications Commission) degli Stati Uniti d'America.

Tabella 3

Telegrafia in codice Morse o CW:	40%
Banda laterale unica o SSB:	20÷40%
Modulazione di frequenza FM:	100%
Telescrivente RTTY ed SSTV	100%

Tenendo conto che ogni radioamatore, come già detto, trasmette per metà del tempo mentre ascolta nell'altra metà, la potenza emessa mediata nel tempo di 6 (sei) minuti previsti dal DM Nr. 381 viene ridotto del 50% come riportato in **Tabella 4**.

Tabella 4

Telegrafia in codice Morse o CW:	20%
Banda laterale unica SSB:	10÷20%
Modulazione di frequenza FM:	50%
Telescrivente RTTY ed SSTV:	50%

Le antenne sono collegate ai trasmettitori, con linee di trasmissione di tipo coassiale, che introducono una certa attenuazione, valutabile mediamente in 1 dB:

1 dB = 1,258 volte in potenza e siccome il cavo attenua $1/1,258 = 0,8$ volte, ciò significa che soltanto l'80% della potenza di uscita RF del trasmettitore ($500 \times 0,8$) = 400 watt viene applicata all'antenna e irradiata, sempre

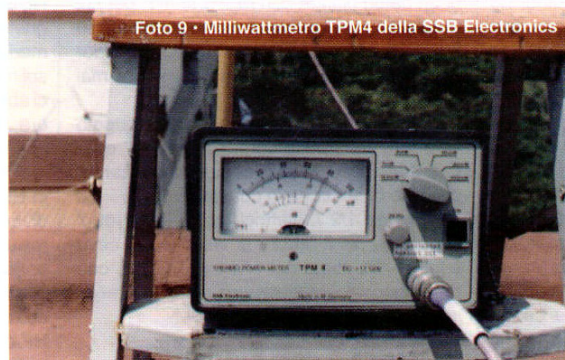


Foto 9 - Milliwattmetro TPM4 della SSB Electronics

trasmissione una potenza RF massima di 500 watt output.

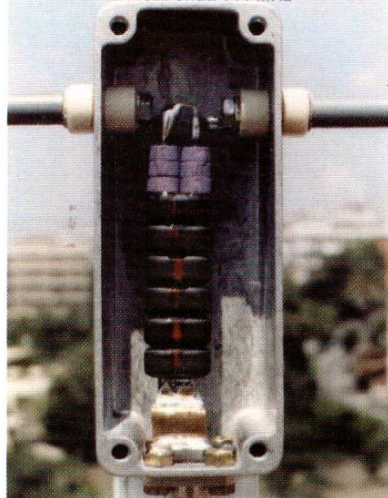
Ciò premesso, le trasmissioni dei radioamatori non sono continue, infatti vengono effettuati collegamenti fra due o più stazioni e ciascuna stazione trasmette un messaggio per un certo tempo, dopodiché passa all'ascolto.

Dato che i messaggi sono in genere di durata assai minore ai 6 minuti (sei) previsti dal DM 10 Settembre 1998 Nr. 381, nel peggiore dei casi, quando cioè ci sono due sole stazioni in collegamento, il tempo medio di trasmissione di ciascuna stazione, può ritenersi pari al 50% del tempo totale.



Foto 10 - Misure di campo su cellulare a 950 MHz mentre IW8CVS telefona

Foto 11 • Balun a larga banda per dipolo a mezz'onda 144 MHz



supposto che il rendimento di antenna sia pari al 100%.

Pertanto, nel nostro caso di radioamatori, le potenze a portante continua e senza modulazione da prendere in considerazione in caso di simulazioni al PC e da usare quando si fanno misure reali dei campi elettromagnetici, non possono essere superiori all'80% delle percentuali di potenza di **Tabella 4**, rispetto ai 400 watt di uscita RF, che raggiungono l'antenna e le potenze da usare nei calcoli e nelle misure di campo devono essere quelle riportate nella seguente **Tabella 5**.

Tabella 5

Telegrafia in cod. Morse o CW:	400x0,2=80 W
Banda laterale unica SSB:	400x0,2=80 W massimo
Modulazione di freq. FM:	400x0,5=200 W
Telescrivente RTTY e SSTV:	400x0,5=200 W
Modi digitali Packet e BPSK	400x1,0=400 W (vedi nota *)

NOTA (In packet e in BPSK i file possono essere più lunghi di 6 (sei) minuti).

Conclusioni

Come si vede dalla **Tabella 5**, anche usando una potenza di uscita RF di 500 watt concessa dalla normativa, le potenze a portante continua e non modulata che devono essere usate nelle simulazioni al PC in (Bibliografia 9) e nelle misure reali di campo per i vari modi di emissione, sono molto inferiori a 500 watt, variando da 80 a 400 watt, a seconda dei modi di emissione e quindi le possibilità di superare il limite massimo di 6 V/m per il campo elettrico e 0,016 A/m per il campo magnetico, con una densità di potenza pari a 0,10 W/m², sono molto remote. Spero di aver dato qualche indicazione utile a chi sia interessato a rendersi conto in quali campi elettromagnetici ci si trova quando si

fa QSO in relazione alle disposizioni del DM Nr. 381 ma anche per controllare se i vari apparati che usiamo sono ben schermati dagli "spifferi" di RF che a nostra insaputa potrebbero irradiarci pesantemente per ore; inoltre se i connettori coassiali sono montati a dovere e non irradiano, se i conduttori delle alimentazioni sono filtrati a norme EMI (Electro Magnetic Interference) e se l'esterno dei cavi coassiali è "freddo" e non irradia.

Tutto ciò si può ottenere facilmente con semplici dipoli a mezz'onda e il milliwattmetro di stazione che senza la pretesa di costituire una strumentazione per misure di campo legalmente riconosciute, fornisce sicuramente l'ordine di grandezza del campo elettromagnetico in cui siamo immersi e ciò è un modo

di fare sperimentazione a basso costo, in un settore in cui i misuratori di campo commerciali darebbero poche soddisfazioni tecniche all'OM, in quanto non sono praticamente "smanettabili" e bisogna credere passivamente alle loro indicazioni.

Questi misuratori di campo, sono di tipo isotropico e la sonda è costituita da 3 dipoli corti rispetto a λ montati su tre assi ortogonali X-Y-Z, che misurano il campo elettrico E oltre a 3 piccoli "loop" montati anch'essi su tre assi ortogonali X-Y-Z per la misura del campo magnetico H, mentre un rivelatore a diodo o termocoppia, invia il segnale a un circuito non lineare che fornisce una corrente continua proporzionale alla radice quadrata della somma dei quadrati delle tre componenti

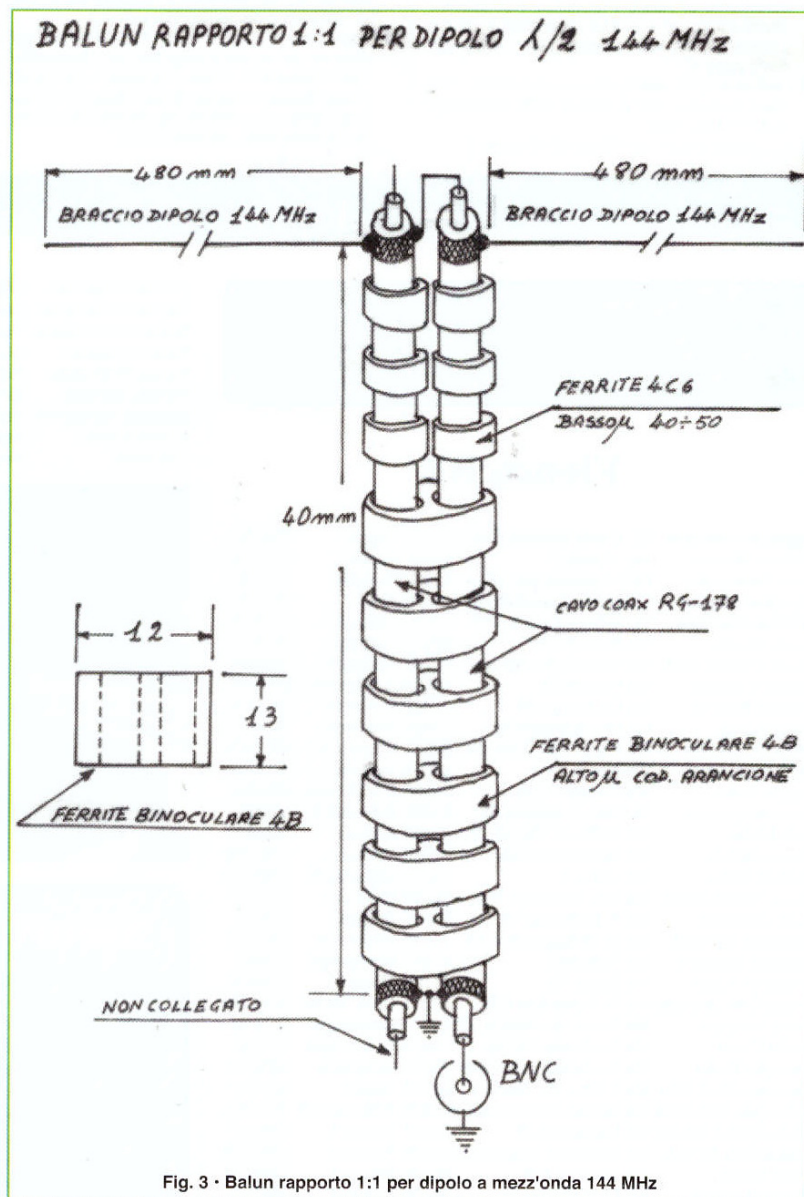


Fig. 3 • Balun rapporto 1:1 per dipolo a mezz'onda 144 MHz

—•— Teoria —•—

ortogonali, dopodiché lo strumento viene calibrato per confronto su una sorgente di campo di riferimento.

Il costo di tali strumenti va da 1.500,00 Euro per un modello da 100 kHz a 3 GHz, ma non omologato per misure legalmente riconosciute, mentre un'attrezzatura usata dall'ARPA per misure di campo ufficiali secondo le norme CEI-211-7 e riconosciute dalla legge, ha un costo che pochissimi radioamatori si potrebbero permettere.

2 - Fine

(La 1ª parte è stata pubblicata su
RadioRivista di Settembre)

Bibliografia

- 1) W.D. McCaa K0RZ, "Exposure Limits and Measurements of Radio Frequency Radiations", Proceedings of the 31st Conference of the Central States VHF Society 1997, ARRL Nr. 6303 page-77
- 2) I. Withe G3SEK and R. Blackwell G4PMK, "RF Field Indicator, 432 & above EME Newsletter K2UYH May 1985
- 3) J.D. Kraus W8JK "ANTENNAS" Chapter II
- 4) La Misura dei Campi Elettromagnetici non ionizzanti di I5TDJ, Piero Moroni 8° Meeting Radiantistico Radiocomunicazioni ieri, oggi e domani Sarnes di Bressanone (Bz) 25+26 e 27 Settembre 1998
- 5) G. Sinigaglia, I4BBE Le Onde Corte e la Salute Edizioni C&C pag. 52
- 6) Riferibilità e Incertezze nella Misura dei Campi Elettromagnetici: Alta Frequenza Rivista di Elettronica Vol. 11 Nr. 2 Aprile-Giugno 1999
- 7) <http://www.rfmicrowave.it/>
- 8) CAMPI ELETTROMAGNETICI: Documento redatto il 14/02/1999 da Angiolo Chiti I5SXN, Cesare Tagliabue I5TGC e Piero Moroni I5TDJ, reperibile in allegato via e-mail su richiesta a domenico.i8cvs@tin.it
- 9) Programma di libero utilizzo NF.EXE basato sul sistema dei momenti magnetici Mini Numerical Electromagnetic Code sviluppato dal Naval Ocean Systems Center di San Diego California scaricabile come file NF.zip da http://www.qth.com/ka9fox/links_software.shtml

Foto 12 • Dipolo a mezz'onda per misure di campo su cellulari a 950 MHz



Vi è piaciuto questo articolo?
Se SI potete votarlo
on-line visitando il
nostro sito www.ari.it

Mi piace!