

Dispense Di Propagazione

I4MFA Marco Filippi



Appunti sui modelli di propagazione ionosferica con particolare accento alla parte alta delle HF

Prefazione

La lettura di queste dispense prevede una conoscenza abbastanza approfondita degli argomenti trattati; non si pongono come obiettivo spiegare cosa siano il Pseudo-Brewster Angle, il Pederson Ray o le PCA e sintetizzano in appendice una serie di considerazioni utili per una corretta lettura.

Nello studio della propagazione ionosferica in HF si deve fare un *distinguo* fra le frequenze sotto i 10MHz e quelle, oggetto di trattazione, sia dei 20M e 17M (*bande di transizione*) che dei 15M, 12M e 10M, a mio avviso le maggiormente entusiasmanti per i collegamenti DX.

L'interesse per la propagazione ionosferica in HF ha portato allo sviluppo di *modelli previsionali probabilistici* che, spaziando da *Propagazione Radio Ionosferica* [1] a *VOACAP* [3], in sintesi producono come risultato la *probabilita'* di successo di un collegamento fra due QTH.

Nell'autunno del 1987 (R=40) su *Propagazione Radio Ionosferica* si poteva agevolmente leggere che erano alte in 10M le *probabilita'* di QSO con il Giappone verso le 07UTC, con il Sud Africa verso le 14UTC, con il Sud America verso le 17UTC. Questo ha insegnato ai *novelli OM* che sulla parte alta delle HF la propagazione segue il sole, cosi' come il loro *elmer* aveva predetto. Oggi utilizziamo VOACAP per ottenere la stessa informazione.

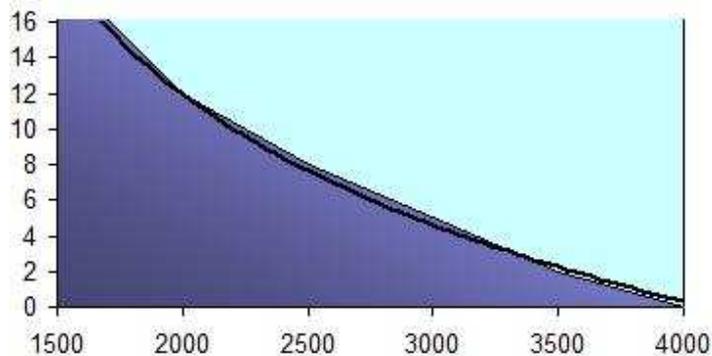
Esistono metodologie diverse, e strumenti quali quelli offerti ad esempio da SWS, che ci permettono non tanto una analisi probabilistica quanto una quantificazione deterministica della ionosfera; per un corretto utilizzo occorre innanzitutto una comprensione della propagazione ionosferica, obiettivo delle presenti dispense.

Una analisi probabilistica ci permette una *previsione*, basata su una banca dati storica di precedenti SSN, della ionizzazione di F2 sulla base della sua correlazione con SSN: e' come una *previsione* metereologica. Se invece accediamo ad una mappa di foF2, realizzata piu' o meno correttamente attraverso i dati forniti in tempo reale da una rete mondiale di ionosonde, conosciamo il valore *reale in questo momento* di foF2: sempre per similitudine, e' come accedere ai dati sulla pioggia rilevati in tempo reale da una stazione metereologica.

Le mappe di foF2 sono modelli bidimensionali ottenuti dalla estrapolazione delle misure in tempo reale delle ionosonde; la ionosfera e' tridimensionale e *fluida* e pertanto la analisi di questi dati risulta complessa. Occorre poi fare attenzione quando si utilizza un programma (od un servizio sul web) in quanto una rappresentazione (in questo caso mappe di foF2) puo' essere realizzata attraverso la interpolazione di misure oppure (modelli basati su IRI) attraverso la simulazione probabilistica della evoluzione del fenomeno (ionizzazione) attraverso altri parametri (SSN) al fine di estrapolare un *presunto* valore (di foF2); alcuni programmi generano mappe di foF2 per date future ed in questo caso *ovviamente* non si basano sui dati reali rilevati dalle ionosonde.

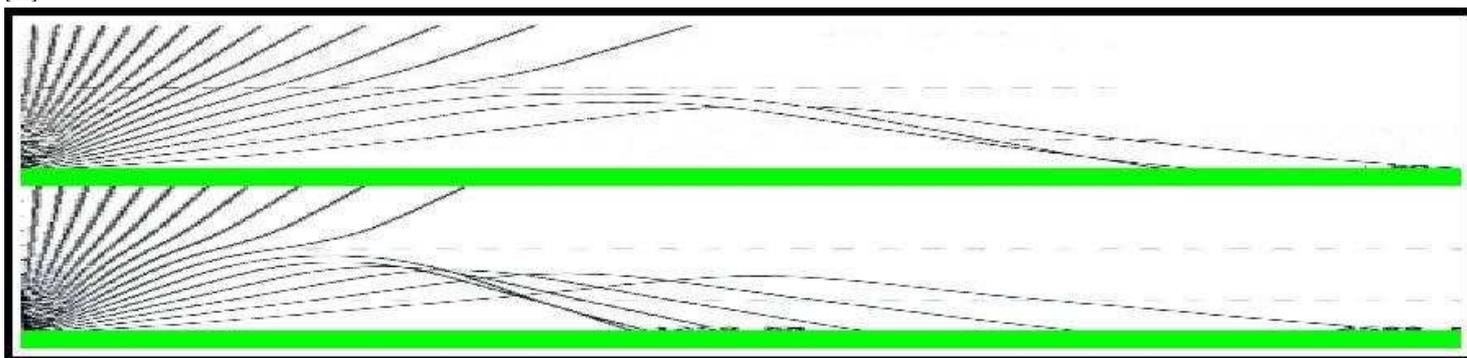
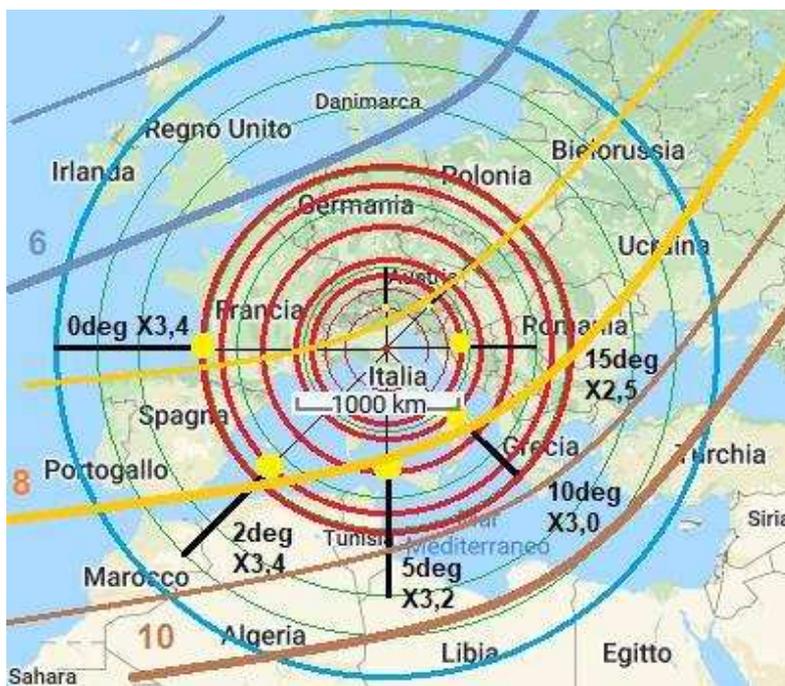
Il modello *previsionale* ha una valenza, probabilistica, sulla evoluzione futura di un fenomeno, non ci dice la reale situazione attuale. Attraverso la comparazione di due mappe di foF2 relative alle ultime due misure possiamo *intuire* il reale evolvere a brevissimo termine della propagazione, oltre a conoscere il suo stato attuale.

La rifrazione ionosferica



DtoF2	TakeOff	XfoF2	dBatt
750	19	2,3	119
1000	12	2,8	121
1250	8	3,1	123
1500	5	3,2	125
1750	2	3,4	126
2000	0	3,4	127

In figura sono riportate le distanze coperte da una singola rifrazione ionosferica in funzione dell'angolo di take-off. A causa della curvatura terrestre una onda elettromagnetica incontra lo strato F2 della ionosfera con un angolo maggiore rispetto a quello di take-off: detto aumento risulta di circa 9 gradi ogni 1000Km. La rifrazione ionosferica, che possiamo assimilare ad una riflessione ad una quota lievemente superiore, avviene per ogni frequenza inferiore a foF2 aumentata dell'inverso del seno dell'angolo di impatto fra l'onda elettromagnetica e la ionosfera [5]; occorre quindi considerare per ogni angolo di take-off un differente fattore moltiplicativo per ottenere il valore della frequenza critica; in tabella si riportano detti fattori, presenti anche sulla mappa azimutale foF2 qui accanto simulata, oltre alla distanza del punto di rifrazione e relativa attenuazione a 28MHz. Al crescere della quota, e di conseguenza della ionizzazione, la curvatura, in allontanamento dalle zone di maggiore ionizzazione, aumenta; la curvatura diminuisce all'aumentare della frequenza [21].



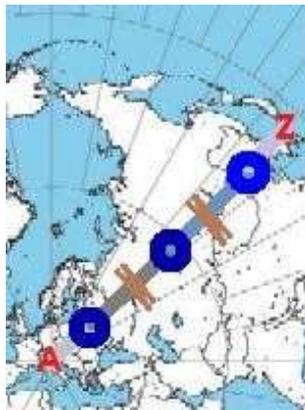
Al crescere dell'angolo di take-off per una onda elettromagnetica ad una data frequenza, aumenta la quota di riflessione, oltre a diminuire il path, come si evince dalla figura, che riporta il ray-tracing ogni 5 gradi a 21MHz e 14MHz. Mentre i valori di foF2 possono raggiungere 11MHz, i valori di foE tipicamente non eccedono di giorno i 4MHz, con assenza di considerevole impatto deviativo dello strato E per frequenze di 14MHz e superiori. L'attraversamento dello strato D comporta una attenuazione dell'ordine di circa 2dB a 28MHz, 5dB per un salto completamente effettuato attraverso esso [22].

values of ionospheric attenuation for one jump

A_i	$f = 5 \text{ MHz}$	$f = 15 \text{ MHz}$	$f = 30 \text{ MHz}$
Layer D	171,25 dB	19,05 dB	4,76 dB
Layer E	23,25 dB	2,60 dB	0,65 dB

Collegamenti a lunga distanza

I modelli *classici* ipotizzano, per i collegamenti a lunga distanza, il cosiddetto *multi-hop*: una rifrazione verso il suolo da parte dello strato F, attraverso la quale si raggiungono distanze fra i 2000Km ed i 4000Km, e la conseguente successiva riflessione, da parte della terra o del mare, verso la ionosfera; il ripetersi di questo modello, per due (2F), tre (3F), quattro (4F) o piu' volte, permette di raggiungere anche l'Australia dall'Italia. Se consideriamo un percorso mattutino verso NE dall'Italia ed ipotizziamo valori di foF2 sufficienti (7MHz) nelle aree (Cecoslovacchia, Russia centrale, Cina nordorientale) sopra cui avviene la rifrazione, un 3F permette di collegare, in

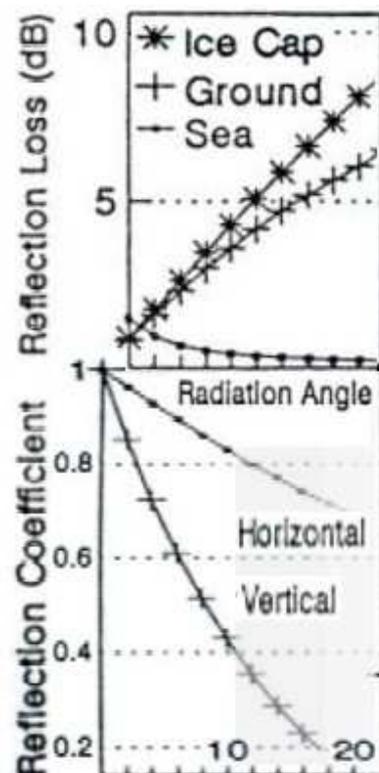


15M con 100W ed una yagi 3 elementi (alta 14m, 8dB a 5 gradi), un corrispondente in Giappone, con segnali di S7 (S9=-73dBm) sul ricevitore collegato alla sua analoga antenna. Considerando un 4F, take-off 10 gradi, un differente (anche di 2x5dB) guadagno delle suddette antenne afferente tale componente zenitale, nonostante la maggiore attenuazione (-3dB) dovuta ad una ulteriore riflessione al suolo, porta il nostro segnale a S9.

La attenuazione di tratta deriva da *leggi* fisiche, 138dB per 9000Km a 21MHz.

La attenuazione dovuta alla riflessione da parte del terreno, che tiene conto dei

differenti coefficienti di riflessione (Fresnel) dovuti alla polarizzazione, viene riportata in figura per 14MHz; non risulta sensibilmente legata alla frequenza [5] e non ha modo di essere calcolata esattamente: consideriamo un addizionale 6dB per due riflessioni; l'assorbimento introdotto dallo strato D della ionosfera presente in Europa impatta per ulteriori 5dB, per un totale di 11dB da sommare alla attenuazione di tratta.

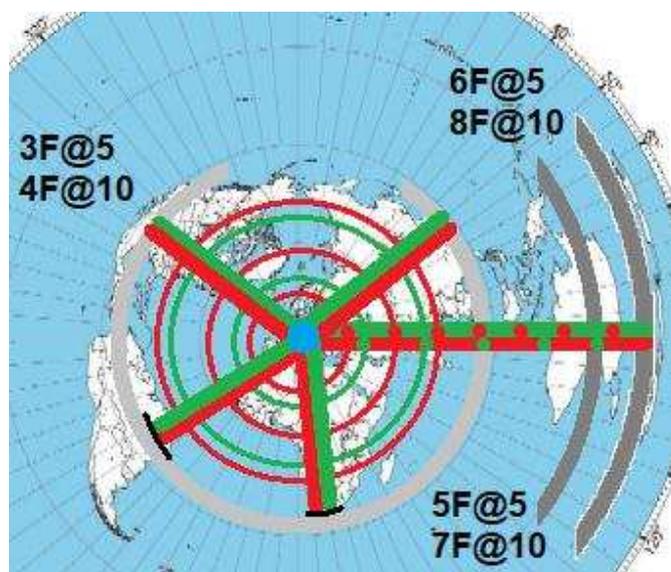


Gli effetti di fading [11] derivanti dalle irregolarita' di queste superfici di riflessione possono variare il segnale da +5dB a -20dB [12], considerando come le singole componenti zenitali di esso vengono rifratte e riflesse.

Le attenuazioni di tratta in 10M verso alcune destinazioni classiche sono qui riportate in tabella; notiamo che le ulteriori componenti (sfondo verde) legate alla attenuazione da riflessione impattano anche per oltre 12dB.

	TO	SP 10M Att		Km	LP 10M Att					
	NA	3F	140	4	144	9000	10F	151	11	162
	SA	3F	139	2	141	8000	10F	151	15	166
	JA	3F	140	6	146	9000	10F	151	13	164
	VK	5F	145	8	153	15000	8F	149	7	156
	ZL	6F	146	11	157	18000	7F	148	6	154

La attenuazione di tratta risulta 6dB inferiore in 20M, ma la attenuazione introdotta da ogni attraversamento dello strato D della ionosfera, il cui ordine di grandezza risulta 9dB in 20M, si riduce di 6dB in 10M; i valori totali vanno quindi aumentati di 3dB per tenere conto di tale ulteriore attenuazione.



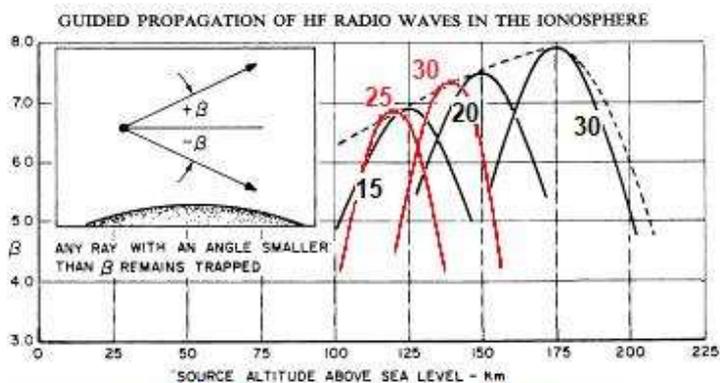
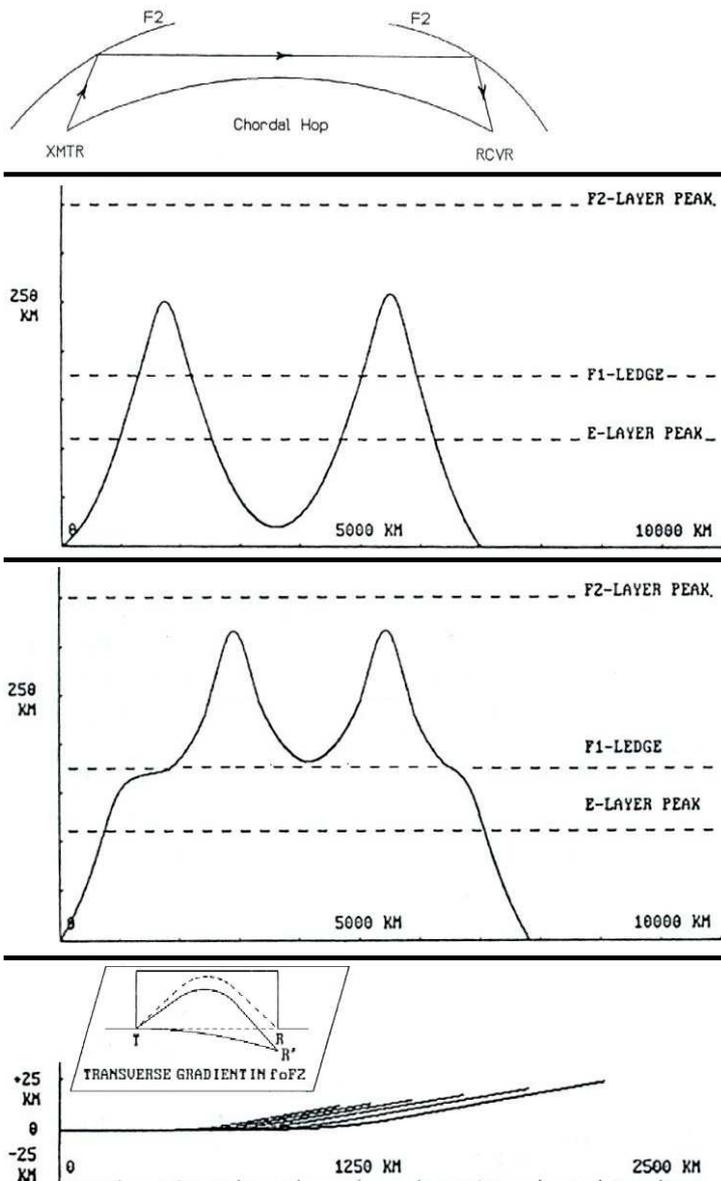
@21m	@5deg	@10deg
10M	G+6dB	G+6dB
15M	G+4dB	G+6dB
20M	G+2dB	G+5dB

Secondo questi modelli e sulla base dei valori riportati nella tabella accanto, relativi ad una yagi posta a 21m dal suolo (G=14dB), considerando, oltre ad una attenuazione di tratta di 155dB, ulteriori 3dB per lo strato D, trasmettendo dall'Europa con 100W (50dBm) si raggiunge Australia e Nuova Zelanda con segnali (+50+14-3-155+14=-80dBm) di S8.

Il modello ionosfera-ionosfera

Il modello di propagazione ionosfera-ionosfera [5], esemplificato nella figura accanto, prevede, in una ipotesi di *Chordal Mode*, che la rifrazione verso terra avvenga, in virtu' di inclinazioni dell'ordine dei 2 gradi della ionosfera fluida, con angoli tali da raggiungere nuovamente lo strato F2 senza attraversare lo strato D; possono aversi *Chordal Mode* consecutivi [2].

Inoltre il modello di propagazione ionosfera-ionosfera prevede la possibilita' di propagazione per rifrazione verso l'alto da parte del livello E sottostante, in virtu' di bassi angoli di incidenza che consentono tale fenomeno. Attraverso rilevazioni satellitari e' stato *verificato* il modello di propagazione ionosfera-ionosfera: a quote differenti, in funzione della frequenza e della attivita' solare, segnali incidenti o rifratti con angoli di 4-8gradi permangono all'interno della ionosfera [23].



Frequency in MHz, at maximum (fall 1968) and minimum (fall 1965) of the sunspot cycle, mid latitude ionosphere
 • NASA Astrophysics Data System

Ne consegue primariamente che i segnali possono avere fino ad oltre 12dB di minore attenuazione, non essendo presenti le perdite dovute alla riflessione del terreno.

Repentine variazioni del gradiente di ionizzazione, ovvero rapidi aumenti della altezza hmF2 dello strato F2, sono la causa dei modi di propagazione ionosfera-ionosfera.

Una onda elettromagnetica che viaggia perpendicolare alle linee di quota di hmF2, in presenza di un elevato gradiente risulta soggetta ai modi di propagazione ionosfera-ionosfera; se viaggia parallela alle linee di quota di hmF2, in presenza di un elevato gradiente trasversale viene deviata su un percorso che non segue il circolo massimo, con una deviazione (2 gradi in 20M) proporzionale all'inverso del quadrato della frequenza [5].

I 15M sono stati individuati, attraverso esperimenti specifici [13], come la banda in cui questi fenomeni avvengono con maggiore frequenza. Ulteriori sperimentazioni, su frequenze comprese fra 15MHz e 30MHz, hanno dimostrato che la propagazione *guidata* attraverso i livelli ionosferici consente collegamenti antipodali con segnali fino ad oltre 35dB superiori rispetto al classico multi-hop [2].

La ionosfera fluida si modella in concavita' che non solo consentono la propagazione in *Chordal Mode* ed attraverso *Ionospheric Duct* senza il negativo contributo delle riflessioni al suolo, ma anche realizzano una sorta di *focalizzazione* delle molteplici componenti azimutali [4], il cui positivo contributo offre spiegazione al rafforzamento dei segnali in alcuni collegamenti DX.

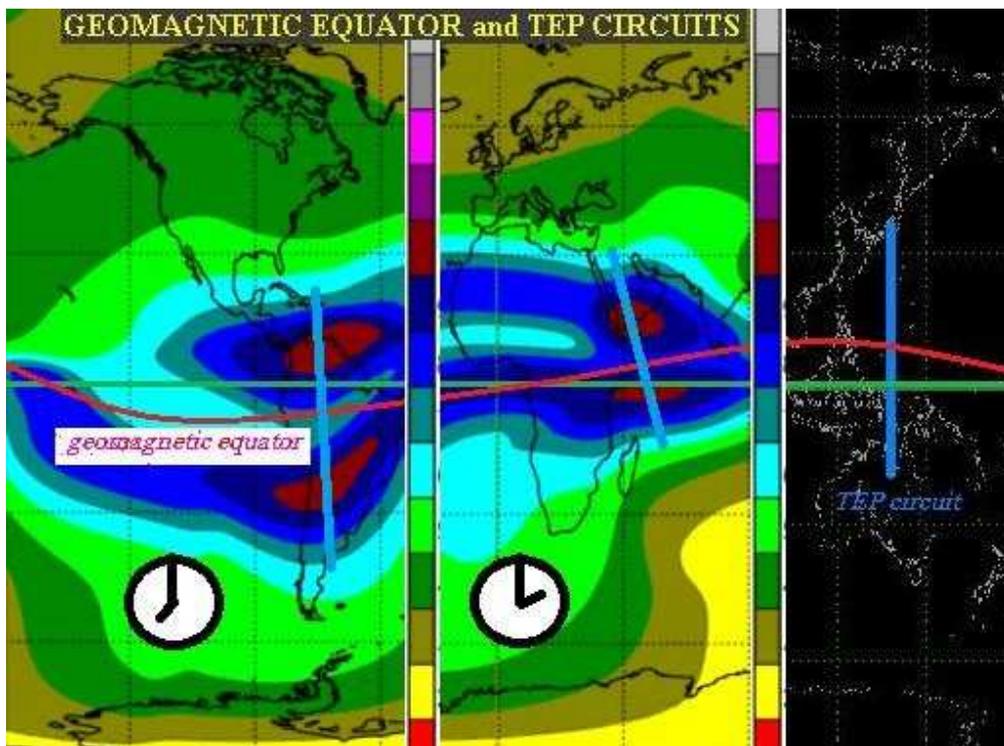
TEP - Transequatorial Radio Propagation

Nella parte alta delle HF si osserva la propagazione transequatoriale pomeridiana aTEP causata dalla anomalia equatoriale che evidenzia FAI, picchi di foF2 a simmetriche latitudini geomagnetiche intorno ai 15 gradi, consentendo il modo FF di propagazione ionosfera-ionosfera, con singolo skip di fra 5000Km e 6500Km.

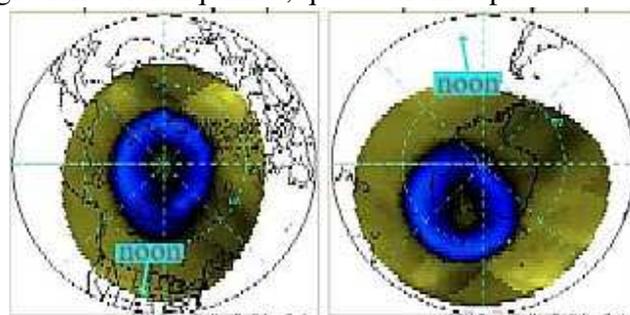
La aTEP permette collegamenti fino ai 50MHz, stante il differente angolo di incidenza con la ionosfera, negli orari pomeridiani locali, con prevalenza nei periodi equinoziali con alto numero di macchie solari. La eTEP permette collegamenti fino ad 8000Km e fino alle UHF e si manifesta nelle prime ore serali,

fondandosi su uno Spread F che risulta affetto da profondo e rapido fading e distorsione da multipath.

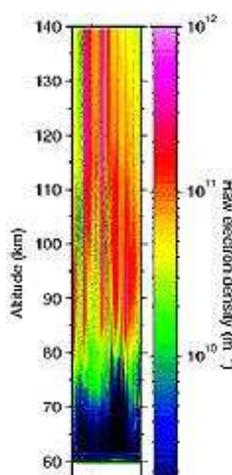
La altezza dello strato F all'equatore geomagnetico e la distanza delle creste della anomalia equatoriale da esso, rappresentano i migliori indicatori di TEP, uniti a condizioni geomagnetiche di tranquillita', queste ultime spesso assenti nei periodi equinoziali; e' stata identificata periodicita' di 27 giorni per il TEP.



Nelle regioni polari ed equatoriali i modelli di propagazione divergono da quelli classici a causa delle anomalie presenti in queste regioni [24].



Aurora, backscatter e FAI



La elevata ionizzazione dei fenomeni di Aurora e la differente geometria di questi fenomeni, che sono a forma di cortina, risulta responsabile di riflessioni a frequenze elevate, apprezzate nel DX in VHF piuttosto che non in HF, e di backscatter con path dell'ordine dei 2000Km [4].

La forma geometrica irregolare ed in continua variazione della Aurora ed il suo costante movimento, rendono possibili riflessioni multiple [4], affette da fading e variazioni di fase, che rendono maggiormente idonei i collegamenti in CW piuttosto che non in SSB.

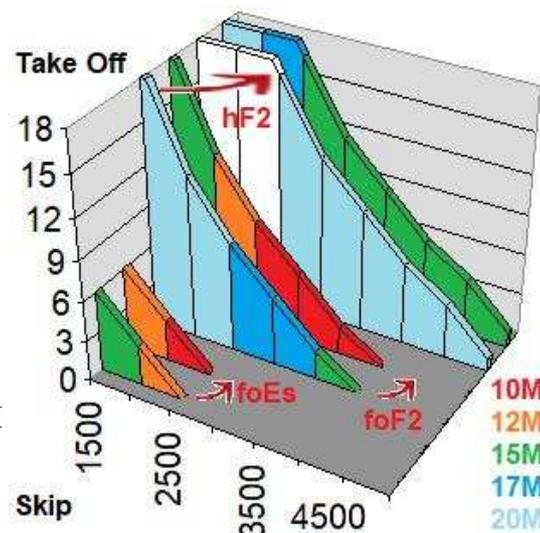
Elevate densita' di ionizzazione alla stessa quota dello strato E sono dovute a FAI, che possono essere responsabili di skewed path.

In termini di positivo contributo al DX, le regioni polari rappresentano l'*Hic Sunt Leones* della propagazione ionosferica: lo sporadico maggior percorso dei segnali di beacon HF in America Centrale ricevuti in Europa, citato su RR08/20, ha dei ritardi che appaiono compatibili con una riflessione in queste zone.

Rifrazione a bassa quota

Al crescere di foF2 cresce la frequenza di rifrazione per un dato angolo di take-off; al diminuire dell'angolo di take-off aumenta la distanza coperta da una singola rifrazione; al crescere della quota hF2 dello strato F2 aumenta la predetta distanza ma diminuisce la frequenza di rifrazione per un dato angolo di take-off.

Se consideriamo un angolo di take-off di 2 gradi, una singola rifrazione ionosferica da parte dello strato F2 copre una distanza di 3500Km, in 17M per foF2=6 ed in 10M per foF2=9; con lo stesso angolo di take-off una rifrazione a bassa quota, tipicamente E sporadico, si ha in 10M con valori di foEs=6; la distanza coperta risulta ovviamente circa dimezzata.



Skip & TakeOff	Fx	foF2 9 & 6MHz	Skip & TakeOff	Fx	foEs 5 & 6MHz
2000Km 12deg	2,8	25MHz 17MHz	1000Km 12deg	3,6	18MHz 22MHz
3000Km 5deg	3,2	29MHz 19MHz	1500Km 6deg	4,4	22MHz 26MHz
3500Km 2deg	3,3	30MHz 20MHz	2000Km 3deg	4,8	24MHz 29MHz
4000Km 0deg	3,4	31MHz 20MHz	2500Km 0deg	5,2	26MHz 31MHz

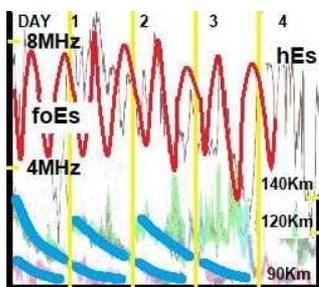
Per un dato angolo di take-off, a frequenze lievemente superiori la rifrazione dallo strato Es non risulta sufficiente per un rientro verso terra, ma l'angolo di impatto con il successivo strato F2 risulta sufficientemente basso per ottenerla anche con valori di foF2 poco elevati, stante la minore differenza di quota fra E ed F2 rispetto ad hF2.

Ad esempio, la presenza di Es a 800-1000Km di distanza, con valori foEs=5 tali da non consentire una rifrazione sufficiente al rientro verso terra nelle bande dei 12M-10M per angoli di take-off fra i 5 ed i 2 gradi, permette ad uno strato F2 a 2000Km di distanza con foF2=6, che in assenza di Es sarebbe fruibile solo fino ai 17M, degli skip di 3750Km in 12M e 10M.

Band	TakeOff	dxEs
10M	2deg	1000Km
12M	5deg	800Km
15M	10deg	550Km

3750Km skip, foEs=5, foF2=6 at 2000Km, 2deg Es layer exit angle

I fenomeni di Es consentono *Ionospheric Duct* anche in presenza di valori relativamente bassi di foF2, in quanto le frequenze non rifratte verso terra da Es raggiungono F2 con un basso angolo e dislivello di quota.



Ionizzazioni elevate dello strato E sono date sia da Es che da *drifting patches* [5] dello strato F alle latitudini elevate, 60-70 gradi, in cui avvengono fenomeni di *Auroral E* con elevati gradienti trasversali [2] che consentono uno *skewed path*.

Le ionosonde che rilevano foEs e hEs consentono anche predizioni a breve termine; le analisi effettuate [24] hanno permesso di verificare che esiste una cadenza bigiornaliera di massimi e minimi di foEs e che lo strato si abbassa di quota, scomparendo in capo a due giorni: in sintesi risulta assimilabile a *drifting patches* di F2 [5]. La presenza di due strati Es a quote ravvicinate consente il formarsi di *Ionospheric Duct*.

Ultimo capitolo

Il modello previsionale non sempre produce risultati affidabili.

SSN	ST	HR	BAND	PATH	DXKM	AZI	DXCC	RSIG	TSIG	PWRANT	FSATT	VOACAP
180	A	M	15M	LP	30K	SW	JA	9	9	+79dBm	-148	-117 2
180	A	M	20M	SP	16K	N	ANT	9	9	+79dBm	-139	-121 1
80	A	M	17M	LP	30K	NE	PY	5	6	+79dBm	-147	-129 0

Fra i tanti QSO che eccedono le aspettative di VOACAP ne ho selezionati alcuni relativi o a differenti periodi di SSN o a differenti PATH (Short e Long), evidenziando la intensita' del segnale da me ricevuto e quella del mio segnale nel corrispondente country DXCC e la differenza rispetto a quanto, salvo errori, riportato da VOACAP risulta di 30-40dB: una differenza troppo elevata per ipotizzare un errore dello strumento. Inoltre, assumendo 50dBm per la mia potenza di trasmissione e 29dB per il guadagno delle due antenne (in questo caso la mia 5 elementi quad e la 3 elementi yagi del corrispondente, con valori comprensivi degli effetti della riflessione del terreno attorno ad esse), i valori nella terza riga appaiono compatibili con una attenuazione di -22dB dovuta alle attenuazioni dello strato D e delle molteplici (7F2) riflessioni al suolo: S6 e non S0. Risulta invece interessante la maggior differenza presente nella prima riga fra i -69dBm che si ottengono considerando unicamente la attenuazione di tratta ed i -73dBm del segnale ricevuto (S9) in quanto -4dB di attenuazione sono un indicatore del modo di propagazione ionosfera ionosfera (ducting, chordal hop) precedentemente descritto; anche la seconda riga, considerando una innegabile attenuazione (-10dB) da parte dello strato D, risulta riconducibile a questo modo di propagazione.

Alcune esperienze di propagazione ionosfera ionosfera con effetti di focalizzazione del segnale sono riportati nella tabella seguente, in cui si mantiene evidenziato oltre al segnale rilevato anche quello predetto da VOCAP (da 30 a 70dB inferiori in tutti i casi riportati).

SSN	ST	HR	BAND	PATH	DXKM	AZI	DXCC	RSIG	TSIG	PWRANT	FSATT	VOACAP
240	A	M	20M	LP	24K	W	VK	9+20	9+10	+76dBm	-143	-94 5
240	E	S	20M	SP	16K	E	VK	9+40	9+40	+79dBm	-139	-101 4
240	E	S	15M	SP	10K	NW	W6	9+20	9+20	+82dBm	-138	-82 7
170	A	S	17M	SP	7K	NW	W1	9+40	9+30	+81dBm	-134	-94 6

Il collegamento della prima riga evidenzia che la attenuazione di tratta (-143dB) comporta un segnale di 9+5 senza aggiungere alcuna attenuazione da riflessione al suolo (essendo un collegamento long path mattutino autunnale non si applicano attenuazioni dovute allo strato D) ma anzi dovendo aggiungere +5dB: propagazione ionosfera ionosfera con effetti di focalizzazione da parte dello strato F. Nella seconda riga, aggiungendo la attenuazione dello strato D (essendo un collegamento short path serale estivo in 20M essa risulta stimabile in -2dB) alla attenuazione di tratta, senza considerare alcuna attenuazione dovuta a riflessioni al suolo, il segnale risulta 30dB maggiore di quanto dovrebbe essere: anche assumendo un forte errore dello strumento per una misura a fondoscala, solamente effetti di focalizzazione, uniti ad un modo di propagazione ionosfera ionosfera, possono dare una motivazione fisica a questi fortissimi segnali. Questi collegamenti appaiono possibili anche su tratte non antipodali ed in bande differenti, come risulta nella terza riga, un collegamento ionosfera ionosfera in 15M con segnali (+82dBm, tenuto conto delle ottime antenne di questo caso, attenuati di -4dB da parte dello strato D e -138dB per la tratta) aventi una focalizzazione di +7dB; anche il valore di SSN non appare rilevante, come risulta nella quarta riga (SSN 170 invece di 240) dove appare lecito aggiungere una attenuazione di -7dB da parte dello strato D alla attenuazione di tratta ottenendo comunque valori (+17dB) che confermano la assenza di attenuazioni per riflessione al suolo tipiche dei tradizionali modelli di propagazione multi-hop.

Nelle tabelle precedenti, SSN, BAND, PATH e DXCC sono termini noti; ST indica la stagione, Estate o Autunno, HR il periodo del giorno, Mattina (6-12) o Sera (18-24), DXKM la distanza del corrispondente, 24K indica 24000Km, RSIG il segnale al mio ricevitore e TSIG il segnale al ricevitore del corrispondente, PWRANT sono i valori positivi del segnale, +50dBm per i miei 100W a cui si aggiunge il guadagno delle due antenne, fra i 7 ed i 10dB, ognuno aumentato di 6dB per tenere conto del contributo riflessivo del suolo, valore che plausibilmente eccede di 9dB in 20M e 3dB in 10M quello reale, FSATT indica la attenuazione di tratta e VOACAP il valore predetto dal simulatore espresso in dBm e S.

Appendice

Referenze documentali

[1] I3CNJ Ziviani, I3LPL Piva
[2] K9LA Luetzelschwab
[3] OH6BG Perkiomaki
[4] PA9X Suijs
[5] NM7M Brown
[6] W4RNL Cebik
[7] AE4TM Jones

[11] Rayleigh
[12] Haas 1996
[13] OV4 Clark

[21] ARRL Antenna Book
[22] Ionospheric Radio Link 2015
[23] NASA Astrophysics Data System
[24] SWS

Approfondimenti tematici

Campo elettromagnetico ed onde elettromagnetiche
La ionosfera
Importanza di una corretta rappresentazione grafica
Macchie solari e modelli statistici
Rilevamento in tempo reale della ionosfera

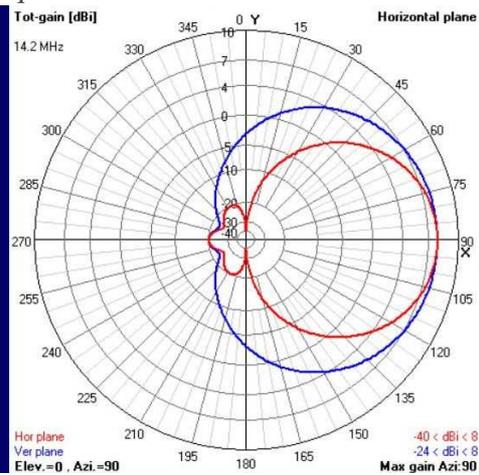
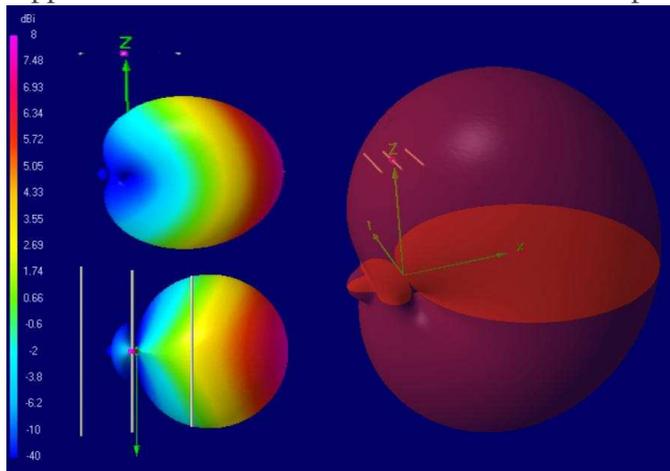
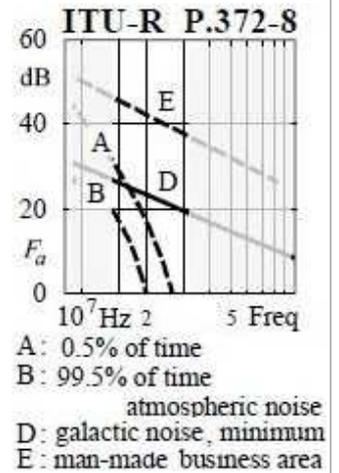
Servizi Internet attivi nel 2020

prop.kc2g.com – foF2 mercatore map e dati osservati da GIRO e NOAA NCEI
giro.uml.edu – GIRO dati ionosonde da Lowell
www.ngdc.noaa.gov – NOAA foEs e foF2 osservati ([/stp/IONO/rt-iono/realtime/RealTime_fo\[Es\]F2.html](http://stp/IONO/rt-iono/realtime/RealTime_fo[Es]F2.html))
www.sws.bom.gov.au – foF2 mercatore map 7gg di SWS Australia ([/HF_Systems/6/5](http://HF_Systems/6/5))
www.spacew.com – foF2 e hmF2 mercatore map di Space Weather ([/www/\[fo\]hm\]f2.gif](http://www/[fo]hm]f2.gif))

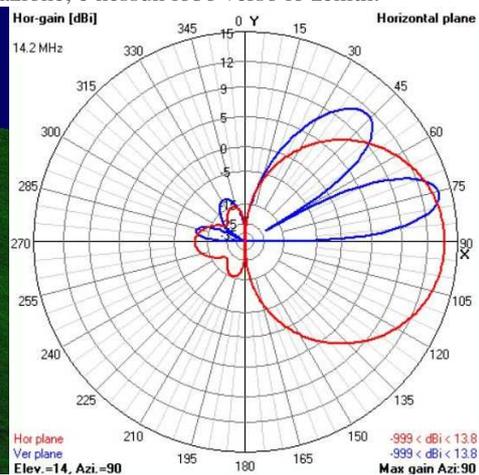
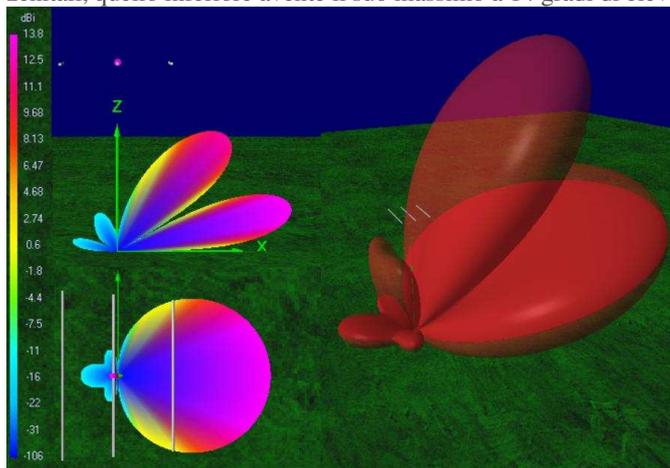
Campo elettromagnetico ed onde elettromagnetiche

Il campo elettromagnetico (lontano) generato da una antenna, ad esempio una yagi posta orizzontale ad una data altezza dal suolo, si ottiene, per una definita direzione azimutale, considerando ogni singolo contributo delle relative componenti sul piano zenitale. Il terreno sottostante comporta una serie di effetti (riflessione, diffrazione) che impattano sia sulla cosiddetta onda di terra, sia sulla cosiddetta onda diretta, che altro non sono che onde elettromagnetiche prive di alcuna distinzione rispetto alla cosiddetta onda riflessa/rifratta dalla ionosfera: esistono quindi unicamente onde elettromagnetiche a cui dobbiamo applicare effetti che variano in virtù della componente specifica sul piano zenitale che stiamo considerando. Occorre tenere conto di questi effetti anche nella analisi della cosiddetta onda riflessa/rifratta dalla ionosfera, in quanto la altezza in termini di multipli di lambda quarti fortemente impatta sui lobi di radiazione nel piano zenitale: per multipli dispari di lambda quarti avremo un (rumoroso) lobo verso lo zenith; quando la altezza della nostra antenna orizzontale risulta invece multipla di lambda mezzi, detto lobo scompare. Il contributo riflessivo genera un guadagno fino a 6dB, funzione delle caratteristiche fisiche del terreno. La diffrazione, funzione anche delle caratteristiche geometriche del terreno, genera una attenuazione, che deve essere considerata sia presso la antenna che nei punti di un percorso multi-hop in cui si attua la riflessione al suolo.

Occorre quindi vedere la nostra yagi nella sua realta', ovvero come una sorgente od un recettore di onde elettromagnetiche (prive di distinzioni quali diretta, di terra, ionosferica) che ha un guadagno G funzione dell'angolo di elevazione zenitale alfa considerato, guadagno dipendente non solo dalla antenna ma della sua posizione rispetto al suolo. Ogni percorso in direzione zenitale deve essere singolarmente valutato, applicando ad esso i valori di guadagno ed attenuazione che gli spettano: la metodologia di ray-tracing computerizzata rappresenta unicamente uno strumento di calcolo per questi valori.



Si riportano (in Figura1) i diagrammi free-space G sui piani orizzontali e verticali, oltre ad una vista prospettica del lobo, per una yagi tre elementi [6] da comparare (in Figura3) con gli analoghi diagrammi perfect-ground in cui appare evidente il contributo riflessivo del terreno in termini di guadagno e geometria dei lobi zenitali. Si riportano anche i plot classici per la stessa antenna, anche questi sia per free-space (Figura2) che per perfect-ground (Figura4). La antenna risulta posta a due volte lambda mezzi da terra; di conseguenza appaiono due lobi zenitali, quello inferiore avente il suo massimo a 14 gradi di elevazione, e nessun lobo verso lo zenith.

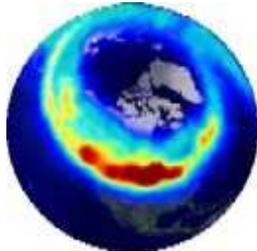


La ionosfera

Secondo il modello MultiQuasiParabolic della ionosfera, lo strato D si trova ad una quota fra i 50 ed i 90Km, E fra i 90 ed i 140Km, F1 fra i 140 ed i 210Km, F2 fra i 210 ed i 500Km; come D, anche E (e F1) scompare di notte mentre F2 si abbassa di quota.

La densita' di ionizzazione varia con la attivita' solare, sia secondo il ciclo undecennale che durante l'anno; al massimo solare, in estate si ha una alta ionizzazione in F2 che permane di notte, crolla all'alba, cresce nuovamente evidenziando F1 ed F2 diurni, mentre in inverno F2 ha valori molto elevati ma solo di giorno ed F1 non esiste; al minimo solare, in tutte le stagioni il picco di F2 si sposta al tramonto, ma solo in estate permane di notte, con crollo all'alba [5].

Lo studio della E-F valley ha dimostrato che essa ricopre un ruolo di un certo interesse nella propagazione [2].



I valori giornalieri di F dipendono primariamente dalle radiazioni ionizzanti solari ma anche, tipicamente in negativo ed alle alte latitudini, dalle attivita' geomagnetiche, relazionate al vento solare, monitorate in tempo reale con indice K e nella media con indice A, oltre che da fenomeni legati alla bassa atmosfera.

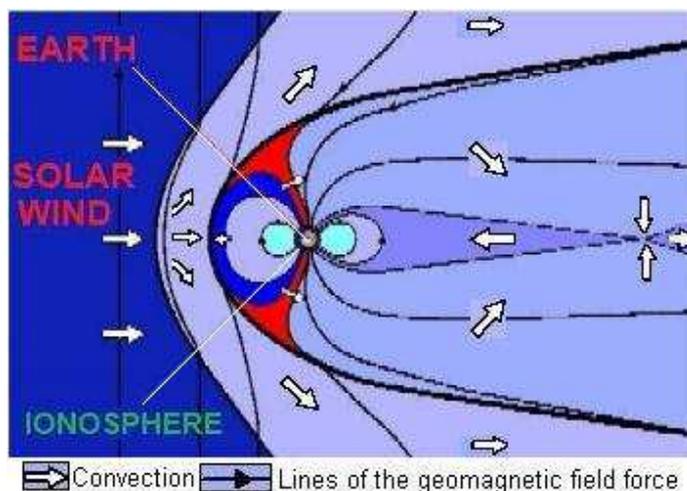
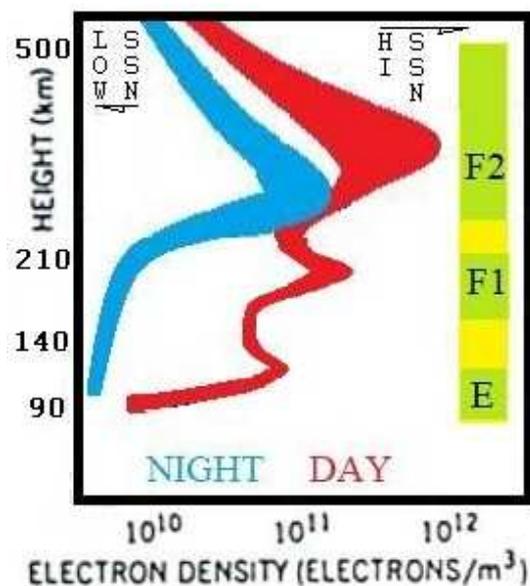
La ionizzazione, che deriva da un bilancio fra il contributo creativo dato

dalla radiazione solare e quello distruttivo dato dalla ricombinazione con ioni positivi, ricresce lentamente a valle di tempeste geomagnetiche; possiamo assumere che un indice $K_3 < 4$ ed un indice $A < 25$ rappresentino condizioni necessarie per una propagazione stabile.

Sia la atmosfera terrestre che gli strati della ionosfera (D, E, F) sono immersi in un campo magnetico, morfologicamente modellato dal plasma solare, e questo impatta non solo nella distribuzione per cosi' dire geografica degli elettroni nella ionosfera ma anche sulla eccitazione di due differentemente polarizzate componenti (O ed X, la seconda di minore potenza) di una onda elettromagnetica che li attraversa; la rifrazione della componente orizzontale viene favorita.

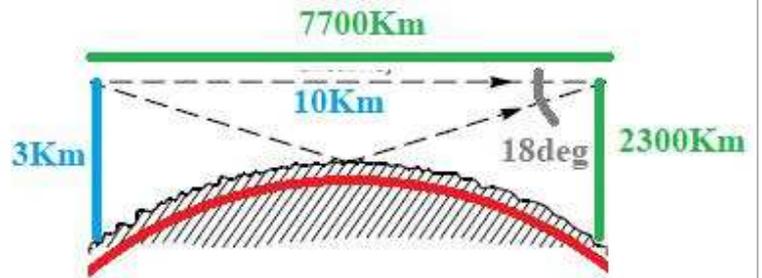
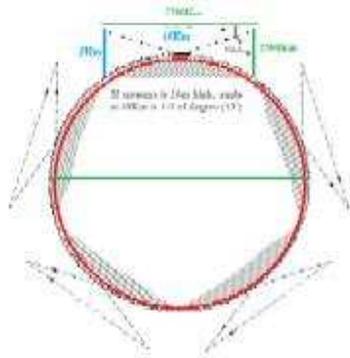
Lo strato D influenza fortemente con un assorbimento non deviativo, inversamente proporzionale alla frequenza, la parte bassa delle HF (160M, 80M, 40M); i suoi effetti sulla parte alta delle HF (10M, 12M, 15M) sono irrilevanti. Il livello di ionizzazione dello strato F risulta primario responsabile per la rifrazione ionosferica nella parte alta delle HF; a frequenze inferiori la ionizzazione risulta sufficiente per una rifrazione ionosferica. Pertanto la parte intermedia delle HF (17M, 20M, 30M) viene considerata una banda di transizione, frequenze per le quali la attenuazione dovuta allo strato D ha ancora un certo impatto e la densita' di ionizzazione dello strato E risulta spesso sufficiente a consentire una rifrazione ionosferica.

L'impatto del campo magnetico sulla ionosfera viene monitorato attraverso gli indici K ed A; la correlazione fra SSN, funzione del numero di macchie solari, e la densita' di ionizzazione viene utilizzata per la realizzazione di un modello statistico per valutare, tramite la MUF, probabilisticamente la capacita' di rifrazione ionosferica delle HF; la diretta rilevazione tramite ionosonde dei valori di foF2 permette invece di ottenere in tempo reale la morfologia della ionosfera ed anche, tramite indice T, un equivalente di macchie solari derivato dalle predette rilevazioni, un maggiormente valido modello predittivo a breve termine. Stante che la ionizzazione, e di conseguenza la capacita' di rifrazione ionosferica nella parte alta delle HF, segue il sole, una ipotesi di propagazione risulta quindi attuabile sulla base di questa semplice considerazione; il fatto che la sua validita' possa essere meno elevata comparata a quella derivante da un modello classico tipo VOACAP ha un differente impatto rispetto alla importanza di un rilevamento in tempo reale della morfologia ionosferica fornito da foF2, che consente non tanto una predizione statistica quanto una effettiva conoscenza dello stato attuale della ionosfera.



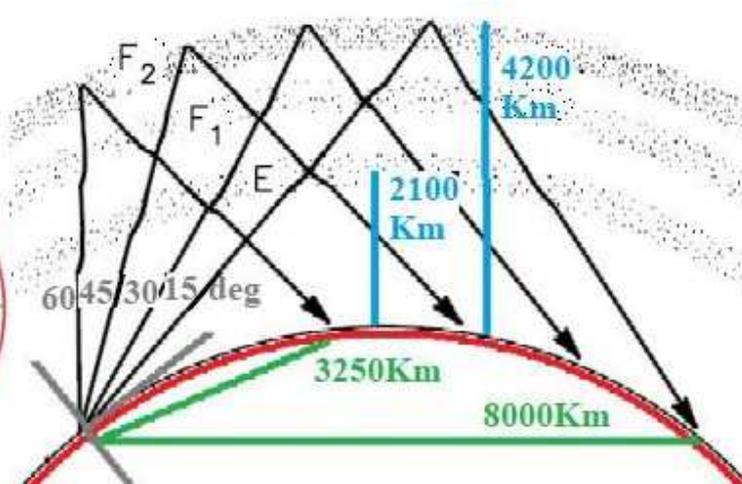
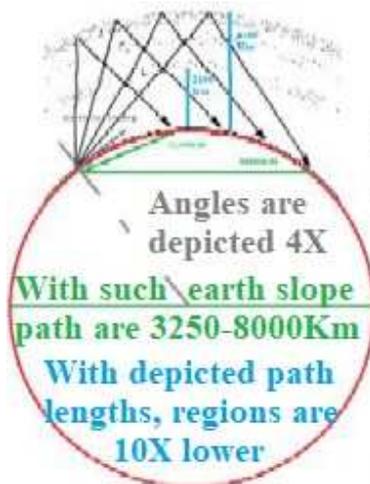
Importanza di una corretta rappresentazione grafica

Se la curvatura della figura accanto fosse quella della terra, le due stazioni sarebbero distanti 7700Km e le antenne alte 2300Km; considerando la altezza dal suolo della antenna, se la distanza fosse di 10Km le due antenne dovrebbero



If antenna is 20m high, angle at 10Km is 1/4 of degree (15')

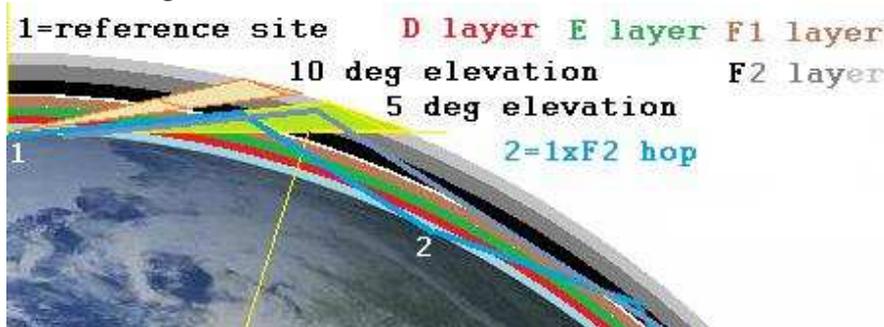
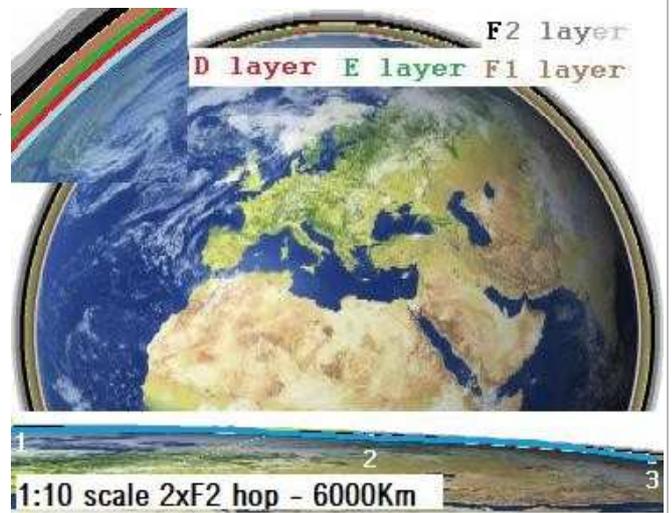
essere alte 3Km per avere la angolazione fra onda diretta ed onda riflessa dal terreno rappresentata in figura; nella realta' detta angolazione, per antenne alte 20m e distanti 10Km, risulta un quarto di grado: trascurabile. Nella figura



successiva le distanze coperte da una rifrazione ionosferica, supposto che la curvatura riportata sia quella terrestre, risultano fra 3250Km e 8000Km, con altezza degli strati E ed F2 rappresentata 10 volte superiore al reale, spingendo ad errate considerazioni: gli angoli di take-off in figura, fra i 15 ed i 60 gradi, sono ben

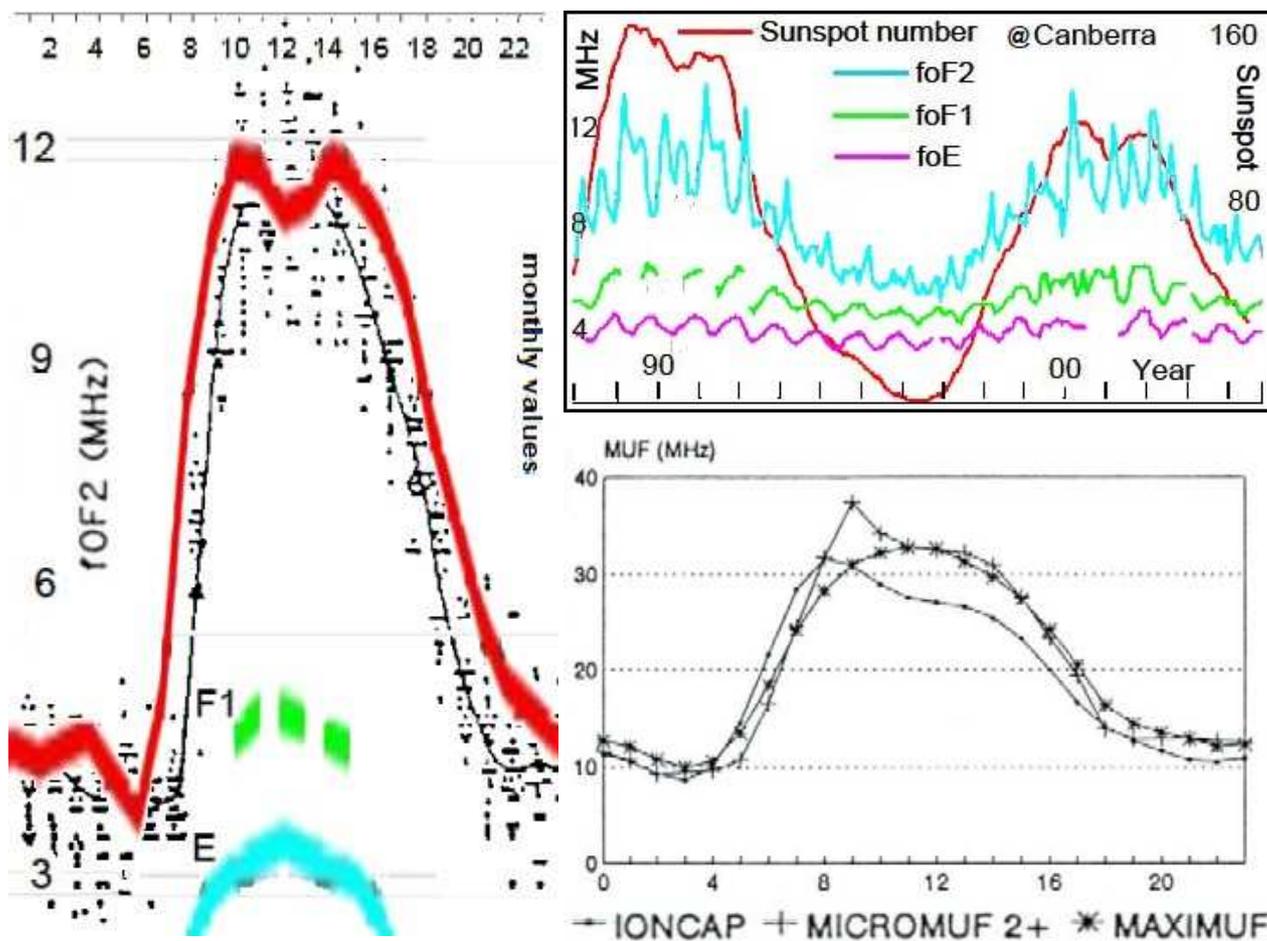
diversi da quelli reali.

Una rappresentazione in scala della ionosfera, sulla base di un raggio terrestre di 6375Km (la differenza fra raggio polare ed equatoriale e' un terzo della quota dello strato D), evidenzia la vicinanza degli strati E ed F2, che si trovano ad una altezza da terra (tipicamente 120Km e 300Km) circa pari al 2% e 5% del raggio terrestre; per quanto possiamo cercare di evidenziare questi strati, una corretta rappresentazione in cui la scala in altezza sia dieci volte quella in distanza rende evidente quanto sia necessario, per visualizzare due rifrazioni ionosferiche che tipicamente coprono 6000Km, appiattare la terra e posizionare la ionosfera vicino al suolo. Anche la angolazione necessaria per una rifrazione ionosferica da parte dello strato F2, che possiamo geometricamente assimilare ad una riflessione ad una quota leggermente superiore, assume valori che, per le HF dai 20M ai 10M, spaziano dai 15-10 gradi ad un intorno di 5 gradi.



La massima frequenza Fmax a cui un'onda viene riflessa verso terra dalla ionosfera, $F_{max} = f_oF2 * 1/\sin(\alpha)$ con alfa angolo di impatto con la ionosfera, e' 2 volte foF2, con angolo di take-off intorno ai 15 gradi, per distanze di 1500Km e tre volte foF2, con angolo di take-off intorno ai 5 gradi, per distanze di 3000Km. [5]

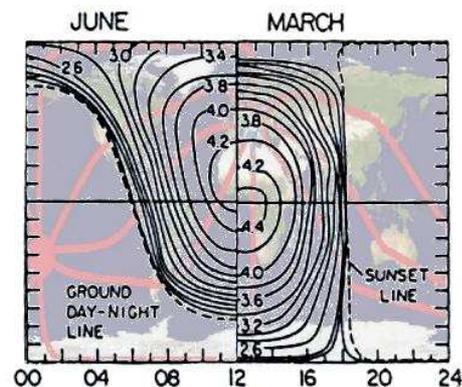
Macchie solari e modelli statistici



Il valore massimo di foF2 dipende non solo, come per foF1 e foE, dal periodo dell'anno ma soprattutto dal ciclo undecennale delle macchie solari; le sue variazioni possono essere molto elevate nel corso del mese; il suo valore attuale cambia durante la giornata; queste ampie variazioni sono tali da consentire un utilizzo del numero medio di macchie solari SSN unicamente per modelli statistici. Differenti osservatori calcolano SSN secondo differenti formule e pertanto i risultati dei programmi di previsione statistica offrono differenti risultati.

SSN : current, predicted, equivalent, effective, mean, smoothed...	
SIDC :	13-month total SSN = 63 (the official SSN value)
SIDC :	Monthly mean total SN = 69.7 (the official ISN or RI)
NOAA/NGDC :	Monthly predicted SSN = 39.2 (the historical source for VOACAP)
IPS :	Monthly predicted SSN = 39.3 (got from SIDC since 07/2015)
SWPC :	Weekly Predicted SSN = 33.6 (got from SIDC since 07/2015)
HFradio.org :	Predicted SSN = 33.6 (got from IPS but no more available today)
GeoAlert-Extreme :	Equivalent SSN = 31 (got from SEC)
WinCAP Wizard :	SSN = 34 (got from SEC, today closed down)
DX ToolBox :	SSN = 36 (in fact calculated for August 29)
IonoProbe :	Current SSN = 36 (in fact the Sunspot number for Aug 30) Effective SSN = 89 (from real-time interpolation)
HFProp :	SSN = 29

These data are calculated for August 2004 and compiled from various observatories and applications to get a point-to-point prediction for August 30 at 16h30 UTC. While SIDC data are the official and the most accurate, VOACAP algorithms having been fine-tuned for the "old SSN", it is recommended to keep using [NGDC monthly predicted SSN](#) (calculated until 2020).

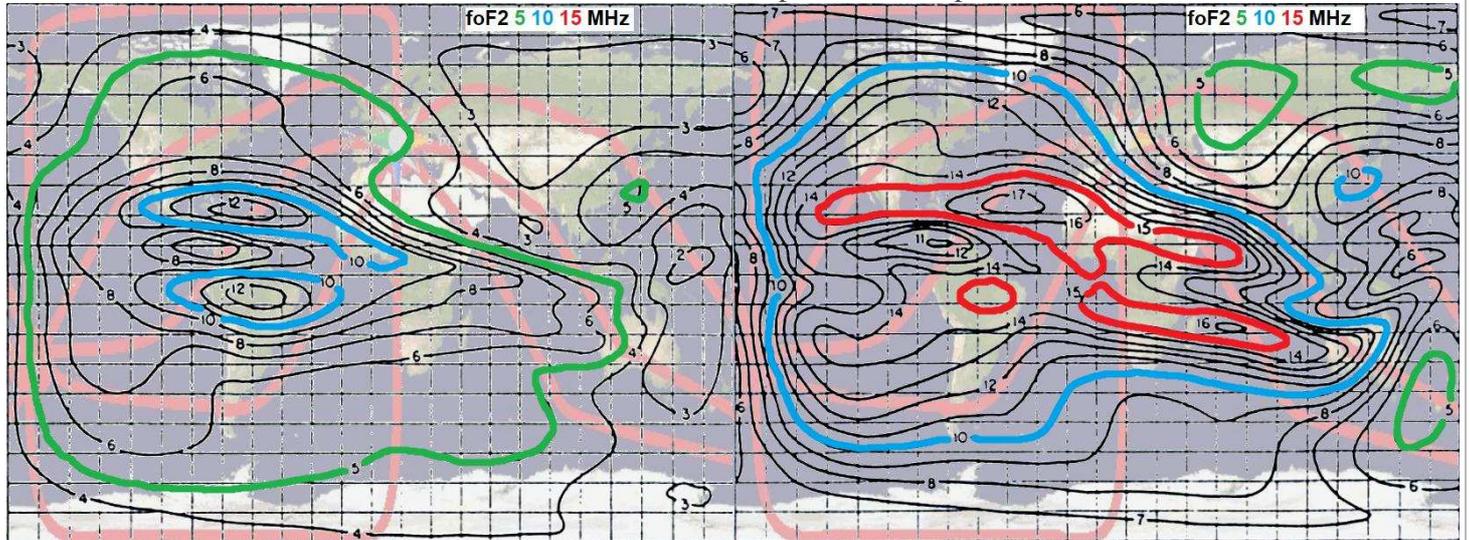


La mera attuale conoscenza della rilevanza della attività solare per quanto riguarda il valore di foF2, valore che consente un utilizzo delle HF a frequenze maggiori, ci offre risultati che i modelli statistici non possono ampliare in modo rilevante;

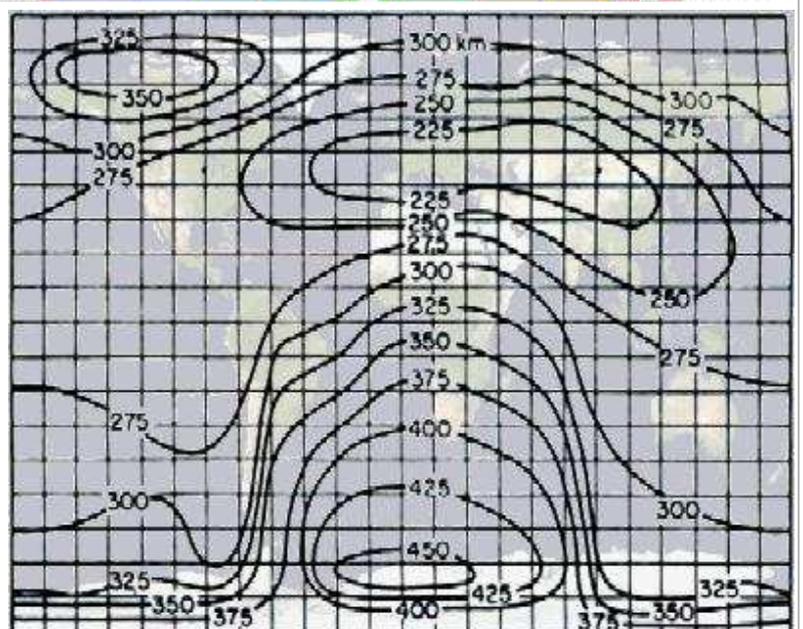
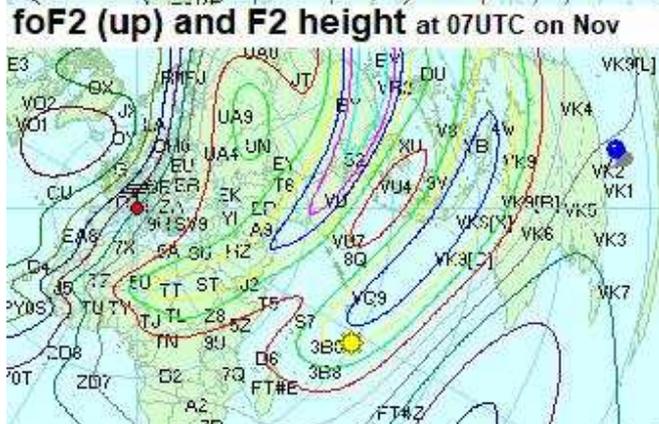
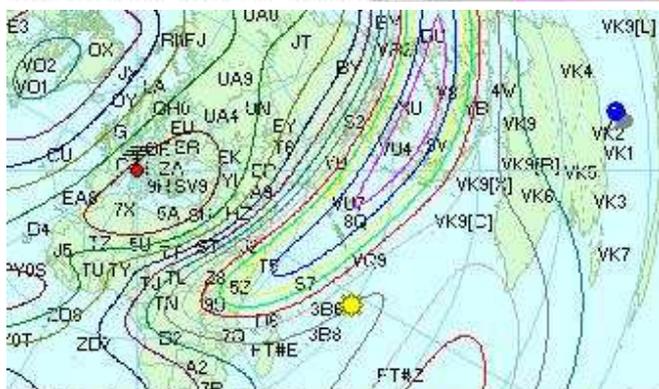
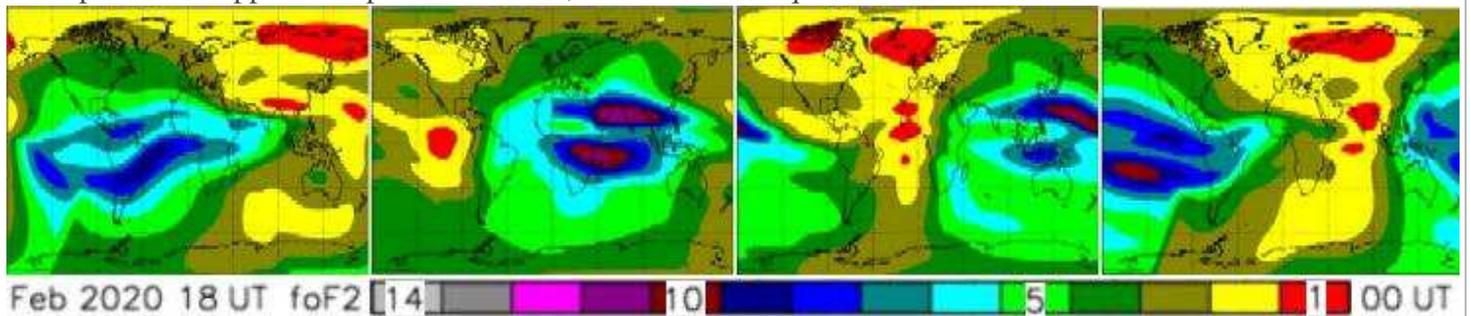
per ottenere risultati di maggiore interesse occorre analizzare i dati in tempo reale.

Rilevamento in tempo reale della ionosfera

Tramite le ionosonde vengono rilevati i valori attuali di foF2, che variano in funzione della attivita' solare; in figura sono rappresentate le aree in cui foF2 assume determinati valori, ottenute per estrapolazione; i valori sono stati presi alla stessa ora dello stesso giorno di anni differenti, con valori di SSN rispettivamente di 12 e 137; sono poste in evidenza le linee relative a 5, 10 e 15MHz e sullo sfondo i path dall'Europa verso le direzioni N, NE, E, SE.



SWS pubblica mappe in tempo reale di foF2, da cui si evince quanto fluida sia la ionizzazione ionosferica.



In queste mappe non compare la altezza dello strato F2, un parametro importante per comprendere la tridimensionalita' ed i gradienti della ionizzazione ionosferica; inoltre un utilizzo di mappe azimutali rende piu' facile la identificazione del path.