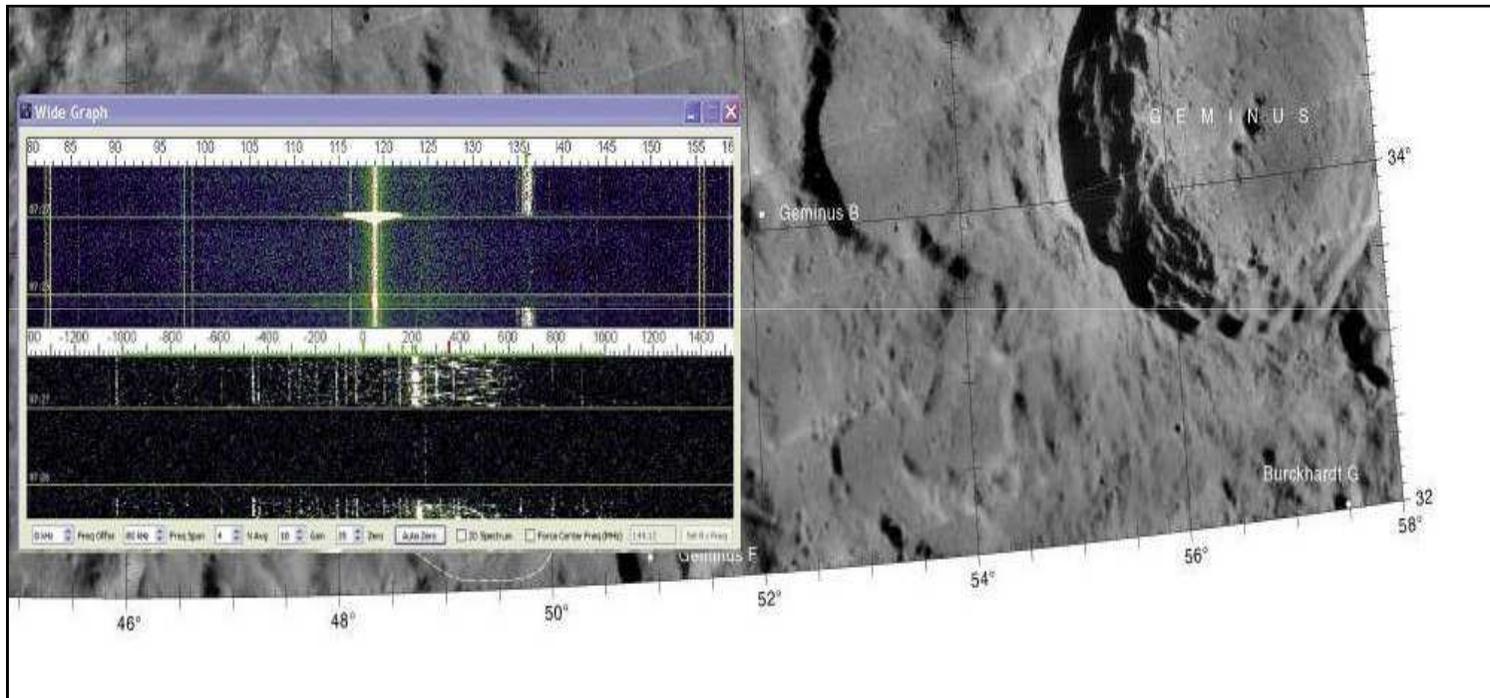


# Studi su Effetto Faraday

di Flavio IK3XTV e Giorgio IK1UWL

## Convegno EME Italiano 2013



Work in progress

# Come è nata questa indagine

- Decodifiche di IK1UWL, con IQ+ e MAP65:

- UTC Date: 2012-ago-03 00:00

- -----
- QRG DF DT Pol dB UTC CQ OX3LX HP15 1 10 8
- 144.143 -129 0 -2 0 1.7 **63** 4 -22 0008 CQ OX3LX HP15 1 10 15
- 144.143 -138 3 -1 0 1.7 **64** 3 -20 0010 CQ OX3LX HP15 1 10 5
- 144.143 -144 0 -2 -1 1.7 **48** 3 -22 0012 CQ OX3LX HP15 1 10 3
- 144.143 -153 0 -2 -1 1.9 **43** 5 -22 0014 CQ OX3LX HP15 1 10 4
- 144.143 -161 1 -1 0 1.5 **31** 1 -21 0016 F6HVK OX3LX HP15 OOO 1 0 5
- 144.143 -170 0 -1 0 1.7 **15** 2 -21 0018 RRR 0 0 0
- 144.143 -176 0 0 0 3.6 **0** 4 -18 0020 RK3FG OX3LX HP15 OOO 1 0 17
- 144.143 -185 1 0 0 1.7 **18** 5 -20 0022 RRR 0 0 0
- 144.143 -191 0 0 0 1.0 **0** 4 -19 0026 CQ OX3LX HP15 1 10 3
- 144.143 -199 1 -1 0 1.7 **10** 4 -19 0028 I3MEK OX3LX HP15 OOO 1 0 16
- 144.143 -205 0 -2 0 1.5 **4** 4 -18 0030 RRR 0 0 0
- 144.143 -214 0 0 0 3.6 **0** 3 -18 0032 IZ3KGJ OX3LX HP15 OOO 1 0 18
- 144.143 -217 -1 0 -1 2.1 **0** 4 -18 0034 RRR 0 0 0
- 144.143 -226 0 0 0 1.0 **0** 4 -23 0038 CQ OX3LX HP15 1 10 15
- 144.143 -229 -1 -1 -1 1.6 **-4** 4 -19 0040 CQ OX3LX HP15 1 10 12
- 144.143 -232 -2 -1 -1 1.8 **-7** 5 -20 0042 CQ OX3LX HP15 1 10 10
- 144.143 -238 0 -1 -1 1.8 **-9** 4 -18 0044 IK1UWL OX3LX HP15 OOO 1 0 7
- 144.143 -243 3 -1 1 1.8 **-13** 3 -20 0046 RRR 0 0 0
- 144.143 -246 0 0 0 1.0 **0** 4 -18 0048 CQ OX3LX HP15 1 10 5
- 144.143 -252 1 -1 1 1.8 **23** 6 -22 0050 CQ OX3LX HP15 1 10 4
- 144.143 -255 -1 -1 -1 1.8 **31** 5 -22 0052 CQ OX3LX HP15 1 10 5
- 144.143 -261 2 0 -1 1.8 **26** 3 -22 0054

- **Corretto 180° (Effetto MAP)**

# Effetto MAP

- Titolo scherzoso che diamo all'incertezza di 180° nelle Pol date da MAP65. Abbiamo chiesto lumi a Joe K1JT:
- **MAP65 finds the linear polarization angle of a received signal as follows:**

**p = polarization angle**

**x = complex baseband signal from "X" channel**

**y = complex baseband signal from "Y" channel**

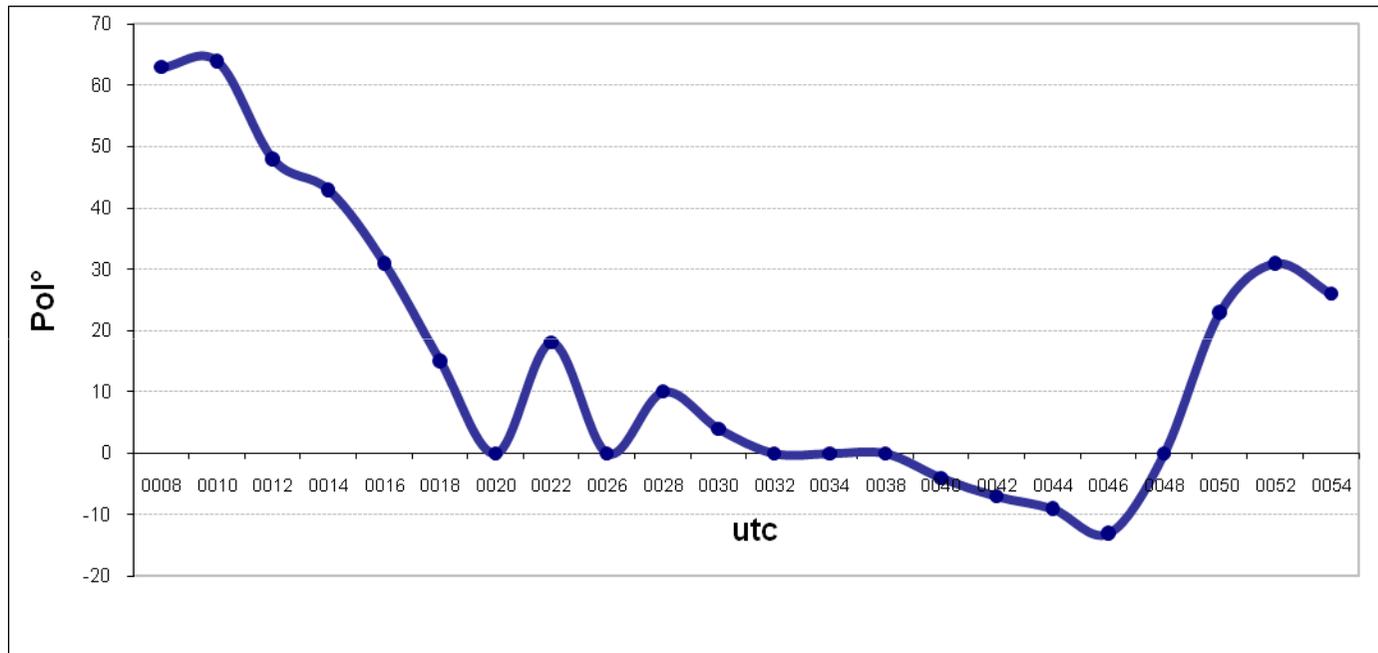
**For all symbols of the JT65 sync tone, maximize the sum of**

$$(x*\cos(p))^2 + (y*\sin(p))^2$$

**over all possible values of p in the range 0 - 180 deg.**

# Grafico polarizzazione (Pol)

- La colonna Pol in grafico



- Quanta variazione ( $76^\circ$ ) in 38' !
- Approfondiamo questo effetto.

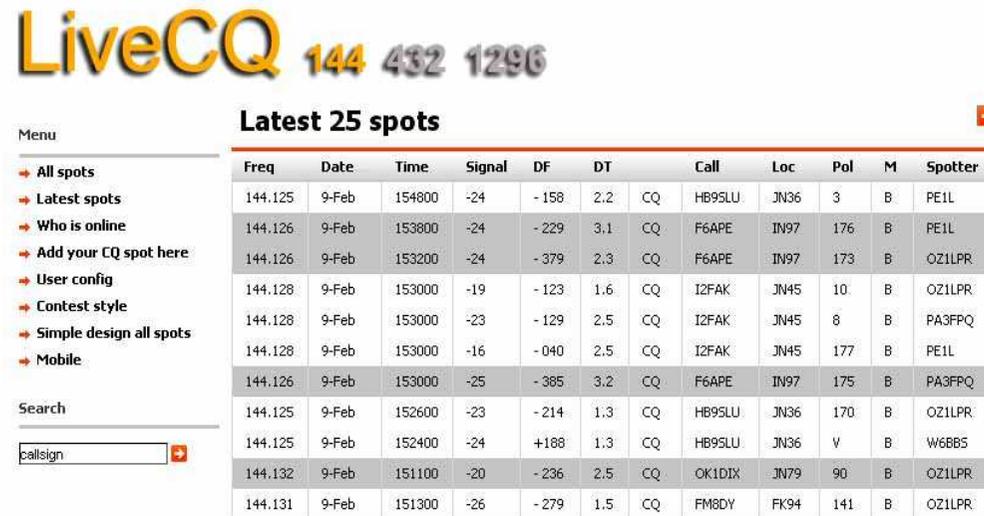
# LiveCQ

- Ci servono dati da più stazioni e di più stazioni
- Lampo di genio: ricorrere a LiveCQ
- Scriviamo a René PE1L
- Ci risponde:

“No need to copy and paste that way.

I will provide you an excel sheet with 'old' data and will make a page where you can get the raw data from the last month.

Rene”



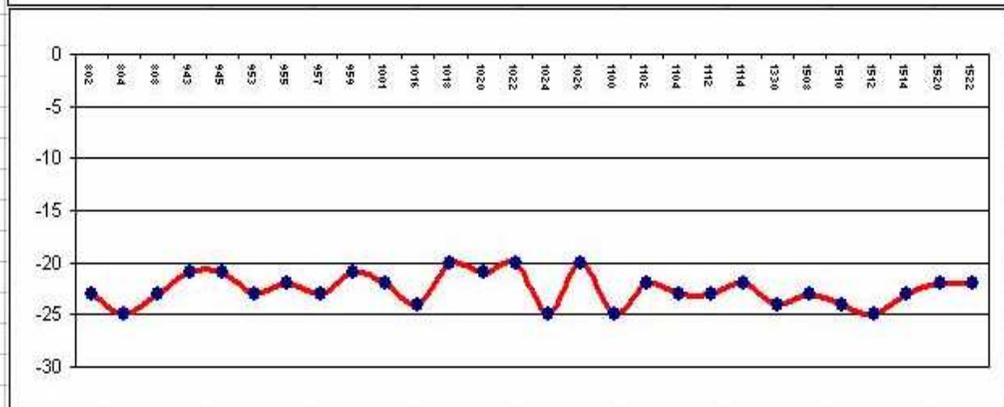
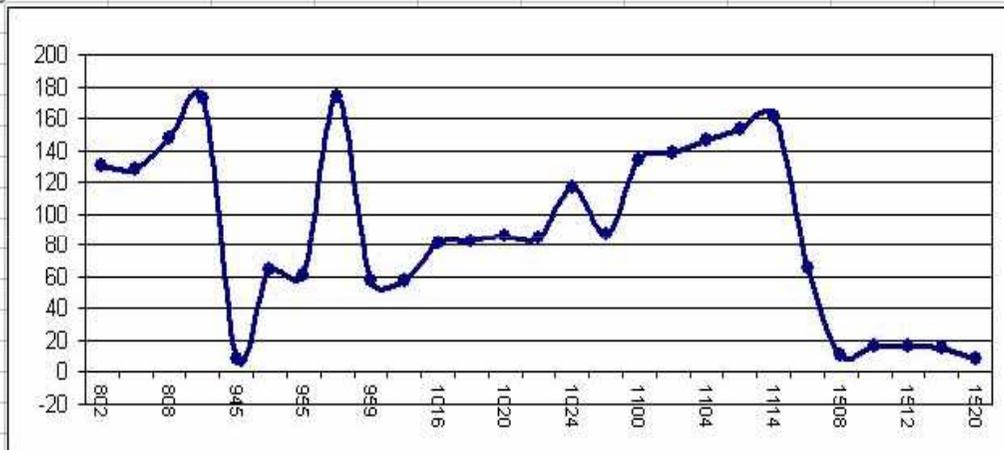
The screenshot shows the LiveCQ website interface. At the top, the logo "LiveCQ" is displayed in orange and yellow, followed by the frequency "144 432 1296". Below the logo is a "Menu" section with several options: "All spots", "Latest spots", "Who is online", "Add your CQ spot here", "User config", "Contest style", "Simple design all spots", and "Mobile". A "Search" section is also visible, with a text input field labeled "callsign" and a search button. The main content area is titled "Latest 25 spots" and contains a table with the following columns: Freq, Date, Time, Signal, DF, DT, Call, Loc, Pol, M, and Spotter. The table lists 25 rows of spot data, including frequency, date, time, signal strength, DF, DT, call sign, location, polarization, mode, and spotter call sign.

Freq	Date	Time	Signal	DF	DT	Call	Loc	Pol	M	Spotter	
144.125	9-Feb	154800	-24	-158	2.2	CQ	HB9SLU	JN36	3	B	PE1L
144.126	9-Feb	153800	-24	-229	3.1	CQ	F6APE	IN97	176	B	PE1L
144.126	9-Feb	153200	-24	-379	2.3	CQ	F6APE	IN97	173	B	OZ1LPR
144.128	9-Feb	153000	-19	-123	1.6	CQ	I2FAK	JN45	10	B	OZ1LPR
144.128	9-Feb	153000	-23	-129	2.5	CQ	I2FAK	JN45	8	B	PA3FPQ
144.128	9-Feb	153000	-16	-040	2.5	CQ	I2FAK	JN45	177	B	PE1L
144.126	9-Feb	153000	-25	-385	3.2	CQ	F6APE	IN97	175	B	PA3FPQ
144.125	9-Feb	152600	-23	-214	1.3	CQ	HB9SLU	JN36	170	B	OZ1LPR
144.125	9-Feb	152400	-24	+188	1.3	CQ	HB9SLU	JN36	V	B	W6BB5
144.132	9-Feb	151100	-20	-236	2.5	CQ	OK1DIX	JN79	90	B	OZ1LPR
144.131	9-Feb	151300	-26	-279	1.5	CQ	FM8DY	FK94	141	B	OZ1LPR

# Base dati

- Flavio organizza la base dati in fogli settimanali.
- Si possono selezionare Data, Spotted, Spotter.

2	date	utc	sig	pol	call	spotter
1927	18082012	802	-23	130	DG00PK	PE1L
1929	18082012	804	-25	128	DG00PK	PE1L
1937	18082012	808	-23	148	DG00PK	PE1L
2036	18082012	943	-21	173	DG00PK	PE1L
2039	18082012	945	-21	8	DG00PK	PE1L
2045	18082012	953	-23	64	DG00PK	PE1L
2050	18082012	955	-22	61	DG00PK	PE1L
2055	18082012	957	-23	174	DG00PK	PE1L
2057	18082012	959	-21	58	DG00PK	PE1L
2060	18082012	1001	-22	58	DG00PK	PE1L
2084	18082012	1016	-24	82	DG00PK	PE1L
2086	18082012	1018	-20	83	DG00PK	PE1L
2090	18082012	1020	-21	86	DG00PK	PE1L
2094	18082012	1022	-20	85	DG00PK	PE1L
2100	18082012	1024	-25	117	DG00PK	PE1L
2105	18082012	1026	-20	87	DG00PK	PE1L
2135	18082012	1100	-25	134	DG00PK	PE1L
2137	18082012	1102	-22	138	DG00PK	PE1L
2142	18082012	1104	-23	146	DG00PK	PE1L
2145	18082012	1112	-23	153	DG00PK	PE1L
2148	18082012	1114	-22	161	DG00PK	PE1L
2251	18082012	1330	-24	66	DG00PK	PE1L
2406	18082012	1508	-23	11	DG00PK	PE1L
2412	18082012	1510	-24	17	DG00PK	PE1L
2415	18082012	1512	-25	17	DG00PK	PE1L
2421	18082012	1514	-23	15	DG00PK	PE1L
2448	18082012	1520	-22	8	DG00PK	PE1L
2456	18082012	1522	-22	4	DG00PK	PE1L







# Cenni sulla ionosfera

## Gli effetti del sole

La radiazione solare UV estrema ed X impatta nell'alta atmosfera e genera un plasma di ioni ed elettroni liberi: [la Ionosfera](#)

## Caratteristiche

- È un mezzo non omogeneo, in quanto la densità elettronica varia con la quota.
- È “immersa” nel campo magnetico terrestre. Parliamo infatti di un magnetoplasma.
- Presenta significative variazioni giornaliere e stagionali legate soprattutto alle variazioni della radiazione solare.
- La Ionosfera è turbolenta e soggetta a continui movimenti ondulatori

## Interazioni con un'onda radio

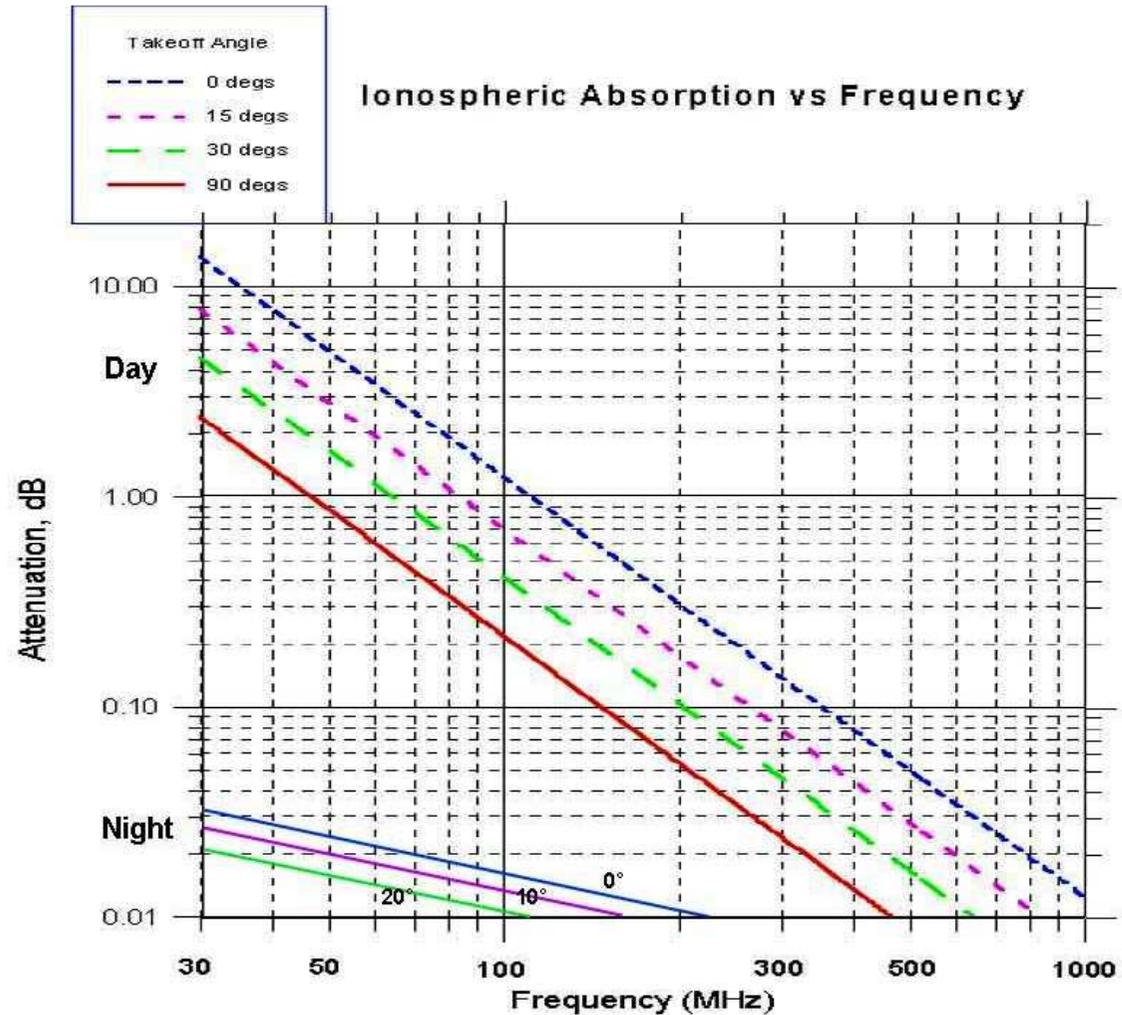
Gli Elettroni liberi reagiscono al campo elettrico di un'onda radio assorbendo energia, che viene restituita, in buona parte, per re-irradiazione, e quindi indebolendola, rallentandola, deviandola e ruotandola.

Ad interagire con l'onda radio sono gli elettroni liberi , quindi la loro densità (numero al m<sup>3</sup>) determina l'entità dell'effetto.

# Attenuazione ionosferica statica

- A 50 MHz si hanno 5 dB al sorgere, poi si va verso 1,5 dB.
- A 144 MHz si va da 0,5 a 0,1 dB
- Trascurabile per le bande superiori ed in condizione notturna

(Dati calcolati per un singolo passaggio ionosferico)

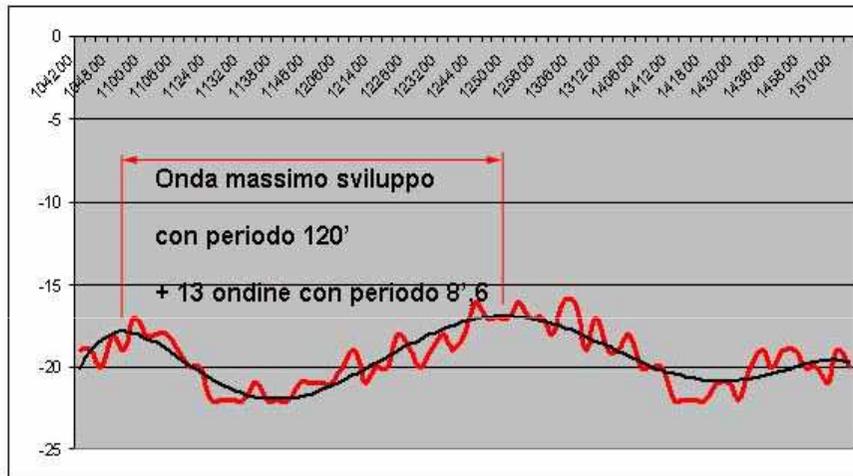


# Ionosfera dinamica: fluttuazioni

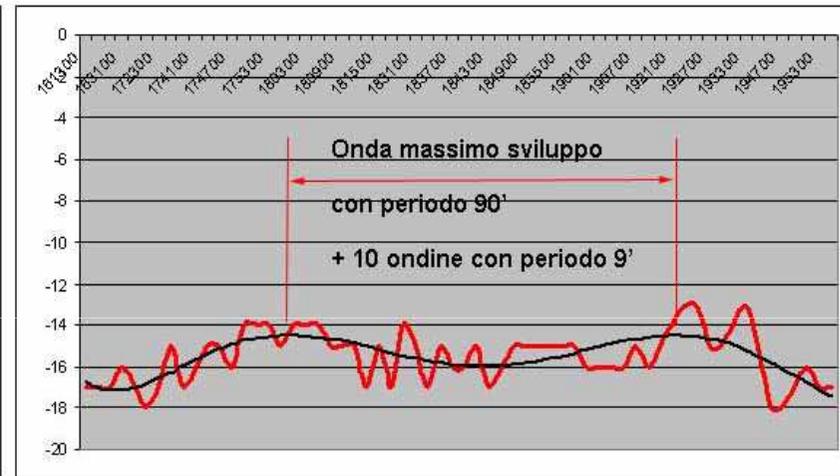


Work in progress

- Vediamo sempre una fluttuazione dei livelli nelle decodifiche.



UR3EE-PA3FPQ date 13.02.2013



KB8RQ-OE3FVU date 15.02.2013

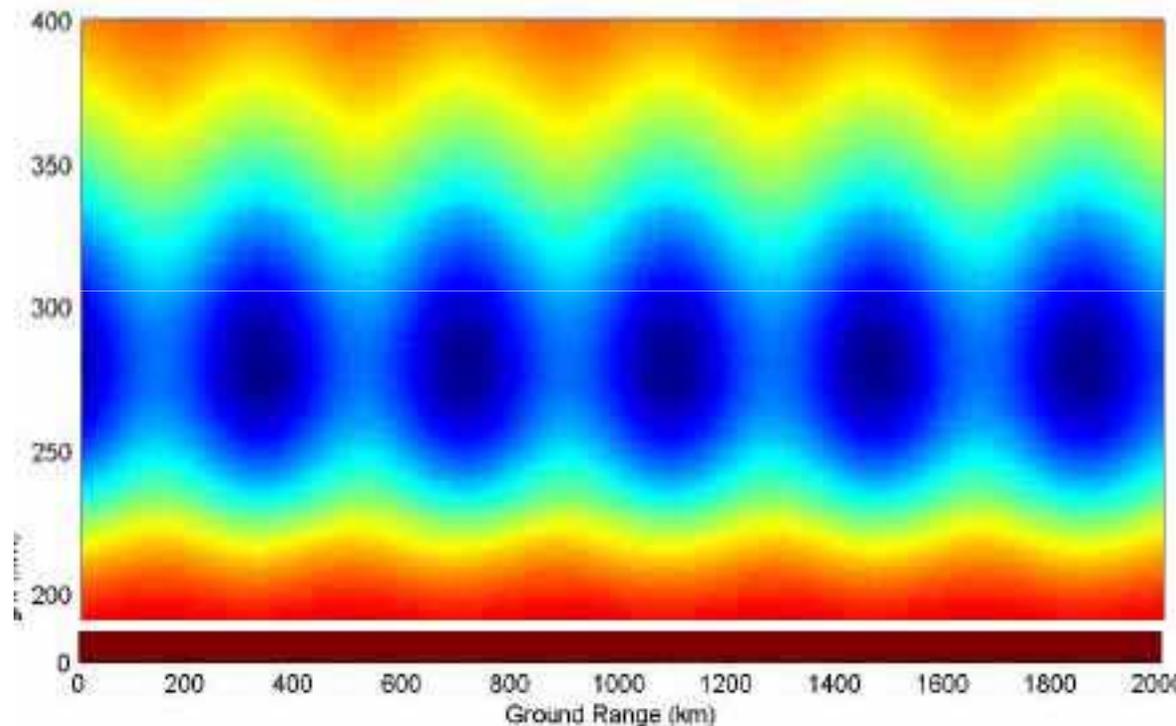
- Notiamo una fluttuazione di lungo periodo con associate fluttuazioni più brevi.
- Riteniamo che le fluttuazioni siano provocate da effetti di focusing/defocusing provocati da ondulazioni della ionosfera.
- Data l'entità (3-5 dB) non possono essere attenuazioni legate all'ispessimento della ionosfera nelle ondulazioni.

# Venti ed onde ionosferiche



Work in progress

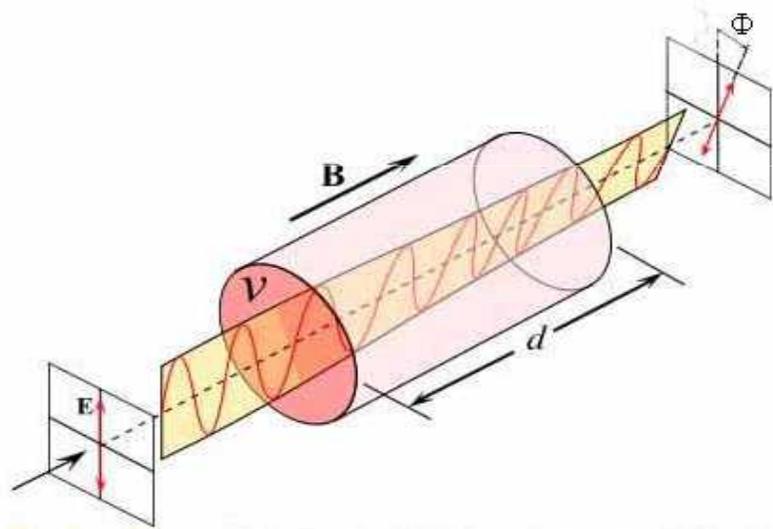
- Tipicamente nella ionosfera si hanno venti di 100-500 m/s che formano onde e vortici (TID).



- Al vento tipico di 200 m/s = 12 km/min corrispondono onde di lunghezza 1000-1500 km su cui si sovrappongono ondine più piccole di lunghezza 100 km circa.

# Rotazione di Faraday

- La rotazione del piano di polarizzazione di un'onda che attraversa un plasma ed è soggetta ad un campo magnetico è:  $\Phi = k * B * TEC / f^2$  (rad), con
- $B$  = componente del campo geomagnetico nella direzione dell'onda
- $TEC$  = contenuto in elettroni del percorso di attraversamento



La rotazione di Faraday è additiva, cioè la rotazione di andata va sommata con quella di ritorno dopo la riflessione sulla luna, questo significa che c'è rotazione di Faraday anche sui propri echi.

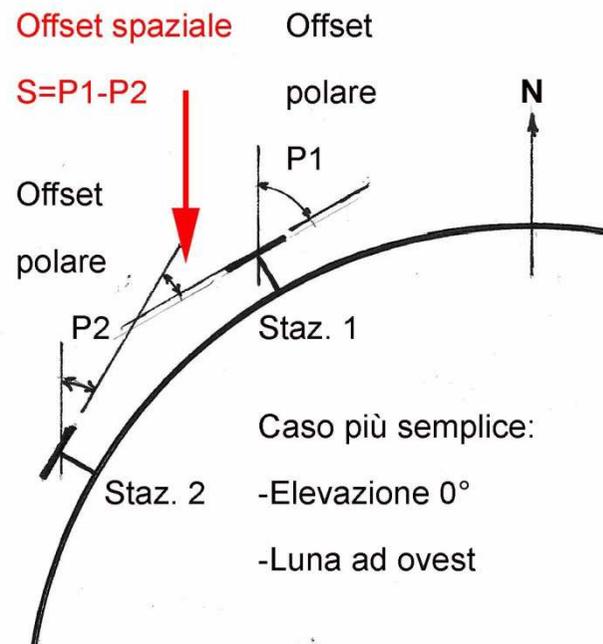
# A chi interessa Faraday?

$$\Phi = k * B * TEC / f^2$$

- E' inversamente proporzionale al quadrato della frequenza.
  - A parità di B e TEC, si ha:
- | Banda      | Rotazione |      |      |        |
|------------|-----------|------|------|--------|
| • 50MHz    | 90°       | 360° | 810° | 9 giri |
| • 144 MHz  | 10°       | 40°  | 90°  | 360°   |
| • 432 MHz  | 1°,1      | 4°,5 | 10°  | 40°    |
| • 1296 MHz | 0°,1      | 0°,5 | 1°,1 | 4°,4   |
- Quindi interessa le sole VHF.
  - In micro-onde si deve tenere conto solo dell'offset spaziale

# Offset spaziale

- Offset polare è l'angolo di polarizzazione rispetto all'asse polare terrestre
- E' funzione di Latitudine, Azimut, ed Elevazione



- Offset spaziale è la differenza degli Offset polari
- Il segnale ricevuto è ruotato anche dell'Offset spaziale

# Campo F

Chiamiamo F il campo geomagnetico totale, da cui ricaveremo la componente in direzione luna.



- Ricavabile dal sito della British Geological Survey, inserendo:
  - Coordinate geografiche
  - Quota media della calotta ionosferica
  - Data

Geodetic Coordinates:

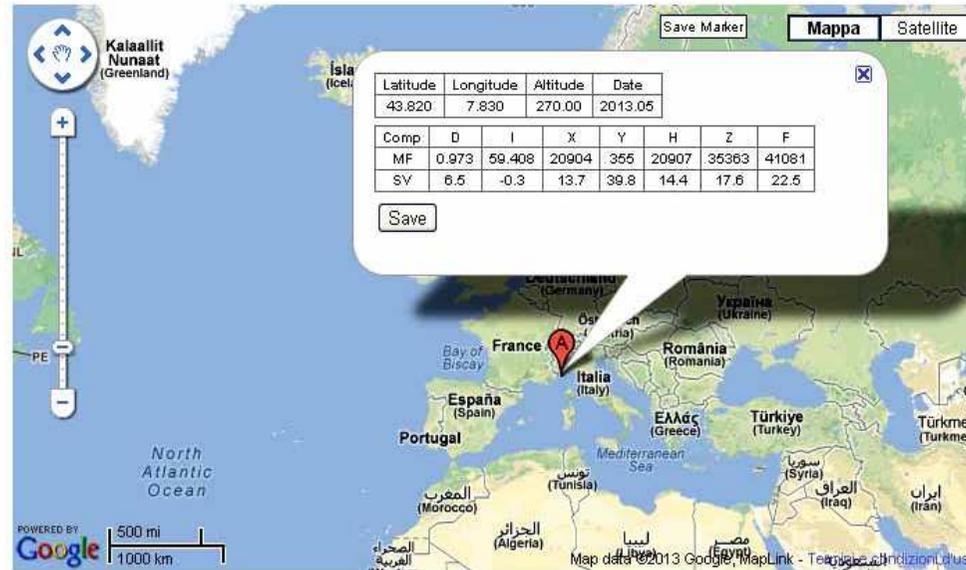
Latitude:  degrees  minutes  seconds

Longitude:  degrees  minutes  seconds

Altitude:  km above MSL.

Date

Date:  (YYYY.YY OR YYYY-MM-DD)



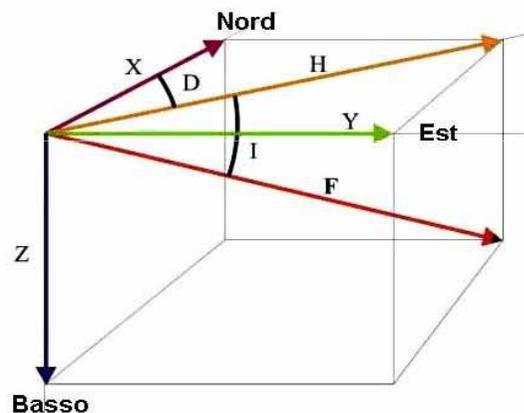
Legend

	D = Declination degrees east	I = Inclination degrees down	X = North Intensity nT	Y = East Intensity nT	H = Horizontal Intensity nT	Z = Vertical Intensity nT down	F = Total Intensity nT
MF = Main Field			nT	nT	nT	nT down	nT
SV = Secular Variation	arcmin/year	arcmin/year	nT/year	nT/year	nT/year	nT/year	nT/year

# Campo geomagnetico

$$\Phi = k * B * TEC / f^2$$

- Il vettore F (campo geomagnetico) è definito dagli angoli:
- I = Inclinazione
- D = Declinazione



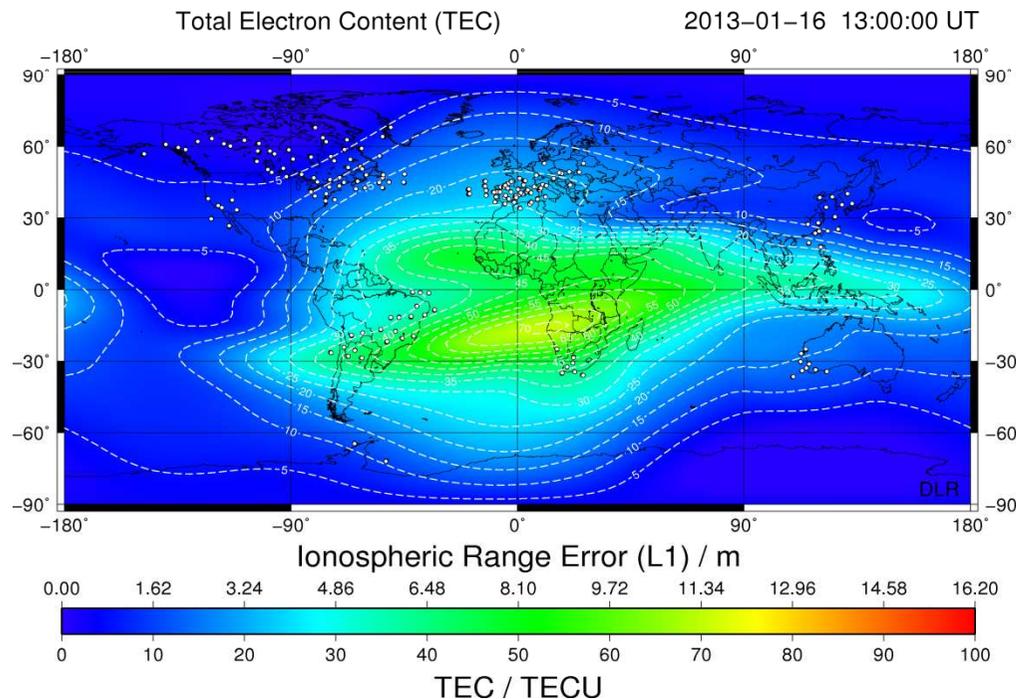
- Il vettore direzione Luna è definito da:
- Azimut
- Elevazione
- Con la formula dell'angolo tra due vettori, individuiamo  $\cos FL$ , necessario per calcolare  $B = F * \cos FL$

# TEC (Total Electron Content)

$$\Phi = k * B * \text{TEC} / f^2$$

Il TEC (Total Electron Content, Contenuto totale di elettroni) è un parametro chiave descrittivo della Ionosfera terrestre. Rappresenta il numero totale di elettroni presenti lungo un cammino tra due punti, misurati in numero di elettroni per metro quadro, con **1 TEC unit (TECU) =  $10^{16}$  elettroni/m<sup>2</sup>**.

- Il TEC ci fornisce la misura del numero di elettroni contenuti in un cilindro di base 1 m<sup>2</sup> ed altezza uguale al percorso preso in considerazione.
- Si tratta di una misura integrata, che dipende dal cammino tra noi ed il satellite.

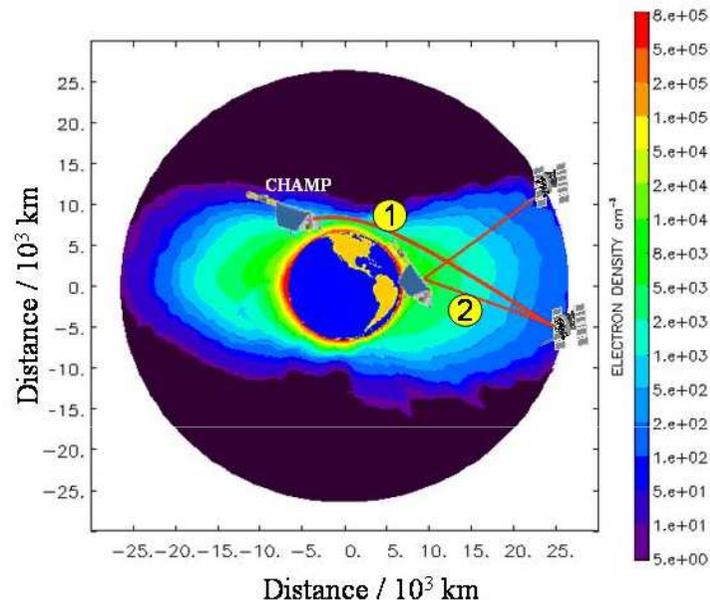


**1 TECU) =  
 $10^{16}$  elettroni/m<sup>2</sup>**

Global VTEC map

# Come misurano il TEC

La misura del TEC si può ottenere confrontando il comportamento di due frequenze emesse dal satellite che percorrono lo stesso cammino, ma che subiscono ritardi di fase diversi.



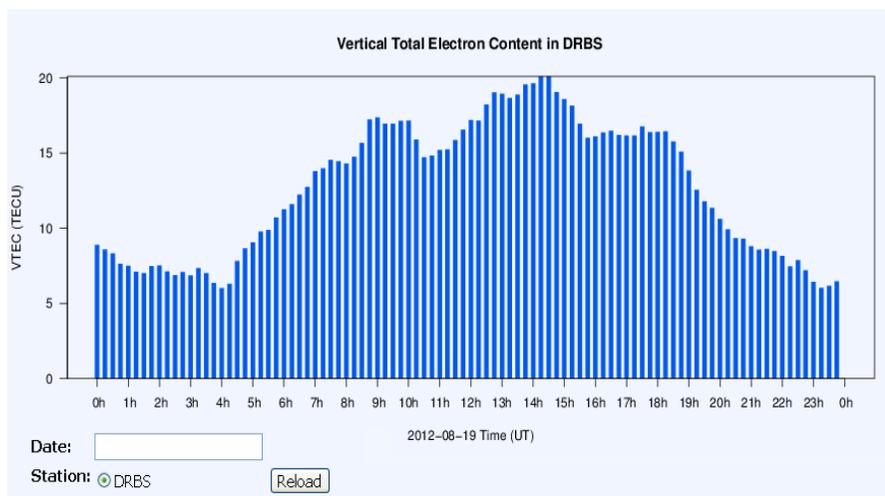
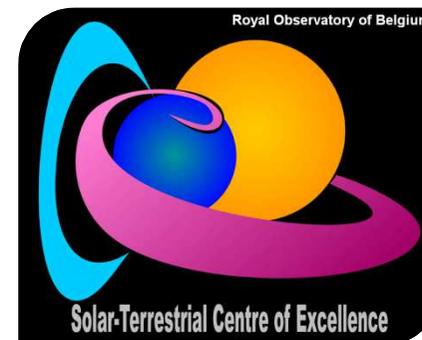
- La misura del TEC si fa misurando la differenza di fase dei due segnali L1 e L2.
- La misura del TEC dipende dal cammino fatto dal segnale, quindi la misura diretta da il TEC lungo il cammino dal RX al satellite.

In realtà quello che si vorrebbe sapere è il valore del TEC sulla verticale del ricevitore: prendendo la misura diretta si commette un errore (tanto più grande quanto più il satellite è basso sull'orizzonte). Si presenta quindi il problema del passaggio dallo slant TEC (STEC), quindi, con un algoritmo matematico, questo valore viene convertito in **VTEC** (TEC Verticale), che è il valore che a noi interessa per calcolare Faraday.

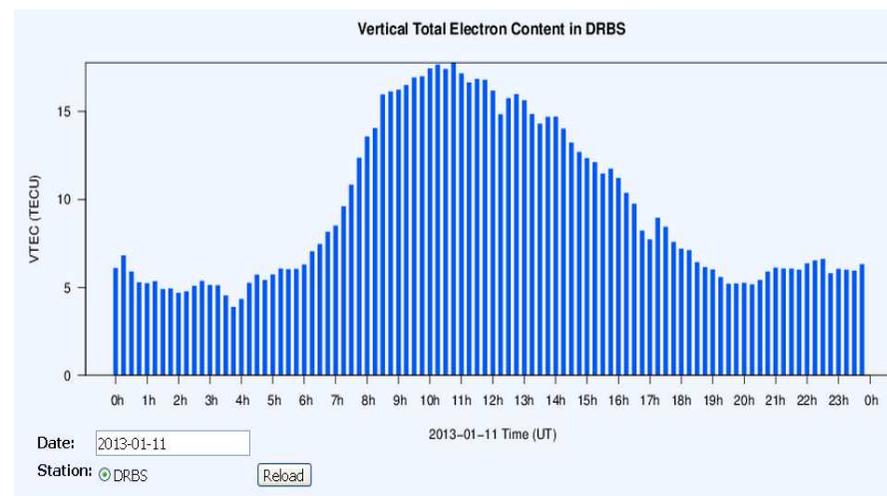
# I diagrammi del VTEC

Il valore calcolato del contenuto elettronico VTEC, viene fornito da una serie di enti di ricerca presenti sul web

Noi abbiamo scelto di lavorare con il **Royal Observatory of Belgium (ROB) di Dourbes**, in quanto pubblica grafici molto dettagliati sul VTEC e hanno un archivio consultabile per data.



VTEC Estate (Agosto)



VTEC Inverno (Gennaio)

# Spessore della ionosfera (Slab thickness)

- La ionosfera non è misurabile con un numero, la sua densità varia con la quota.

Un'onda che attraversa verticalmente incontra densità crescenti di elettroni, poi, dopo una densità massima (picco F2), decresce. Per ricavare il contenuto totale di elettroni N incontrato, è sufficiente fare un integrale della curva della densità. Oppure trovare un'area rettangolare equivalente (rettangolo rosso).

Il rettangolo ha altezza  $h=275$  km e larghezza  $1 \cdot 10^6$  elettroni/cm<sup>3</sup> =  $1 \cdot 10^{12}$  elettroni/m<sup>3</sup>

Una colonna di sezione 1 m<sup>2</sup>, lunga 275 km, ha un contenuto di elettroni (elettr.\*m/m<sup>3</sup>=elettr./m<sup>2</sup>)

$$N = 1 \cdot 10^{12} \cdot 275 \cdot 10^3 = 27,5 \cdot 10^{16} = 27,5 \text{ TECU}$$

E' del tutto arbitraria la scelta del rettangolo, deve solo avere la stessa area della curva della densità.

Dourbes ha scelto di usare il valore di picco F2, da cui lo Slab Thickness  $h = 275$  km.

**Con due soli numeri si è creata una schematizzazione della ionosfera, efficace e semplice.**

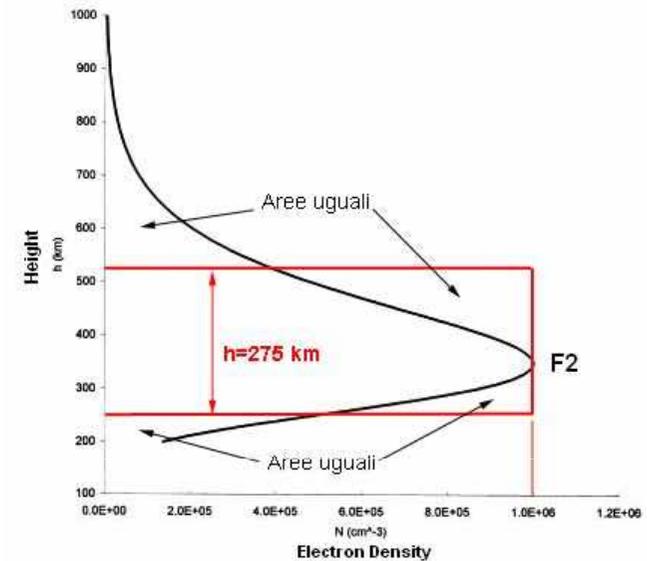
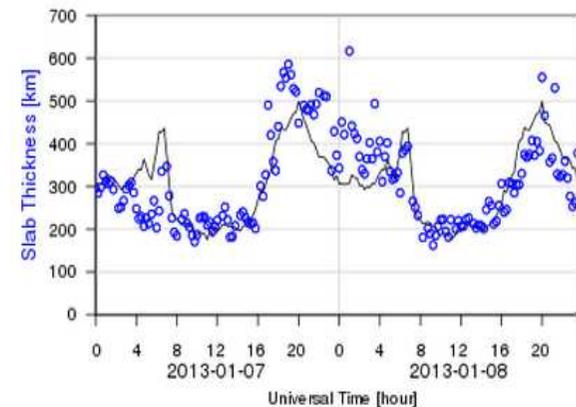


Fig. Schematic electron density height profile  
Source: Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics



Slab thickness reale (fonte Dourbes)

da VTEC ad STEC (Ka), funzione di elevazione

$$\Phi = k * B * \text{TEC} / f^2$$

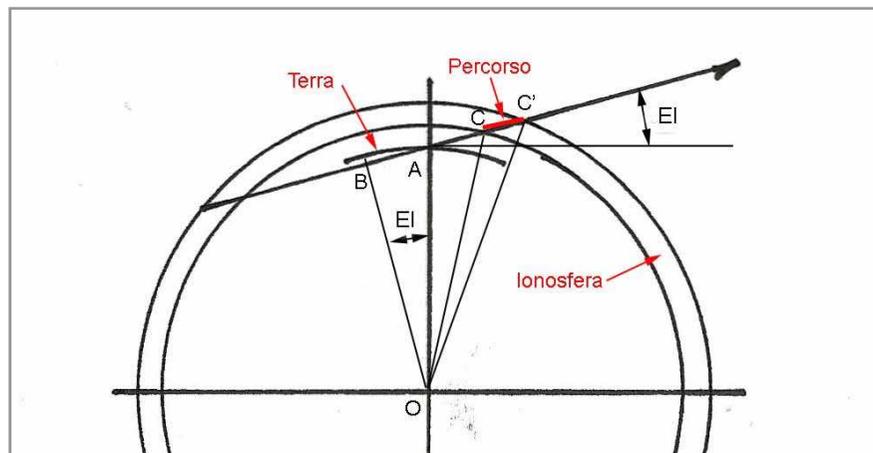
Quando l'attraversamento è obliquo abbiamo un allungamento del percorso rispetto alla verticale con la conseguenza che il TEC incontrato aumenta.

Definiamo questo parametro come STEC (Slant TEC).

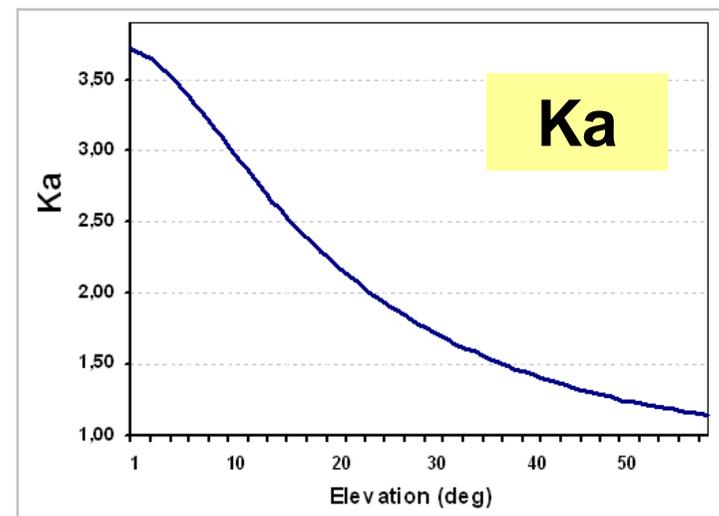
Se la ionosfera fosse piana, si avrebbe  $\text{STEC} = \text{TEC} / \sin(EI)$ .

Poiché è una calotta sferica, useremo una formula più complessa per trovare il fattore moltiplicativo  $\text{STEC}/\text{VTEC}$  in funzione dell'elevazione e dello spessore della calotta.

$$\text{Useremo } \text{TEC} = \text{STEC} = K_a * \text{VTEC}$$



L'allungamento del percorso in funzione dell'elevazione



Dove  $K_a$  è il fattore moltiplicativo calcolato per una ionosfera con  $h=350$  km

# I nostri strumenti

- Abbiamo sviluppato due fogli Excel di calcolo.
- Il primo per verificare la congruenza delle nostre formule, paragonando la rotazione calcolata con la rotazione reale trovata su LiveCQ.
- Arrivati alla versione 9, la congruenza è risultata buona.

Microsoft Excel - EA5CJ-PA3FPQ 26.11.2012 KP=2 VER9.xls

File Modifica Visualizza Inserisci Formato Strumenti Dati Finestra ?

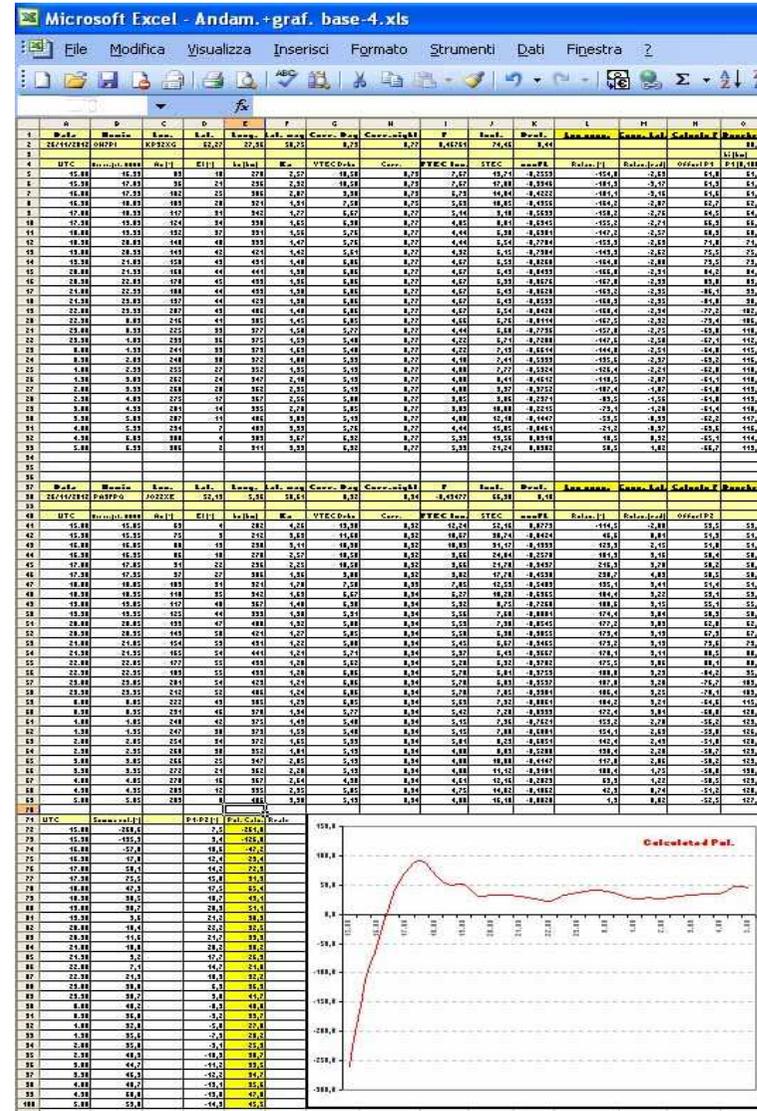
Digitare una domanda:

Arial 10

Foglio di Calcolo per propagazione Trans-ionosferica a 144 MHz NIGHT TIME VERSION																	
Spotted	locator	lat	long	Corr YTEC	inclinazione[°]	F (Gaurr) ***	Geom. Latitudo	Declinazione[°]	CalcoloErlang	Geom.Latitudo	Douibes	Riassunto dati					
EA5CJ	IM99TL	39,28	-0,375	0,3	53,82	0,38981	34,19	-0,836	WINLOG software	Kp=2 quiet		stage	UTC	Data Gradi	Diff. calcolata	Reale	
Data	UTC	Ora Locale	Ora loc.(dec.)	AZ [°]	EI spotted [°]	YTEC-DRBS	YTEC (recov)	h (Km)	Ka	A (dB)	F (Gaurr)	θ (°)	P [°]	Intervallo			
26-nov-12	19:28	19:08	19,14	108,4	44,71	7,27	11,4	280	1,37	0,061	0,38981	-274,82	39,11	19:28	19,42	-5,10	-5
	20:30	20:10	20,17	121,64	65,61	5,95	9,9	280	1,18	0,047	0,38981	-265,40	46,48	20:30	24,52		
Spotter	locator	lat	long	Corr YTEC	inclinazione[°]	F (Gaurr) ***	Geom. Latitudo	Declinazione[°]									
PA3FPQ	JO22XE	52,1875	5,95833	0,2	66,90	-0,43378	49,69	0,164									
Data	UTC	Ora Locale	Ora loc.(dec.)	AZ [°]	EI spotted [°]	YTEC-DRBS	YTEC (recov)	h (Km)	Ka	A (dB)	F (Gaurr)	θ (°)	P [°]				
26-nov-12	19:28	19:33	19,58	124,26	43,25	6,8	6,2	280	1,40	0,034	-0,43378	195,55	58,03				
	20:30	20:35	20,59	142,95	50,09	5,62	5,2	280	1,27	0,026	-0,43378	171,02	67,29				

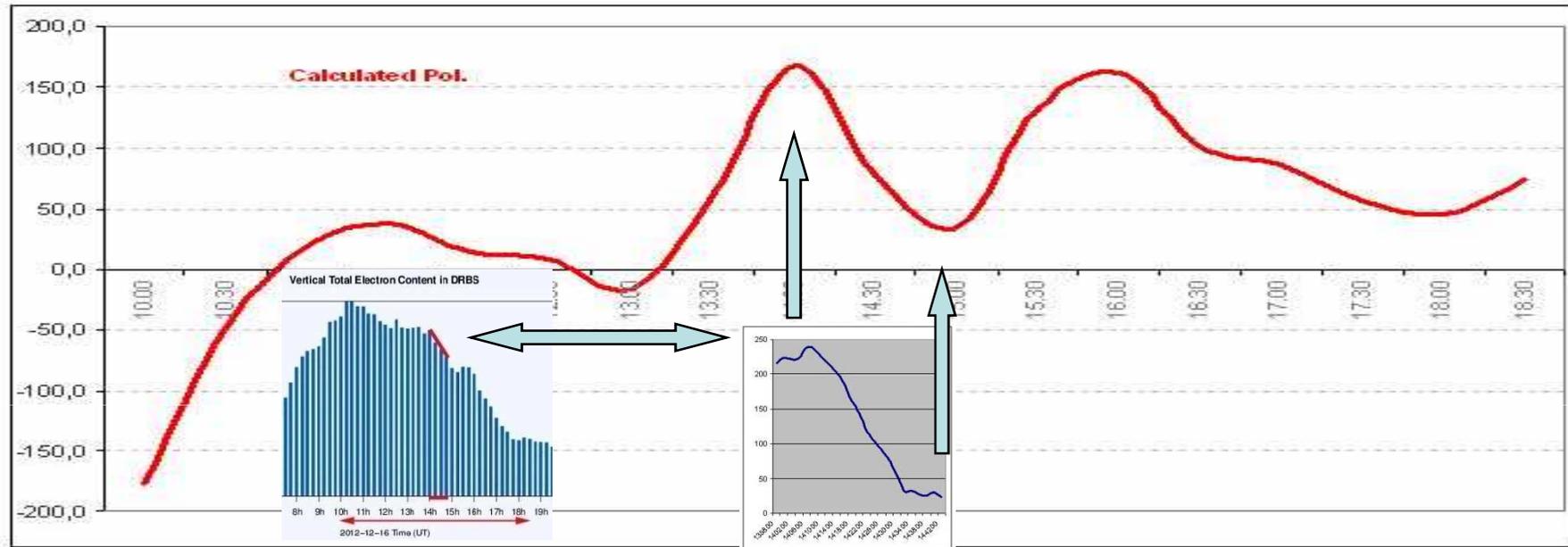
# I nostri strumenti

- Il secondo, con le formule collaudate, copre una intera giornata lunare, dando così una visione a largo spettro dell'andamento della Pol.
- Anche in questo caso l'andamento calcolato è risultato coerente con l'andamento reale.
- Vi mostriamo alcuni casi.



# Andamento POL: SP4MPB spottato da PA3FPQ

16-12-2012 – 1000 km a ENE di spotter

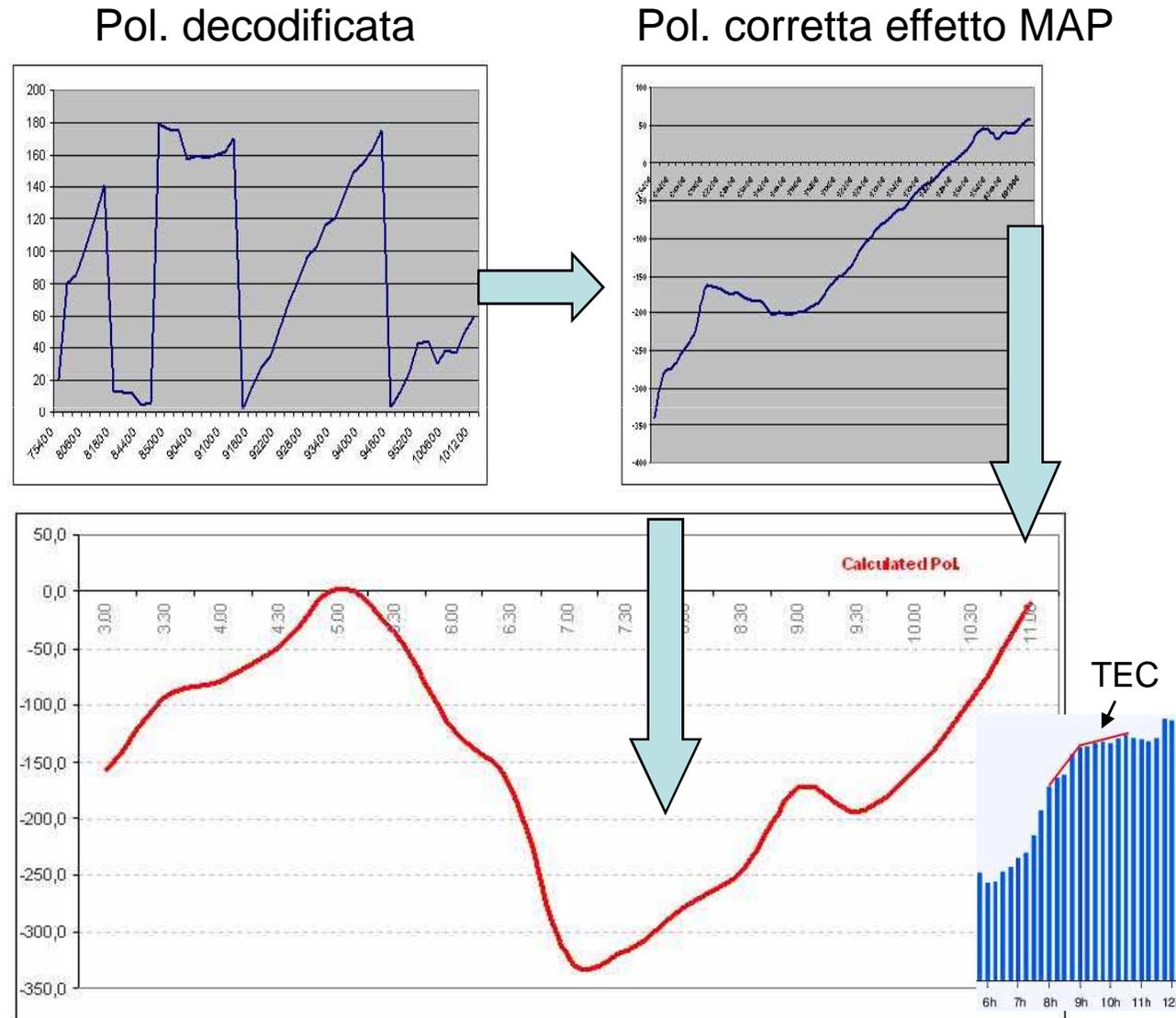
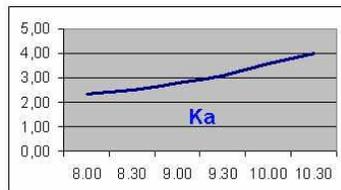


- SP4MPB è stato attivo dalle 13.58 alle 14.42 utc.
- In questa fase il TEC ha avuto una forte discesa, seguito successivamente da una breve risalita, per poi scendere al tramonto. Andamento calcolato e reale sono coerenti.

# Andamento Pol: HA8CE spottato da PA3FPQ

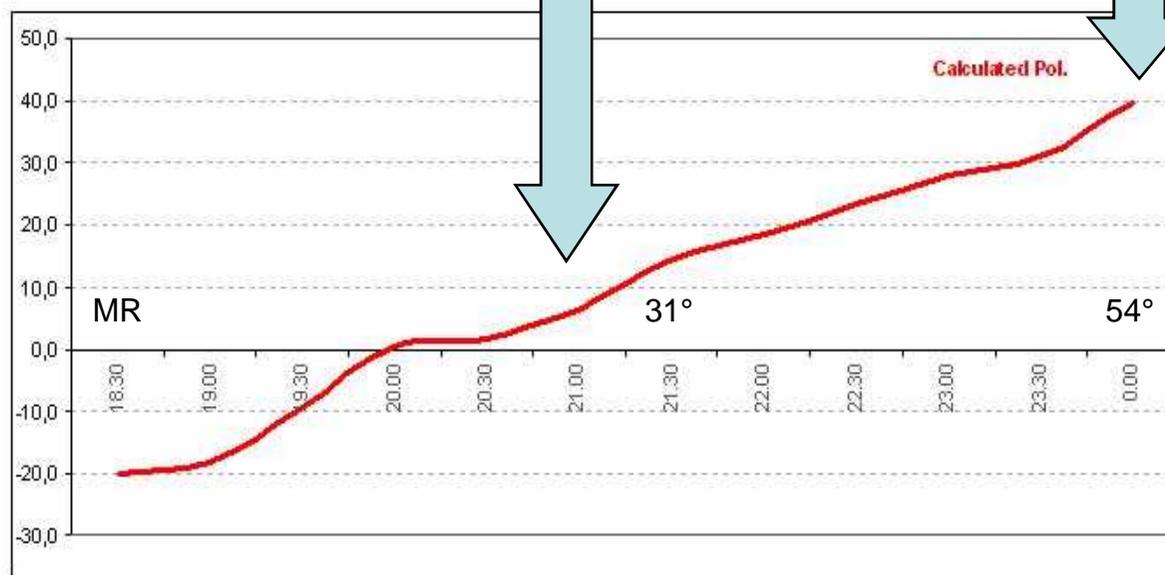
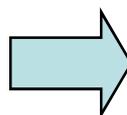
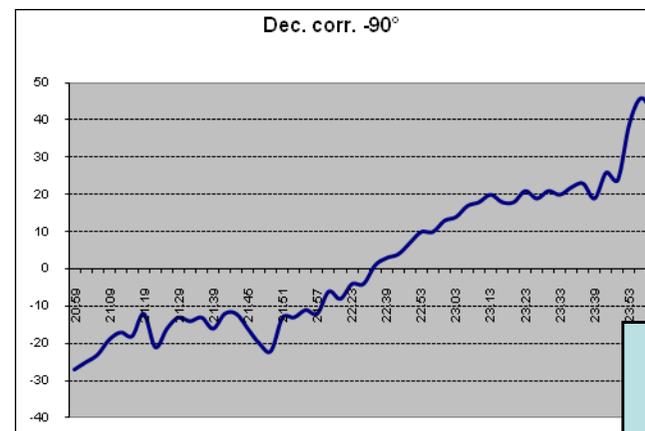
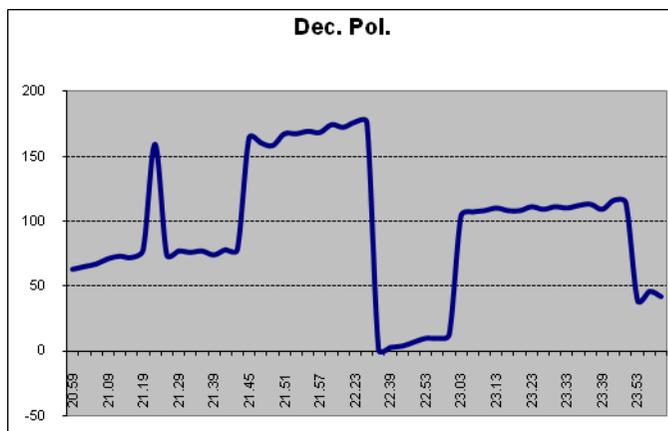
7-1-2013 – 1216 km a SE di spotter

- Prima operazione: correggere l'effetto MAP.
- Ha operato dalle 9.02 alle 10.12z con TEC crescente e tramonto lunare, cioè elevazioni decrescenti e Ka crescente.



# Andamento Pol: I2FAK spottato da PA3FPQ

1/12/2012 – Contest ARRL – 828 km a SSE di spotter



Condizioni notturne,  
con elevazioni luna  
crescenti.

VTEC



# Variazione Pol

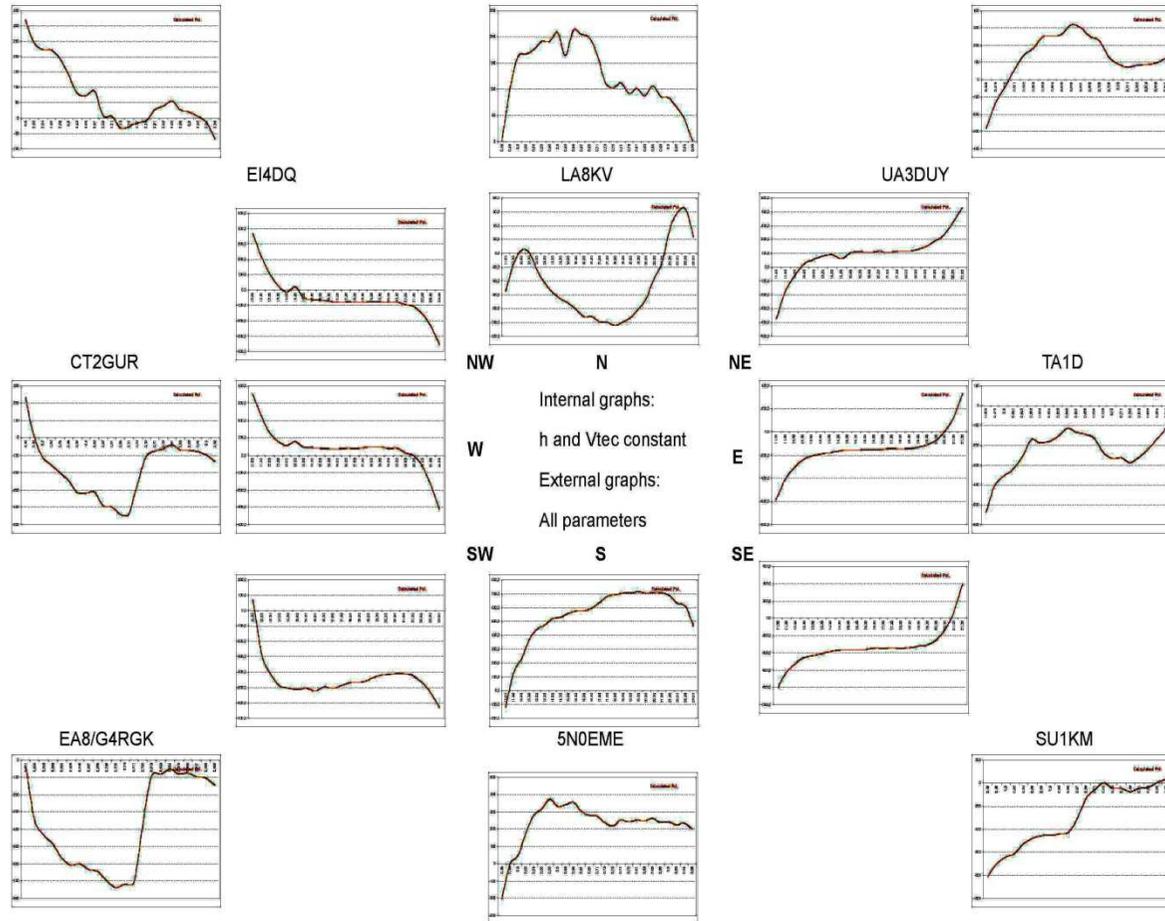
- Andamenti riferiti a spotter IK1UWL (19-12-2012, 11.00-23.00z)
- Rotazioni spotter positive, rotazioni spotted negative.

## STAZIONE AD OVEST

1° fase:  
Da lui MR,  
da me luna alta.  
Predomina  
variaz. cosFL spotter  
Pol. decrescente

2° fase:  
Spessore e TEC  
costanti  
Pol. costante

3° fase:  
Da lui luna alta,  
da me MS.  
Predomina  
variaz. cosFL spotter  
Pol. decrescente



## STAZIONE AD EST

1° fase:  
Da lui luna alta,  
da me MR.  
Predomina  
variaz. cosFL spotter  
Pol. crescente

2° fase:  
Spessore e TEC  
costanti  
Pol. costante

3° fase:  
Da lui MS,  
da me luna alta.  
Predomina  
variaz. cosFL spotter  
Pol. crescente

<b>STAZIONE vicina a</b>	<b>MR</b>	<b>MS</b>
<b>SPOTTER</b>	<b>Pol +</b>	<b>Pol -</b>
<b>SPOTTED</b>	<b>Pol -</b>	<b>Pol +</b>
<b>Entrambi</b>	<b>Pol +</b>	<b>Pol -</b>

## Prossimi sviluppi

- Prevedibilità di Faraday: stiamo cominciando ad intuire alcune tendenze ripetitive, da cui poter dedurre qualche regola.
- A questo scopo ci serve una base statistica ampia, che stiamo costruendo gradatamente, calcolando tantissimi casi (con relativa verifica con l'andamento reale letto su LiveCQ).
- Riteniamo di poter completare questa ricerca entro il 2013.

## Referenze

- INGV istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- TOTAL ELECTRON CONTENT STUDIES OF THE IONOSPHERE John A. Klobuchar,, e t al Air Force Cambridge Research Laboratories L. G. Hanscom Field, Massachusetts
- The Potential of Broadband L-Band SAR Systems for Small Scale Ionospheric TEC Mapping  
(Remote Sensing Technology Institute, German Aerospace Center (DLR) Oberpfaffenhofen, D - 82234 Wessling, Germany  
Institute of Communication and Navigation, German Aerospace Center)
- GEOMAGNETISM TUTORIAL Whitham D. Reeve Reeve Observatory Anchorage, Alaska USA
- Frederick University, 7 Y. Frederickou St., Palouriotisa, Nicosia 1036, Cyprus
- Electron density measurements of the plasmasphere – experimental observations and modelling studies  
Cooperative Research Centre for Satellite Systems Department of Physics, La Trobe University Bundoora, Australia
- Propagation Factors In Space Communications ( NATO)
- Seasonal variations of storm-time TEC at European middle latitudes Royal Meteorological Institute (RMI), Belgium
- *Radio Wave Propagation* by Lucien Boithias, published by North Oxford Academic
- Documenti vari fonte NASA
- Documenti vari fonte NATO

## Collaborazioni

Live CQ (Renè, PE1L)

Royal Observatory of Belgium (ROB) - Dourbes, B