# Earth Moon Earth

## TEORIA e PRATICA

*Nando Pellegrini I1NDP*

*Mario Armando Natali, I0NAA*

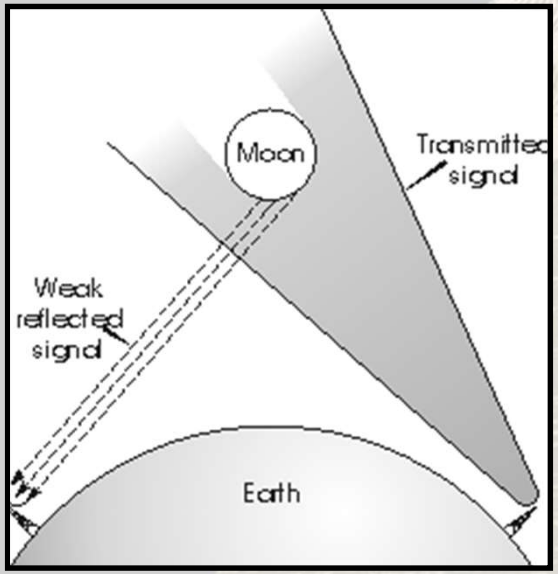
*ARI Sezione di Vercelli, 20 Aprile 2017*

**COMUNICAZIONI VIA LUNA**

*Sommario*

- Cenni di astronomia.
- Basi tecniche.
- Attrezzature richieste.
- Affinamento della stazione.
- Attivita' EME nel mondo.
- Il moonbouncing in pratica.

# EME : Vediamo che cosa e’




La comunicazione via luna, detta anche moonbouncing o EME ( Earth-Moon-Earth ) utilizza la Luna come riflettore passivo delle onde elettromagnetiche per collegare due o piu’ stazioni radio.

Sono stati effettuati collegamenti dai 28 Mhz ai 47 Ghz e in ricezione fino a 7 Mhz ( HAARP .. 3.6MW su 180 Dipoli incrociati )

Le prime dimostrazioni della possibilita’ di comunicazione usando la Luna come specchio passivo furono fatte dai militari US nel primo dopoguerra.

I primi collegamenti fra radioamatori (W3GKP e W4AO ) furono effettuati nel 1953 sui 144Mhz

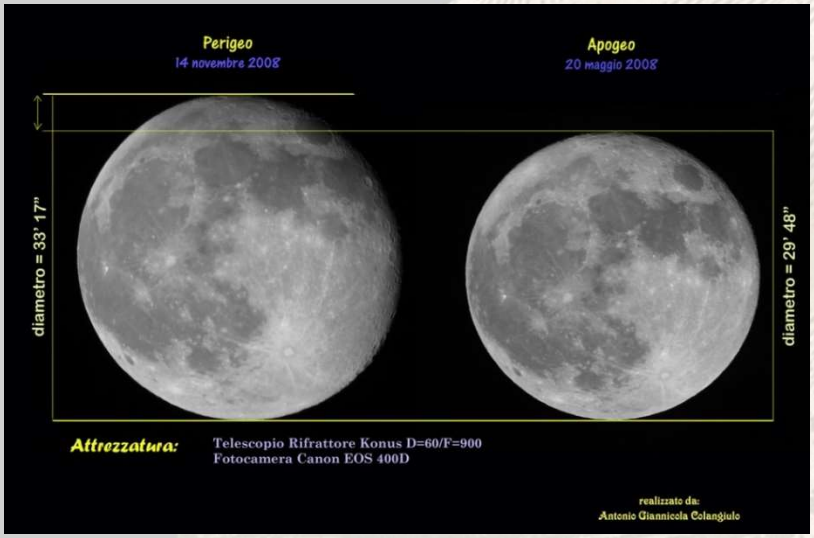
*Prima immagine via luna ( Facsimile ) 28 Gennaio 1960*

# *EME : … ma perche' ?*

- E' una continua sfida nel ricercare soluzioni sempre piu' avanzate.
- Coinvolge innumerevoli aspetti tecnici: dall'elettronica, alla meccanica, all'astronomia alla informatica.
- Mette in comunicazione con una comunita' mondiale di radioamatori molto affiatata che garantisce un supporto eccezionale.
- Consente la sperimentazione di soluzioni tecniche estremamente avanzate quali le SDR e le comunicazioni digitali a correzione di errore.
- E' il primo passo per poter estendere i propri interessi alla ricezione dello «spazio profondo» ed apre le porte alla radioastronomia amatoriale.

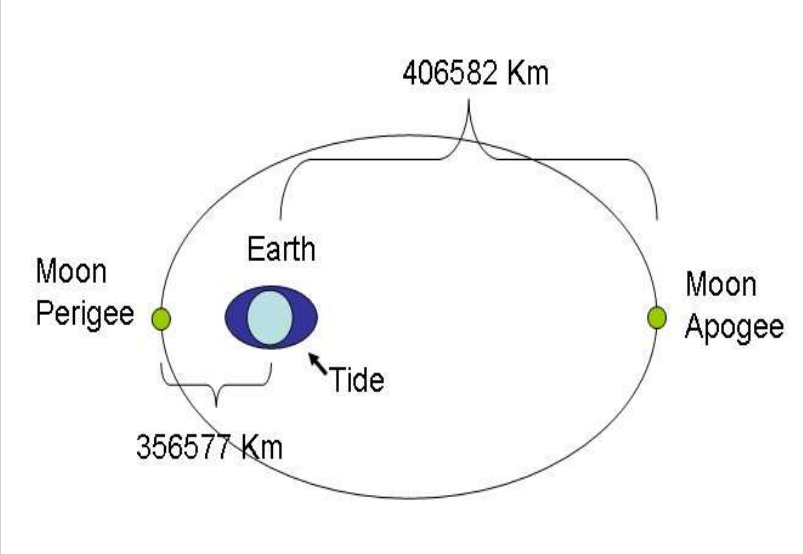
***PERCHE' E' DIFFICILE !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!***

# EME : cenni di astronomia




La luna gira intorno alla terra in una orbita quasi circolare con un perigeo a 356,000 km ed un apogeo a 406,000 km.

Il periodo di rivoluzione e' uguale a quello di rotazione per effetto mareale e per questo essa mostra a noi sempre la stessa faccia. …. *PIU' O MENO ..!!*

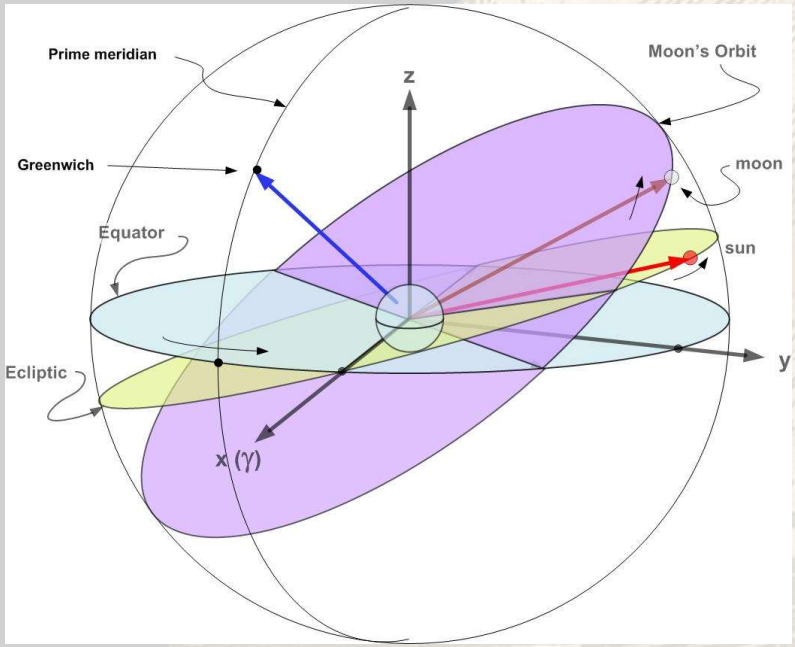


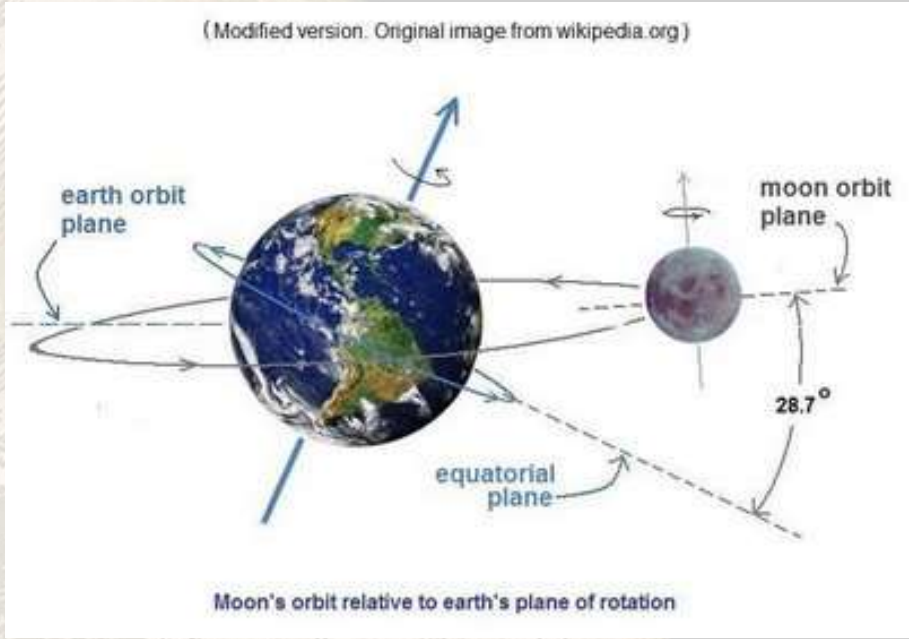

**Parametri orbitali orbita lunare**

| | |
|---|---|
| Perigeo | ~ 356,000, Km |
| Apogeo | ~ 406,000 Km |
| Periodo orbitale | ~ 27d 7h 43.2m |
| Velocita' orbitale | 1 Km/s |
| Incl. sull'eclittica | 5.145396 gradi |
| Eccentricita' | 0.0554 |

*http://www.skylive.it/forum5/topic.asp?TOPIC_ID=9218*

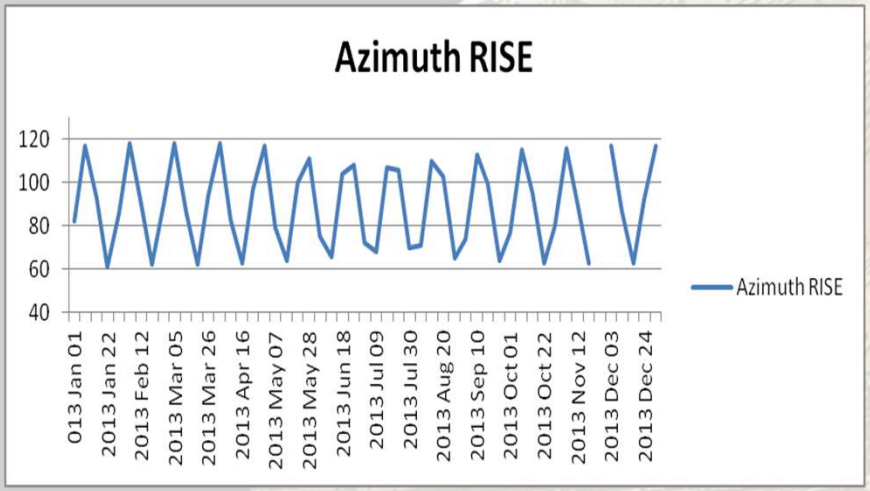
# EME : cenni di astronomia

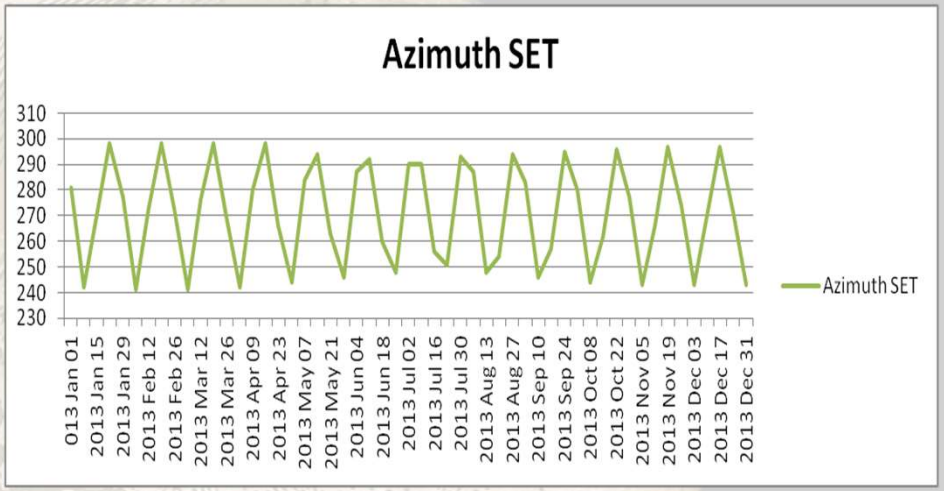


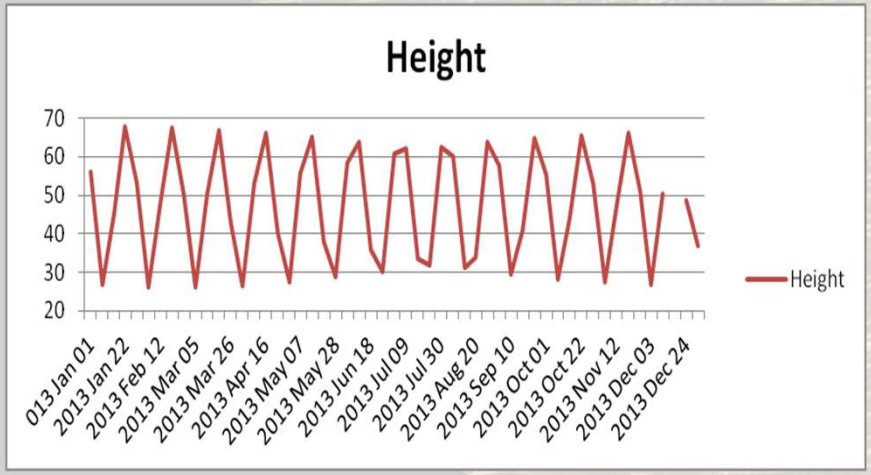




**Il piano di rotazione della Luna e' inclinato di circa 29 gradi ( 28.7 ) su quello dell'equatore terrestre e di circa 6 gradi ( 5.5 ) rispetto al piano dell'eclittica.**
**Questo determina che alle nostre latitudini (42 gradi.... ) vediamo la sua altezza massima variare fra 76 e 20 gradi circa .**
**Il periodo di rivoluzione della luna intorno alla terra ( circa 27 giorni... ) ci fa vedere il suo sorgere circa 50 minuti piu' tardi ogni giorno.**

# EME : cenni di astronomia




**Analisi basata su di un punto vicino ad Assisi, fatta per il 2013, mostra il punto di nascita, di tramonto e l'altezza al meridiano.**
**Questa analisi e' fondamentale se si vuole installare una stazione EME di prestazioni elevate.**

*http://www.calsky.com/*

# *EME : basi tecniche*

**La distanza terra-luna-terra (770,00 km.... ) determina il fatto che i segnali radio impieghino circa 2.5 secondi per l'andata ed il ritorno.**

**La velocita' di spostamento della luna e la sua elevazione impongono sistemi di inseguimento altazimutali con precisione crescente al crescere della frequenza e della direzionalita' dell'antenna.**

I fattori principali che rendono il collegamento complesso sono :

- **L'attenuazione di tratta**
- **La riflettivita' della luna**
- **L'effetto di «fading» dovuto alla librazione della luna**
- **La rotazione della polarizzazione dovuta alla posizione geografica**
- **La rotazione della polarizzazione dovuta all'effetto Faraday**
- **L'effetto doppler**
- **Il Noise "man made" e quello del sistema ricevente**
- **Il Noise dovuto alla radiazione proveniente dallo spazio**
- ***La «scintillazione»***

# *EME : Attenuazione del segnale*

L'attenuazione totale della tratta «Terra-Luna-Terra» e' riassunta per le varie frequenze come segue :

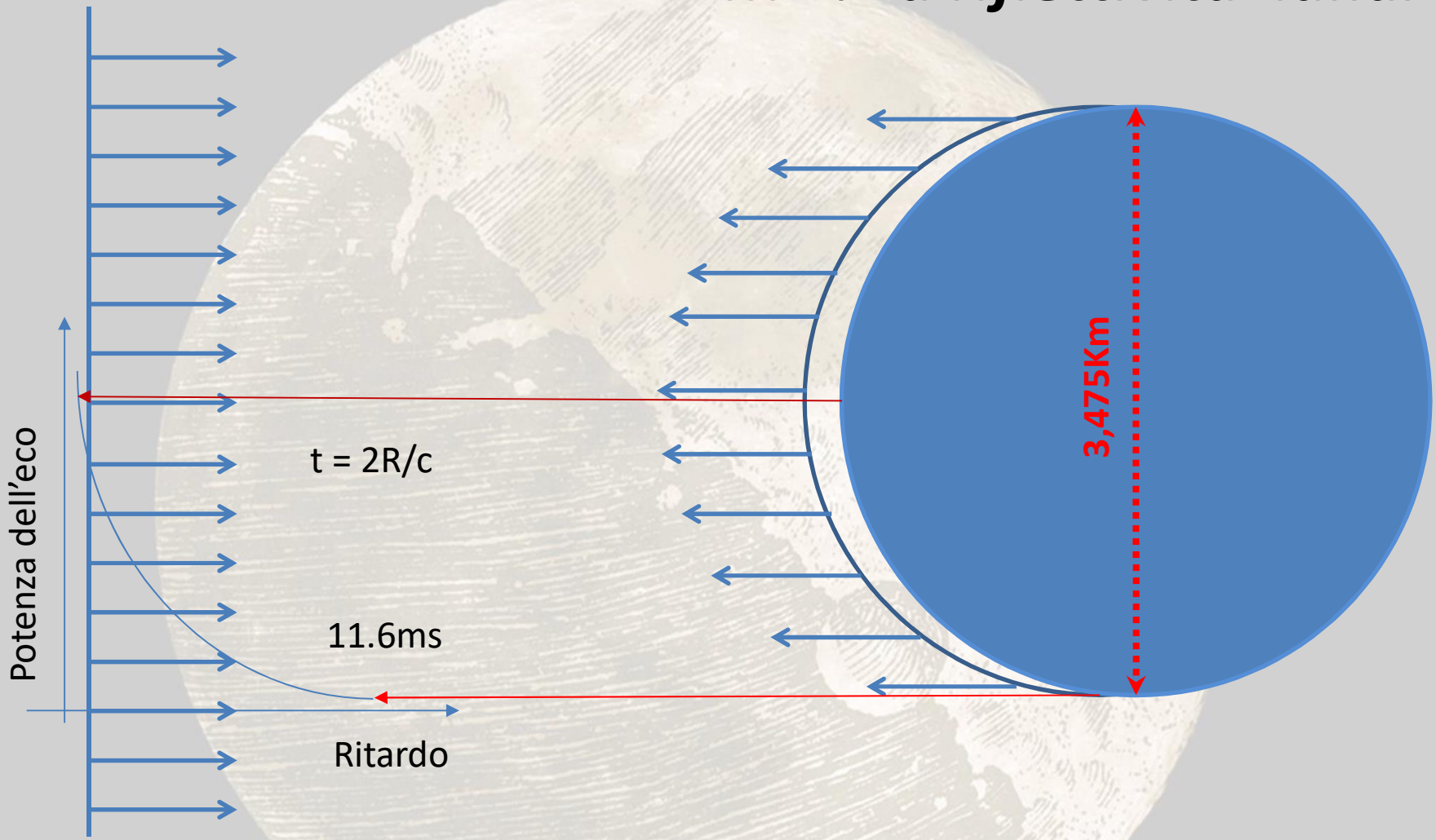
| Frequency (Mhz) | Average path loss (dB) |
|---|---|
| 50 | 242.9 |
| 144 | 252.1 |
| 222 | 255.8 |
| 432 | 261.6 |
| 902 | 268.0 |
| 1296 | 271.2 |
| 2304 | 276.2 |
| 3456 | 279.7 |
| 5760 | 284.1 |
| 10368 | 289.2 |
| 24048 | 293.5 |

**L'attenuazione di tratta ( in spazio libero ) per un collegamento a 144MHZ di 100Km e' di 115 dB.**
**Circa 140 dB di piu' per l' EME ....ed ogni 3 dB la potenza dimezza !!!**

**Se si volesse simulare l'attenuazione di tratta EME e terrestre in 144 Mhz con un cavo coassiale si dovrebbero usare :**

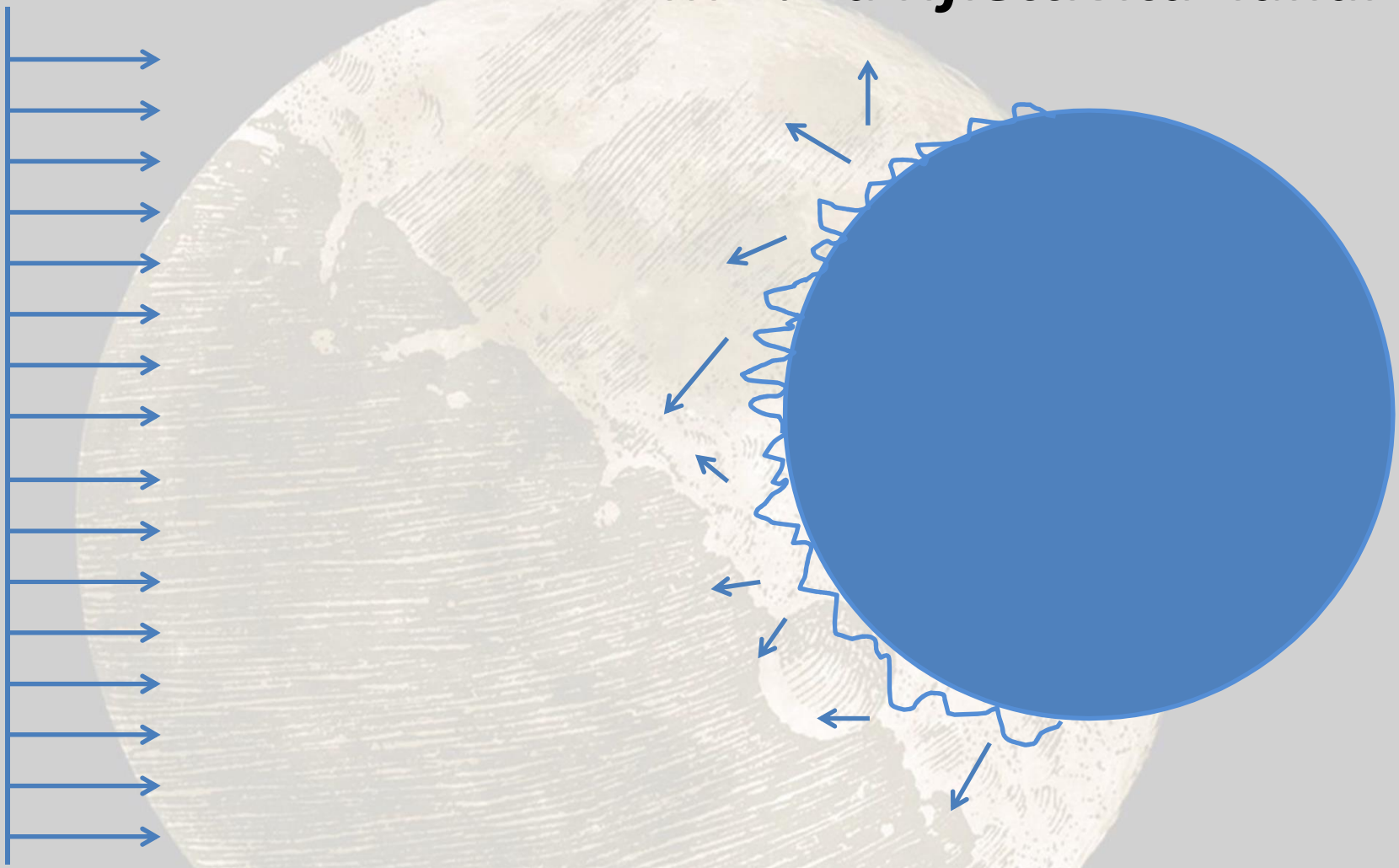
- **per la tratta EME 3.2Km di RG213**
- **per la tratta terrestre bastera' 1.4Km di RG213**

# EME : La riflettivita' lunare



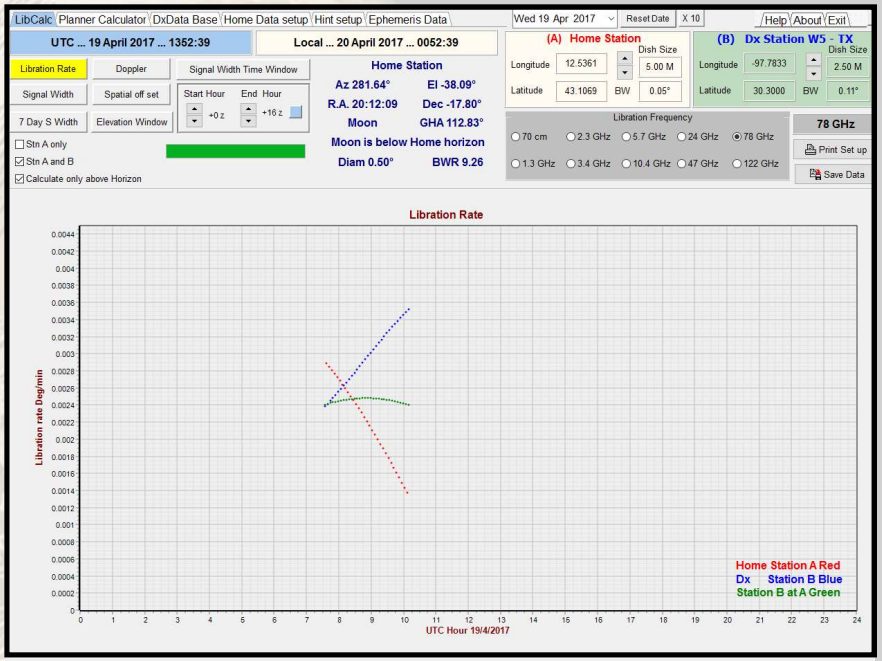

**La Luna riflette meglio al centro e meno e con ritardo ai bordi rendendola molto piu' «luminosa» al centro . Questo fenomeno diminuisce al diminuire della lunghezza d'onda a causa della diffrazione molto piu' forte.**

# EME : La riflettivita' lunare



**La superficie non liscia genera un ulteriore problema dovuto alla diffrazione**

# EME : La librazione lunare




*http://www.astrusurf.com*

*http://www.vk3um.com/libration%20calculator.html*

**La luna, a causa di molteplici interazioni con il campo gravitazionale terrestre ed a causa della geometria orbitale, ha un moto angolare proprio che ci permette di vedere il 59% della superficie.**

**Questo aggiunge una ulteriore variabile poiche' una parte della luna si avvicina alla terra e l'altra si allontana producendo un effetto doppler «differenziale» che provoca un «allargamento» del segnale ( il tono CW tende a diventare quasi un soffio ) ed interferenze «distruttive» e «costruttive» che generano un forte QSB.**

**Fortunatamente questo effetto e' predicibile !**

*Mario Armando Natali , I0NAA, ARI Sezione di Perugia «I0WN Mario Bencivenga»*

# *EME : La librazione lunare*

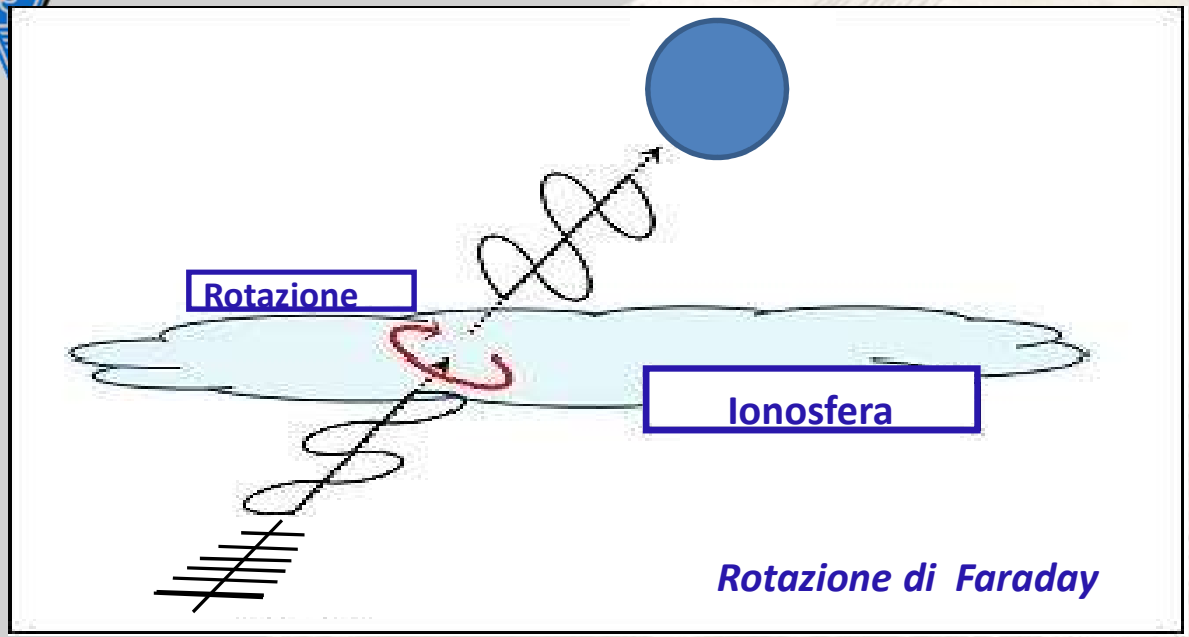
- **La librazione genera una attenuazione del segnale variabile a seconda delle circostanze.**

- **L'effetto e' molto piu' marcato alle frequenze piu' alte ed il fading risultante puo' rendere impossibile i collegamenti con condizioni marginali.**

- **Il CW e' particolarmente colpito ed il fading veloce e profondo puo' addirittura annullare il QSO.**

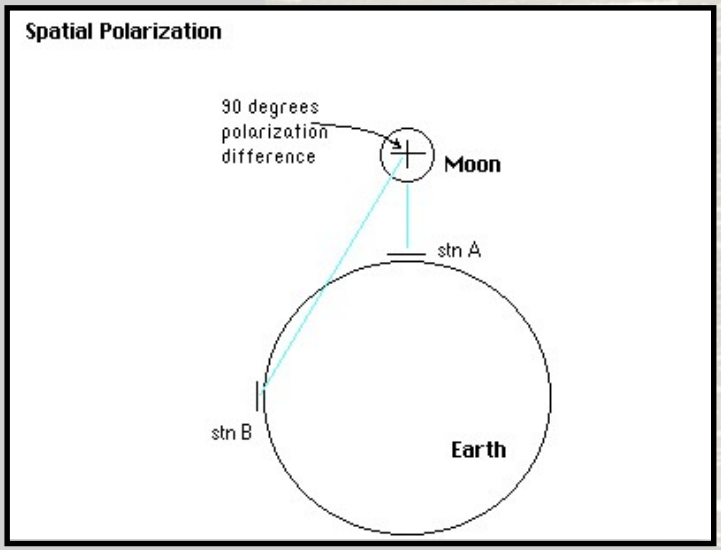
- **La buona notizia e' che il fading dovuto alla librazione e' predicibile con grande accuratezza ed e' ormai parte integrante dei software di supporto ai contatti EME.**

# EME : La rotazione della polarizzazione



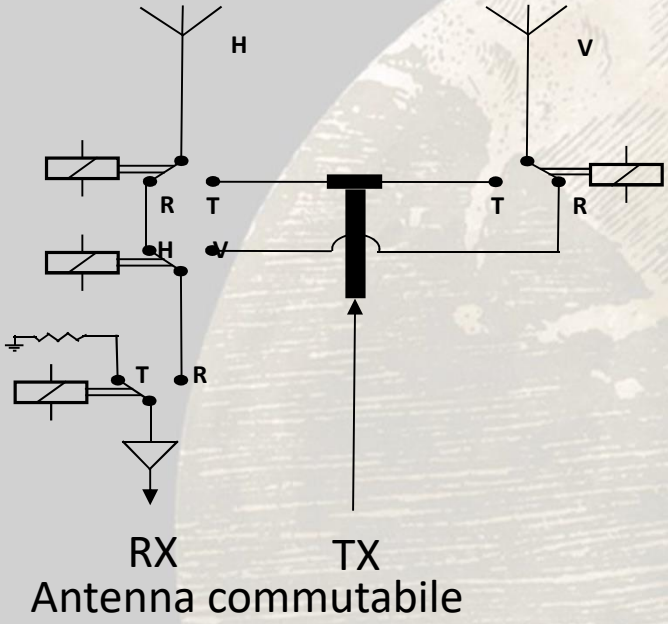

| Rotazione (gradi) | Perdita |
|---|---|
| 0 | 0 dB |
| 10 | 0.13 dB |
| 20 | 0.54 dB |
| 30 | 1.25 dB |
| 40 | 2.32 dB |
| 50 | 3.84 dB |
| 60 | 6.02 dB |
| 70 | 9.32 dB |
| 80 | 15.2 dB |
| 90 | Infinito |

Source : ARRL handbook

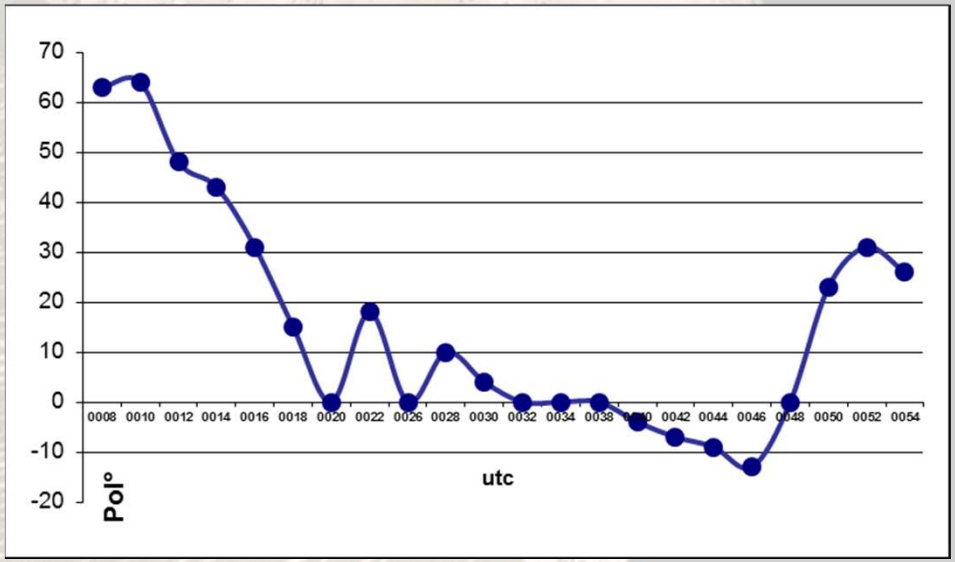



**La rotazione della polarizzazione del segnale e' dovuta alla posizione geografica , al rimbalzo sulla luna ed all'attraversamento della ionosfera . L'attenuazione puo' essere elevatissima ( come si vede dalla tabella ) ed e' per questo che quando si usa la polarizzazione lineare del segnale ( 50 – 432 Mhz ) e' preferibile avere a disposizione la possibilita' di cambiare la polarizzazione in ricezione.**

# EME : La rotazione della polarizzazione




**La rotazione di polarizzazione dovuta alla'attraversamente della ionosfera (Faraday) non e' predicibili e quindi, qaundo si lavora con polarizzazioni lineari, il problema puo' essere solo attenuato con antenna commutabile o con un ricevitore «DOPPIO» .**




**Ricevitore "DOPPIO"**

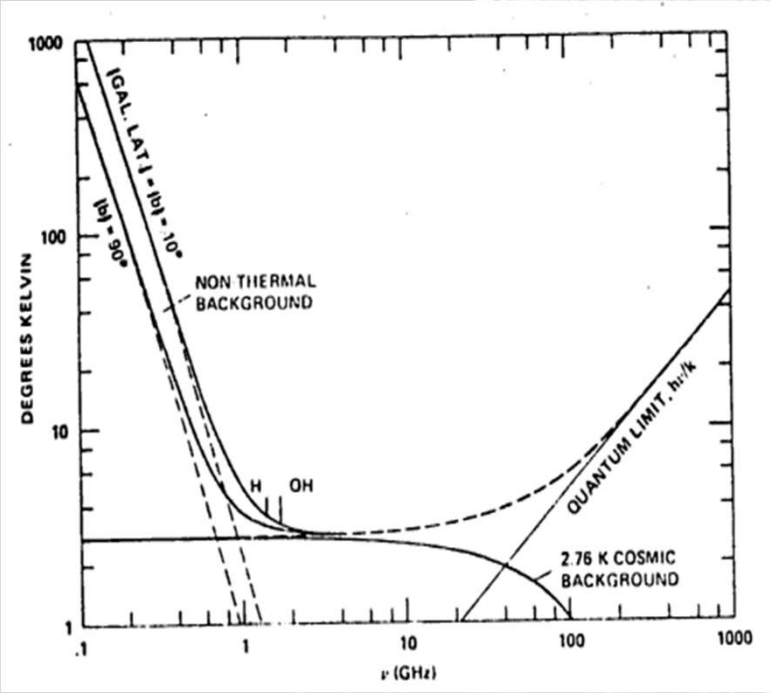
***.....quando ci lavoro mi sembra di intuire il mare in burrasca della ionosfera sopra la mia testa .....***

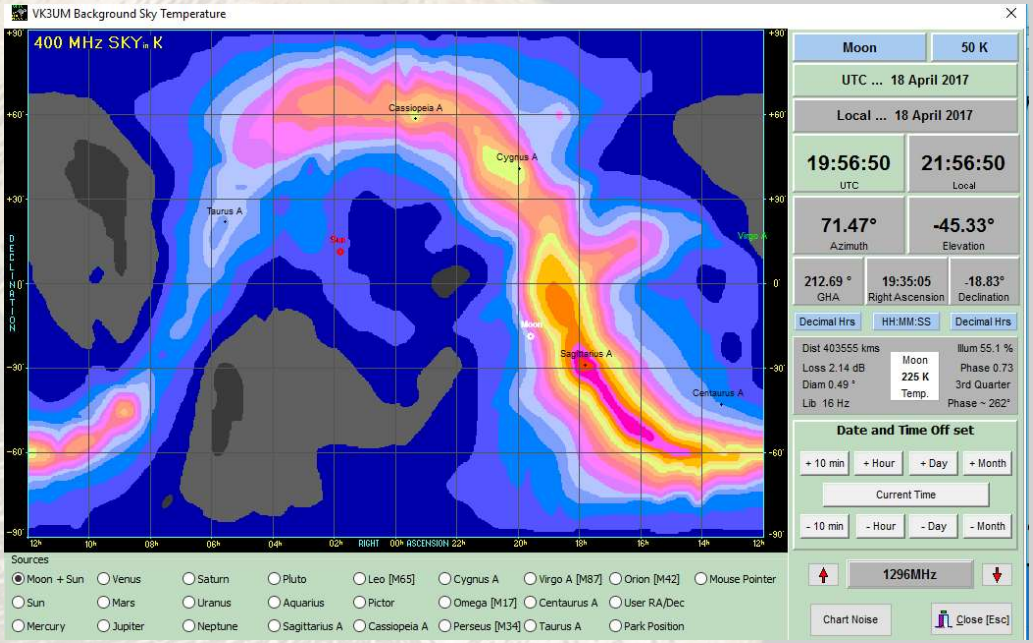
***IK1UWL, Giorgio***

# *EME : Il noise*

- Il rumore che degrada le prestazioni dei nostri ricevitori e' causato da fattori naturali od artificiali.
- In un radioricevitore vi sono due sorgenti di rumore : il rumore introdotto internamente dal ricevitore ed il rumore captato dall'antenna
  - ***Il rumore introdotto dal ricevitore*** dipende da fattori intrinseci ( progettazione e costruzione ) e naturali ( rumore termico ).
    - ***Il rumore dovuto alla progettazione*** e costruzione puo' essere minimizzato utilizzando al meglio i componenti ed il «design» corretto.
    - ***Il rumore termico*** e' dovuto alla agitazione termica degli elettroni nei conduttori e quindi ogni elemento genera rumore al passare della corrente con una «densita' di rumore» proporzionale alla temperatura.
  - ***Il rumore captato dall'antenna*** dipende da cio' che l'antenna «cattura»
    - Il rumore «man made» ovvero il rumore generato dall'attivita' dell'uomo.
    - Il rumore cosmico.

# EME : Il noise cosmico



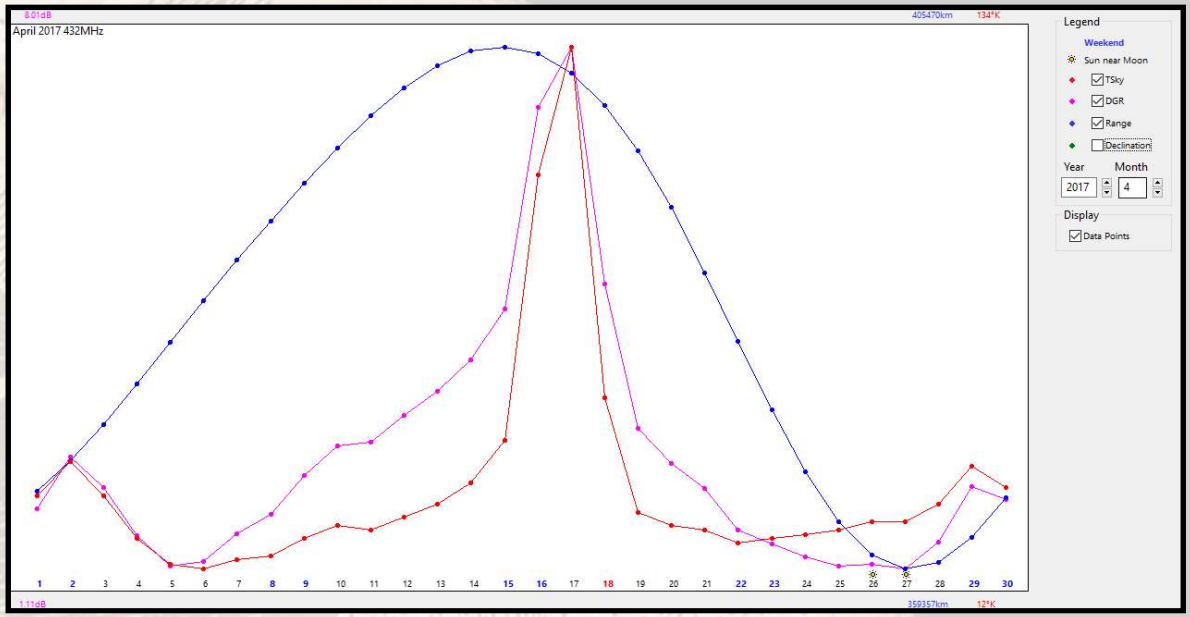



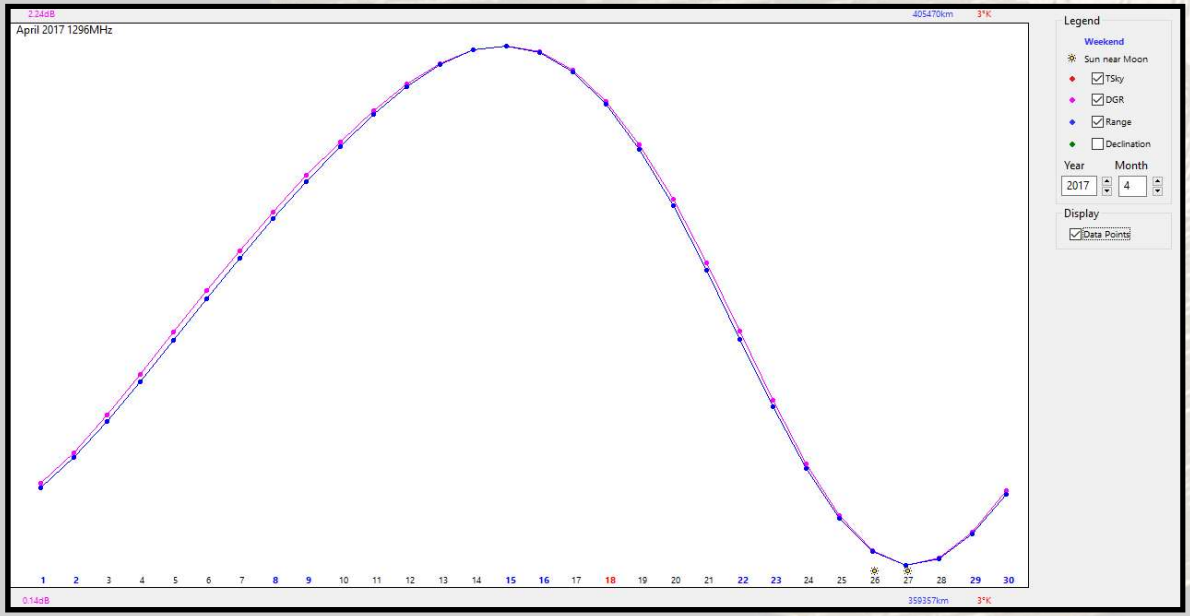

*http://www.vk3um.com/eme%20planner.html*

- **Il rumore captato dall'antenna e' fortemente dipendente dalla frequenza e dalla zona di puntamento dell'antenna stessa. Il centro galattico e' molto piu' «rumoroso».**
- **Molti programmi sono in grado di aiutarci a predire il Noise galattico.**

# EME : Il noise cosmico

**La degradazione del segnale dovuta al Noise galattico a 144Mhz e 432Mhz e' simile ed e' molto forte ed e' determinata dalla zona della galassia che si trova «dietro» alla luna.**

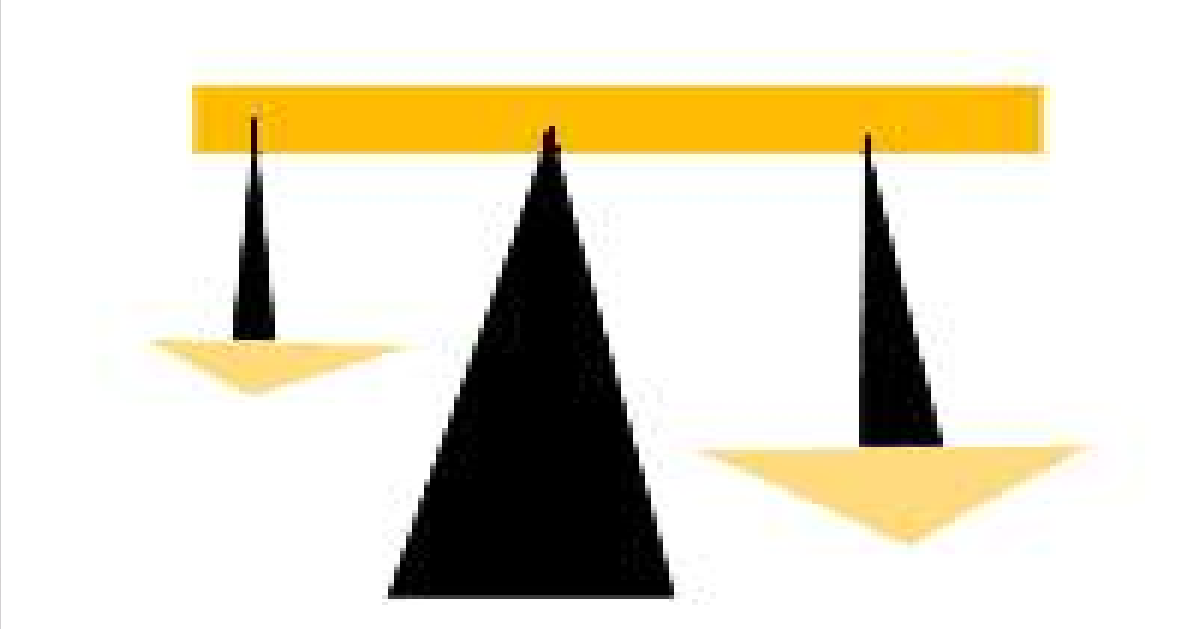



**La degradazione del segnale dovuta al Noise galattico a 1290 Mhz e' basissima ed il solo contributo mostrato e' dovuto alla distanza della luna.**

*http://www.gm4jjj.co.uk/MoonSked/moonsked.htm*

# *EME : Attrezzature richieste*



PROBLEMI

- Attenuazione di tratta
- Attenuazione di altra natura
- Rumore
- Movimento Luna

**CONTROMISURE**

- ✓ **Potenza**
- ✓ **Metodi digitali**
- ✓ **Sistemi automatici di inseguimento**
- ✓ **Preamplificatori**
- ✓ **Software DSP**

# EME : Attrezzature richieste

| Freq | Radiazione di fondo | Atmosfera terrestre | Temp. Luna | Noise galattico | Noise lato/retro antenna | Ta | Tr | Ts | Attenuazione di tratta |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *MHz* | *K* | *K* | *K* | *K* | *K* | *K* | *K* | *K* | *dB* |
| 50 | 3 | 0 | 0 | 2400 | 1100 | 3500 | 50 | 3550 | -242,9 |
| 144 | 3 | 0 | 0 | 160 | 100 | 260 | 50 | 310 | -252,1 |
| 432 | 3 | 0 | 0 | 50 | 50 | 100 | 50 | 150 | -261,6 |
| 1296 | 3 | 0 | 2 | 0 | 30 | 35 | 35 | 70 | -271,2 |
| 2304 | 3 | 0 | 4 | 0 | 30 | 37 | 40 | 77 | -276,2 |
| 5760 | 3 | 3 | 13 | 0 | 30 | 50 | 60 | 110 | -284,1 |
| 10368 | 3 | 10 | 42 | 0 | 30 | 85 | 75 | 160 | -289,2 |

Contributi del Noise al deterioramento del segnale ed attenuazione di tratta

*Source : ARRL Handbook*

| Freq | Antenna | Guadagno | TX |
|---|---|---|---|
| *MHz* | *tipo* | *dBi* | *W* |
| 50 | 4x12 | 19,7 | 1200 |
| 144 | 4x6 | 21,0 | 500 |
| 432 | 3m | 25,0 | 250 |
| 1296 | 3m | 29,5 | 160 |
| 2304 | 3m | 34,5 | 60 |
| 5760 | 2m | 39,2 | 60 |
| 10368 | 2m | 44,3 | 25 |

*Source : ARRL Handbook*

**Potenze necessarie per un buon collegamento in CW**

***…… MA CI SONO I MODI DIGITALI !!!!!!!***

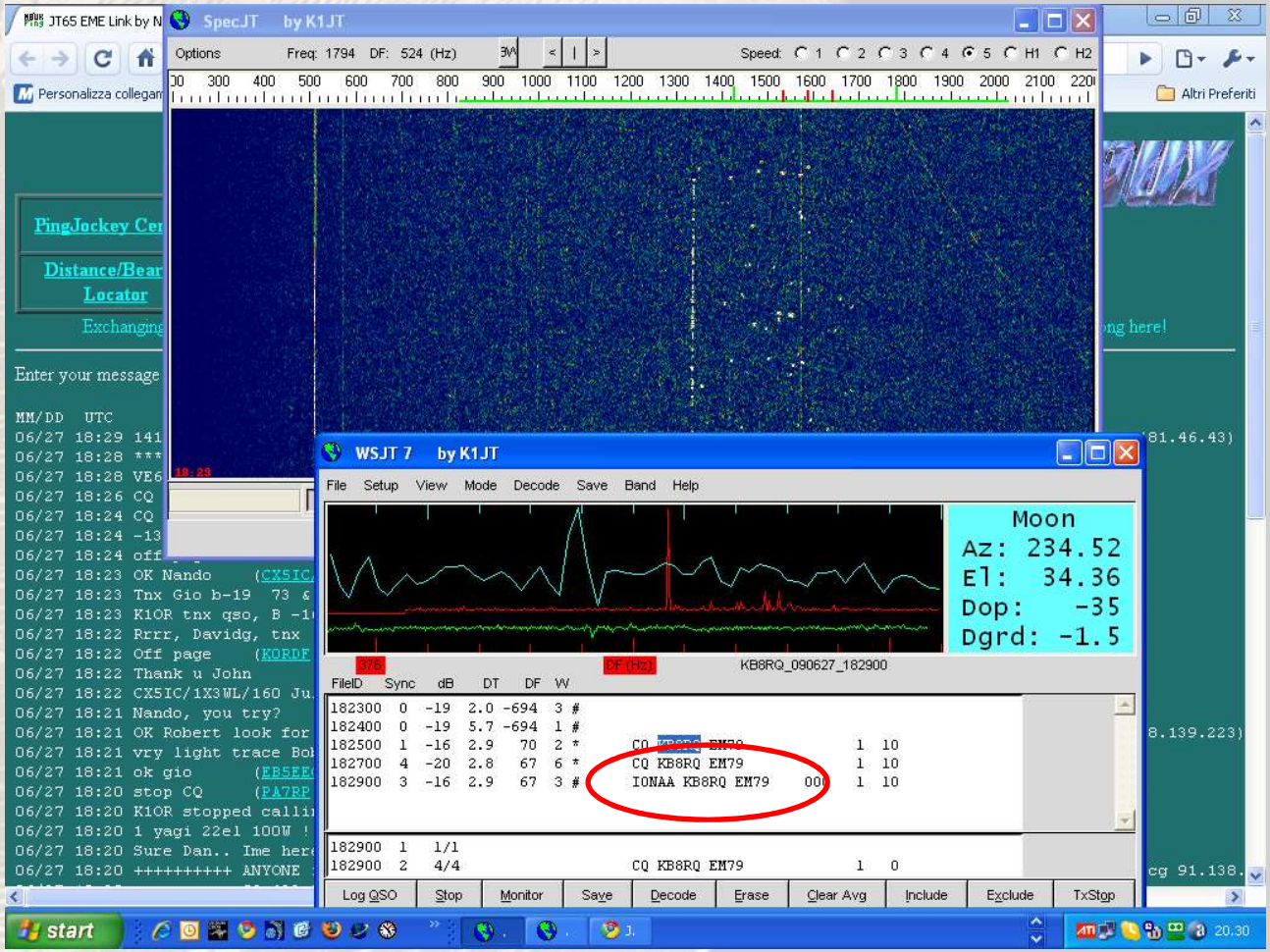
# EME : Attrezzature richieste

## K1JT

**Joseph H. Taylor Jr.**
**Premio Nobel per la fisica nel 1993**

**Joe ha creato un programma chiamato WSJT che comprende diversi modi digitali di trasmissione e ricezione basati su algoritmi che correggono automaticamente la perdita di dati ( Reed Salomon FEC )**

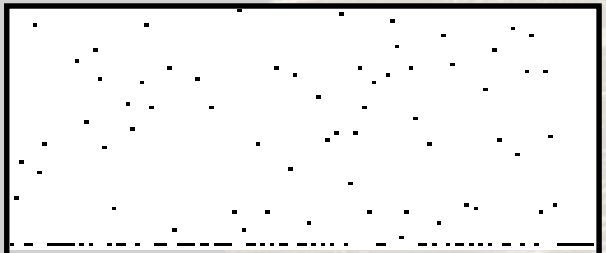
**In 144Mhz si possono fare collegamenti con 9 elementi e 100W !!!!!!**



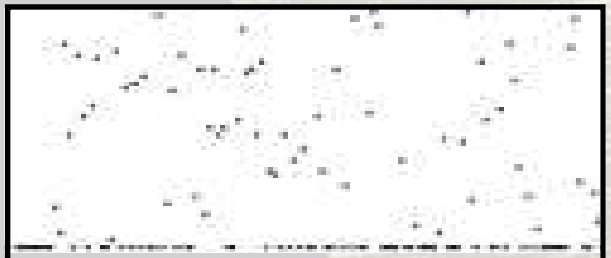

*http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/*

# EME : Attrezzature richieste

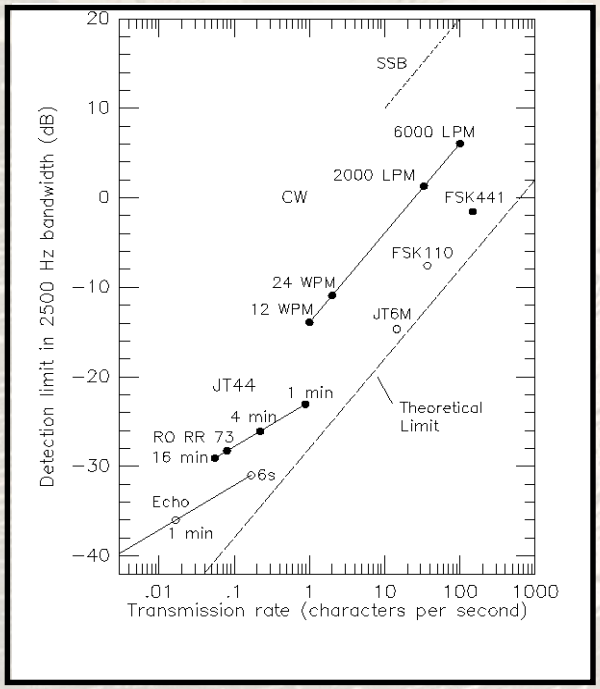
- Un messaggio standard in JT65 consiste di 72 bit di informazione utente, 15 bit di locatore ed un bit che indica il tipo di messaggio.
- Un algoritmo chiamato REED SALOMON con FEC ( Forward Error Correction ) comprime il messaggio in 63 toni ( + reference ).



VK7MO K1JT FN20



VK7MP K1JT FN20




**WSJT Permette collegamenti prima impensabili !!**

*DL7APV ( By I1NDP )*

**Al JT65 si e' affiancato un nuovo modo detto QRA64 ideato dal nostro Nico Palermo, IV3NWV che ha un vantaggio di circa 2dB !**

# EME : Attrezzature richieste

## 144Mhz

1. RTX da 100W
2. Pre a bassa cifra di rumore ( senza esagerare ... )
3. Un sequenziatore ( .. Per evitare di bruciare il pre .. )
4. Una Yagi da 6-10 elementi
5. Un rotore altazimutale ( ma si puo' iniziare senza !!! )
6. Un PC con WSJT ed un programmino per l'ora esatta !
7. La chat @ http://www.chris.org/cgi-bin/jt65emeA

144 I0NAA 2X9 WIMO 100W

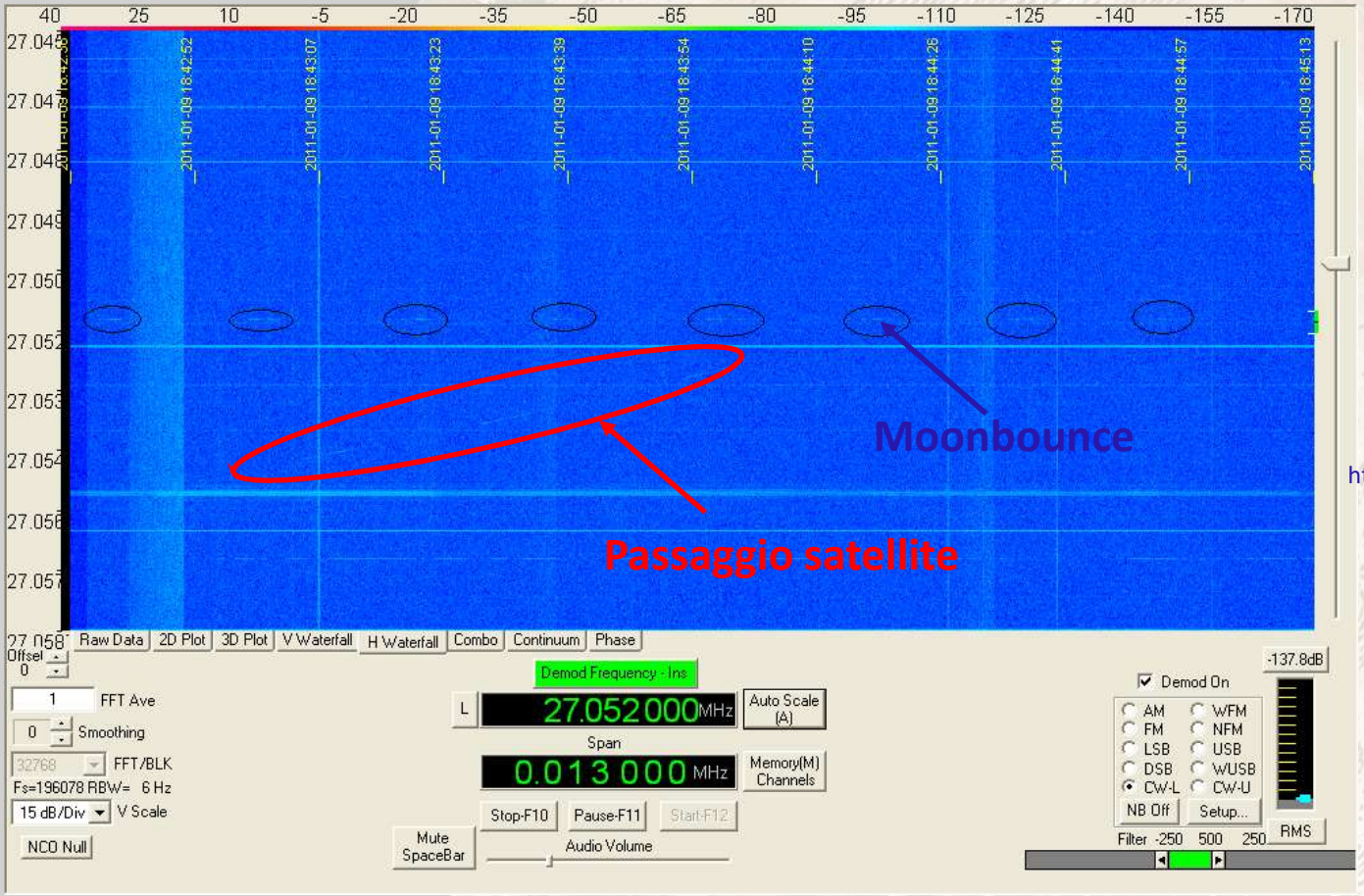
144 5N0EME 1x10y 400W

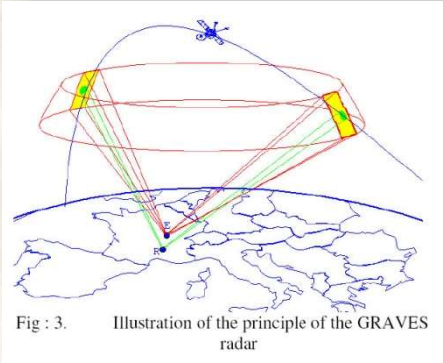
144 9A4QV 3el Quad 300W

Rivedremo piu' avanti il set-up 2X9

# EME : Affinamento della stazione

Cattura effettuata il 9 Gennaio 2011 : 2x9 WIMO SDR-IQ PRE DB6NT




http://www.itr-datanet.com/~pe1itr/graves/

**144Mhz Beacon @ 143.050**

# EME : Affinamento della stazione

**http://www.on0eme.org**

Dominique HB9BBD
Luc ON3LNL
Walter ON4BCB
Marc ON5OT
Eddy ON7UN

**ON 0 EME**
**EME BEACON 1296.000 MHz**

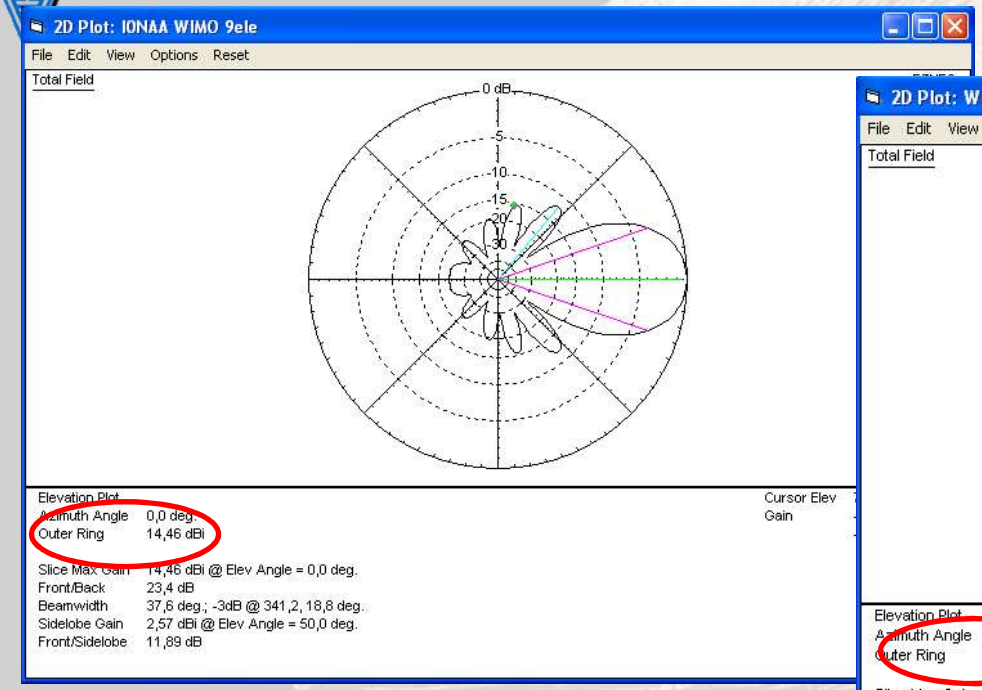
**Status Control**

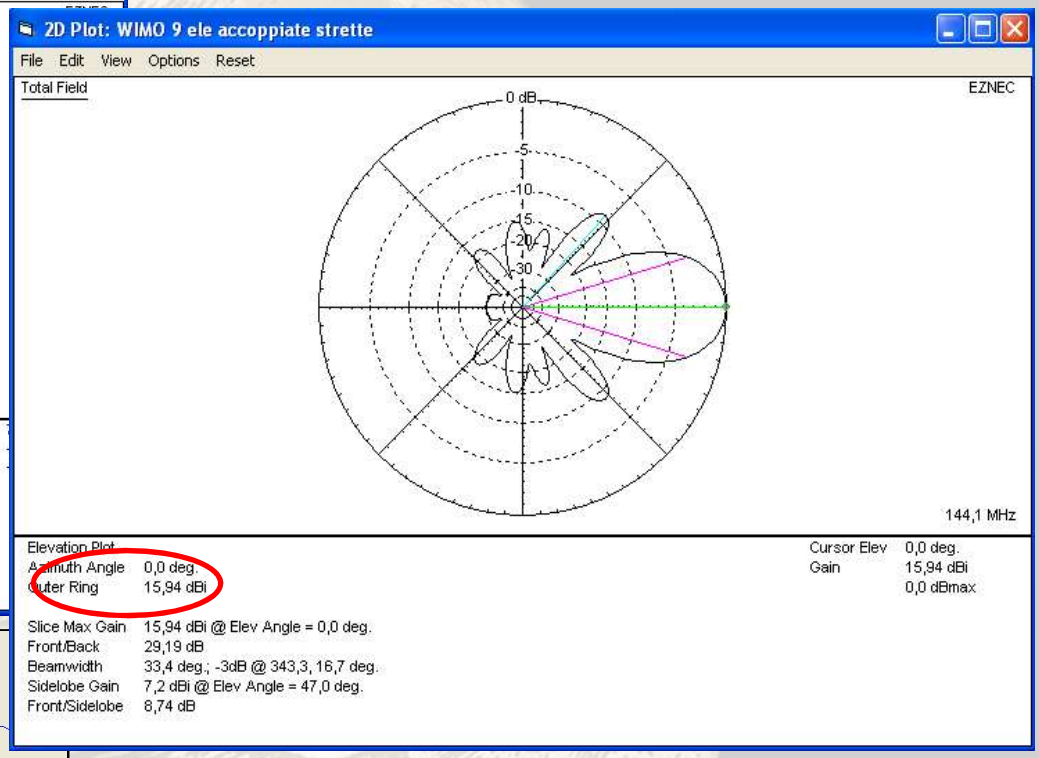
| Main parameters | |
|---|---|
| Beacon operational | ● |
| Moon above horizon | ● |
| Allowed TX (10deg) | ● |
| PTT (TX) | ● |
| Azimuth Antenna | 256.3 ° |
| Elevation Antenna | 22.2 ° |
| Azimuth Moon | 256.6 ° |
| Elevation Moon | 22.0 ° |

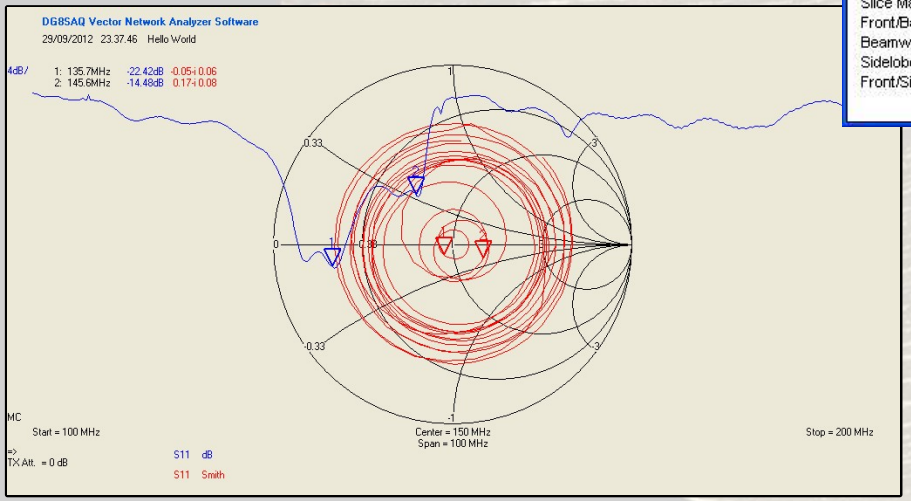
**ON0EME 1296 MHz Moon Beacon, 3.7 metri 400W**
**Ricevibile con disco da 2.4 metri**

# EME : Affinamento della stazione

http://www.eznec.com/




**Massima attenzione deve essere posta nell'affinamento poiche' anche piccoli errori possono causare peggioramenti invece che miglioramenti !!**

**.....2x9 troppo strette ...**

# EME : Affinamento della stazione

| INPUT PARAMETERS | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frequency | Mhz | 1,296 | Line loss before LNA | dB | 0.10 | Moon distance | Km | 390,000 |
| TX antenna gain | dBi | 33.00 | LNA noise figure | dB | 0.23 | Moon diameter | Km | 3,470 |
| RX antenna gain | dBi | 33.00 | LNA gain | dB | 38.00 | Moon reflectivity | % | 7 |
| TX Power | Watt | 250.00 | Line loss after LNA | dB | 0.50 | Sky temperature ( TSky ) | K | 100 |
| TX line loss | dB | 0.10 | RX noise figure | dB | 4.00 | | | |
| | | | Bandwidth | Hz | 3,000 | | | |

| OUTPUT PARAMETERS | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EIRP | Watt | 487,461 | Line loss before LNA | G | 0.98 | Receiving system noise factor | f | 1.08 |
| EIRP | dBw | 56.88 | Line noise factor before LNA | f | 1.02 | Receiving system noise figure | dB | 0.33 |
| RADAR Equation | dB | 47.04 | LNA gain | G | 6310 | Noise temperature of receiving system | K | 22.98 |
| Path loss | dB | 271.13 | LNA noise factor | f | 1.05 | Overall noise temperature ( including TSky ) | K | 122.98 |
| | | | Line loss after LNA | G | 0.89 | Overall noise power ( including TSky ) | dBw | -172.93 |
| | | | Line noise factor after LNA | f | 1.12 | | | |
| | | | RX noise factor | f | 2.51 | | | |
| EXPECTED SNR ( best ) | dB | -8.32 | | | | | | |

| FORMULA | |
|---|---|
| EIRP | =TX Power*(POWER(10;((TX antenna gain-TX line loss))) |
| EIRP | =10*LOG10(EIRP) |
| RADAR Equation | =10*LOG10(4*Moon distance^2/Moon diameter^2) |
| Path loss | =(32.45+20*LOG10(Frequency)+20*LOG10(Moon distance*2)+RADAR Equation-10*LOG10(Moon reflectivity/100)) |
| Line loss before LNA | =POWER(10;(-Line loss before LNA/10)) |
| Line noise factor before LNA | =POWER(10;(Line loss before LNA/10)) |
| LNA gain | =POWER(10;(LNA gain)) |
| LNA noise factor | =POWER(10;(LNA noise figure/10)) |
| Line loss after LNA | =POWER(10;(-Line loss after LNA/10)) |
| Line noise factor after LNA | =POWER(10;(Line loss after LNA/10)) |
| RX noise factor | =POWER(10;(RX noise figure/10)) |
| Receiving system noise factor | =G12+((G14-1)/G11)+((G16-1)/(G13*G11))+((G17-1)/((G15*G13*G11))) |
| Receiving system noise figure | =Line noise factor before LNA+((LNA noise factor-1)/(Line loss before LNA)+((Line noise factor after LNA-1)/(LNA gain*Line loss b ((RX noise factor-1)/((Line loss after LNA*LNA gain*Line loss before LNA))) |
| Noise temperature of receiving system | =(10^(Receiving system noise figure/10)-1)*290 |
| Overall noise temperature ( including TSky ) | =Noise temperature of receiving system+Sky temperature ( TSky ) |
| Overall noise power ( including TSky ) | =10*LOG10(Bandwidth *1.39E-23*Overall noise temperature ( including TSky )) |
| EXPECTED SNR | =EIRP-Path loss-Overall noise power ( including TSky )+RX antenna gain |

*EZMoon i0naa Rev 1.0.0 June 2016*

**Foglio di calcolo elementare per valutare e capire i parametri fondamentali del collegamento EME scaricabile dal sito di ARI PG.**

*Mario Armando Natali , I0NAA, ARI Sezione di Perugia «I0WN Mario Bencivenga»*

# EME : Affinamento della stazione

Murmur Rev. 3.0.0 03-Apr-2017 - I0NAA mario.natali@gmail.com

| Location | Latitude | Longitude | UTC Time | Local Time |
|---|---|---|---|---|
| Assisi-Beviglie | 43.0922 | 12.5772 | 4/15/2017 3:13:34 PM | 4/15/2017 5:13:34 PM |

Rev. History

EXIT

SAVE current set as default | SET Observation location | CALCULATE

TRACK noise sources | Next 24h Pulsar visibility | Next 24h Pulsar tracking | 1 Month Pulsar visibility | 1 Month Pulsar tracking

(•) Dish antenna ( ) Other antenna

| | | |
|---|---|---|
| Dish diameter | 5 | m |
| Dish efficiency | 50 | % |
| Sensitivity constant Ks | 1 | |
| Frequency | 1296 | Mhz |
| Line loss before LNA | 0.1 | dB |
| LNA Noise figure | 0.28 | dB |
| LNA gain | 38 | dB |
| Line loss after LNA | 0.5 | dB |
| Receiver noise figure | 4 | dB |
| T sky | 10 | K |
| T spillover | 5 | K |
| T atmosphere | 0 | K |
| Integration time | 7200 | sec. |
| Integration bandwidth | 2000 | KHz |

| | | |
|---|---|---|
| Wave length | 0.23 | m |
| Effective ant. aperture | 9.81 | m^2 |
| Dish area | 19.63 | m^2 |
| Far field | 216 | m |
| Antenna gain | 33.62 | dBi |
| HPBW | 3.24 | deg |
| System noise temp. | 41.60 | K |
| System noise figure | 0.58 | dB |
| MDS | 97.52 | mJy |

*The analysis does not take into account the polarization of the signal as this parameter is strongly depending on the specific Pulsar. Please evaluate carefully case by case as this may deteriorate performance up to 3dB.*

List of detactable PULSARS
based on ATNF Pulsar catalogue
( limited to the strongest 60 Pulsars )

Minimum S/N > 10
S/N >10 suggested for reliable results

Above horizon

B0329+54

Show all PSR List

| | | |
|---|---|---|
| Right Ascension (J2000) | 53.25 | deg |
| Declination (J2000) | 54.58 | deg |
| Width of pulse at 50% of peak | 6.6 | msec. |
| Barycentric period | 0.71452 | sec. |
| Dispersion measure | 26.76 | cm^-3 pc |
| Flow 400Mhz | 1500.0 | mJy |
| Flow 1,400Mhz | 203.0 | mJy |
| Max. integration bandwidwith (without de-dispersion) | 34 | Mhz |
| Calculated S/N | 21.56 | |
| Azimuth | 310.29 | deg |
| Elevation | 66.47 | deg |

Evaluation done only for following frequency intervals :
390Mhz-500Mhz and 1,000Mhz - 1,500Mhz

**Programma MURMUR per calcolare la rilevabilita' delle PULSARS anche questo scaricabile dal sito ARI PG .**

# EME : Attivita' nel mondo

**http://www.ok1dfc.com/**

**Zednek DXpetion in IS0**

# EME : Attivita' nel mondo

*Echo 1290 8W*

*Echo 1290 100W*

*CQ RA3AUB*

**I1NDP, Nando**
**10 metri**
**autocostruita**

# *EME : Attivita' nel mondo*

**I0NAA, «The Stealth dish», Disco da 5 Metri abbattibile che rende molto facile il cambio dell'illuminatore e consente di minimizzare l'impatto visivo.**

# *EME : Attivita' nel mondo*

http://www.camras.nl

**Dwingeloo, Olanda, 25 metri**

# *moonbouncing in pratica*

# *EME : Scelta gamma*

In passato sono stati fatti tentativi anche in HF per comunicazioni via luna e (mi pare di ricordare) che una stazione giapponese abbia fatto QSO in 15m con le antenne HF senza elevazione approfittando del tramonto lunare da una parte e del sorgere dall'altra.A parte pero' questo caso sporadico le gamme utilizzabili partono dalle VHF.

## 6m

Gamma con bassa attivita', e' la gamma con la piu' bassa attenuazione ma che soffre di elevato rumore sia terrestre che galattico oltre che della rotazione di Faraday.
Richiede potenze rilevanti.

## 2m

Gamma con la piu' alta attivita' per motivi piu' storici che tecnici. Si puo' fare EME praticamente tutti i giorni e a tutte le ore (naturalmente luna permettendo).
Il maggior traffico avviene oggi con modi digitali,e' forse la gamma piu' accessibile perche' basta una istallazione per traffico satellitare,gia' a disposizione di molti, per poter cominciare. Richiede al minimo potenze di qualche centinaio di Watt
Soffre di notevole rumore sia galattico che terrestre e degli effetti della rotazione di Faraday.

# EME : Scelta gamma

## 70cm

Gamma purtroppo in decadenza perche' l'attivita' e' in continua diminuzione in parte dovuta al'inquinamento della frequenza da parte di servizi di tutti i generi.
Sarebbe tuttavia quella di piu' facile accesso in caso di costruzione ex novo della stazione per le dimensioni contenute delle antenne a parita' di guadagno e dal rumore molto piu' basso se confrontato con i 2m
Non richiede potenze eccessive ma,naturalmente, deve fare i conti con la rotazione di fase.
Anche qui ormai l'attivita' pende verso le trasmissioni digitali con i quota marginale di CW in occasione di contest.
E' un caso limite ma, per dare un'idea, poche settimane fa HB9Q (15m di parabola) ha collegato un inglese che usava una yagi 3el e 60W in 70cm.

## 23cm

Gamma in crescita con nuovi adepti che si aggiungono abbastanza frequentemente.
Ha una buona attivita' sia in digitale che in CW (soprattutto durante i contest) con presenze giornaliere di stazioni attive. Per le stazione con dotazione medio-alta e' possibile anche il QSO SSB.
La dotazione minima non e' molto impegnativa, si puo' partire da antenne paraboliche dai 2m di diametro a salire e potenze dal centinaio di watt.
L'antenna con profilo parabolico e opportuno illuminatore permette di evitare l'effetto Faraday adottando la polarizzazione circolare.
Da sconsigliare il tentativo di usare antenne yagi, sarebbero soggette alla perdita costante di 3db sia in ricezione che trasmissione nei confronti di chi ha la polarizzazione circolare e presentano inevitabili e significative perdite negli accoppiamenti. Il rumore galattico e' praticamente irrilevante in 23cm.
Da citare in 23cm la presenza del beacon ON0EME che trasmette a 1296.000Mhz con ottimo segnale ed estremamente utile sia come frequenza di riferimento che per la messa a punto di apparecchiature.

# *EME : Scelta gamma*

## Microonde

Comprendo qui tutte le bande superiori ai 23cm e quindi dai 13cm fino a frequenze di 24-47 Ghz

## 3cm

La tratto a parte perche' sta polarizzando sempre piu' l'attenzione degli emeers di tutto il mondo con attivita' in crescita.
Non mi dilungo sui dettagli (perche' non all'altezza) ma credo che i problemi connessi sia ben noti a tutti quelli che abbiano avuto modo di avvicinarsi a frequenze cosi alte.
Rispetto a quanto visto prima tutte le microonde richiedono particolare attenzione a problemi di stabilita' e precisione di frequenza.
L'effetto della riflessione lunare a frequenze molto alte esaspera lo spreading dei segnali rendendo molto piu' difficoltosa la loro decodifica ed un segnale CW piu' che una nota da spesso origine ad un soffio.

# EME : Stazione

## Ricezione

Come in qualunque altra istallazione radioamatoriale anche per fare EME ci vuole un ricevitore ma i criteri di scelta possono differire da,ad esempio, esigenze in HF o contest VHF.
In particolare, e' molto difficile avere a che fare con segnali molto forti mentre ,specialmente praticando CW, e' indispensabile poter avere filtri molto stretti e senza ringing. Sotto questo aspetto le moderne apparecchiature con filtraggi solo digitali sono inarrivabili se confrontate con i vecchi filtri a cristallo. Chi si appresta all'assemblaggio di una stazione EME si trova poi a dover scegliere tra ,magari,il transceiver VHF/UHF in alternativa all'accoppiata transverter + transceiver HF. La scelta merita qualche considerazione.

**Transceiver vs Transverter**

Il trasceiver e' sicuramente una soluzione piu' immediata e anche piu' economica ma ha alcuni svantaggi rispetto al transverter.

**Linee Tx ed Rx separate**

Quasi tutti i transverter sul mercato oggi hanno la possibilita' di separare le porte di ricezione e trasmissione, questo permette in ogni caso di evitare una commutazione che per alte potenze e buon isolamento costa piu' di una linea di discesa.
E' direttaemnte compatibile con antenne che gia' prevedano la doppia connessione (vedi feeder per parabola).
Permette una maggiore elasticita' nella scelta dei cavi coassiali.

**Disponibilita' di una IF accessibile**

Sul transverter e' disponibile una frequenza intermedia (Ad es. 28Mhz) molto utile oltre che per ricevere anche per connettere un eventuale monitor di banda con un SDR utile sia per avere un'idea dell'attivita' sia per misure.

**Maggiore facilita' di commutazione**

Le stazioni EME devono,per forza di cose, avere una discreta disponibilita' di potenza che richiede pero' una particolare attenzione nella commutazione tra ricezione e trasmissione per evitare di danneggiare i delicati stadi d'ingresso della catena ricevente. Per evitarlo si temporizzano opportunamente le commutazioni (vedremo poi il sequenzializzatore) per far si che quando si immette potenza il ricevitore sia opportunamente protetto. Nel caso di transceiver che gia' dispone di un suo discreto livello di potenza e magari potenziali pericoli di spikes l'azione di protezione deve essere presa a monte del PTT. Nel caso invece di transverter che viene pilotato a livelli piu'bassi di 1mW (che non fanno paura a nessuno) si puo' tranquillamente agire a valle del PTT.
La soluzione transverter ha di solito una **cifra di rumore nettamente migliore** di quella dei transceiver in commercio ma non un cosi grosso vantaggio perche' comunque si deve prevedere l'utilizzo di un preamplificatore (LNA piu' oltre) che ne annulla i benefici.

# EME : Stazione

## Trasmissione

In realta' poco da dire, mentre in HF basta aspettare le condizioni di propagazione per poter collegare gli antipodi in QRP, la tratta terra luna e ritorno non perdona.
Avete visto le grandezze in gioco in termini di attenuazione!
Per farsi sentire ci vogliono buone antenne e discreti livelli di potenza.
Siccome le comunicazioni avvengono quasi esclusivamente in CW oppure in digitale (con toni puramente sinusoidali) trasmettitori in classe C sarebbero gia' ampiamente sufficienti ma di solito non si vuole restringere il loro uso alla sola attivita' EME.
La potenza voluta la si ricava amplificando con uno o piu' stadi quella disponibile dal transverter/transceiver ed oggi e' possibile arrivare tranquillamente al Kw a stato solido fino ai 23cm.
Naturalmente la scelta del livello di potenza dipende sia dalla potenzialita' dell'antenna ma anche dal modo di trasmissione tenendo conto che,grosso modo, il CW necessita di circa 10db piu' segnale rispetto al digitale e che a sua volta puo' essere 10db piu' basso di un segnale intellegibile in SSB.

# EME : Stazione

## PC

Forse qualcuno storcera' il naso ma mi permetto di includere anche il PC come apparecchiatura indispensabile per una stazione EME. I puristi legati al solo CW e,magari, agli sked presi via posta od al QSO completamente random hanno qualche problema ad accettare sia i modi digitali che la comunicazione via WEB. Io credo che oggi sia pero' solo un atteggiamento da struzzo che nega la realta'. IL PC di stazione deve anche, se possibile, avere una connessione stabile ad internet.

Modi digitali

L'unico modo digitale oggi in uso in ambito EME e' il WSJT, inventato da K1JT Joe Taylor (premio Nobel per la fisica)e declinato nelle sue versioni A,B,C a seconda della frequenza in uso. Essendo ormai diffuso anche in HF non mi dilungo in spiegazioni perche' do per scontato la sua conoscenza.

E' pero' in corso di sperimentazione un nuovo modo chiamato QRA64 che ha natali italiani (IV3NWV) ora in gestione nello stesso gruppo del WSJT.

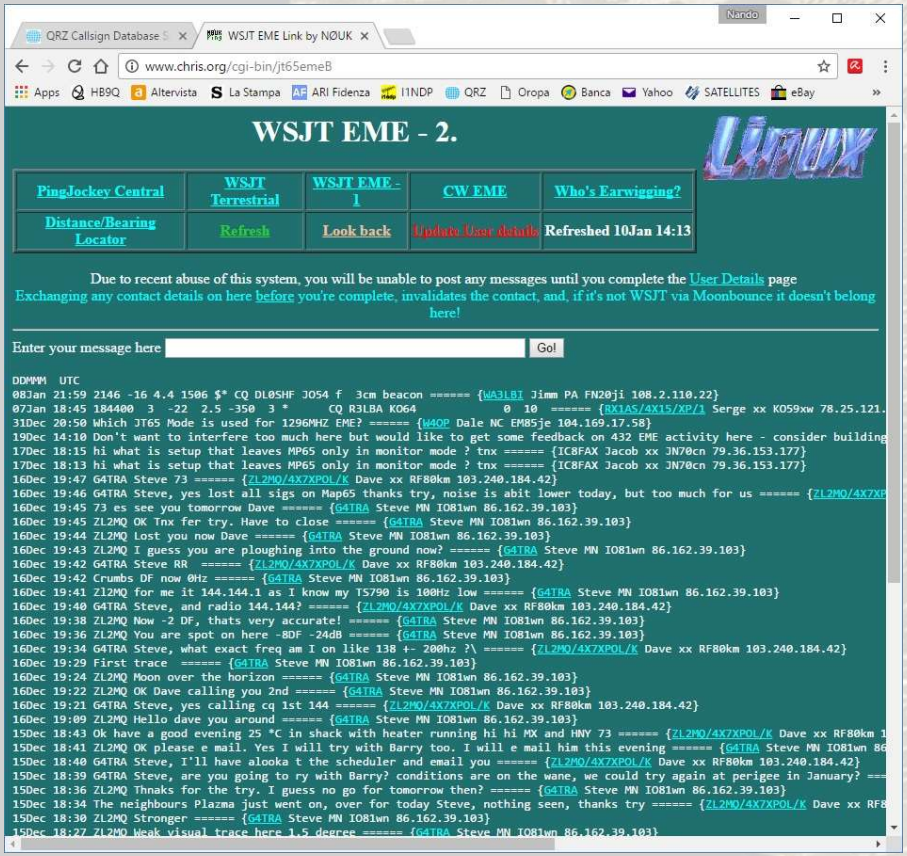
QRA64 promette risultati migliori di quelli,gia' notevoli, del WSJT.

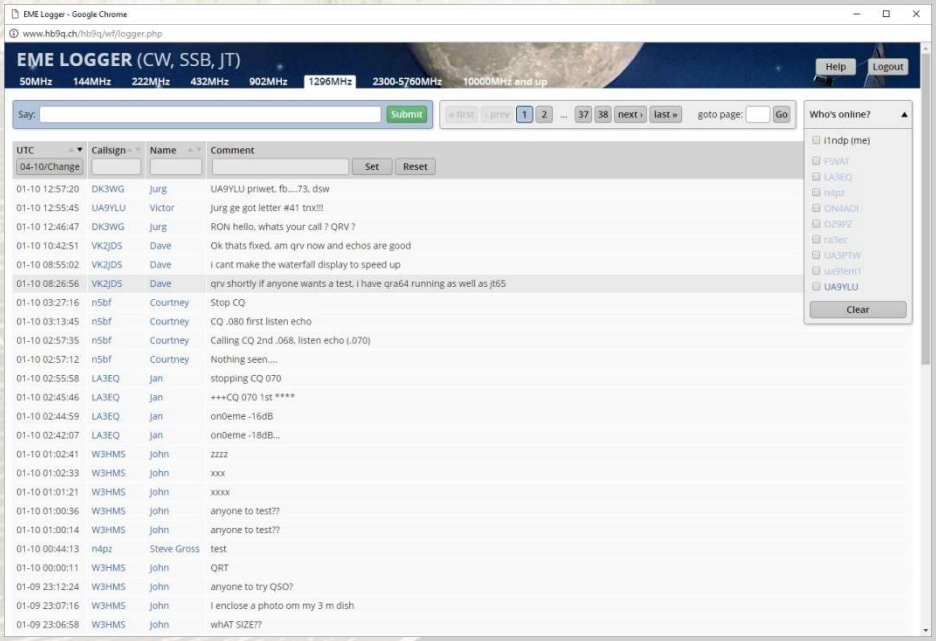
Essendo il WSJT (ma anche QRA64) basati sul sincronismo temporale tra chi trasmette e chi riceve, la connessione internet e’ necessaria per avere una tenere sufficiente precisione dell'orologio di sistema(NTP Protocol).

# EME : Stazione

## EME chat

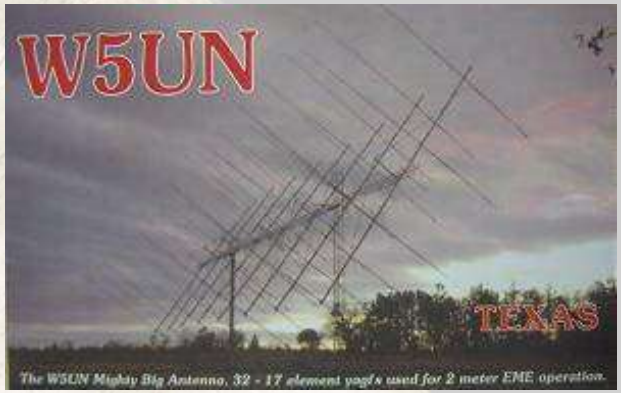
La connessione internet e' anche usata al posto dei vecchi metodi (posta,telefono) sia per prendere appuntamenti che per rendersi conto dell'attivita' in gamma. Le piu' usate sono due quella di N0UK soprattutto utilizzata in VHF e quella di HB9Q con pagine specializzate per gamma. Di seguito due hard copy di due paginate:



# EME : Antenna

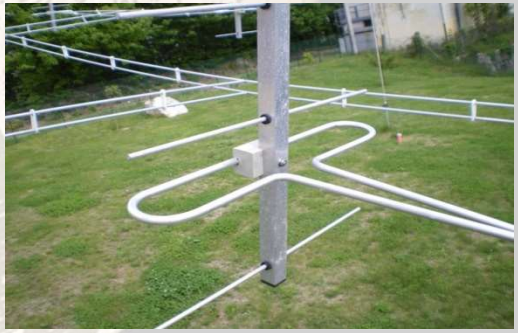
## Yagi 2m




Avete gia' capito che uno dei nemici del fare EME e' rappresentato dalla rotazione di Faraday che fa provoca variazioni di segnale estremamente profonde ma con caratteristiche diverse a seconda della frequenza. In 2m il segnala varia abbastanza rapidamente e oggi ,data la disponibilita' di sistemi di ricezione a doppia polarita' si sta diffondendo l'uso di antenne a dipoli incrociati con selezione automatica del segnale piu' forte in tempo reale.

Il sistema funziona non solo per la rotazione dovuta all'attraversamento dell'atmosfera ma anche per la differenza di polarita' dovuta alla distanza tra le stazioni (space polarity offset) che di solito porterebbe a condizioni non simmetriche tra i due interlocutori.

## Yagi 70cm



In 70cm la variazione di polarita' dovuta alla rotazione di Faraday e' molto piu' lenta e sovente per diverse ore non si notano cambiamenti.

Non so se e' questa la motivazione ma l'utilizzo di antenne ad elementi incrociati e' poco diffusa. Un guadagno accettabile per un sistema EME in 70cm puo' essere compreso tra 22-24dbi.

A causa delle maggiori perdite rispetto ai 2m, in 70cm quando i sistemi superano le 4 antenne accoppiate e' consigliabile non usare piu' cavi coassiali ma piuttosto linee aperte per le connessioni.

# Paraboloidi

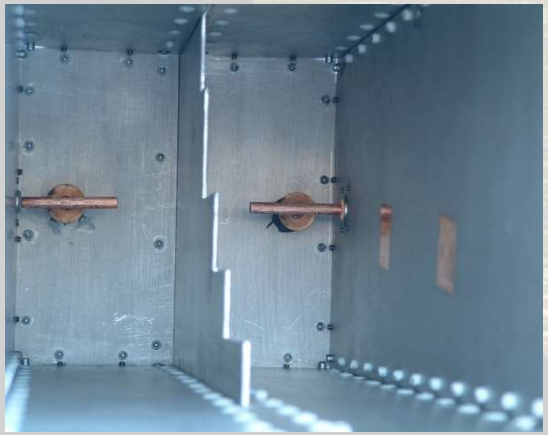
Pochi fortunati hanno un'antenna a disco sufficientemente grande da poter essere utilizzata su frequenze piu basse dei 23cm, normalmente il paraboloide si giustifica in termini di guadagno se il suo diametro e' almeno 10volte superiore alla lunghezza d'onda su cui si intende usarlo.
Tuttavia diverse stazioni usano il "dish" in 70cm con sistemi di illuminazione costituiti da uno/due dipoli su un piano riflettente e magari con la possibilit♦ di ruotarli per cambiare polarizzazione.
Trattandosi pero' di eccezioni consideriamo questa tipologia di antenna utile dai 23cm a salire.

Il focus e' sui 23cm ma tutto vale anche per le frequenze superiori applicando l'opportuno fattore di scala.
L'antenna parabolica, ottenuta cioe' dalla rotazione di una parabola, rispetto ad altre tipologie di antenna ha numerosi vantaggi.
Basse perdite con un unico punto di alimentazione, lobo estremamente piu' pulito di equivalenti sistemi yagi, facilit♦ di ovviare ai problemi di diversa polarizzazione utilizzando la polarizzazione circolare.
Un'antenna da 2m di diametro puo' essere considerata un entry point in 23cm, 3m sono gia' da considerarsi una buona antenna.

# Paraboloidi

## Dual mode feeder

La soluzione con utilizzo della polarizzazione circolare non e' tuttavia banale perche' il senso di rotazione viene invertito ad ogni riflessione e nel percorso terra luna le riflessioni sono dispari ovvero antenna,luna,antenna e quindi il segnale di ritorno ha senso di polarizzazione invertito rispetto all'andata.
Il dual mode feeder si chiama cosi proprio perche' prevede due porte con polarizzazione opposta.
E' composto da due guide d'onda separate da un setto, la foto da un'immagine dell''internocon i due dipoli contrapposti e connessi ai connettori. Per convenzione tra radioamatori un verso e' previsto per ricevere e l'altro per trasmettere:



Esistono varie geometrie di dual mode feeder,essi si differenziano per il diverso lobo di radiazione che deve essere opportunamente scelto a seconda del rapporto F/D della nostra antenna parabolica.
Se il feeder illumina un'area piu' grande di quella dell'antenna, spreca potenza in trasmissione e raccoglie rumore in ricezione.
Viceversa un'area troppo piccola rinuncia a parte del potenziale guadagno.
Un'attenuazione di 10db ai bordi dell'antenna e' considerata la condizione ottimale.

# EME : Accessori stazione

## LNA

Sta per "Low Noise Amplifier" ed e' un pezzo irrinunciabile per qualunque stazione EME. La sua funzione e' duplice, di garantire il minimo degrado dei segnali utili (bassa Noise Figure) ed un guadagno tale da rendere trascurabili le perdite della discesa in cavo coassiale.
Esso deve essere istallato il piu' vicino possibile al connettore d'antenna.

## LNA VHF

La ricerca della piu' bassa cifra di rumore possibile e' in conflitto con la resistenza dei componenti a segnali forti che puo' comprometterne l'uso per attrivita via terrestre.
In VHF dove comunque e' sempre presente una rumorosita' ambientale e' inutile esasperare la sensibilita' del preamplificatore ma si deve solo cercare un guadagno sufficiente misurato sulla perdita della linea di discesa.

## LNA UHF and up

Il discorso cambia totalmente e la ricerca della minima cifra di rumore e' il criterio prevalente.
Con i componenti disponibili oggi valori di NF attorno a 0.2db sono normalmente raggiungibili.

## LNA Criteri and sources

Della NF abbiamo parlato, per il guadagno invece si deve puntare a rendere trascurabile la perdita lungo la discesa facilmente calcolabile note le caratteristiche del cavo , della frequenza in uso e della lunghezza della discesa.
L'attenuazione del cavo ha un effetto sul segnale pari alla sua attenuazione divisa per il guadagno del preaplificatore.
Se ad esempio abbiamo un LNA che guadagna 20db(100 volte) ed una discesa che perde 3db (ovvero dimezza il segnale). L'effetto nefasto della discesa sara' pari a 0.5/100 ovvero il segale sara' attenuato di 0,005 volte (trascurabile)
Sul mercato ci sono LNA di tutti i generi e di tutti i cosi, per frequenze 70cm e 23cm una fonte molto apprezzata ed a prezzi ragionevoli e' costituita da G4DDK: G4DDK LNA
Sono venduti sia completi che in kit mi permetto pero' di sconsigliarne il montaggio a meno di disporre di strumentazione adatta per misurare guadagno e NF i cui massimi non coincidono mai.

# EME : Accessori stazione

## Sistemi YAGI

Per sistemi di antenne EME non a grande direttivita' e con lobo di larghezza uguale o superiore ai 10 a -3db e' pensabile di poter operare manualmente per tenere l'antenna puntata sulla luna.
In questo caso molti usano una telecamera montata sull'antenna per un controllo visivo della corretta posizione (sperando in cieli sempre sereni).
Su sistemi piu' complessi e' necessario pensare a sistemi automatici di inseguimento.

## Encoders

Sono i sensori che permettono di avere un'indicazione della posizione dell'antenna sia in azimut che in elevazione.
Ne esistono di due tipi, assoluti e ad impulsi. Quelli assoluti danno direttamente la posizione mentre quelli ad impulsi generano un numero fisso di impulsi per ogni rotazione e contando gli impulsi e' possibile determinare la posizione corrente.
Quelli assoluti sono da preferire perche' esistono diverse situazioni dove e' facile perdere la conta degli impulsi e dover fare frequenti operazioni di taratura.
Sul mercato esistono tecnologie diverse e prezzi diversi con diversa precisione per ogni tipo di encoders e la scelta deve essere coerente con la precisione richiesta dal nostro sistema di antenna.
Ci sono anche soluzioni complete "off the shelf" applicabili a rotori di mercato ma e' abbastanza a portata di mano anche una soluzione autocostruita specialmente per chi ha un po di dimestichezza con il software.

## Home made tracking

Non posso che riportare la mia soluzione ad esempio, ho cercato motori e riduttori di velocita' d'occasione e ,per fortuna, ci sono riuscito.
I motori sono degli scarti industriali a CC 24V da circa 60W dotati di un loro riduttore con cinghia e vite senza fine messi in serie con dei riduttori di potenza.
Tutto e' controllato da un self standing control box che riceve i dati dagli encoders e ha l'elettronica per controllare i motori via H bridges a mosfet.
Tutta la logica e' ottenuta utilizzando un Raspberry PI 2 con output su un piccolo monitor connesso via HDMI.

Il software permette di:
- Controllo manuale dell'antenna
- Tracking Automatico di sole,luna e altre sorgenti
- Calcolo dati astrali (distanza,doppler,attenuazione)
- Controllo velocita' motori via PWM

Una piccola nota, per garantire sia precisione che basse sollecitazioni meccaniche i motori devono poter essere regolati con velocita' molto basse.
Altra nota, se dovessi rifare oggi il sistema di tracking userei motori passo passo molto piu' facili da gestire per controllo velocita'.

*Nando Pellegrini, I1NDP, ARI sezione di Biella*

# EME : Accessori stazione

## LNA

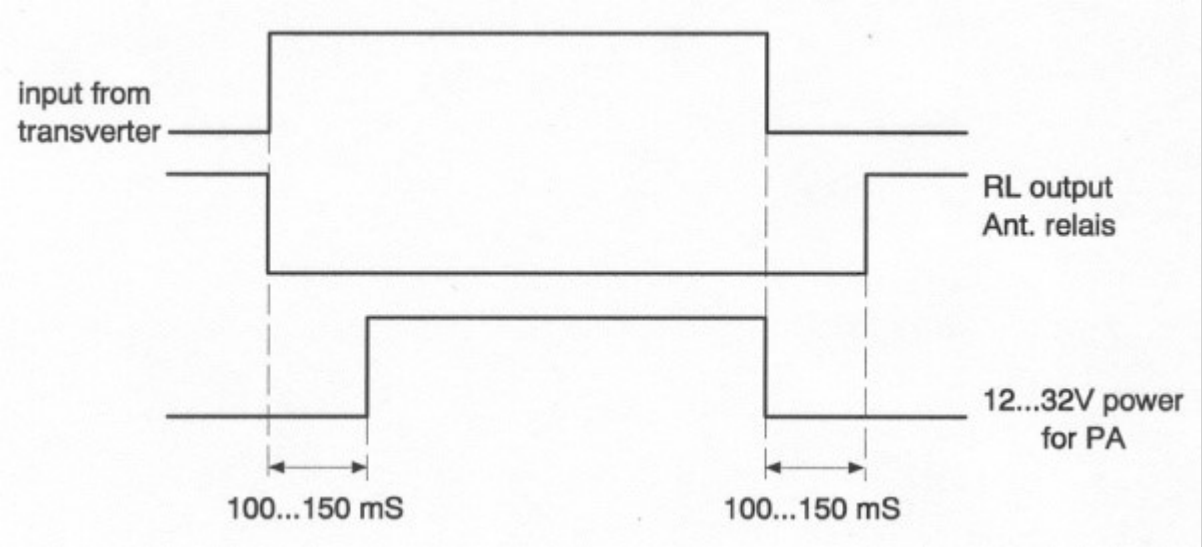
Sbagliato sottovalutare la funzione di questo piccolo accessorio che deve garantire l'integrita' sia del preamplificatore che di eventuali amplificatori a stato solido garantendo che al momento in cui erogano potenza siano correttamente connessi al carico.
Nel mio caso la funzione e' integrata nel control box a cui e' connesso il PTT del transceiver ed il Raspberry provvede alla bisogna.
Commutazione RX->TX
I componenti interessati sono LNA, PA , driver , transverter

A fronte della chiusura PTT:

- Isola LNA
- Pausa
- Attiva PA
- Pausa
- Attiva Driver
- Pausa
- Attiva Transverter

Con pausa di circa 100msec
Commutazione TX->RX
Esattamente l'opposto

- Transverter in RX
- Pausa
- Driver in stand by
- Pausa
- PA in stand by
- Pausa
- LNA in ricezione



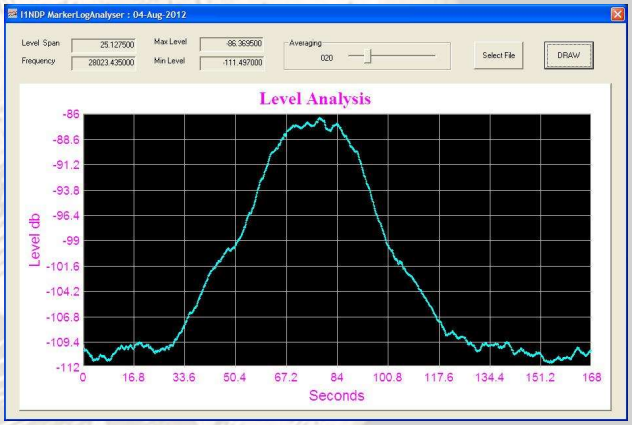
# EME : Verifica efficienza

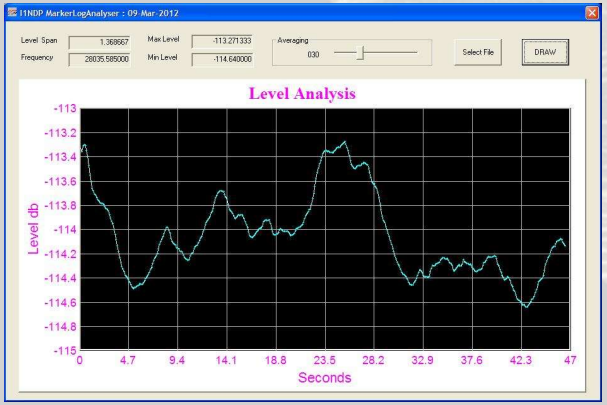
## Sorgenti di rumore

Abbiamo dato una scorsa a come deve essere assemblata una stazione adatta per fare EME. Quello che pero' resta da fare e' di verificare quanto sia efficiente, data l'esiguita' dei segnali coinvolti si deve poter spremere fino all'ultimo decimo di db delle sue potenzialita'.
Come si fa?
Da dove si parte?
Come certo saprete, qualunque oggetto a temperatura diversa dallo zero assoluto emette energia a radio frequenza distributita su tutto lo spettro (radiazione di corpo nero).
Esistono sorgenti particolarmente calde e quindi potenti sorgenti di rumore che possono essere utilizzate per verificare la sensibilita' dei nostri sistemi riceventi.
la piu' potente e' il nostro sole utilizzabile su qualunque frequenza e con qualunque sistema di antenna
Esistono altre sorgenti di rumore che,anche se piu' deboli, possono essere utili specialmente alle frequenze piu' alte.
Un semplice carico fittizio a temperatura ambiente (dalle UHF in poi) e' un sufficiente generatore di rumore ma anche il suolo terrestre si presta per lo stesso scopo

## Sole

La sorgente piu' potente di radiazione utilizzabile dai 70cm a salire permette una precisa valutazione delle prestazioni oltre che verificare la calibrazione dei nostri eventuali sistemi di tracking.
La valutazione si fa misurendo il "noise floor" con antenna verso la sorgente calda (sole) e confrontandola con la sorgente fredda (cielo).
Di seguito una misura fatta da me con il disco da 10m sui 23cm:




## Luna

Anche la luna e' una potenziale sorgente di rumore trovandosi a temperature sensibilmente superiori a quello dello sfondo freddo del cielo.
Essendo la radiazione estremamente piu' bassa del sole il suo effetto e' apprezzabile solo sulle gamme piu' alte.
Di seguito una misura fatta da me con il disco da 10m sui 23cm:

*Nando Pellegrini, I1NDP, ARI sezione di Biella*

# EME : Verifica efficienza

## Misure

Termine di paragone

Abbiamo visto come sia possibile disporre di sorgenti di rumore naturali ma per fare una misura che esprima la sensibilita' del nostro ricevitore servono due cose:

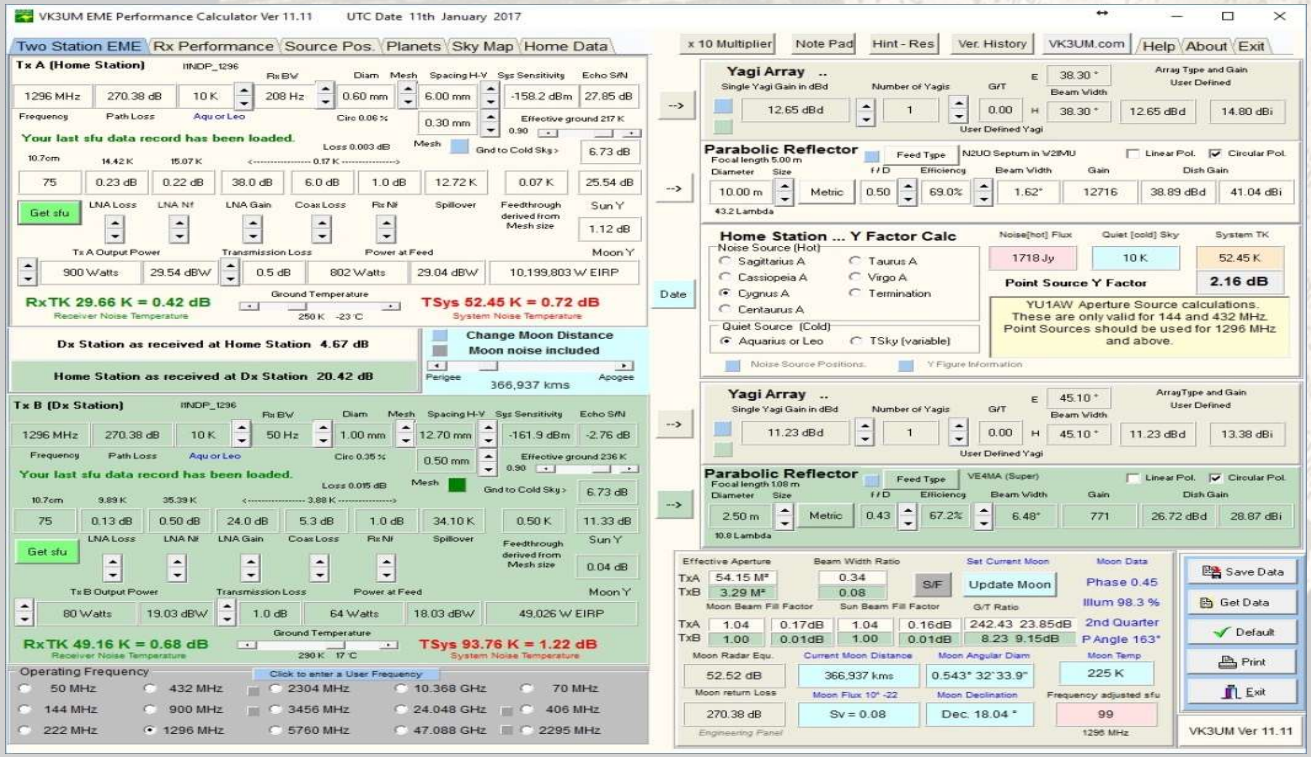
La prima e' un termine di paragone da confrontare con la misura del rumore.

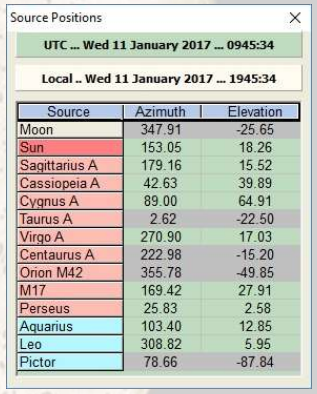
La seconda e' una stima teorica di quanto dovremmo misurare in condizioni ideali.

Il termine di paragone a disposizione di tutti e' fornito da quello che si chiama "cold sky" ovvero quello che si ottiene orientando l'antenna verso una zona di cielo senza importanti sorgenti di radiazione (in teoria solo con radiazione fossile).

Sia per trovare dove puntare l'antenna che per avere una attendibile stima del potenziale risultato ci viene in aiuto l'utility di VK3UM (Doug ora silent key) gia' vista ma che merita qualche attenzione in piu':

Sempre VK3UM selezionando "Source Position" ci indica la posizione corrente degli oggetti notevoli nel cielo:




| Source | Azimuth | Elevation |
|---|---|---|
| Moon | 347.91 | -25.65 |
| Sun | 153.05 | 18.26 |
| Sagittarius A | 179.16 | 15.52 |
| Cassiopeia A | 42.63 | 39.89 |
| Cygnus A | 89.00 | 64.91 |
| Taurus A | 2.62 | -22.50 |
| Virgo A | 270.90 | 17.03 |
| Centaurus A | 222.98 | -15.20 |
| Orion M42 | 355.78 | -49.85 |
| M17 | 169.42 | 27.91 |
| Perseus | 25.83 | 2.58 |
| Aquarius | 103.40 | 12.85 |
| Leo | 308.82 | 5.95 |
| Pictor | 78.66 | -87.84 |

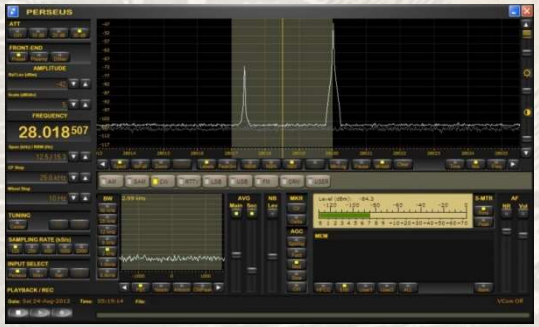
*Nando Pellegrini, I1NDP, ARI sezione di Biella*

# EME : Verifica efficienza

## Strumenti

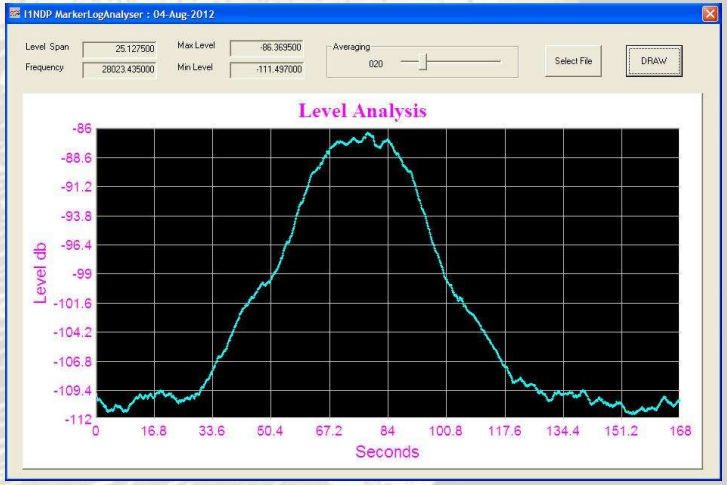
Una cosa ,direi, irrinunciabile per una stazione EME e' la capacita' di poter misurare le variazioni di rumore del ricevitore con una precisione che si avvicini almeno al decimo di db.
Teoricamente e' possibile farlo all'uscita in BF del ricevitore ma non sono mai riuscito ad ottenere valori credibili neanche escludendo il CAG. Il sistema che uso, oggi abbastanza avvicinabile, e' di usare un SDR per HF connesso in parallelo con il ricevitore sulla IF (28Mhz) del transverter:

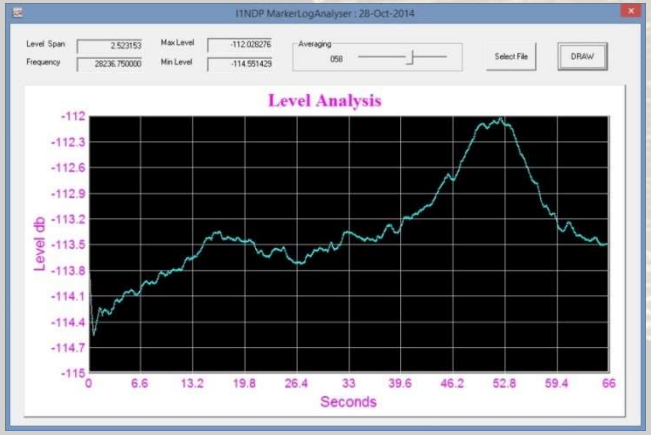
## Perseus




## Sun noise

Il diagramma seguente e' il risultato della misura del delta rumore ottenuto registrando con l'SDR il livello di segnale mentre l'antenna transitava sul sole




Lo stesso puo' essere ottenuto con altre sorgenti di rumore di origine galattica.

Ad esempio utilizzando la **costellazione del cigno** che contiene una potente sorgente di radiazione elettromagnetica:

*Nando Pellegrini, I1NDP, ARI sezione di Biella*

# EME : Operativita'

## Gestione Doppler

Il doppler nel caso EME rappresenta la variazione di frequenza dovuta al movimento relativo tra terra e luna per cui il segnale di ritorno non e' sulla stessa frequenza di emissione.
Il doppler e' positivo se la luna si avvicina, negativo se si allontana.
L'entita' della variazione e' proporzionale alla frequenza e varia dai circa 100hz a 50Mhz a piu' di 30Khz a 10Ghz.
Fino ai 2m e' possibile non tenerne conto con pochi effetti negativi.
Su frequenze piu alte e' indispensabile capirlo e tenerne conto, purtroppo questo non succede a tutti gli operatori EME.
Esistono tre tipi di doppler da gestire nel modo dovuto:

**- Own doppler**
**- DX doppler**
**- Mutual doppler**

Esistono delle applicazioni che permettono di conoscere il doppler nelle varie situazioni.
Una di queste e' il WSJT

### Own Doppler

E' il doppler a cui e' soggetto il nostro stesso segnale tornando al punto di partenza per cui e' la frequenza su cui ascoltare il notro eco.

### DX doppler

E' il doppler a cui e' soggetto il segnale di un potenziale corrispondente tornando al punto di partenza per cui e' la frequenza su cui egli ascolta il proprio eco.
Se egli si trova geograficamente lontano da noi e' probabile che il suo doppler sia significativamente diverso dal nostro.

### Mutual Doppler

La media tra il nostro doppler e quello della stazione DX.
Il Mutual doppler ci permette ,quando nota la frequenza di trasmissione della stazione DX di sapere dove cercare il suo segnale.
Uso Doppler chiamando

E' convenzione tra i radioamatori di rendere nota la propria frequenza di trasmissione e di ricevere sulla frequnza corrispondente dove potenzialmente riceviamo il nostro eco.
La corretta operativita' consiste quindi di avere il VFO in trasmissione sulla frequenza dichiarata ed il VFO di ricezione con un offset pari al nostro doppler.
Uso Doppler rispondendo
Per rispondere si deve invece fare l'operazione contraria ovvero con ricevitore sul segnale desiderato si deve splittare la trasmissione del valore del nostro doppler con il segno invertito.
Il nostro corrispondente ci ricevera' isoonda con il suo eco.

*Nando Pellegrini, I1NDP, ARI sezione di Biella*

# *EME : Operativita'*

## Ground Gain

Tocco un tema di cui avete forse sentito parlare, e' utile molto fino ai 2m aiuta anche in 70cm mentre praticamente non esiste per frequenze superiori.

Esso consiste in un considerevole aumento dell'intensita' del segnale irradiato a basse elevazioni dell'antenna (tra 6 e 10 gradi).

E' dovuto all'effetto combinato tra il campo generato dall'antenna e quello riflesso dall'immagine nel sottosuolo dell'antenna stessa.

Esso permette anche a stazioni molto basiche e magari senza elevazione di fare qso EME al sorgere o al tramonto della luna.

# EME : Operativita'

## Requisiti

Avrete capito che fare un QSO via luna e' abbastanza impegnativo per cui ci sono dei requisiti necessari per ridurre le difficolta' nei confronti dei nostri corrispondenti e di noi stessi se vogliamo ottenere un risultato.

In particolare mi riferisco a stabilita' e precisione delle notre apparecchiature nel leggere e mantenere una specifica frequenza.

Siccome i nostri transceiver/transverter hanno un errore in termini percentuali sulla frequenza di lavoro le moderne radio hanno in media precisione di frequenza accettabile fino alla gamma dei 23cm dove errori di qualche centinaio di Hz sono ancora accettabili.

Per frequenze superiori si deve pensare a poter controllare gli oscillatori con un riferimento esterno (GPS o rubidio) che garantiscono sia precisione che stabilita'.

Sulle frequenze piu' basse e' in ogni caso molto utile avere gli oscillatori almeno termostatati per garantire una stabilita' sufficiente, opzione ormai disponibile su quasi tutte le apparecchiature in commercio.