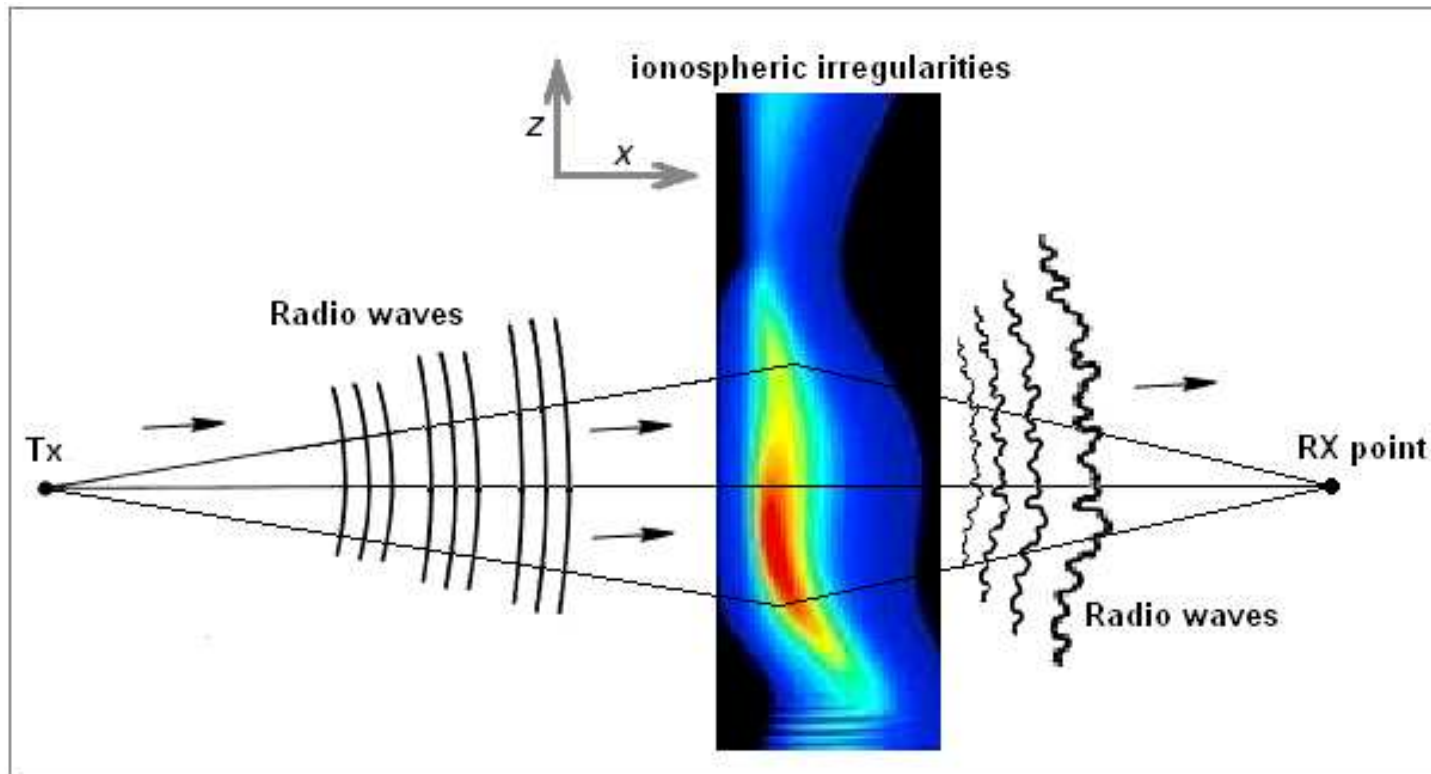


Il ruolo della Ionosfera nelle comunicazioni EME

Convegno EME Italiano 2012



Credits: AGU American Geophysical Union

Introduzione

Questa ricerca è praticamente il completamento di quanto presentato al Convegno EME 2011, sul fading ionosferico nelle comunicazioni EME sui 144 MHz. L'obiettivo è quello di fare un'indagine più approfondita sull'influenza della ionosfera. Alcuni concetti sono nuovi, altri sono già stati precedentemente espressi o vengono ulteriormente approfonditi.

- Analogia onde Elettromagnetiche e onde luminose
- Lo spessore della ionosfera
- Il fading sui segnali EME
- Qualche cenno sulle proprietà di riflessione della superficie lunare
- La scintillazione Ionosferica
- Possibili fenomeni di focusing/defocusing ionosferico

Rec. ITU-R P.531-7

1

RECOMMENDATION ITU-R P.531-7

**Ionospheric propagation data and prediction methods required
for the design of satellite services and systems**

(Question ITU-R 218/3)

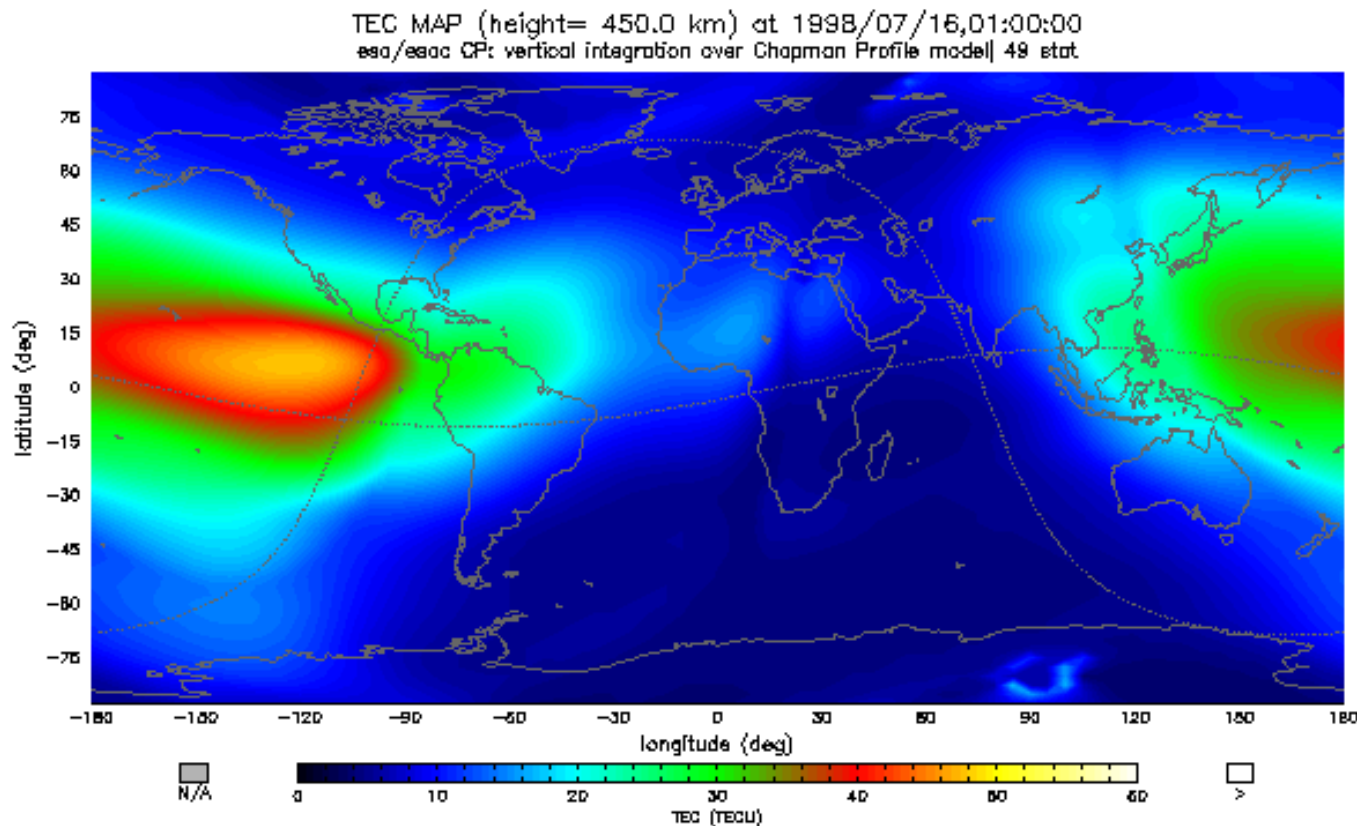
(1978-1990-1992-1994-1997-1999-2001-2003)

ITU Annex 1 Introduction:

“furthermore, localized ionospheric irregularities also act like convergent and divergent lens which focus and defocus the radio waves. Such effects are commonly referred to as the scintillations which affect amplitude, phase and angle-of-arrival of the Mobile satellite service.”

Ionosfera

- È un mezzo non omogeneo, in quanto la densità elettronica varia con la quota, ma vi sono anche gradienti orizzontali.
- È un mezzo non isotropo in quanto la componente ionizzata 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



Analogia onde Elettromagnetiche e onde luminose

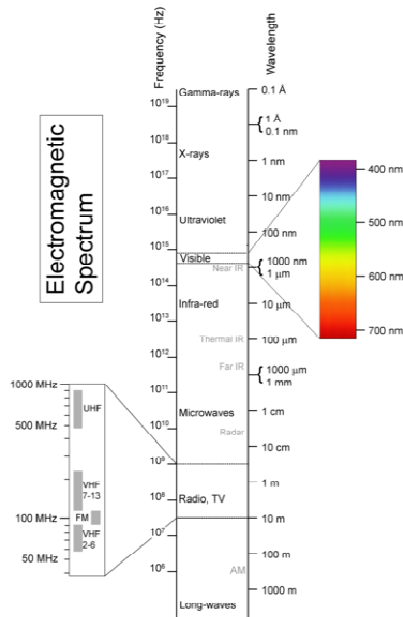
Un'onda Radio non differisce in nulla da un'onda luminosa ad eccezione della lunghezza d'onda e quindi dalla frequenza. Entrambe le grandezze sono infatti legate alla costante C velocità della luce: se diviene grande λ deve diminuire F

$$c = \lambda * F$$

Le onde Radio seguono gli stessi principi dell'Ottica

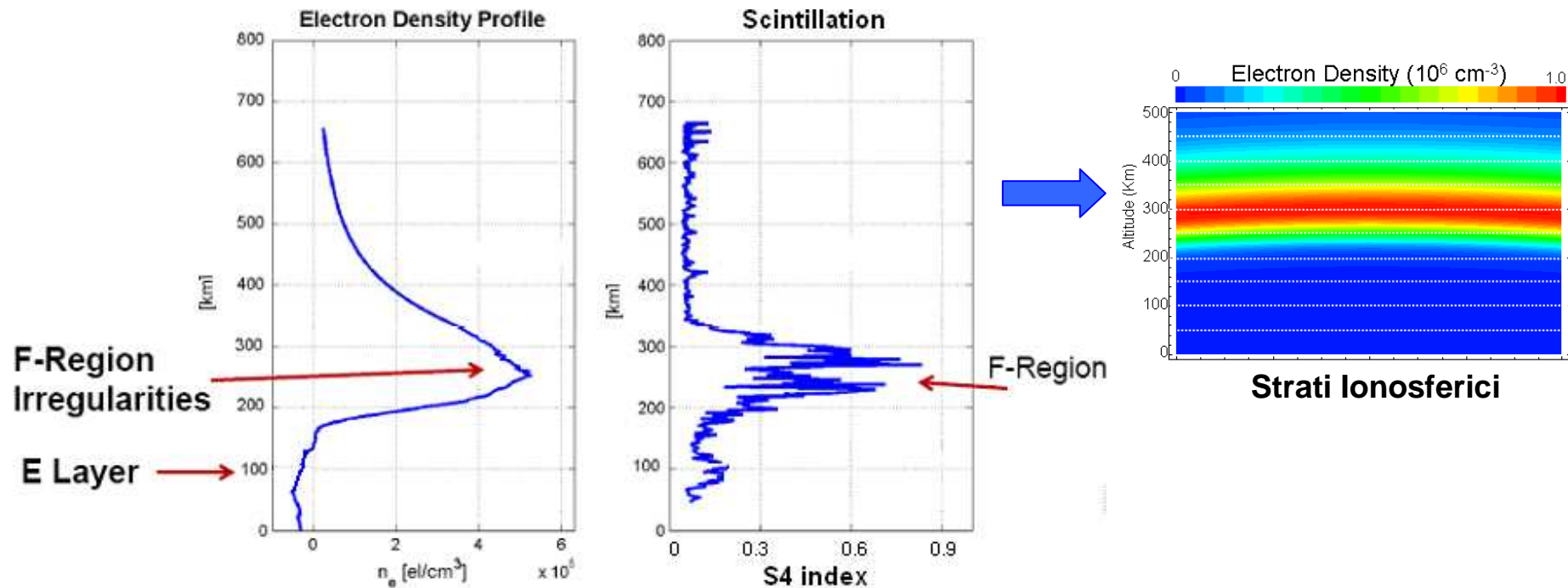
□ La Ionosfera in generale agisce da rifrattore per le onde Radio in quanto si comporta come un dielettrico la cui costante è minore di 1, ossia minore della costante dielettrica del vuoto.

□ Se il segnale in arrivo attraverso un percorso nella Ionosfera è affetto da scintillation (fading Rapido) non vi sono altre alternative, o è passato attraverso un rifrattore turbolento oppure attraverso un rifrattore che presentava numerose non omogeneità.



Localizzazione delle irregolarità ionosferiche

- ❑ Le scintillazioni ionosferiche sono legate alla densità elettronica.
- ❑ La maggiore densità elettronica si ha ad un'altezza compresa tra 200 e 300 Km (STRATO F) Quindi è estremamente probabile che la maggior parte dei disturbi siano originati in questa area.



(S4 is the normalized variation of the signal intensity)

S4 index: L'ampiezza della Scintillazione è quantificata mediante il parametro S4 che è la deviazione standard dell'intensità del segnale ricevuto calcolata in un determinato intervallo di tempo, generalmente 60 secondi. S4 è un numero adimensionale con un limite massimo di 1.

$$S_4 = \frac{\sqrt{\langle (I - \langle I \rangle)^2 \rangle}}{\langle I \rangle}$$

Dove I= Intensità del segnale

Intensa scintillazione si ha per valori di S4 > di 0,6

Variazioni diurne del TEC

Di notte avviene la ricombinazione di ioni ed elettroni, con diminuzione del TEC.

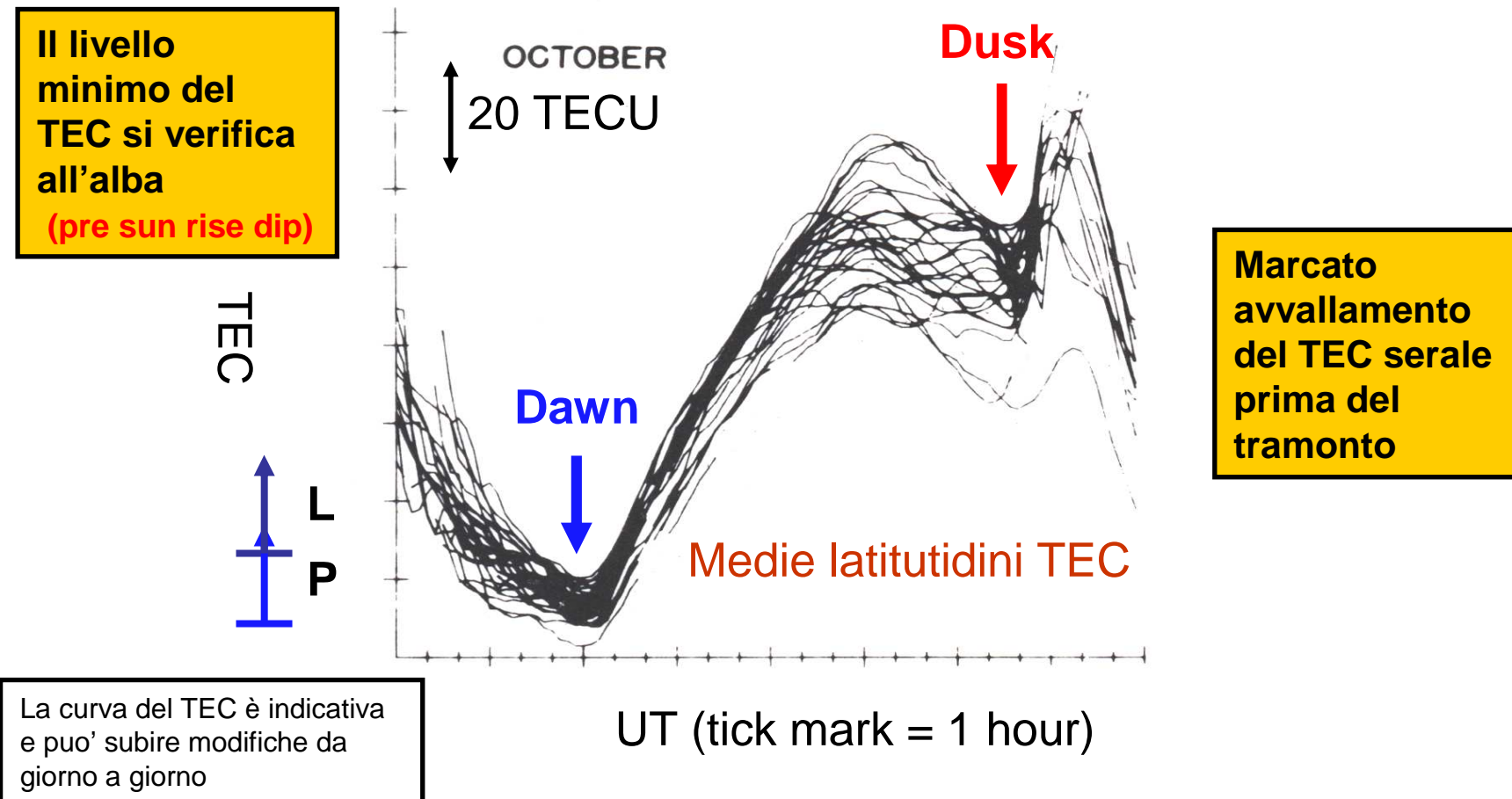
Di giorno predomina la scissione, con aumento del TEC.

Minimi e massimi sono però sfalsati.

Il TEC risale prima dell'alba e scende prima del tramonto.

La causa ? La ionosfera è sede di fortissimi venti da Est verso Ovest.

TEC= Total electron content



Variazioni stagionali del TEC

Possiamo avere delle variazioni stagionali nel contenuto elettronico totale e variazioni legate al ciclo undecennale del sole

Variazioni Stagionali

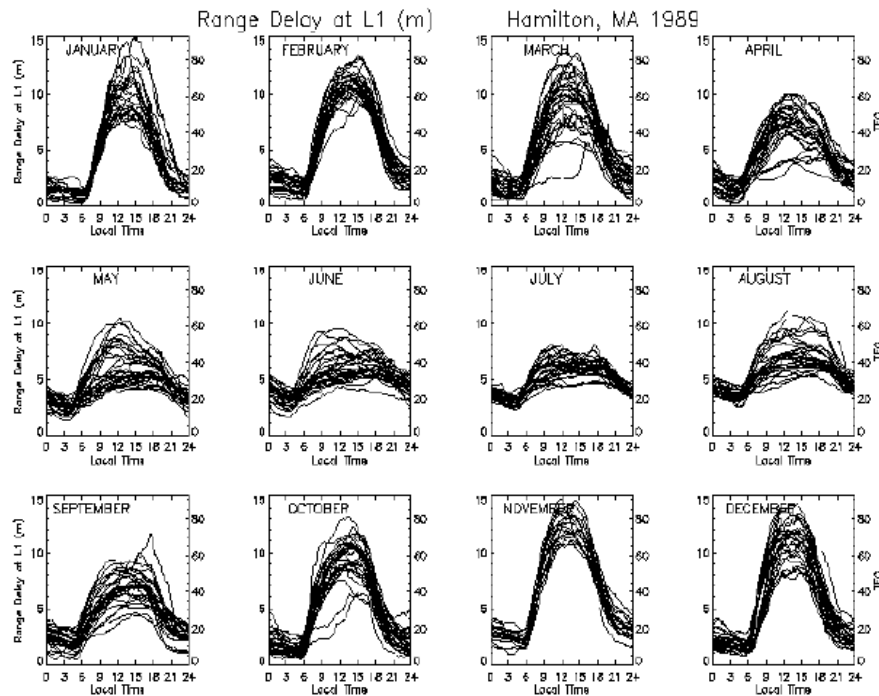
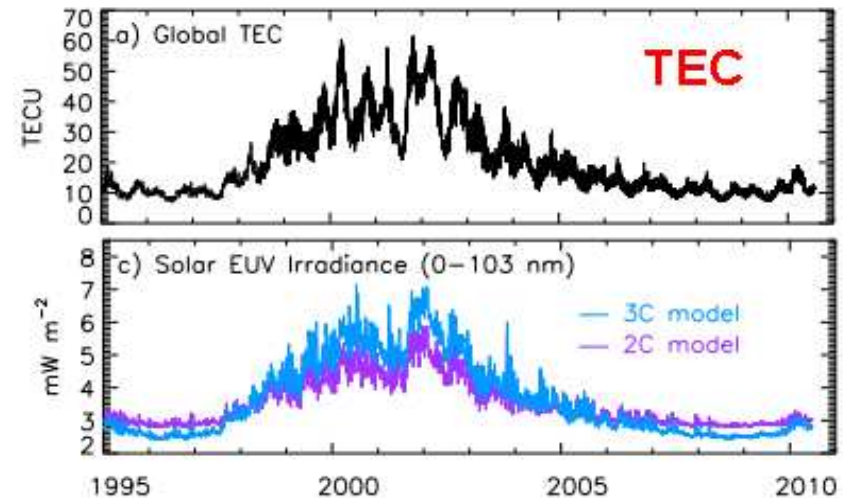
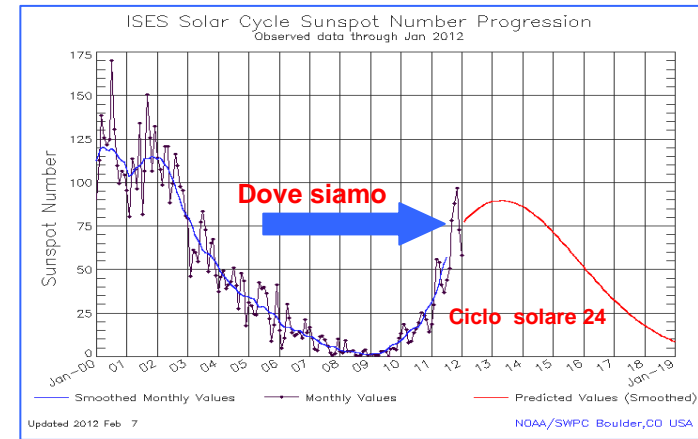


Figure 2.2. Ionospheric TEC variability provides a measure of how the ionosphere varies over Hamilton, Massachusetts during 1989. (One TEC is 10^{16} electrons per square meter.) Note the day-to-day and seasonal variation (Borer, 2005).

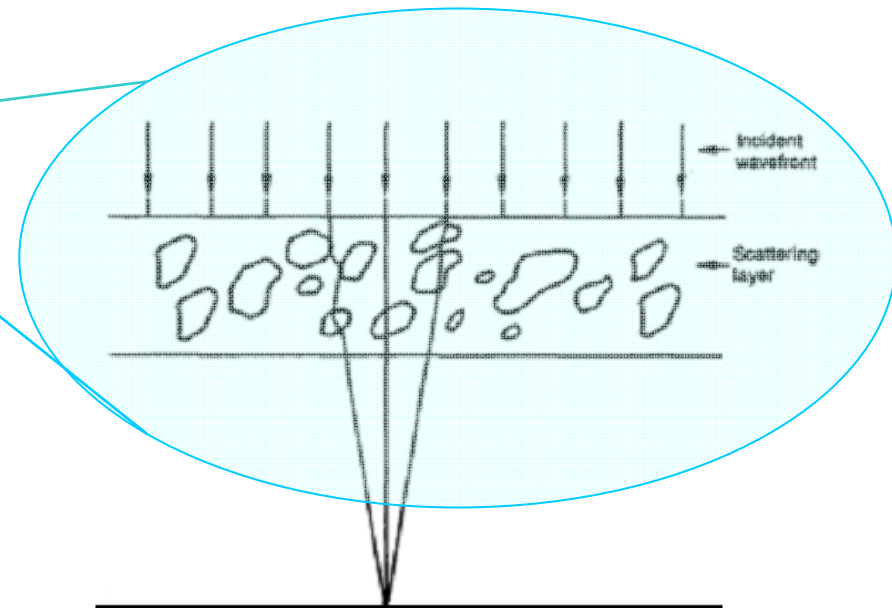
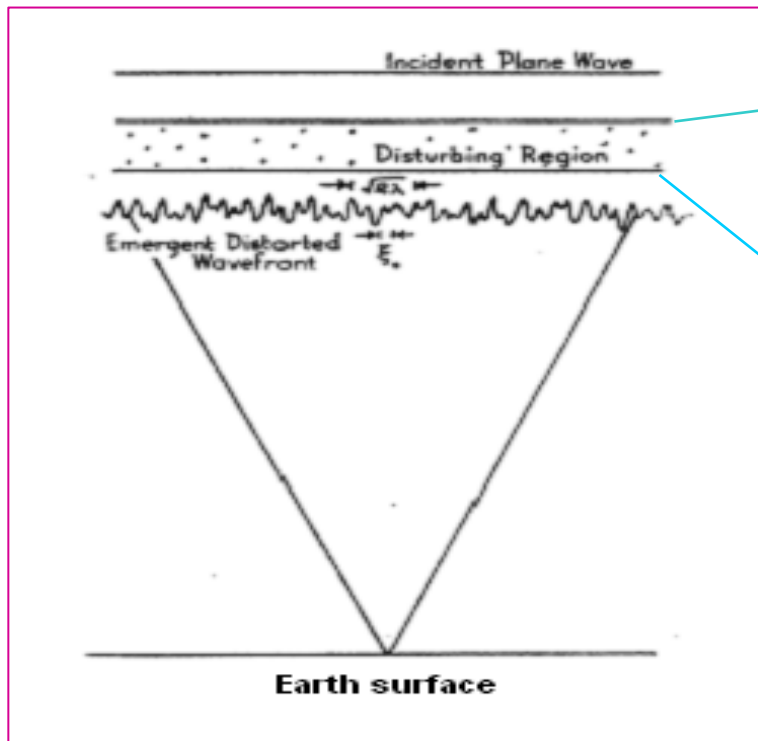
Il TEC presenta anche variazioni legate al ciclo solare.



La scintillazione Ionosferica

Scintillazione = Rapide fluttuazioni in ampiezza e fase dei segnali radio che attraversano la ionosfera dovute a turbolenze generate da irregolarità ionosferiche.

- ❑ Le irregolarità presenti nella ionosfera causano variazioni dell'indice di rifrazione e producono quindi scintillazione sull'intensità dei segnali. La ionosfera terrestre è un plasma per sua natura irregolare che forma uno schermo diffrattivo casuale, irregolarità sono sempre presenti
- ❑ Le Scintillazioni sono provocate da agglomerati/bolle di plasma localizzati principalmente tra la regione E ed F della ionosfera in costante movimento a causa della natura turbolenta della ionosfera
- ❑ Questi agglomerati/bolle di ionizzazione agiscono come radio lenti concave/convexe
- ❑ In EME abbiamo un doppio transito nella ionosfera (Gli effetti della ionosfera sono additivi)



La scintillazione ionosferica diminuisce all'aumentare della Frequenza

- ❑ L'ampiezza della scintillazione è inversamente proporzionale al quadrato della frequenza
- ❑ In VHF prevale la componente Ionosferica, alle frequenze piu' elevate prevale quella Troposferica

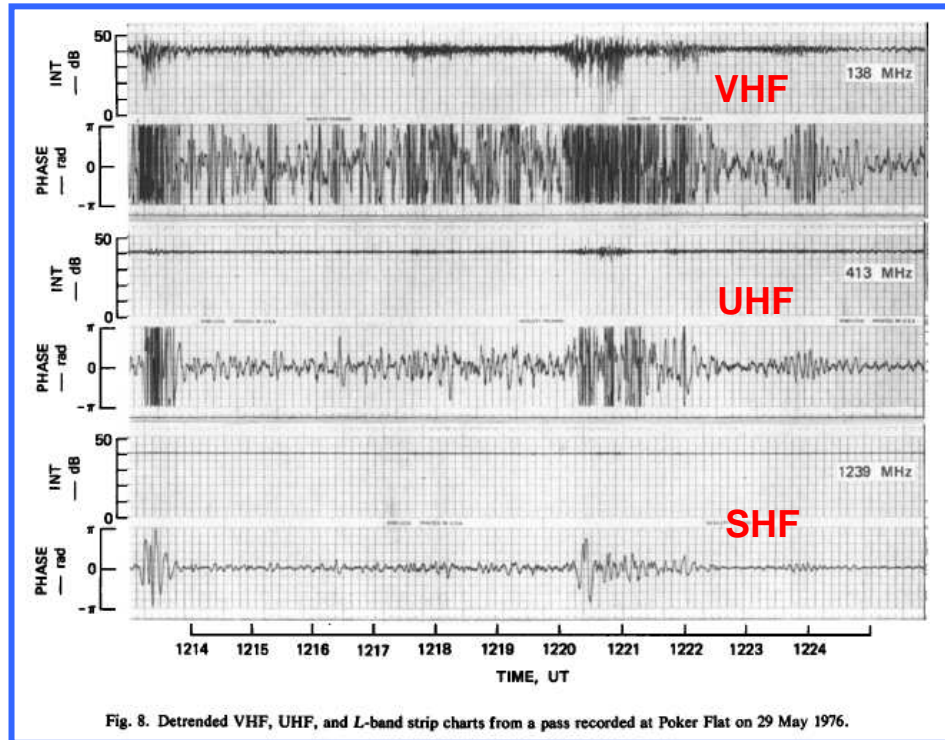
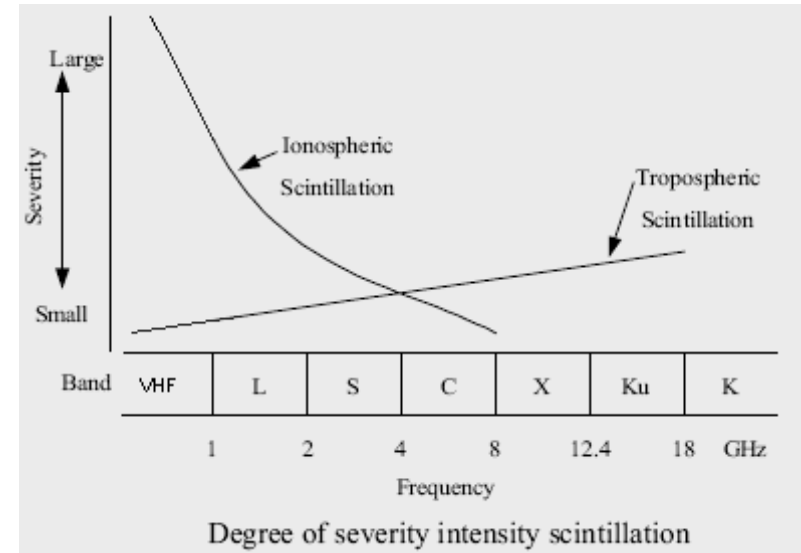


Fig. 8. Detrended VHF, UHF, and L-band strip charts from a pass recorded at Poker Flat on 29 May 1976.



Courtesy: Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology- King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok-Thailand.

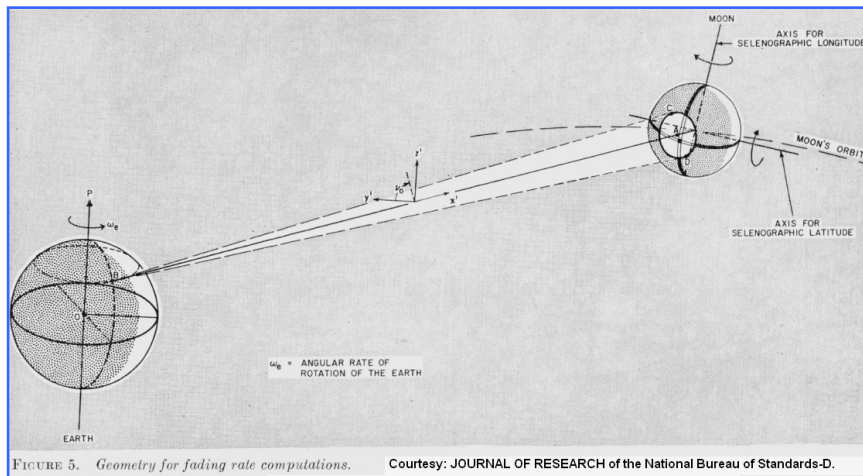
Courtesy: Radio Science, Volume 13, Number 1, pages 167-187, January-February 1978 AGU American Geophysical Union

Libration Fading

I segnali riflessi dalla superficie lunare tendono ad avere una veloce, fluttuazione di fading conosciuto come Libration Fading. E' causato dalla superficie irregolare della luna, che "oscilla avanti e indietro", ad una osservazione da terra , sommato anche il movimento di rotazione e rivoluzione terrestre. Il fading di Librazione può causare fluttuazione dei segnali sopra e sotto il livello medio. La fluttuazione da Libration Fading è direttamente proporzionale alla frequenza (il fading è più veloce all'aumentare della frequenza). Quindi un picco di librazione che dura 3 secondi su 144 MHz sarà soltanto di 1 secondo su 432 e 1/3 di un secondo su 1296.

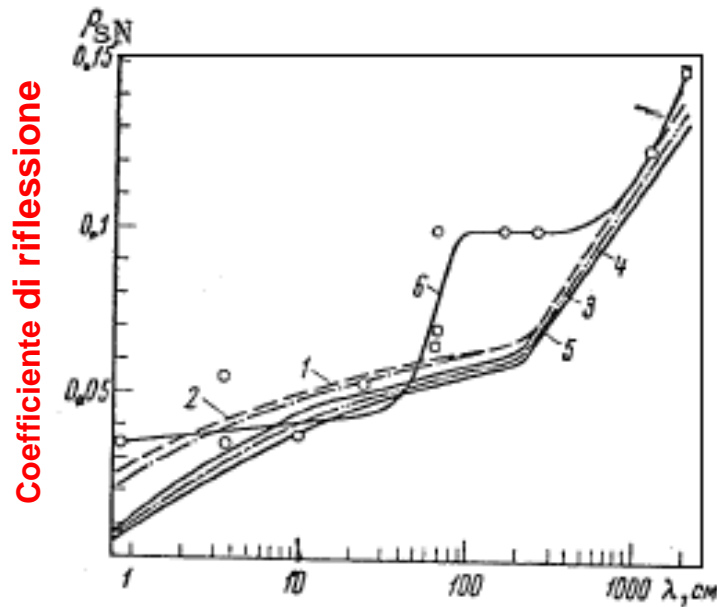
Libration Fading aumenta con la Frequenza

- ❑ La librazione lunare si deve principalmente al suo ciclo di rotazione di 28 giorni
- ❑ La librazione terrestre è dovuta principalmente alla sua rotazione giornaliera



Simulated views of the Moon over one month, demonstrating librations in latitude and longitude Courtesy: Wikipedia

Apriamo una parentesi: Proprietà di riflessione della superficie Lunare



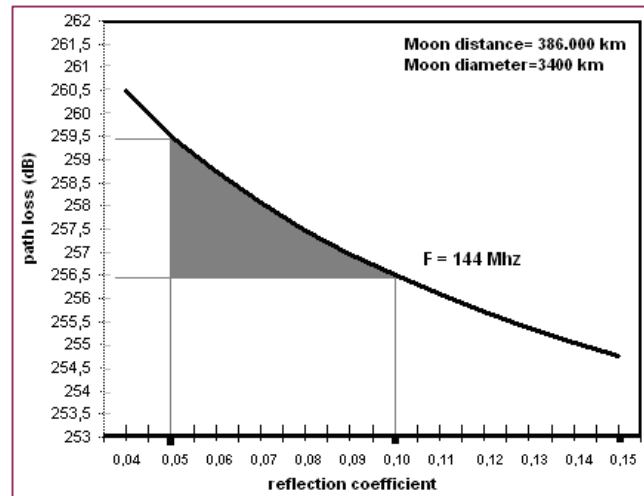
Coefficiente di riflessione

Il coefficiente di Riflessione della superficie Lunare diminuisce con l'aumentare della frequenza

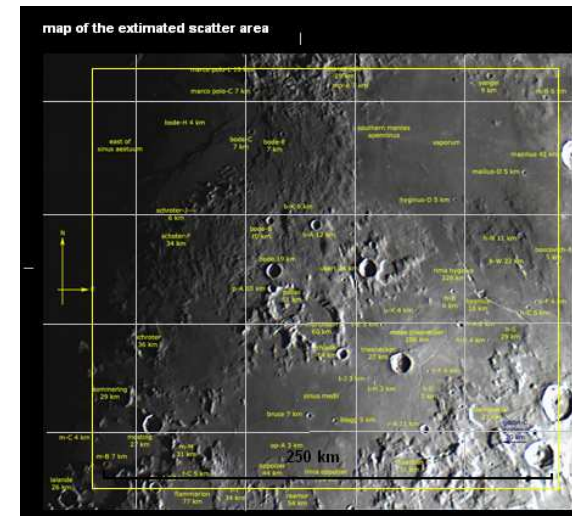


Wave-length, cm	$P_s N$	Author of Experiment	Author of Processing	Year of Measurement
0.86	0,035	Linn	Evans and Hagfors [108]	1961
3.2	< 0.1	Kobrin	Kobrin [31]	1957
3.6	0,035	Norrow	Girand [116]	
3.6	0,055	Evans and Pettengill	Evans and Hagfors [108]	1963
10	< 0.1	Kobrin	Kobrin [31]	1954
10	0,038	Hughes	Girand [116]	1961
58	0,065	Pettengill	Evans and Hagfors [108]	1960
68	0,057	Pettengill	Rea et al. [157]	1960
73	0,07	Fricker et al.	Fricker et al. [111]	1960
75	0.1	Leadbrand	Pettengill [154]	1959
150	0.1	Trexler	Trexler [70]	1958
250	0.1	Evans	Evans [80]	1957
300	0.1	Evans	Evans et al. [59]	1959
1130	0.125	Davis and Rohlf	Davis and Rohlf [103]	1964
1920	0.15	Davis and Rohlf	Krupenio [40]	1964

Images Courtesy: NASA National Aeronautics and space Administration, "Radar Studies of the moon" by N.N Krupenio



Per una variazione da 0,05 a 0,1 del coefficiente di riflessione le variazioni del path loss non superano i 3 dB



Credit line for this slide: NASA National Aeronautics and space Administration

Fading da librazione

❑ Periodo molto breve secondi/ decine di secondi

❑ dovuto a: Librazione + scintillazione ionosferica

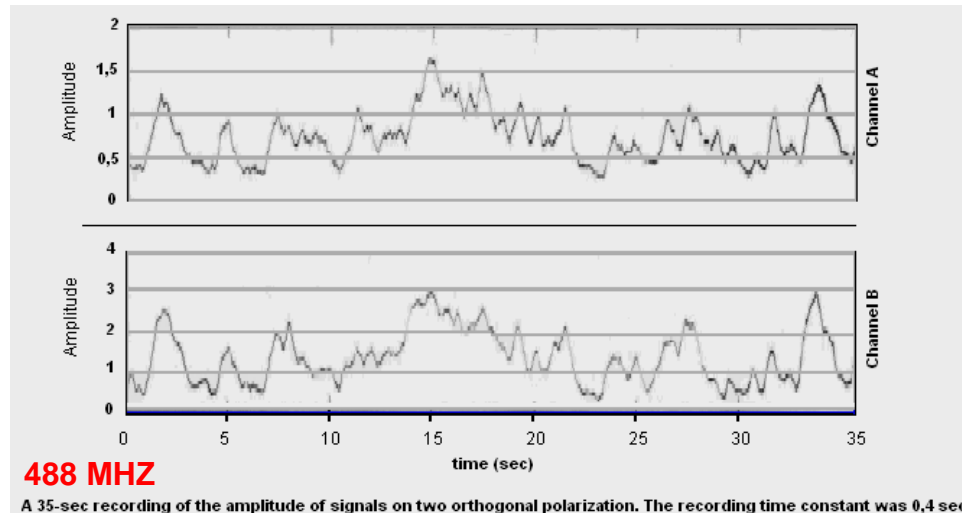
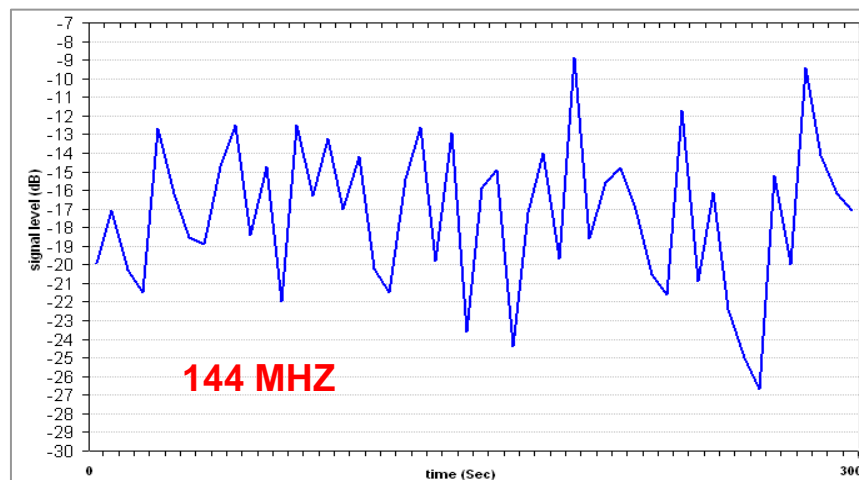


Image courtesy: NIST National Institute of standard and Technology Radio science dipartiment

In UHF prevale il fading rapido da librazione

Il livello del fading e' di circa 8 dB. Al diminuire della frequenza scende il fading da librazione e tende ad aumentare la componente dovuta a turbolenza ionosferica



Echo test: IK1UWL con polarizzazione circolare (Ionosfera tranquilla)
echi con WSJT "no avg" versisone speciale senza media

In VHF prevale la scintillazione ionosferica

Confronto con WSJT a 144 MHZ
variazione media nell'ordine di 12-13 dB dovuta principalmente a scintillazione ionosferica (fading da librazione circa 3db)

Eco lunare è quasi speculare in VHF
diffusione aumenta alle frequenze piu' elevate

Fading da Assorbimento Ionosferico

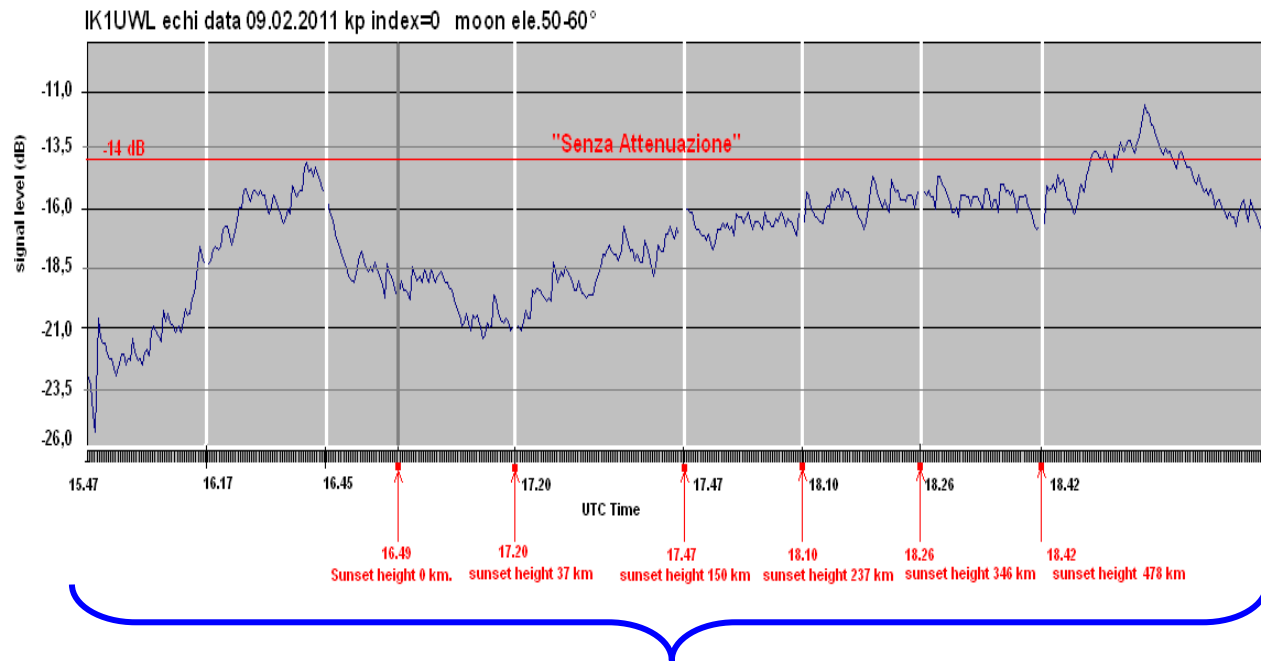
- ❑ Periodo molto lento: alcuni minuti/decine di minuti
- ❑ Dovuto alla natura instabile e turbolenta della Ionosfera terrestre

In condizioni di ionosfera nella norma, l'assorbimento è inferiore nelle ore notturne

Assorbimento Ionosferico

Condizioni diurne tipiche calme
(Un attraversamento)

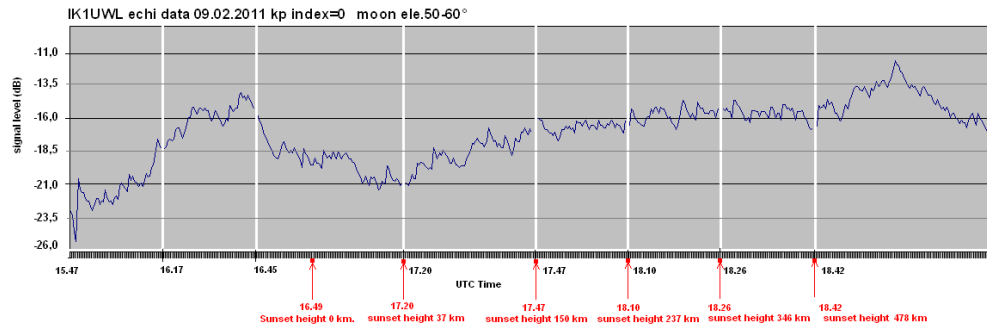
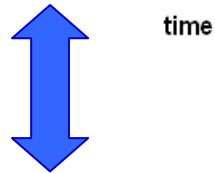
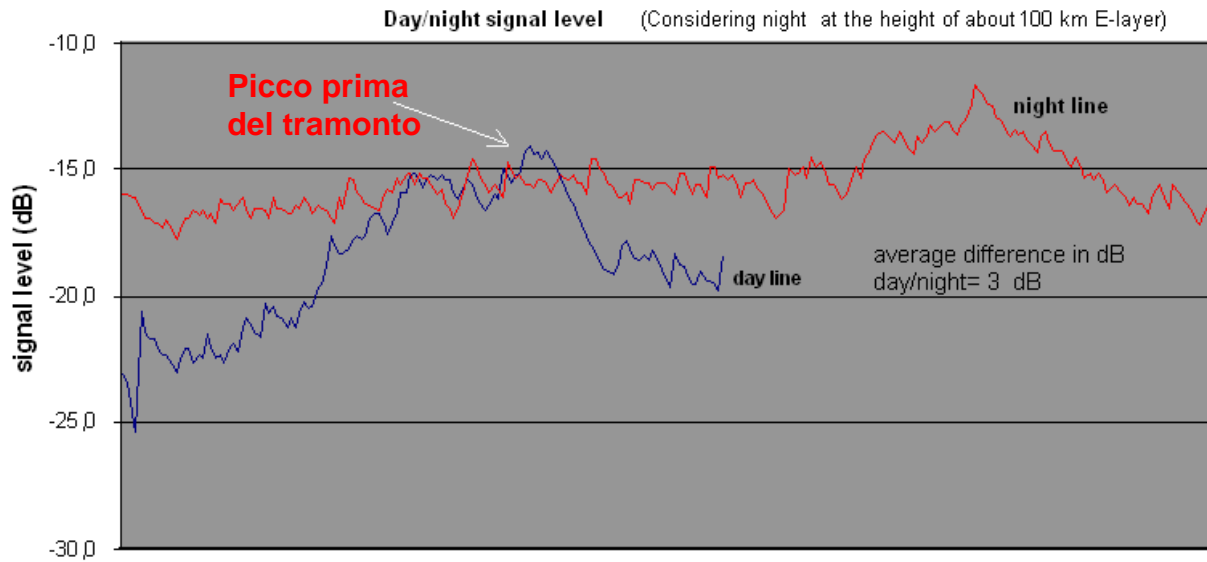
Angolo incidenza	Attenuazione (dB) per spessore (km)		
	100	300	500
0°	0,6	1,8	3,0
30°	0,2	0,6	1,0
60°	0,12	0,36	0,6



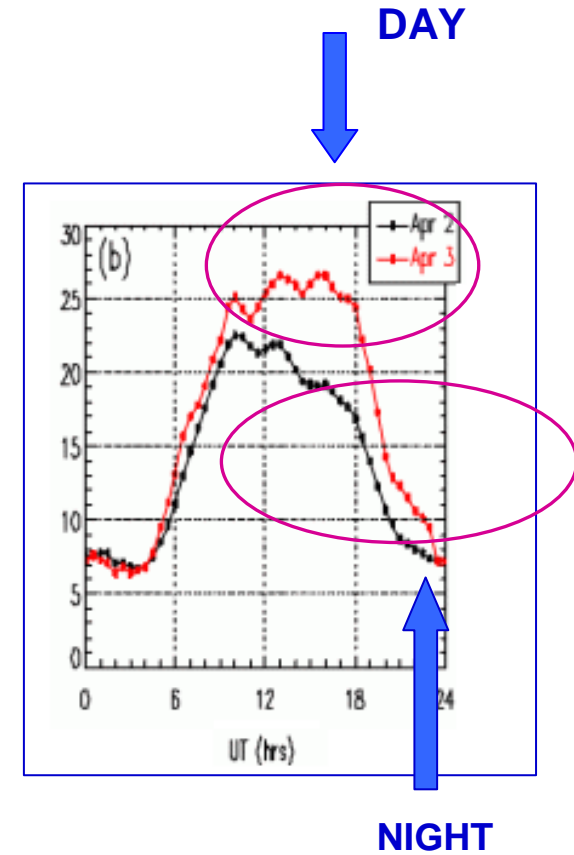
Periodo = decine di minuti

Variazioni giorno/notte

IK1UWL eme echo test 09.02.2011 IONOSPHERIC KP index= 0 (very quiet)



Mappa TEC Total electron content



Echi Ik1uwl polarizzazione circolare, con Ionosfera tranquilla.

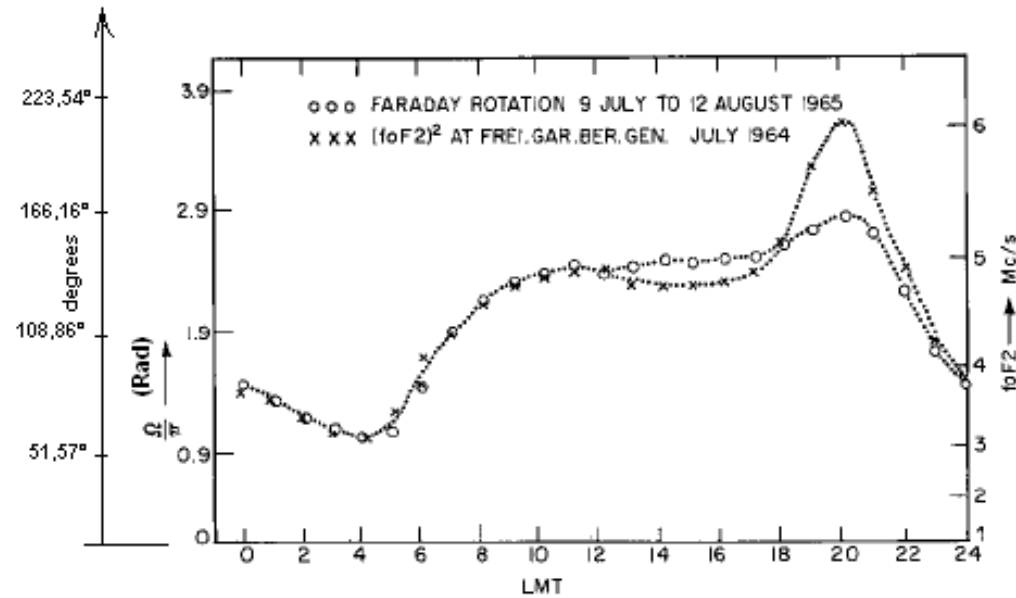
Rotazione di Faraday: dipende dal TEC e in buona approssimazione dalla f_oF2

La rotazione di Faraday dipende direttamente dal TEC, di conseguenza la rotazione è proporzionale al quadrato di f_oF2

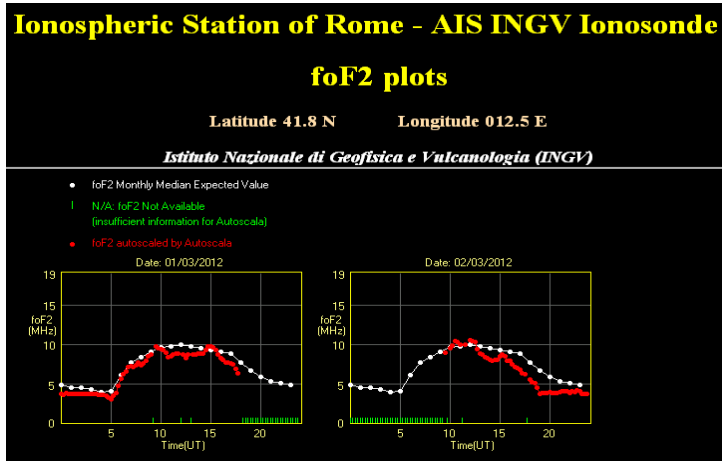


Quindi un monitoraggio dell'andamento giornaliero della f_oF2 può dare importanti indicazioni sull'intensità delle rotazioni

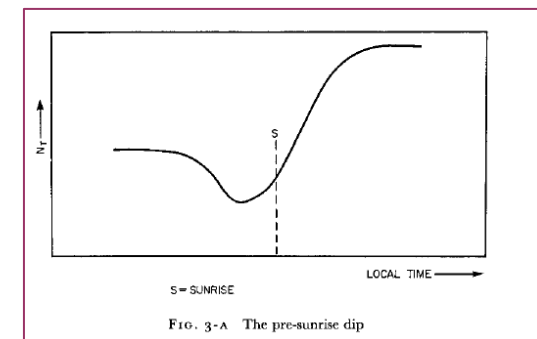
La curva giornaliera della f_oF2 viene fornita in tempo reale dalla Stazione ionosferica dell'INGV di Roma



Median diurnal variation of the critical frequency (crosses, right hand scale - squared) and of the observed Faraday-rotation (circles, left hand scale, adjusted by best fit method)



Da notare il minimo Prima dell'alba



Focalizzazioni nella Ionosfera

Variazioni locali nella densità elettronica possono agire come delle lenti ionosferiche che possono dar luogo a fenomeni di focusing/defocusing

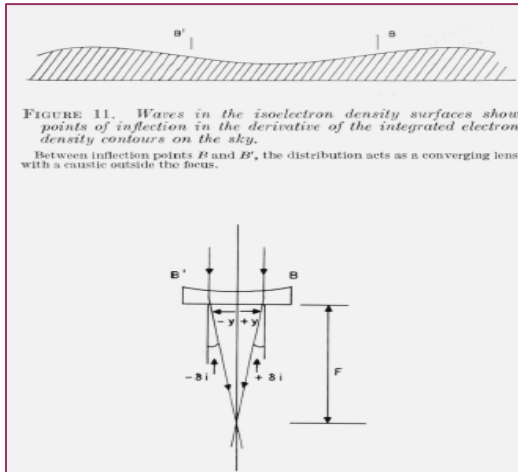
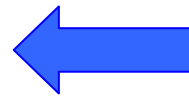
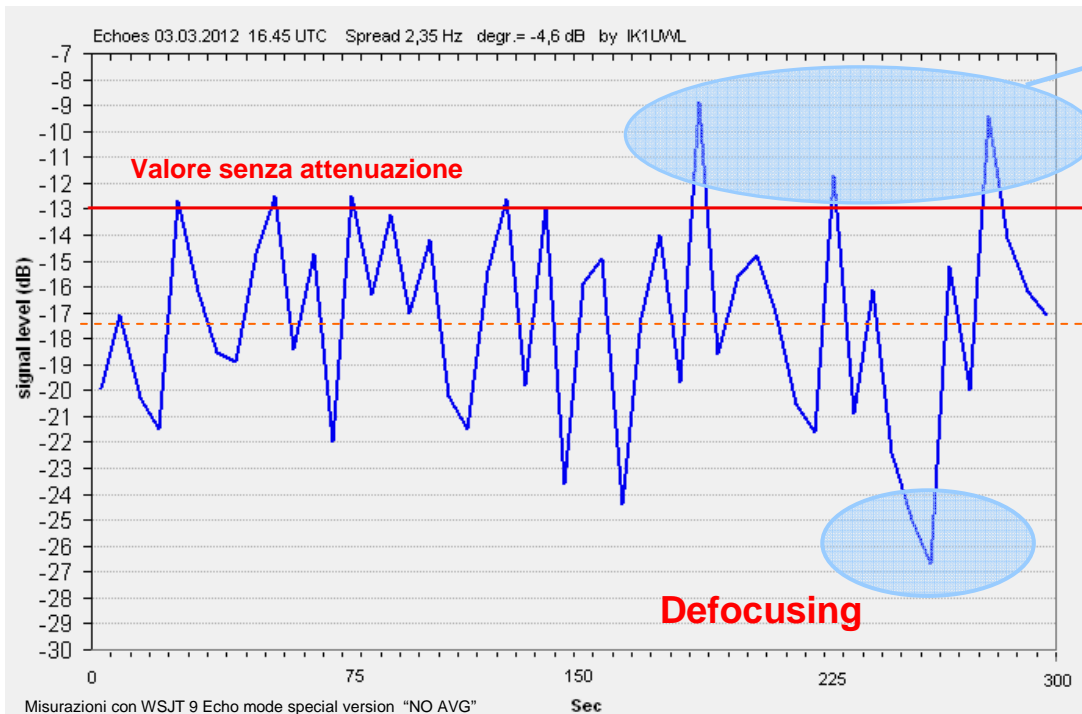


Image: Courtesy of Radio Science (Journal of Research) – “Radio Star Scintillations from Ionospheric waves” J.W.Warwick

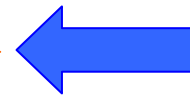


Strutture lenticolari dovute a variazioni di densità elettronica nella Ionosfera

Focusing effects



Valore senza attenuazione a - 13 dB

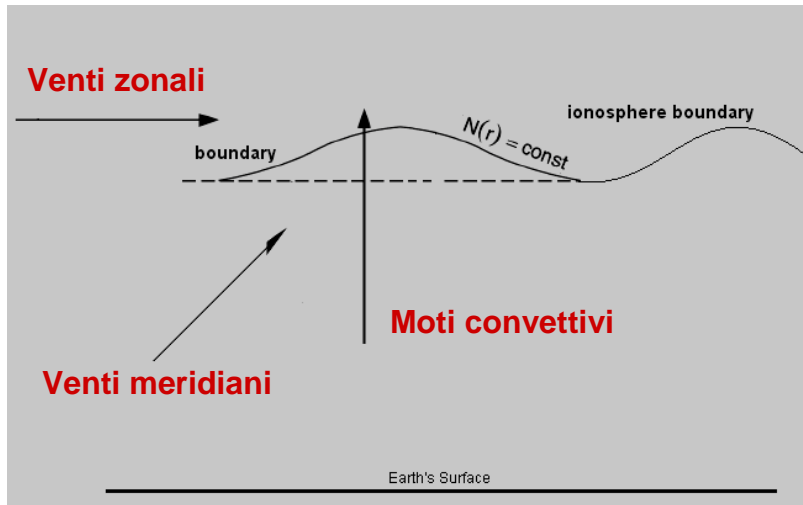


Valore medio a -17,5dB

è estremamente improbabile avere finestre trasparenti nella ionosfera, ma solo minori attenuazioni, quindi si possono considerare focalizzazioni anche i picchi sopra la linea media che si avvicinano al livello -13dB

Ondulazioni nella Ionosfera

Gli strati ionosferici

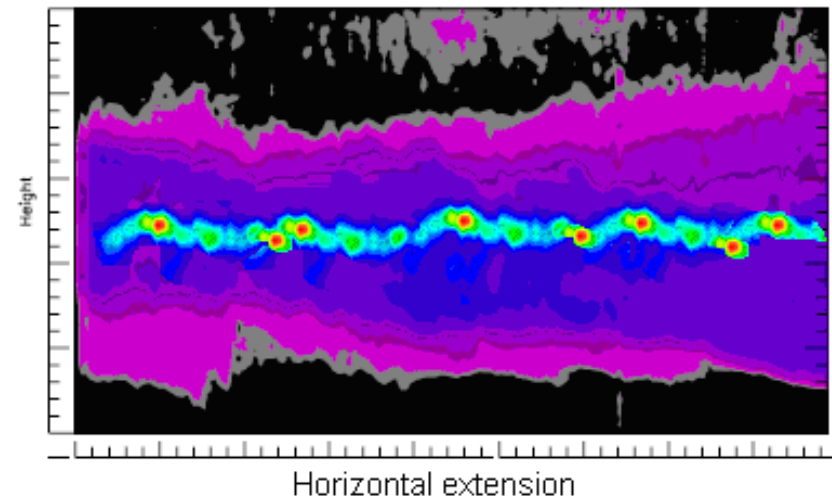


Possiamo avere:

- ❑ Irregolarità su piccola scala (dimensione di qualche lunghezza d'onda)
- ❑ Irregolarità su larga scala (dimensioni nell'ordine di 100 km)
- ❑ Le irregolarità tendono ad allinearsi lungo le linee del campo magnetico terrestre

❑ Modello ondulatorio: gli strati ionosferici non sono omogenei, essi sono continuamente modellati da forti venti neutri ionosferici che possono avere movimenti zonali (direzione Est-ovest) lungo i paralleli e movimenti meridionali (direzione nord-sud lungo i meridiani).

❑ Inoltre ci sono delle turbolenze verticali con moti convettivi e AGW onde gravitazionali atmosferiche che modellano costantemente gli strati

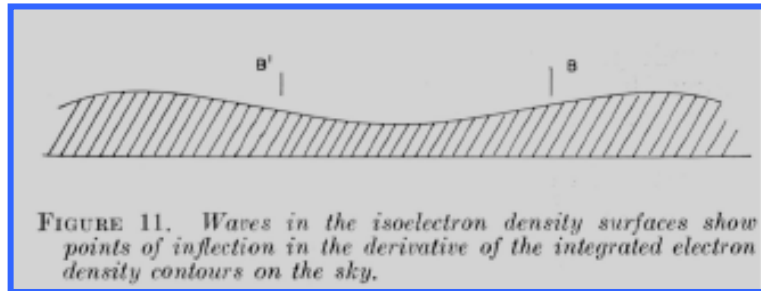


Le irregolarità ionosferiche (focusing/defocusing) : forma e struttura

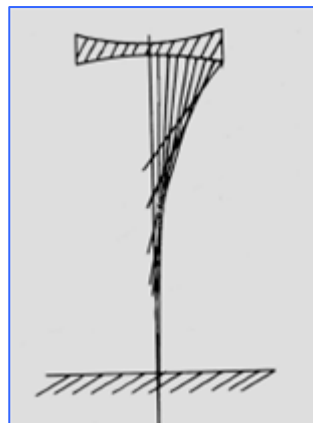
La presenza di strutture lenticolari cilindriche nella ionosfera sono il risultato della distribuzione verticale della densità elettronica .

Il fenomeno è dovuto a **multiple superfici isoelettroniche interconnesse presenti all'interno della ionosfera distribuite principalmente in senso verticale**

Distribuzione elettronica avente le corrette proprietà di radio lente convergente. Superfici isoelettroniche nella ionosfera sono modellate sinusoidalmente dai movimenti interni della ionosfera

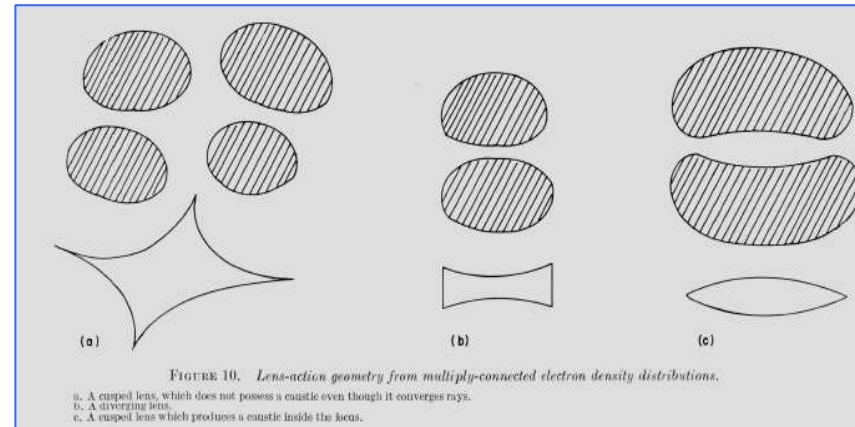


Caustica formata da una lente convergente



Varie geometrie di Effetto-lente dovute a multiple distribuzioni di densità elettronica aventi effetto moltiplicativo .

Aree di maggiore densità elettronica a simmetria cilindrica (verticale) possono comportarsi come lenti convergenti.



Courtesy: Radio Science Journal of Research NBS/USNC-URSI

Referenze

“A survey of ionospheric effects on space-based radar” by Zheng-Wen Xu^{1,2,3}, JianWu² and Zhen-Sen Wu¹

¹ School of Science, Xidian University, Xi'an 710071, Shaanxi, People's Republic of China

² National Key Laboratory of the Electromagnetic Environment, China Research Institute of Radiowave Propagation, PO Box 6301, Beijing 102206, People's Republic of China

Early results from the NA Wideband satellite experiment--Complex signal correlation E. S. Fremouw I, R. L. Leadabrand, R. C. Livingston,

M.D. Cousins, C. L. Rino, B.C. Fair, and R. A. Long SRI International, Menlo Park, California 94025

Comparison of Ray Tracing through Ionospheric Models, Aune, Shayne C., 2d Lt, USAF

Multifrequency studies of ionospheric scintillations R. Urneki, C. H. Liu, and K. C. Yeh Department of Electrical Engineering, University of Illinois

at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801

Radio Star Scintillations from Ionospheric waves J.W.Warwick – Radio Science (Journal of Research)

- ❑ Ringraziamenti: Un grazie a Giorgio Marchi, IK1UWL per alcune consulenze tecniche e per le prove di Echi effettuate con WSJT.
- ❑ Acknowledgments: The authors sincerely thank Giorgio Marchi, IK1UWL for his helpful comments on technical questions and for several experimental echo mode tests with WSJT.

NOTA TECNICA IMPORTANTE

Dove specificato le prove di eco sono state fatte con WSJT ECHO MODE versione speciale senza media (No Averaging)