Il beacon 500 kHz IQ2MI

Claudio Pozzi, IK2PII*

19 dicembre 2011

Sommario

La Sezione ARI di Milano ha ottenuto dal Dipartimento delle Comunicazioni del Ministero dello Sviluppo Economico una autorizzazione temporanea e provvisoria per trasmettere sulla banda in onde medie dei 500 kHz.

L'articolo descrive il progetto dell'antenna ed il trasmettitore del beacon QRP attivato il 9 ottobre 2011. I metodi di calcolo sono riportati nell'appendice.

Indice

1 L'antenna. 2

2 Il trasmettitore 3

3 Ringraziamenti 4

A Appendice 7

A.1 Capacità del tratto verticale 7
A.2 Capacità del tratto orizzontale 7
A.3 Calcolo dell'altezza efficace dell'antenna 7
A.4 Calcolo della resistenza di radiazione . . 7
A.5 Calcolo delle perdite 7
A.6 Calcolo della potenza ERP 7
A.7 Calcolo del campo elettrico lontano . . . 7
A.8 Misura del campo elettrico 7

Elenco delle figure

1 L'antenna tra due torri. 2
2 Il cappello capacitivo 2
3 La prima simulazione 2
4 La seconda simulazione 3
5 Misure di risonanza 3
6 Misure di risonanza 3
7 La bobina di accordo 3
8 Schema del trasmettitore 4
9 Il trasmettitore 4
10 OK2BVG screenshot 6
11 PA3FNY screenshot 6
12 Hartmut screenshot 6
13 Alcuni rapporti di ascolto ricevuti . . . 6

Elenco delle tabelle

1 Caratteristiche dell'antenna 3
2 Alcuni rapporti di ascolto 5
3 Altri rapporti di ascolto 5

*Associazione Radioamatori Italiani, sezione di Milano

1 L'antenna.

Un'antenna per la frequenza di 500 kHz difficilmente può essere lunga 1/4 d'onda, pari a 150 metri. Le uniche antenne realizzabili sono quelle conosciute come "antenne marconiane"; sono antenne verticali sormontate da un cappello capacitivo orizzontale e portate in risonanza con una bobina alla base[1].

Erano a disposizione due torri, distanti poco più do 60 metri ed alte circa 20 metri. L'antenna ha una configurazione a "T", con il cappello capacitivo formato da tre fili paralleli spaziati di 0,25 metri e lunghi 60 metri. Il tratto verticale è risultato lungo 16 metri in quanto non è stato possibile scendere fino a terra (Figura 1).

Figura 1: L'antenna tra due torri.

Una volta definite le dimensioni si è costruita l'antenna, utilizzando filo da impianti elettrici da 2,5 mm^2 isolato con PVC con diametro esterno di 4 mm.

Figura 2: Il cappello capacitivo

Contemporaneamente si sono iniziati i calcoli e le simulazioni per stimare il rendimento dell'antenna e quindi la potenza del trasmettitore necessaria per raggiungere la potenza autorizzata di 1 watt ERP.

Si è realizzato un foglio elettronico usando le formule contenute nel lavoro di ON7YD [1] e nel manuale della RSGB [3]. Il limite di questa simulazione è dato dall'imprecisione di calcolo della capacità del cappello capacitivo. Le formule calcolano la capacità di un filo singolo, noi avevamo tre fili paralleli.

Dopo aver portato in risonanza l'antenna ed aver misurato la resistenza totale del sistema il rendimento è stato stimato (nel caso peggiore) pari ad almeno 3,5% (Figura 3).

Calcolo ERP (date le dimensioni fisiche)	
Lunghezza cappello capacitivo (m)	60.0
Diametro filo cappello capacitivo (mm)	4.0
Diametro filo cappello capacitivo (m)	0.00400
Altezza tratto verticale (m)	16
Diametro filo tratto verticale (mm)	4.0
Diametro filo tratto verticale (m)	0.00400
Frequenza (kHz)	502.000
Lunghezza d'onda (m)	597.2
Capacità tratto orizzontale (pF)	342.52
Capacità tratto verticale (pF)	104.84
Capacità antenna totale (pF)	447.36
Altezza efficace (m)	14.13
Resistenza di irradiazione (ohm)	0.883
Resistenza sistema (ohm)	25.0
Rendimento sistema %	3.53
Resistenza di perdita (ohm)	24.12
Potenza trasmettitore (W)	0.400
Potenza irradiata (W)	0.015
Potenza ERP (W)	0.027
Corrente di antenna calcolata (A)	0.129
Corrente di antenna misurata (A)	0.129
Potenza ERP (W)	0.027
Induttanza bobina di accordo (uH)	224.7

Figura 3: La prima simulazione

Da altre considerazioni si è stimato che la geometria realizzata potrebbe almeno raddoppiare la capacità. Pertanto un secondo foglio elettronico, nel quale è possibile inserire la capacità del cappello capacitivo ha permesso un miglioramento della stima. Il rendimento calcolato con questo secondo metodo è quasi 4% (Figura 4).

Dalla sperimentazione condotta sulla banda dei 136 kHz è noto che il cappello capacitivo aumenta la resistenza di radiazione, e quindi l'efficienza dell'antenna, in modo apprezzabile fin quando raggiunge una lunghezza circa doppia della lunghezza del tratto verticale. Ulteriori aumenti di lunghezza influiscono poco sul rendimento dell'antenna ma hanno un'altro effetto positivo in quanto riducono il valore dell'induttanza necessaria per portare in risonanza l'antenna. Questo è facilmente verificabile dalle due simulazioni, confrontando le resistenze di radiazione e la potenza ERP irradiata a parità di corrente di antenna.

Pertanto la conoscenza della capacità del cappello capacitivo è necessaria per calcolare l'induttanza della bobina di accordo. Il tendimento dell'antenna può

Calcolo ERP (capacità stimate)	
Altezza tratto verticale (m)	16
Frequenza (kHz)	502.000
Lunghezza d'onda (m)	597.2
Capacità tratto orizzontale (pF)	700
Capacità tratto verticale (pF)	104.84
Capacità antenna totale (pF)	804.84
Altezza efficace (m)	14.96
Resistenza di irradiazione (ohm)	0.991
Resistenza sistema (ohm)	25.0
Rendimento sistema %	3.96
Resistenza di perdita (ohm)	24.01
Potenza trasmettitore (W)	0.400
Potenza irradiata (W)	0.017
Potenza ERP (W)	0.030
Corrente di antenna calcolata (A)	0.129
Corrente di antenna misurata (A)	0.129
Potenza ERP (W)	0.030
Induttanza bobina di accordo (uH)	124.9
Campo elettrico lontano ($\lambda > E > 10\lambda$)	
Campo elettrico (uV/m)	700.0
Campo elettrico (V/m)	7.00E-04
Distanza (m)	10000
Potenza ERP irradiata (W)	1.000

Figura 4: La seconda simulazione

essere sitimato con buona approssimazione intorno al 4%.

Dopo aver installato l'antenna si è realizzata la bobina di accordo. Sempre dall'esperienza accumulata durante la sperimentazione sui 136 kHz si è provato ad avvolgere uno spezzone di filo identico a quello utilizzato per l'antenna su un tubo di plastica.

Poi si è misurata la frequenza di risonanza, utilizzando un test equipment Siemens K2155 (voltmetro selettivo D2155 + tracking generator) e un ponte di resistenza autocostruito.

Togliendo una spira alla volta si è portata l'antenna a risuonare un poco sotto i 500 kHz e si sono allargate le ultime spire fino ad ottenere una risonanza a circa 502 kHz (Figure 5, 6 e 7).

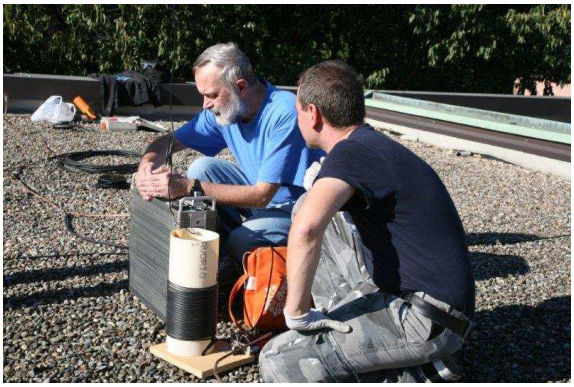

Figura 5: Misure di risonanza

La resistenza del sistema d'antenna comprende la resistenza di radiazione, la resistenza della bobina di accordo e la resistenza dell'impianto di terra. Poiché la linea di alimentazione è corta rispetto alla lunghezza d'onda ($l < \frac{\lambda}{10}$) non si è ritenuto necessario adattare l'impedenza d'antenna a quella della linea.

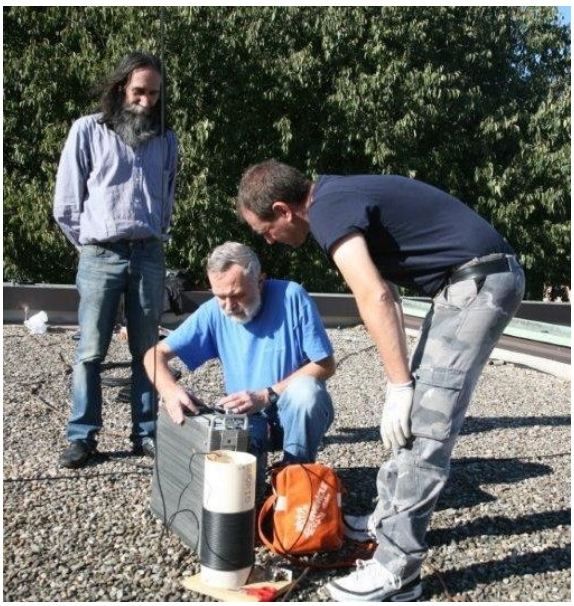

Figura 6: Misure di risonanza

Figura 7: La bobina di accordo

Tabella 1: Caratteristiche dell'antenna

resistenza di radiazione	1 Ω
resistenza sistema	25 Ω
resistenza di perdita	24 Ω
rendimento antenna	4%
potenza per 1W ERP	≈ 15 W

2 Il trasmettitore

Si è utilizzato un trasmettitore QRP con potenza di uscita di 400 mW (+26dBm), alimentato a 6 volt e pilotato da un keyer costruito attorno ad un PIC.

Il beacon è attivo dal tramonto all'alba, per usufruire della propagazione per riflessione ionosferica notturna.

La potenza irradiata ERP è stimata in poco meno di 30 mW. Il beacon trasmette l'identificativo

"IQ2MI JN45NL" in CW seguito da "IQ2MI JN45NL" in telegrafia lenta QRSS3.

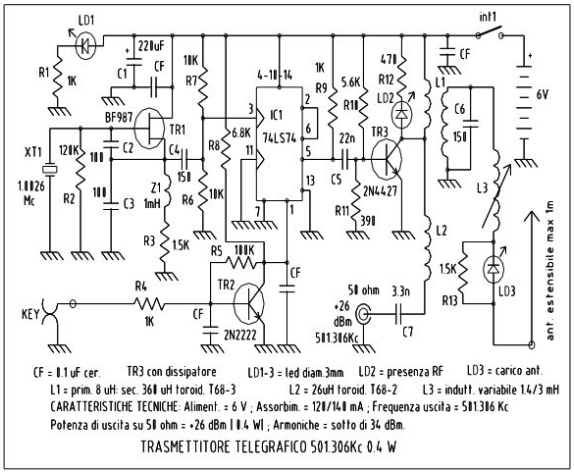

Figura 8: Schema del trasmettitore

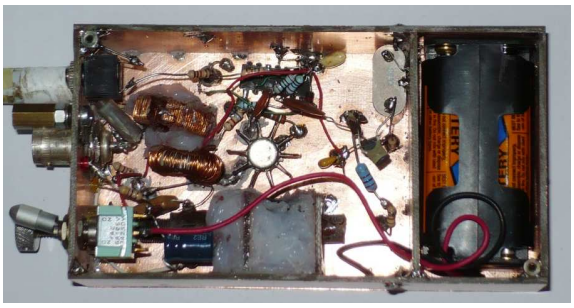

Figura 9: Il trasmettitore

È in costruzione un trasmettitore con potenza maggiore per raggiungere la potenza ERP autorizzata di 1 watt. Con questo trasmettitore ci aspettiamo di realizzare collegamenti bilaterali di alcune migliaia di chilometri in telegrafia ed in telegrafia lenta.

Questo trasmettitore consentirà inoltre di misurare il campo elettrico ad una distanza compresa tra 1 e 10 chilometri, per avere conferma dei calcoli e delle simulazioni fatte sull'antenna.

3 Ringraziamenti

Si ringraziano i Radioamatori che hanno collaborato per la realizzazione del progetto 500 kHz:
Giulio I2FGT per la realizzazione e l'installazione dell'antenna
Giorgio IZ2JGB e Mauro IK2GFT per l'installazione dell'antenna
Carlo IW2FYT per la realizzazione del keyer
Pietro I2BUM per la realizzazione del trasmettitore
Roberto I2ROM per il servizio fotografico

Si ringraziano anche coloro che hanno inviato i rapporti di ascolto.

Rapporti di ascolto ricevuti

Nonostante la piccola potenza irradiata fin dai primi giorni sono stati ricevuti parecchi rapporti di ascolto, in particolare dal Nord Europa. Le tabelle riportano i rapporti ricevuti fino al 5 novembre 2011. La sera del 8 novembre 2011 la potenza è stata portata ad 1 W ERP. I rapporti di ascolto successivi saranno pubblicati in un prossimo report.

Tabella 2: Alcuni rapporti di ascolto

CALL	UTC	2011	QRB	Locator	note
I2BUM	17,00	09/10	7	JN45OL	ascolto con loop sintonizzato
IK2GFT	17,00	09/10	7	JN45NK	JRC525Nrd, Loop ALA 100M
IZ2JGB	17,00	09/10	19	JN45LO	RX Telefunken E1500, FD4
SWL I4	20,40	09/10	192	JN54MJ	Degen DE1103, Tecsun AN–200, SINPO 3
OK2BVG	18,55	10/10	691	JN88KS	
I2MRP	18,35	10/10	29	JN45NS	Perseus, ant 160 mt
PA3ABK	19,44	10/10	775	JO21IT	Antenna T
OR7T	20,00	10/10	693	JO20IX	"O" copy of the QRSS signal – CW 339 with patience
IZ2RLX	20,30	10/10	8	JN45OK	FT950, antenna morgain
DD7PC	20,30	10/10	507	JN49AX	
IZ2LWE	18,43	11/10	32	JN45NS	IC756PROIII, OCFD 42m a 9m altezza
F6CNI	19,00	11/10	589	JN19QB	
F4DTL	22,02	11/10	615	JN18FP	IC7400, Miniwhip
F5WK	22,40	11/10	605	JN18HP	IC7400, 10m vertical tuned on 500kHz
SWL F60130	23,32	11/10	702	JN08QX	JRC NRD535, long wire 60m, Miniwhip
S52AB	19,00	12/10	474	JN75OU	
PA3WEG	20,15	12/10	802	JO21EX	via websdr CW/QRSS appena visibile, ascoltato RST 439
I2PHD	22,11	12/10	32	JN45SL	Racal 1792, miniwhip
IK2MMB	23,15	12/10	28	JN45PQ	Perseus, 7m wire
SWL Wolff	00,04	17/10	804	JO52HP	
SWL NL9222	19,27	17/10	808	JO22KE	
OH1LSQ	20,20	17/10	2114	KP03SD	tracce sul suo grabber
IK2SBB	21,30	20/10	14	JN45PM	IC 735, Windom 80m, tuner CG-3000, RST 599
PA3FNY	21.42	20/10	792	JO22NC	
SWL I2	23,00	22/10	7	JN45OL	Tecsun PL660 con antenna ferrite
IZ2DAY	01,00	23/10	14	JN45PM	IC 735, antenna HF9, filtri INRAD 9 MHz e 455 kHz,RST 519
I2 05206	13,59	23/10	14	JN45MO	Yaesu FRG 7000, filare 15m, R&S EK07D,dipolo ripiegato
IW2IOL	17,09	23/10	19	JN45QM	Kenwood R2000, loop 80cm,preamplificatore
SWL Oexner	19,30	23/10	423	JN49BF	Perseus, ant Mini Whip
I2 51099	19,56	24/10	8	JN45OK	rx Winradio G33DDC EX.PRO, ant T2FD 15m long
HB9DUL	19,50	26/10	210	JN36KN	Kenwood TS870S, LW 45m, variometro
I2BUM/4	00,30	30/10	257	JN65EB	RX 2conv, preamp,(filtro 600 Hz), dipolo 40m
IW2EZU	21,15	03/11	13	JN45LL	TS2000, filtro 500Hz, verticale filo 8m (hrd CW lento)
IZ2NXF	17,40	05/11	7	JN45OM	IC R75, antenna hula-hoop homemade
IK2ULS	21,30	05/11	14	JN45PM	Racal1792, ant AV640 (calza staccata),RST 599+

Tabella 3: Altri rapporti di ascolto

Nominativo	Nome	Locator	Segnale
I2PHD	Alberto		30 dBuV
OK2BVG	Lubos	JN88KS	S/N=10dB
ON7YD	Rik	JO20IX	good O copy
F4DTL	Nicolas	JN18FP	Deep QSB
PA3FNY	Victor	JO22NC	
	Hartmut	JO52hp	

Figura 10: OK2BVG screenshot

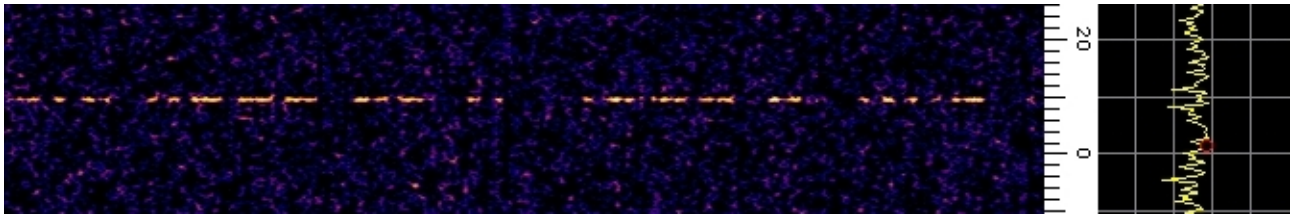

Figura 11: PA3FNY screenshot

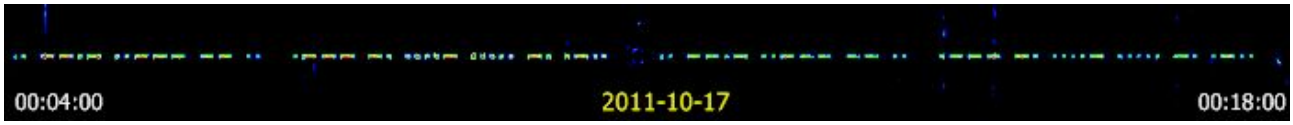

Figura 12: Hartmut screenshot

Figura 13: Alcuni rapporti di ascolto ricevuti

A Appendice

Si riportano i metodi di calcolo utilizzati.

A.1 Capacità del tratto verticale

$$C_v = \frac{24H}{log\frac{1.15H}{d}} \tag{1}$$

dove:
H = lunghezza del tratto verticale (m);
d = diametro del filo (m), per fili isolati usare il diametro esterno.

Una buona approssimazione per fili ordinari è C_v = 6 pF/metro.

A.2 Capacità del tratto orizzontale

$$C_o = \frac{24L}{log\frac{4H}{d}} \tag{2}$$

dove:
L = lunghezza del tratto orizzontale (m);
H = altezza del tratto orizzontale (m);
d = diametro del filo (m), per fili isolati usare il diametro esterno.

Una buona approssimazione per fili ordinari è C_o = 5 pF/metro.

Se il tratto orizzontale è costituito da più fili paralleli la capacità aumenta. Ad esempio con due fili da 1 mm, spaziati di 100 mm la capacit aumenta del 39%, se sono spaziati di 1 m aumenta del 68%.

A.3 Calcolo dell'altezza efficace dell'antenna

$$H_{eff} = \frac{\frac{C_v}{C_o} + \frac{1}{2}}{\frac{C_v}{C_o} + 1} \tag{3}$$

Con cappelli capacitivi molto grandi l'altezza efficace è quasi uguale alla lunghezza del tratto verticale.

A.4 Calcolo della resistenza di radiazione

$$R_{rad} = 160\pi^2 \frac{H_{eff}^2}{\lambda^2} \tag{4}$$

La resistenza di radiazione è responsabile dell'irradiazione nello spazio della radiofrequenza. La potenza irradiata è data dalla formula $P_{rad} = R_{rad}I^2$, dove I è la corrente di antenna.

A.5 Calcolo delle perdite

Le perdite sono localizzate nella bobina di accordo e nel sistema di terra. Per calcolarle occorre misurare con un ponte di impedenza la resistenza totale del sistema di antenna e sottrarre la resistenza di radiazione:

$$R_{sys} = R_{rad} + R_{coil} + R_{gnd} \tag{5}$$

dove:
R_{sys} = resistenza totale;
R_{coil} = resistenza di perdita nella bobina di accordo;
R_{gnd} = resistenza dell'impianto di terra.

Quindi si calcolano le perdite:

$$R_{loss} = R_{sys} - R_{rad} \longmapsto P_{loss} = R_{loss}I^2 \tag{6}$$

Il rendimento dell'antenna, in percentuale è:

$$\eta = 100\frac{R_{rad}}{R_{loss}} \tag{7}$$

A.6 Calcolo della potenza ERP

La potenza ERP viene calcolata tenendo conto del guadagno dell'antenna. Un'antenna verticale, anche di piccole dimensioni, ha un guadagno rispetto al dipolo di 2.62 dB, pari a 1.83. Il guadagno è dovuto al diagramma di irradiazione, angolo solido più piccolo di quello del dipolo.

$$P_{ERP} = 1.83I^2R_{rad} \tag{8}$$

A.7 Calcolo del campo elettrico lontano

Il campo elettrico lontano, ad una distanza di almeno una lunghezza d'onda dall'antenna, è dato da:

$$E = 7\frac{\sqrt{P_{ERP}}}{L} \longmapsto P_{ERP} = \frac{E^2L^2}{49} \tag{9}$$

dove:
E = campo elettrico in V/m;
L = la distanza in metri.

A.8 Misura del campo elettrico

La misura deve avvenire abbastanza lontano dall'antenna, per essere sicuri di trovarsi in zona di campo lontano, ma non troppo lontano per evitare la riduzione dovuta a perdite dissipative nel terreno. Il luogo di misura deve essere aperto, lontano da fabbricati, piloni e linee elettriche etc.

Un loop costituito da una spira di tubo di rame con area di circa un metro viene collegato all'ingresso di un voltmetro selettivo, a banda stretta e sintonizzato sulla frequenza del trasmettitore. Il loop viene orientato per il massimo segnale, il piano del loop deve essere direzionato verso il trasmettitore.

Si misura la forza elettromotrice sviluppata ai capi del loop, ma poiché l'impedenza del loop è molto bassa anche collegandolo ad uno strumento con impedenza di 50 ohm l'errore risulta trascurabile.

$$e = \frac{2\pi EAN}{\lambda} \tag{10}$$

dove:
e = FEM in volt;
E = campo elettrico (V/m);
A = area del loop (m^2);
N = numero di spire (1);
λ = lunghezza d'onda (m).

Riferimenti bibliografici

[1] Strobbe, Rik ON7YD Antennas for 136kHz http://www.strobbe.eu/on7yd/136ant/

[2] Edwards, R. J. G4FGQ http://www.zerobeat.net/G4FGQ/index.html

[3] vv.aa. "Radio Communications Handbook", RSGB, Ninth Edition (2007), pag. 10.17 – 10.19

[4] Dodd, Peter G3LDO (editor) "The Low Frequency Experimenter's Handbook", RSGB (2000)