

Domenico Marini • I8CVS

E-mail: domenico.i8cvs@tin.it

Attenuazione isotropica della tratta EME ed equazione del radar

Premessa

Lo scopo di questo articolo è descrivere con un esempio numerico a 432 MHz un metodo semplice e intuitivo per comprendere come si sviluppa l'approccio fisico-matematico dell'attenuazione isotropica nella tratta EME (Terra-Luna-Terra) dopodiché seguirà un'altra dimostrazione con un secondo metodo che conduce allo stesso risultato usando direttamente la ben nota equazione del RADAR.

Alla fine dell'esposizione si vedrà come sostituendo i valori della frequenza (f) e della distanza (d) usando una qualunque calcolatrice scientifica si possano calcolare con una semplice formula le attenuazioni EME per tutte le frequenze e nel caso di nostro interesse quelle delle gamme concesse ai radioamatori da 50 MHz a 10 GHz.

Metodo 1

Supponiamo di trovarci al centro di una sfera con raggio di 380,000 km che è la distanza media Terra-Luna pari a 380000000 metri come disegnato in (Fig. 1).

Supponiamo di mettere al centro di questa sfera un'antenna isotropica cioè un'antenna ideale puntiforme che irradia uniformemente tutto intorno nello spazio la potenza $P_t = 1$ watt a 432 MHz.

La superficie di questa sfera vale: $S = 4 \times \pi \times R^2$ e quindi:

$$S = 4 \times \pi \times (380 \times 10^6)^2 = 1,81 \times 10^{18} \text{ metri quadrati}$$

Come insegnava il noto maestro pioniere EME Piero Moroni I5TDJ, ora SK, possiamo visualizzare il campo EM irradiantesi da questa antenna isotropica come un palloncino di gomma rossa che gonfiandosi si espande in modo uniforme e aumenta di volume mentre l'attenuazione della potenza trasmessa si può visualizzare come lo spessore della gomma che diminuisce perché il palloncino espandendosi diventa sempre più rosa, trasparente e sottile.

Per paragone quando l'onda EM irradiata raggiunge la superficie della sfera alla distanza di 380,000 chilometri dalla Terra tutta la potenza di 1 watt che prima era concentrata al centro della sfera si distribuisce uniformemente su tutta la sua superficie S e la densità di potenza D raccolta su ogni metro quadrato della sfera vale:

$$D = \frac{1 \text{ watt}}{1,81 \times 10^{18}} = 5,52 \times 10^{-19} \text{ watt/metro quadrato}$$

In un punto della sfera alla distanza di 380,000 chilometri dobbiamo immaginare che ci sia la Luna il cui raggio medio è $r = 1735$

km = 1735000 metri e quindi la superficie S1 della Luna vista come un disco o bersaglio RADAR riflettente vale:

$$S1 = 1735000^2 \times \pi = 9,45 \times 10^{12} \text{ metri quadrati}$$

La densità di potenza totale P1 raccolta su tutta la superficie del disco lunare si calcola facendo il prodotto D x S1 e quindi:

$$P1 = (5,52 \times 10^{-19}) \times (9,45 \times 10^{12}) = 0,0000052164 \text{ watt}$$

La Luna essendo fatta prevalentemente di materiale roccioso è un cattivo riflettore della RF e a 432 MHz solo il 7% della potenza P1 raccolta sulla superficie lunare S1 viene riflessa e reirradiata isotropicamente indietro verso lo spazio esterno e quindi anche verso la Terra per cui tutta la potenza P2 riflessa in modo isotropico dal disco lunare vale soltanto:

$P2 = 0,0000052164 \times 0,07 = 0,0000003651 \text{ watt}$

$$P2 = 0,0000052164 \times 0,07 = 0,0000003651 \text{ watt}$$

L'onda EM a 432 MHz reirradiata isotropicamente dalla Luna con potenza P2 compie ora il percorso inverso di 380,000 chilometri tornando anche in parte sulla Terra ma ora nel percorso di ritorno bisogna immaginare che la Luna si trovi al centro della sfera e che la Terra si trovi nel punto della sua superficie S dove

prima c'era la Luna.

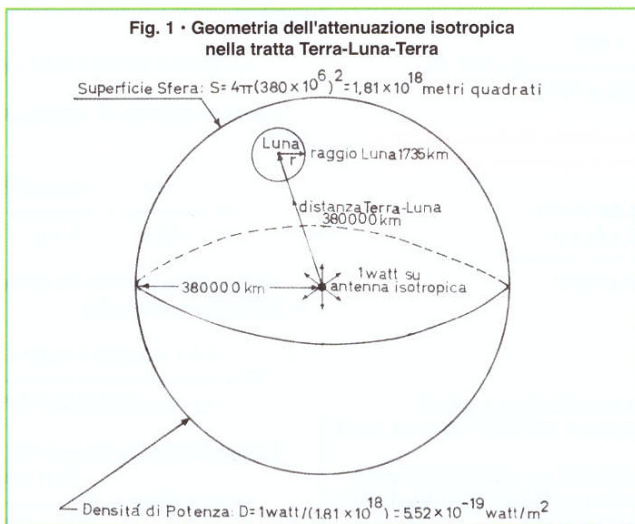
Quando l'onda reirradiata dalla Luna arriva sulla Terra la potenza P3 che viene raccolta da ogni metro quadrato di superficie terrestre vale:

$$P3 = \frac{0,0000003651}{1,81 \times 10^{18}} = 2,017 \times 10^{-25} \text{ watt/metro quadrato}$$

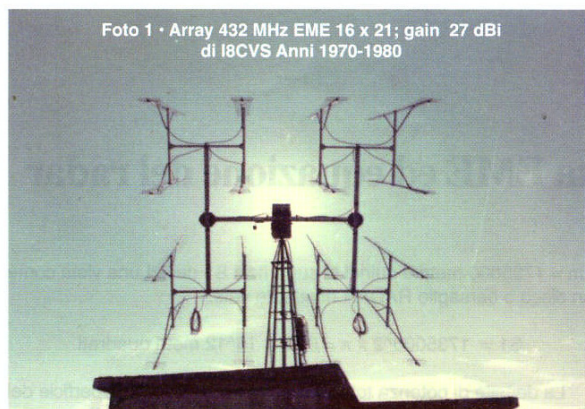
Se vogliamo conoscere la potenza Pr ricevuta sulla Terra con la stessa antenna isotropica a 432 MHz usata per trasmettere $P_t = 1$ watt dobbiamo prima calcolare l'area equivalente di cattura ovvero l'apertura Ar dell'antenna isotropica a 432 MHz (lunghezza d'onda di 0.6944 metri) usando la seguente formula.

$$Ar = \frac{\lambda^2}{4 \times \pi} = \frac{0,6944^2}{4 \times \pi} = 0,0383 \text{ metri quadrati}$$

Ne consegue che la potenza Pr ricevuta dall'antenna isotropica sulla Terra vale $P3 \times Ar$ e calcolando si ottiene:



— Teoria —



$$Pr = (2,017 \times 10^{-25}) \times 0,0383 = 7,725 \times 10^{-27} \text{ watt}$$

Ne deriva che l'attenuazione isotropica (Att) della tratta Terra-Luna-Terra per una distanza media Terra-Luna di 380.000 km a 432 MHz vale Pt/Pr e convertita in dB risulta:

$$(Att) = 10 \log \left(\frac{1 \text{ watt}}{7,725 \times 10^{-27}} \right) = 261 \text{ dB}$$

Metodo 2: Calcolo della attenuazione isotropica EME a 432 MHz usando direttamente l'equazione del RADAR

Equazione del radar

$$Pr = \frac{Pt \times Gt \times Ar \times \sigma}{(4 \times \pi \times R^2)^2}$$

Dove:

Pr = potenza ricevuta in watt

Pt = potenza trasmessa = 1 watt

Gt = guadagno isotropico antenna trasmittente = 1 = 0 dB

Ar = area di cattura antenna isotropica a 432 MHz = 0,0383 metri quadrati

R = distanza media Terra-Luna = 380.000 km = 380000000 metri
 σ = sigma o Radar Cross Section ossia la superficie circolare della Luna in metri quadrati con potere riflettente di 0,07 = 7%

$(4 \times \pi \times R^2)^2$ = superficie sfera con raggio $R=380000000$ metri dove due volte al quadrato serve per calcolare il percorso EME di andata e ritorno Terra -Luna -Terra o round-trip

15 MSH op Sandro
P. O. Box 511
50100 FIRENZE ITALY

To Radio **I8CVS**
Confirming our QSO

DATE	GMT	RST
8 DEC 1977	1240 1252	40 +10dB SPT peak

Mode **2x4** MHz **432,010**
E.M.E.

Tx **KIRIN** 560W out

Rx **FJ2035-MRF904-CONV-28MHz RCVR**

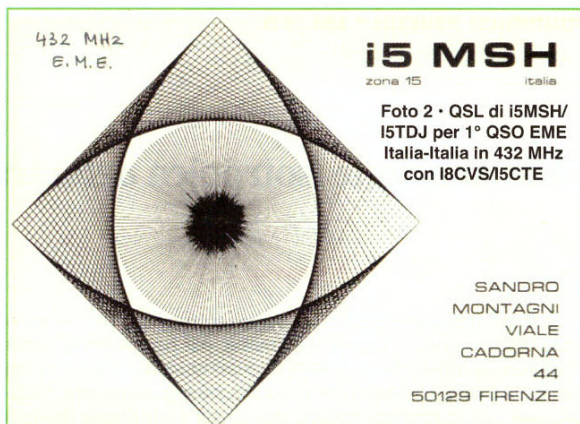
Ant **PARABOLA 41 metri di diametro Pol. Verticale.**

Remarks **Chiusa del 1° QSO**

EME **F3 Pico 15TDJ of.**

1° QSO ITALIA - ITALIA
VIA E.M.E.

Foto 3 • QSL per 1° QSO EME Italia-Italia in 432 MHz fra I5MSH/I5TDJ e I8CVS/I5CTE



Inizio dei calcoli

Calcolo del σ (sigma della Luna con riflettività del 7% = 0.07)

Raggio della Luna = 1735 km = 1735000 metri

Superficie della Luna = $1735000^2 \times \pi = 9,45 \times 10^{12}$ metri quadrati

$$\sigma = (9,45 \times 10^{12}) \times 0,07 = 6,62 \times 10^{11} \text{ metri quadrati}$$

Calcolo dell'area di cattura Ar dell'antenna isotropica a 432 MHz

$$Ar = \frac{\lambda^2}{4 \times \pi} = \frac{0,6944^2}{4 \times \pi} = 0,0383 \text{ metri quadrati}$$

Calcolo della potenza Pr ricevuta a Terra entro l'area di cattura Ar dell'antenna isotropica

$$Pr = \frac{1 \times 1 \times 0,0383 \times (6,62 \times 10^{11})}{(4 \times \pi \times 380000000^2)^2} = 7,70 \times 10^{-27} \text{ watt}$$

L'attenuazione Att (Round-Trip, Terra - Luna - Terra) vale:

$$\text{Attenuazione} = \frac{Pt (1 \text{ watt})}{7,70 \times 10^{-27}} = 1,29 \times 10^{26} \text{ volte}$$

$$\text{Attenuazione in dB} = 10 \log (1,29 \times 10^{26}) = 261 \text{ dB}$$

EME
LUXEMBOURG AMATEUR RADIO STATION

BAUER WILLI
52, rue du Fossé
Esch-sur-Alzette

ISSBer 5398
ISSBer may 1967

LX1DB

To Radio **I8CVS**

Thanks for QSO of **11.03.1978** at **1929** GMT on **432** mc

Your 2 way **CW** - **SSB** signals were R **5 S 2 T 9**

TX: filter exciter linear on HF
filter exciter 14 mc + mixer on VHF
filter exciter 42 mc + varactor mixer UHF

RX: Drake 2C on HF
FET converter + AF139 amp. on VHF
FET converter + AF239 amp. on UHF

Ant: 2 x 13 el long yagi on VHF
2 x 24 el on UHF

73 all the best
B
QRA C850b
TNX for QSL

Foto 4 • QSL per QSO 432 MHz EME con LX1DB (Europa)

•—• Teoria —•

Usando la procedura di calcolo coi due metodi illustrati troviamo che le attenuazioni in dB che subisce un segnale nel percorso EME-Terra - Luna - Terra a 432 MHz sono uguali e pari a 261 dB mentre alle altre frequenze radiantistiche per la distanza media di 384,000 km le attenuazioni sono le seguenti riportate in **Tabella 1**.

Tabella 1	
Frequenza (MHz)	Attenuazione (dB)
50	243
144	252
432	262
1296	271
2304	276
5670	284
10450	289

La distanza Terra - Luna nell'anno 2013 varia da 357,000 km al perigeo fino a 406,500 km all'apogeo per cui chi fa traffico EME può rapidamente conoscere la distanza (d) Terra-Luna per qualunque anno e mese consultando il sito <http://digilander.libero.it/occultazioni/calcolatore.html>

Ciò risulta molto utile in quanto è possibile calcolare giornalmente l'attenuazione Terra-Luna-Terra per le varie frequenze di interesse usando la seguente formula:

$$\text{Loss-EME (dB)} = 20 \log_{10} (f) + 40 \log_{10} (d) - 14,49$$

Dove:

(f) = frequenza in MHz

(d) = distanza in km

Ne deriva che a 432 MHz l'attenuazione al perigeo è 260,32 dB mentre all'apogeo aumenta a 262,58 con una differenza di 2,26 dB e questo valore è molto elevato se si pensa che per aumentare di 3 dB teorici il guadagno di un array di Yagi a frequenze di 144 MHz, 432 MHz o 1296 MHz bisogna raddoppiare il numero delle antenne.

Nota: Quando si sommano algebricamente le potenze espresse in dBW o dBm con le attenuazioni espresse in dB bisogna attribuire alle potenze il segno più + e alle attenuazioni il segno meno -

Per esempio: vogliamo conoscere quanto sarà attenuata la potenza EIRP di + 60 dBW trasmessa verso la Luna quando l'attenuazione Terra-Luna-Terra è 261 dB.

L'operazione da fare è: + 60 + (- 261) = - 201 dBW

Per cui la potenza EIRP di + 60 dBW pari ad 1 MW, ossia un milione di watt, irradiata verso la Luna quando tornerà sulla Terra sarà ricevuta da un'antenna isotropica con una potenza di soli -201 dBW pari a 7,94⁻¹⁵ watt.

Risultati operativi della stazione I8CVS

Fra il 1970 e il 1980 ho usato l'antenna 16 x 21 elementi di **Foto 1** più un amplificatore tipo K2RIW da 1 kW di uscita RF con 2 tubi 4CX250R e un RX con preamplificatore a GaAsFET V-244 in antenna con NF = 0.6 dB il tutto autocostruito.

In quegli anni le stazioni EME attive in 432 MHz erano solo una cinquantina in tutto il mondo e gli sked verivano calcolati a mano mensilmente al perigeo da Cor, VE7BGG che li inviava per posta a tutte le stazioni a mezzo della 432 MHz News Letter di K2UYH.

Tuttavia i QSO EME si svolgevano anche giornalmente in modo random anche in prossimità dell'apogeo purché fosse possibile riascoltare i propri echi in CW nonostante la lenta evanescenza dei segnali dovuta alla variazione del piano di polarizzazione causata dalla rotazione di Faraday specie nelle ore diurne.

Per fare QSO si preferivano i momenti in cui la Luna si trovava a pochi gradi sull'orizzonte in quanto si sfruttava il cosiddetto "Ground Gain" ossia il guadagno della Terra che per riflessione sulla superficie terrestre fa aumentare i segnali di alcuni preziosi dB.

Come mostrano **Foto 2** e **Foto 3** il giorno 8 Dicembre 1977 fu realizzato il 1° QSO EME record Italia-Italia fra la stazione I5MSH operata in CW da Piero, I5TDJ e la stazione I8CVS con a bordo Piero, I5CTE che fungeva da mio consulente operativo.

Con questa stazione ho collegato in tutto 56 stazioni EME diverse sparse fra Europa, Nord-America, Africa e Asia ad eccezione del Sud America perché l'unica stazione esistente YV5BB non era mai operativa e quella unica esistente in Australia era stata semidistrutta dai vandali.

Negli anni successivi al 1980 il numero di stazioni EME andò rapidamente aumentando anche in seguito alla disponibilità commerciale dei dispositivi GaAsFET a costo contenuto e basti pensare che il mio GaAsFET V-244 da NF = 0.6 dB costava, allora, ben \$ 120,00 nel 1977!

Conclusioni

Oggi desistono software molto sofisticati che sollevano gli OM dediti all'attività EME da tutti i problemi di meccanica celeste che occorrerebbe risolvere e da tutti i calcoli matematici che bisognerebbe eseguire per fare il tracking della Luna e per compensare al meglio le attenuazioni della tratta EME.

Bisogna quindi ammettere che l'OM utente del Pc che ignora le

432MHz
NEW JERSEY
1296MHz

K2UYH

RADIO: I8CVS R.S.T. 529 AT 0030 U.S.T. 5/20 1978
 RCVR: HSC 88000 XMTR 7650-1kW ANT. 28' dish
 R.D. No. 4 Old Trenton Road Trenton, New Jersey 08691
 TNX QSL 73, Allen Katz

Foto 5 - QSL per QSO 432 MHz EME con K2UYH (Nord America)

ASIA ZONE 25

FUKUOKA JAPAN

JA 6 CZD

Confirming Our QSO E.M.E ☐ Via OSCAR

Date	Time	To Radio	RST	MHZ	2Way	ORBIT	z
June 24	23:45	I8CVS	529	UP 432.060			
1978	GMT			DOWN	CW		

Xmt: T8820-4CX100B-8438 Rcv: V244-MNT-432 T5820
 Ant: 23' dish 26.5 dB i Ant: 23' dish
 TNX FB QSO Pse QSL Tnx QTH: 975 KOKUBUMACHI, KURUME CITY
 you were very excellent sigs... FUKUOKA, KEN, 830 JAPAN
 Remarks OP: SHICHIRO MORI

Foto 6 - QSL per QSO 432 MHz EME con JA6CZD (Asia)

— Teoria —

leggi fisico-matematiche che governano l'attività EME perderebbe almeno il 50% del fascino che questo modo operativo offriva ai radioamatori negli anni pionieristici fino al 1970 quando il Pc non esisteva o quasi negli shack degli OM e tutto veniva risolto astronomicamente con l'uso delle Effemeridi Nautiche più le tavole delle Rette di Altezza e una calcolatrice scientifica.

In questo articolo è stato toccato solo uno degli aspetti principali dei collegamenti EME che oggi sono alla portata di molti radioamatori ma sembra chiaro che per realizzare collegamenti in questo modo operativo il radioamatore dovrà entrare seriamente nel merito dei vari problemi che si devono risolvere per poter avere ogni parte della sua stazione funzionante al massimo delle prestazioni che ha sulla carta.

Si tratta di un impegno non indifferente, però questa è sicuramente una delle poche strade per gli appassionati dei

collegamenti radio dove si può arricchire notevolmente in materia il bagaglio della propria conoscenza teorica e sperimentale.

Bibliografia

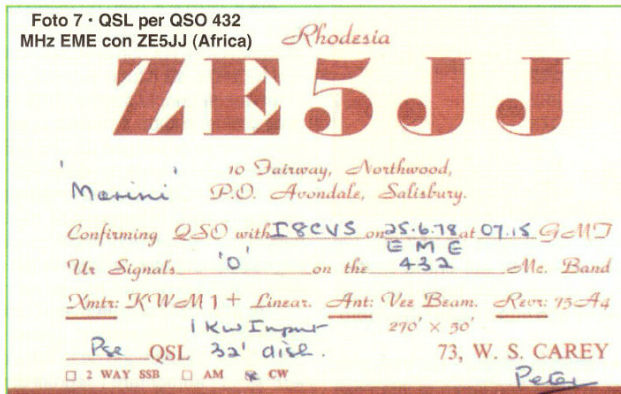
- 1) John D. Kraus, *Radio Astronomy*, McGraw-Hill Book Company, ISBN 07-035392-1
- 2) John D. Kraus, *Antennas*, McGraw-Hill Book Company, Catalog Number 35410
- 3) *Introduction to Radar Systems*, by Merrill I. Skolnik McGraw-Hill Book Company Catalog Number 57905

4) *UHF/Microwave Experimenter's Manual*, ISBN 0-87259-312-6 ARRL Order No 3126

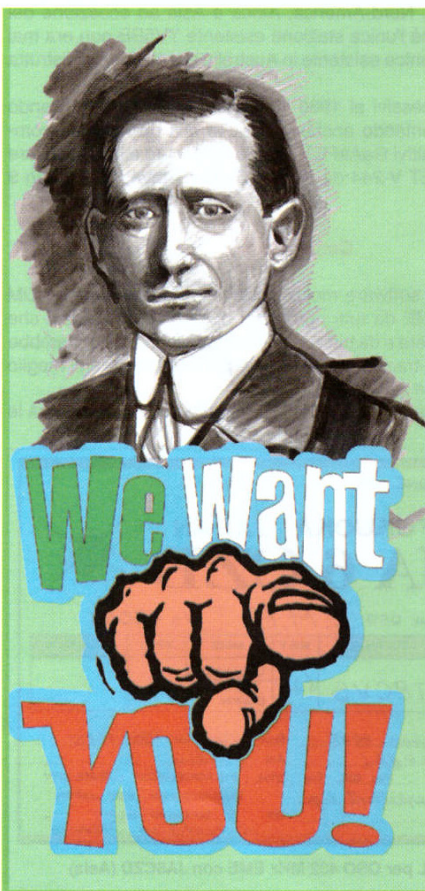
5) *Collegamenti in VHF e UHF per Riflessione sulla Luna* di Piero Moroni ISTDJ, reperibile presso I8CVS e-mail: domenico.i8cvs@tin.it

6) <http://digilander.libero.it/occulazioni/calcolatore.html>

Foto 7 • QSL per QSO 432 MHz EME con ZE5JJ (Africa)



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



Avete la passione per l'autocostruzione?

Vi cimentate nel laboratorio di casa con circuiti stampati, valvole, transistors e tools vari?

Allora siete pronti e carichi per inviare i vostri articoli in cui racconterete le vostre realizzazioni.

Vi chiediamo schemi e fotografie non chiari ma chiarissimi, e di indicare il grado di difficoltà di esecuzione (facile, medio o difficile)

Al resto ci pensiamo noi!