



**Sezione
di
Pisa**

Stasera parliamo di

Antenne

Parte seconda

*Lobo di radiazione e
Propagazione Ionosferica*

11/04/2025 © ARI Sezione di Pisa - i5WHC



Sezione
di
Pisa

La volta scorsa abbiamo parlato di «SWR e efficienza di radiazione» andando ad analizzare quali sono gli elementi che determinano la percentuale della potenza elettrica emessa dal nostro trasmettitore che viene irradiata sotto forma di energia elettromagnetica dalla nostra antenna.

*Questa sera andremo ad analizzare invece gli aspetti che determinano «**dove e come**» questa energia viene irradiata.*

*Parleremo infatti di «**Lobo di radiazione**» e della relazione con la «**Propagazione Ionosferica**»*

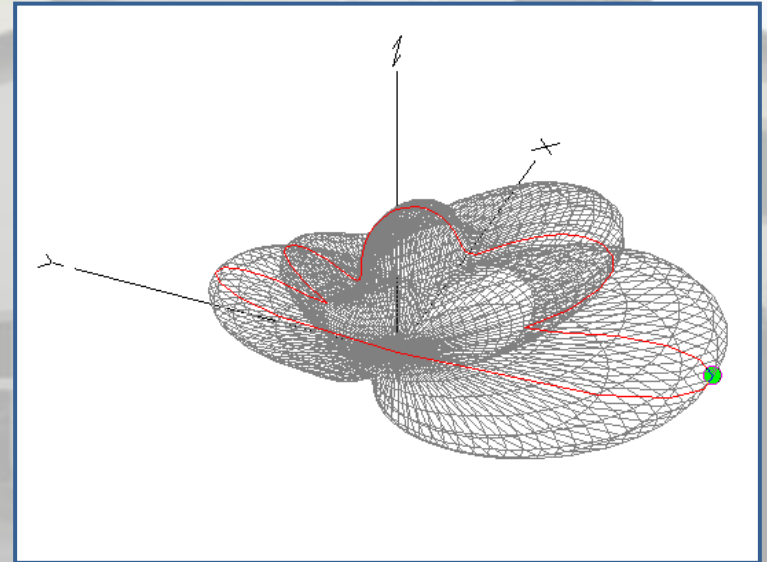
Lobo di Radiazione dell'antenna

E' noto che qualsiasi antenna, sulla base delle sue caratteristiche fisiche, ma soprattutto, come veremo, sulla base dell'ambiente e della posizione in cui viene posta, presenta aree e direzioni in cui l'intensità del campo emesso è diversa.

*La rappresentazione grafica dell'intensità del campo emesso da un'antenna, è raffigurata nello spazio da un grafico tridimensionale che prende il nome di «**solido o lobo di radiazione**»*

*Per semplicità di rappresentazione il lobo di radiazione viene più spesso rappresentato in forma «piana» rappresentando le sezioni del solido sul piano orizzontale (**Azimuth Plot**) o sul piano verticale (**Elevation Plot**) a seconda delle esigenze. Si parla in questo caso di lobo verticale o lobo orizzontale.*

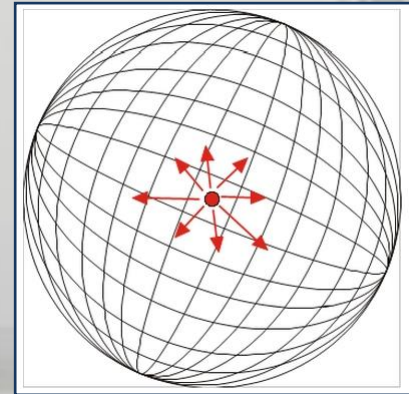
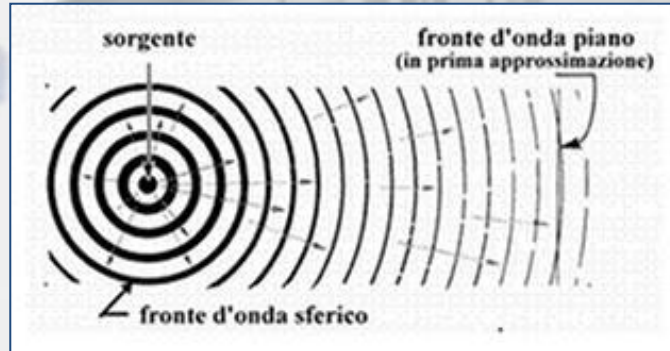
Ma vediamo adesso come si forma il lobo di radiazione.



Lobo di Radiazione dell'antenna

Abbiamo visto la volta scorsa parlando di efficienza di radiazione che ad una certa distanza dall'antenna (*area di campo lontano - Fraunhofer Region*) la stessa può essere considerata come una sorgente «puntiforme» e il campo elettromagnetico emesso ha le caratteristiche di un'onda piana che si propaga linearmente nello spazio.

Nello studio teorico del comportamento di un'antenna si prende sempre come riferimento il caso di una antenna «teorica» definita «isotropica» ovvero che ha le caratteristiche di una sorgente puntiforme e dove il campo emesso ha la stessa intensità in ogni direzione .

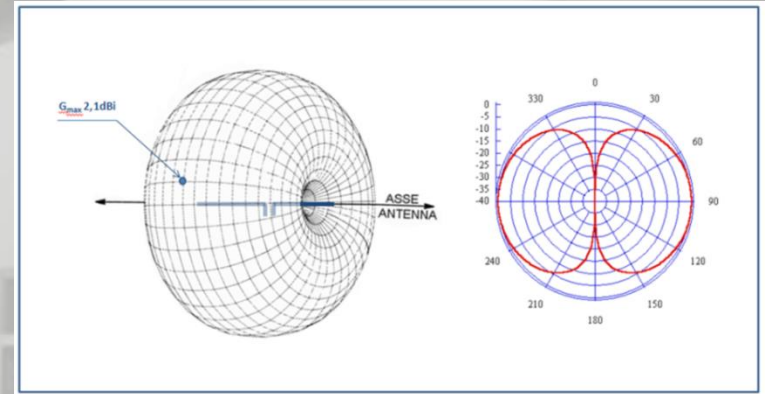


Lobo di Radiazione dell'antenna

Nella realtà il campo emesso da un'antenna anche trascurando l'effetto dell'ambiente circostante (spazio libero) **non è mai uniforme in tutte le direzioni**.

Nello studio teorico del comportamento di un'antenna «reale» si considera sempre che l'antenna stessa sia posta nello «spazio libero» e la valutazione dell'intensità del campo emesso è sempre riferita al «radiatore isotropico»

Nel caso di un dipolo posto nello spazio libero la rappresentazione nello spazio dell'intensità del campo emesso assume la forma di un toroide e la massima intensità del campo coincide con il piano perpendicolare all'asse del dipolo stesso e in questa direzione l'intensità del campo è maggiore di 2,1dB rispetto al radiatore isotropico, ovvero come si usa dire il dipolo ha, nello spazio libero, un guadagno massimo di 2,1 dBi



Lobo di Radiazione dell'antenna

Nel definire le caratteristiche di un'antenna in termini di guadagno, lo stesso dovrebbe essere sempre riferito alle condizioni descritte nella slide presedente, ovvero il guadagno dichiarato dovrebbe essere quello relativo all'antenna posta nello «**spazio libero**» e il suo valore in dB sempre riferito al «**radiatore isotropico**» (dBi).

Solo così è possibile effettuare un confronto attendibile tra antenne di caratteristiche diverse, avendo però ben chiaro, come vedremo più avanti, che in ambiente reale, *l'intensità e la direzione del campo emesso, può subire significative modifiche tali da non poter permettere alcun confronto tra antenne poste in condizioni ambientali diverse.*

Le variazioni, come vedremo, sono tali da rendere in certe condizioni *un'antenna inadatta ad un determinato utilizzo se posta in un ambiente non idoneo.*

Vediamo adesso cosa accade al lobo di radiazione in un ambiente «reale»:

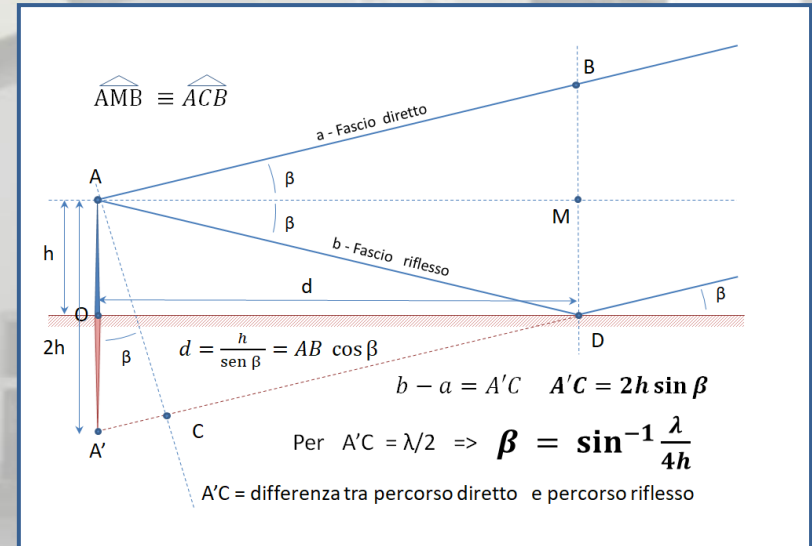
Lobo di Radiazione dell'antenna

Dal punto di vista di un corrispondente posto a grande distanza dalla nostra antenna il segnale ricevuto risulta sempre dalla composizione di un «**fascio diretto**» (a) e di un «**fascio riflesso**» dal terreno (b).

*La differenza nella lunghezza dei percorsi dei due fasci determina una differenza di fase in base alla quale le due componenti possono sommarsi o sottrarsi, questo effetto è noto in letteratura tecnica con il termine di «**Ground Gain**».*

Le due componenti si sommano quando la differenza di percorso (segmento A'C) risulta essere tale per cui le componenti stesse risultano in fase

Poichè la differenza nella lunghezza dei due percorsi varia in funzione *dell'altezza da terra «h»* dell'antenna e *dell'angolo di take-off «β»*, è possibile determinare, per ciascun valore dell'angolo «β» di una antenna posta ad altezza «h», il valore del campo totale risultante dalla composizione vettoriale dei due fasci

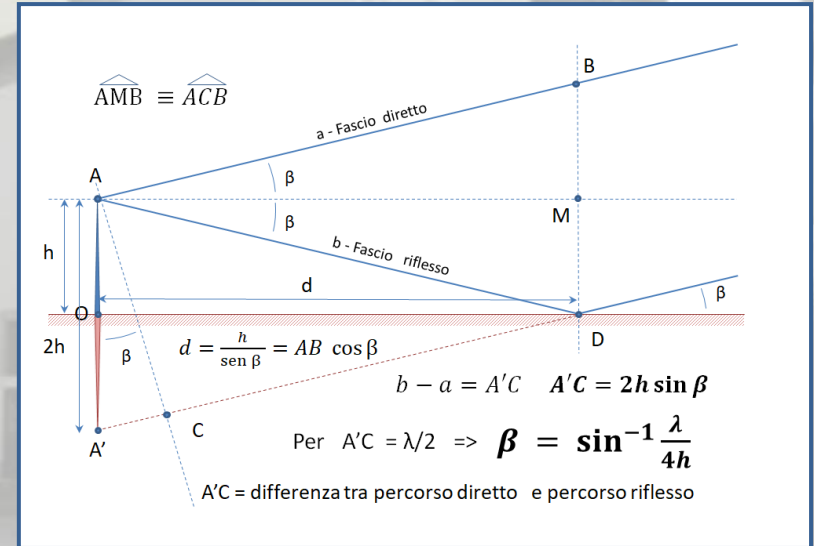


Lobo di Radiazione dell'antenna

Peraltro l'effetto prodotto dal terreno è del tutto analogo a quello che si determina in un'antenna «direttiva» dove la concentrazione dell'energia irradiata avviene con lo stesso meccanismo attraverso il quale *più elementi radianti, siano essi «attivi» come nel caso degli Array o «passivi» come nel caso delle Yagi, generano fasci con fase diversa la cui combinazione determina l'effetto di direttività*

Non è un caso infatti che il fascio generato dalla riflessione sul terreno possa essere considerato come se fosse generato da una seconda **antenna «immagine»** posta nel punto A' del disegno.

Modificando opportunamente la fase del segnale emesso dalle due antenne si può modificare la direzione del lobo di massima radiazione ottenuto dalla combinazione dei fasci. Su questo principio si basa il funzionamento di un array o di una yagi

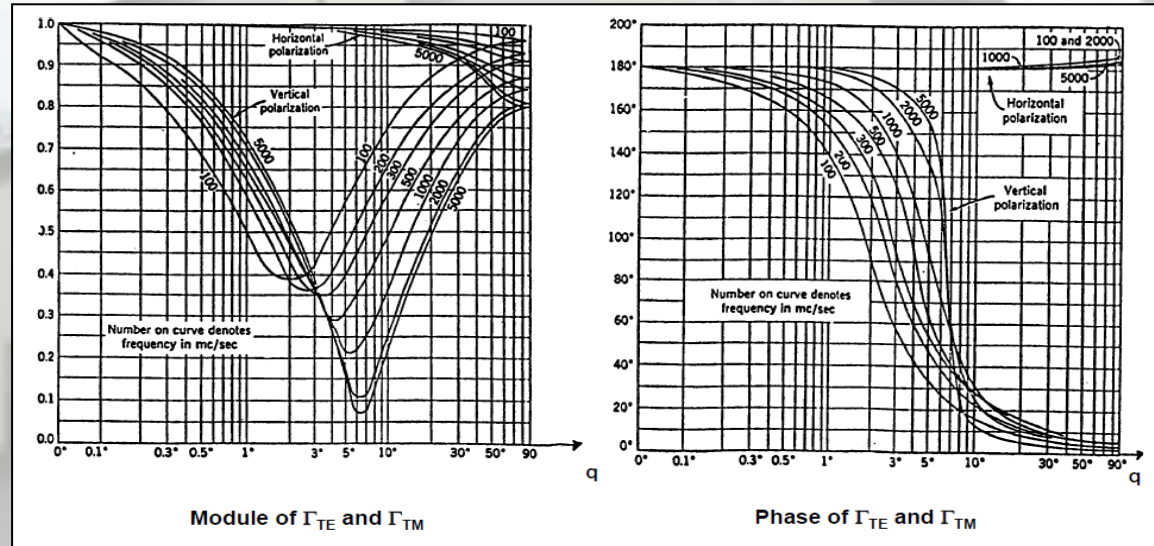


Lobo di Radiazione dell'antenna

Come risulta dal diagramma, l'intensità e la fase del segnale riflesso dal terreno non è costante ma varia in funzione della frequenza, dell'angolo di incidenza ma soprattutto della «*polarizzazione*» del segnale stesso

Il coefficiente di riflessione sul terreno Ψ (psi), a parità di angolo di incidenza, è *significativamente diverso, sia in termini di ampiezza sia in termini di fase, tra polarizzazione orizzontale (modo TM) e polarizzazione verticale (modo TE).*

E' interessante osservare, come evidenziato nei grafici, che *in polarizzazione orizzontale si ha sempre una rotazione di fase di 180° nella riflessione sul terreno mentre in polarizzazione verticale, quando l'angolo di riflessione è maggiore di circa 5-10° (ψ_B Pseudo Brewster angle), la rotazione di fase tende a zero*



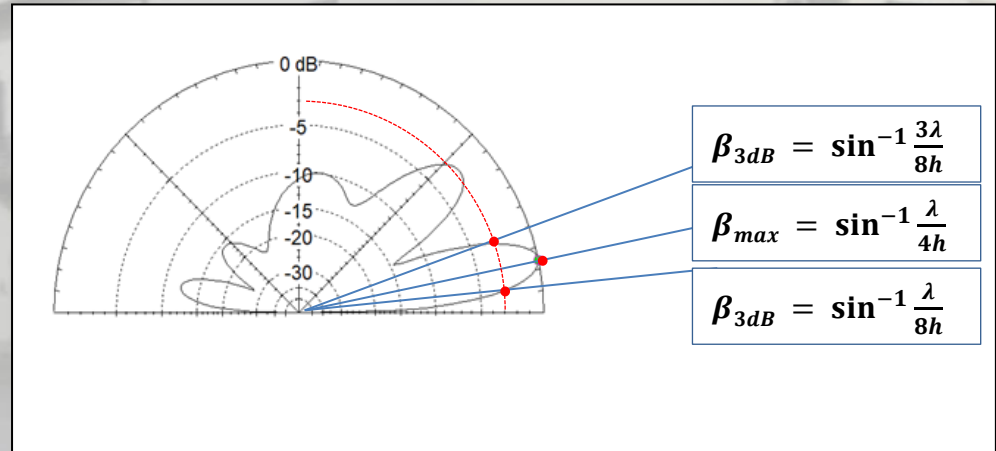
Lobo di Radiazione dell'antenna

In funzione della differenza di fase tra le due componenti (fascio diretto e fascio riflesso) il campo complessivo può incrementarsi **fino a +6dB** rispetto al guadagno teorico dell'antenna nello spazio libero quando i campi sono perfettamente in fase (Ground gain), e **scendere di anche -20dB** quando i campi sono in opposizione di fase.

Nel caso di un'antenna con «**polarizzazione orizzontale**» le due componenti si sommeranno quando la differenza tra i percorsi (*segmento A'C slide 7*) sarà uguale a $\lambda/2$ e in questo caso ciò avviene per $\beta = \sin^{-1} \frac{\lambda}{4h}$

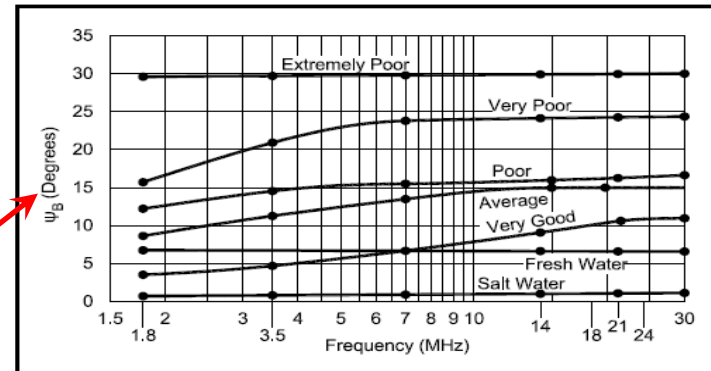
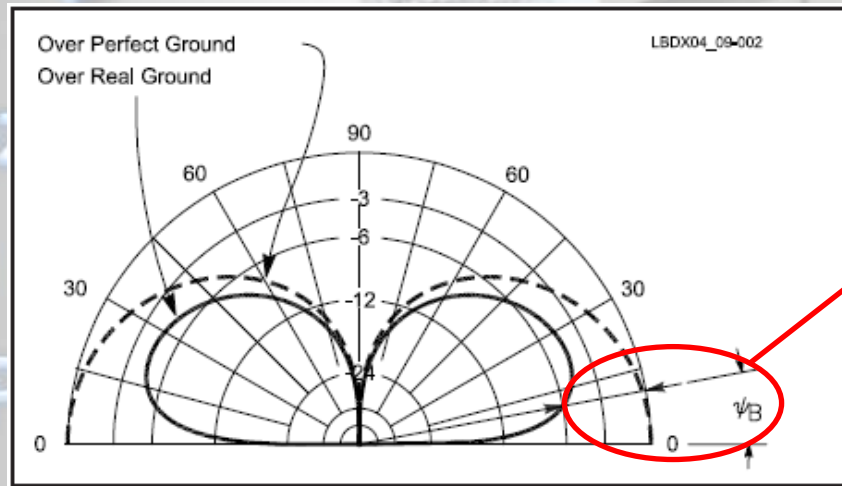
Sulla base dello stesso ragionamento è possibile determinare il valore di altezza «**h**» a cui porre l'antenna per ottenere che il massimo del lobo si presenti ad un determinato angolo di take-off « **β** »:

$$h = \frac{\lambda}{4 \sin \beta}$$

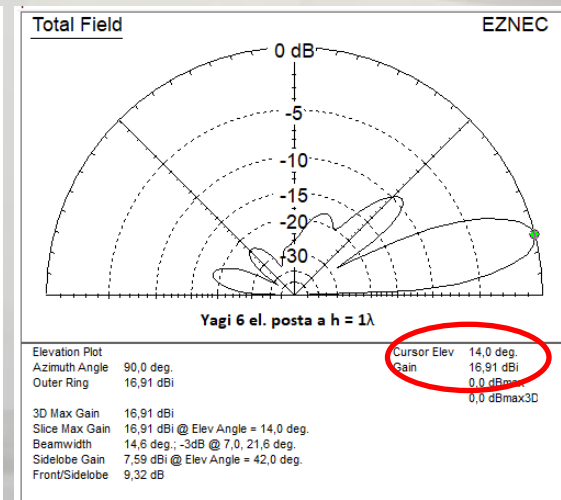
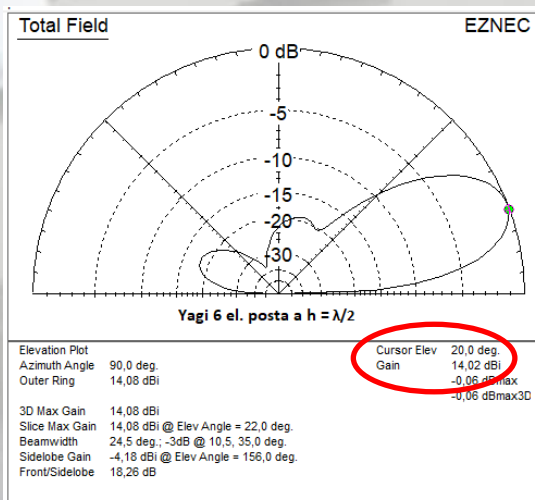
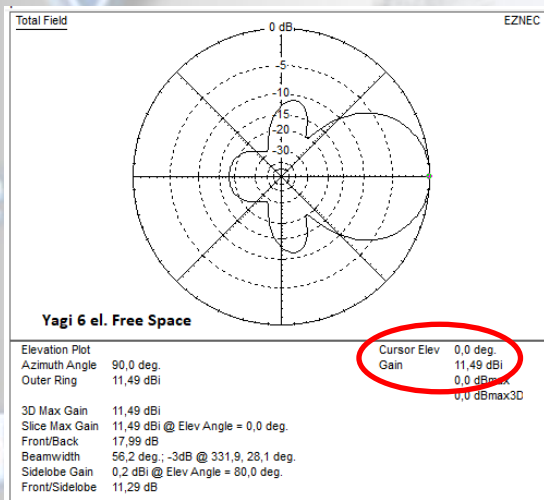
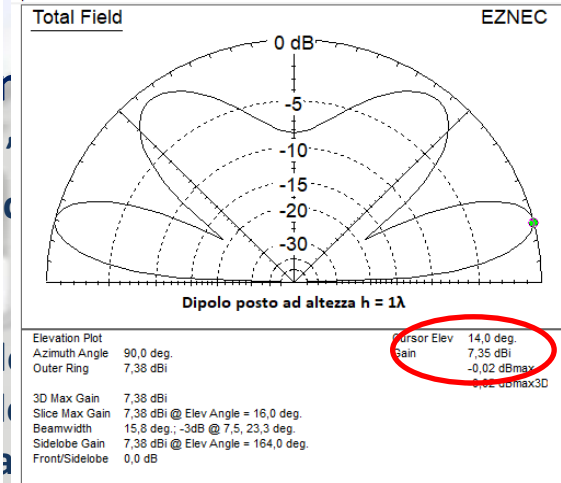
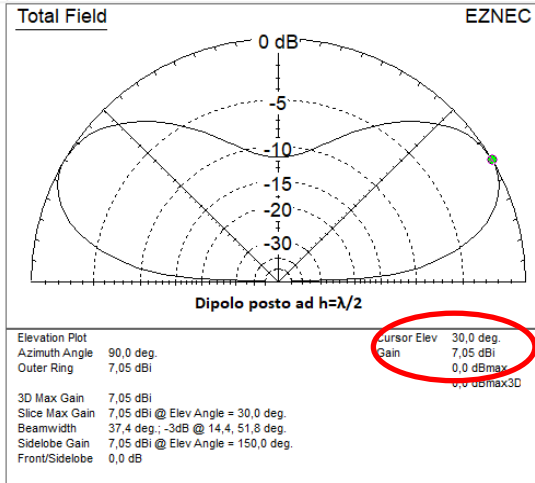
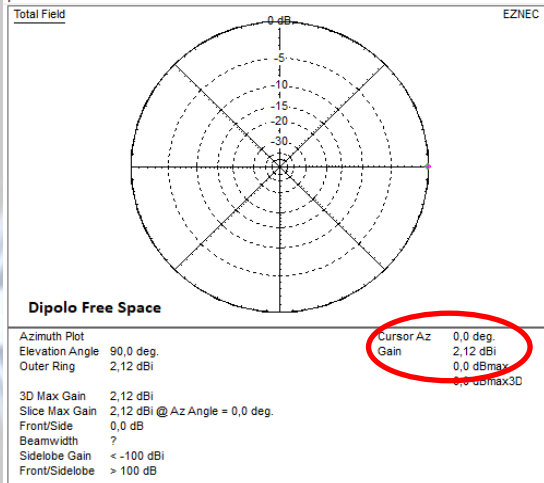


Lobo di Radiazione dell'antenna

Allo stesso modo è possibile descrivere l'andamento del lobo verticale di un'antenna in polarizzazione verticale (modo TE) ricordando però che un fascio con polarizzazione verticale, diversamente da quello orizzontale (modo TM), ***non subisce l'inversione di fase nella riflessione a terra***, ne consegue che le componenti, diretta e riflessa, avranno la stessa fase già per altezze da terra prossime a zero, per questo motivo ***un'antenna a «polarizzazione verticale» presenta un lobo con basso angolo di radiazione anche quando posta a terra***. Per contro il lobo di radiazione dell'antenna verticale è maggiormente influenzato dalle caratteristiche dielettriche del terreno.



Fonte: ON4UN Low Band Dxing - Cap.9





In base a quanto abbiamo visto, quando andiamo a valutare il comportamento di un sistema radiante la valutazione non può quindi prescindere dal contesto in cui il sistema stesso è utilizzato.

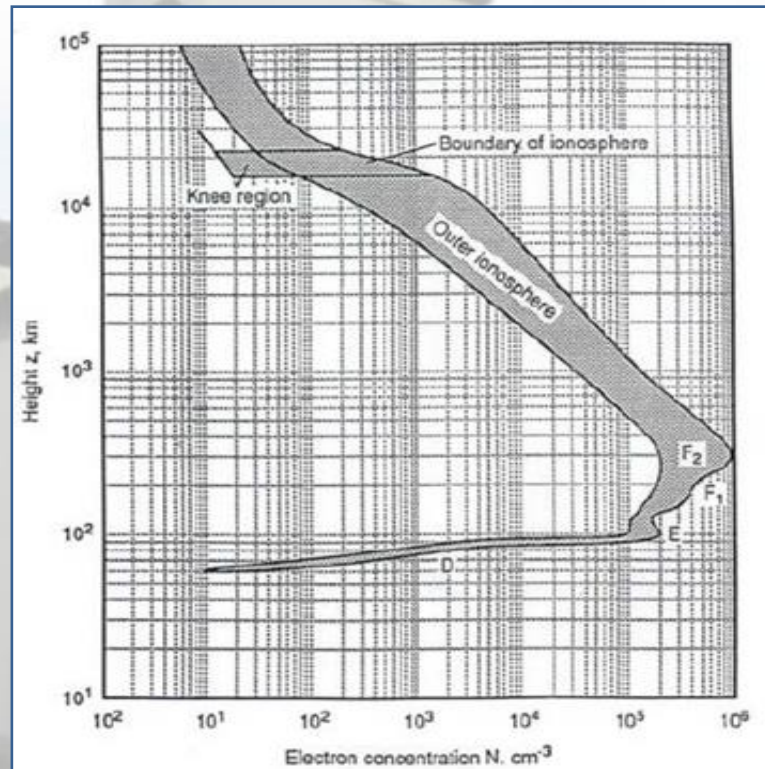
In parole più semplici non esiste «un'antenna valida per tutte le condizioni» ma è sempre necessario metterne in relazione le caratteristiche con le condizioni di utilizzo a partire dalle caratteristiche della propagazione specifiche delle varie bande di utilizzo.

Cercheremo adesso di analizzare gli aspetti relativi ai sistemi radianti utilizzati in HF dove la modalità prevalente è quella della «Propagazione Ionosferica» da cui partiamo con breve richiamo degli aspetti principali che la caratterizzano

Propagazione Ionosferica

La ionosfera terrestre per altezze da terra comprese gli 80Km e i 500Km si presenta come un **plasma** con valori di N_e (densità elettronica) stratificati e variabili in funzione dell'altezza

Il livello di densità elettronica (ionizzazione) varia in relazione al ciclo solare e il valore massimo di N_e si raggiunge di giorno intorno ai 350Km di altezza (Strato F2)



Propagazione Ionosferica

Il plasma ionosferico è un gas «ionizzato», cioè è costituito da un insieme di elettroni (cariche negative) e ioni (cariche positive), che è globalmente neutro (la cui carica elettrica totale è in equilibrio).

Le cariche elettriche libere fanno sì che il plasma sia un *buon conduttore di elettricità, e che risponda fortemente ai campi elettromagnetici*.

La fisica del plasma ionosferico ci dice che la «*Frequenza di Plasma*» f_p è la frequenza del moto armonico con cui gli elettroni si muovono all'interno del plasma e dipende dalla densità di cariche libere presenti (N_e), il valore di tale frequenza è dato dalla formula:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q^2 N_e}{m \epsilon_0}} \cong 9 \sqrt{N_e}$$

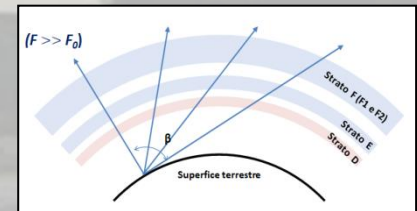
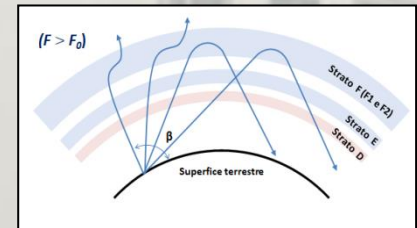
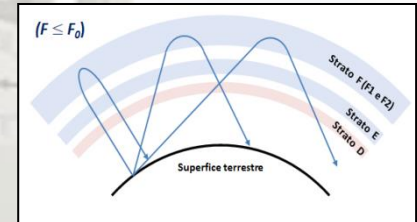
dove N_e è la densità degli elettroni, q è la carica elettrica, m è la massa effettiva dell'elettrone e ϵ_0 è la costante dielettrica del vuoto.

Propagazione Ionosferica

La frequenza di plasma è detta anche «**Frequenza Critica**» F_0 in quanto definisce il limite oltre il quale il comportamento del plasma ionosferico nei confronti di un campo EM si modifica.

In particolare possiamo identificare 3 diverse condizioni:

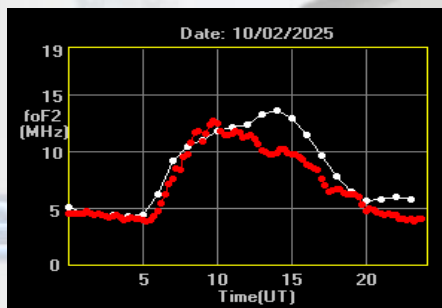
1. La frequenza F del fascio EM che raggiunge la ionosfera è minore della frequenza critica ($F \leq F_0$) il plasma si comporta come un «**buon conduttore**» causando sempre la **riflessione totale** del fascio
2. La frequenza F del fascio EM che raggiunge la ionosfera è maggiore della frequenza critica ($F > F_0$) il plasma si comporta come un «**mezzo a indice di rifrazione variabile in funzione della frequenza**» causando la **deviazione del fascio che l'attraversa** in funzione del valore assunto dall'indice di rifrazione ($\eta < 1$)
3. La frequenza F del fascio EM che raggiunge la ionosfera è molto maggiore della frequenza critica ($F \gg F_0$) il plasma è «**totalmente trasparente**» al fascio EM che **non subisce variazioni** ($\eta = 1$)



Propagazione Ionosferica

Il valore della frequenza critica F_0 degli strati ionizzati della ionosfera viene continuamente monitorata dalla rete mondiale degli Istituti di Geofisica attraverso l'impiego delle «**ionosonde**» che inviano treni di impulsi nello spettro 1-15 Mhz misurando il tempo di ritorno degli echi prodotti dalla riflessione, i dati elaborati permettono di redigere gli “ionogrammi”.

[http:// ionos.ingv.it/roma/latest.html](http://ionos.ingv.it/roma/latest.html)



In questo periodo di elevata attività solare (SSN= 130) i valori della Frequenza Critica F_0 variano da un minimo di 5-6MHz nelle ore notturne fino ad un massimo di 12-13 MHz nelle ore diurne

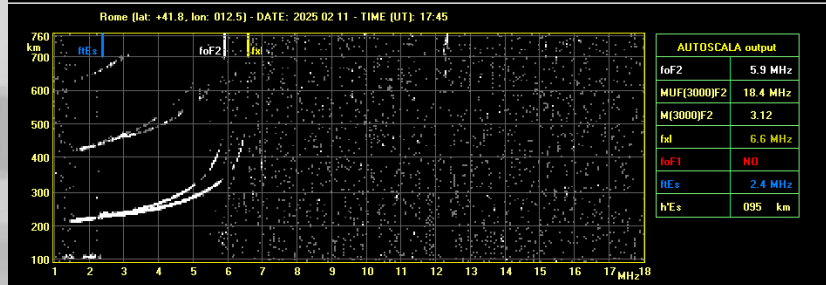
Ionospheric Station of Rome - AIS INGV Ionosonde

Latest Ionogram

Latitude 41.8 N

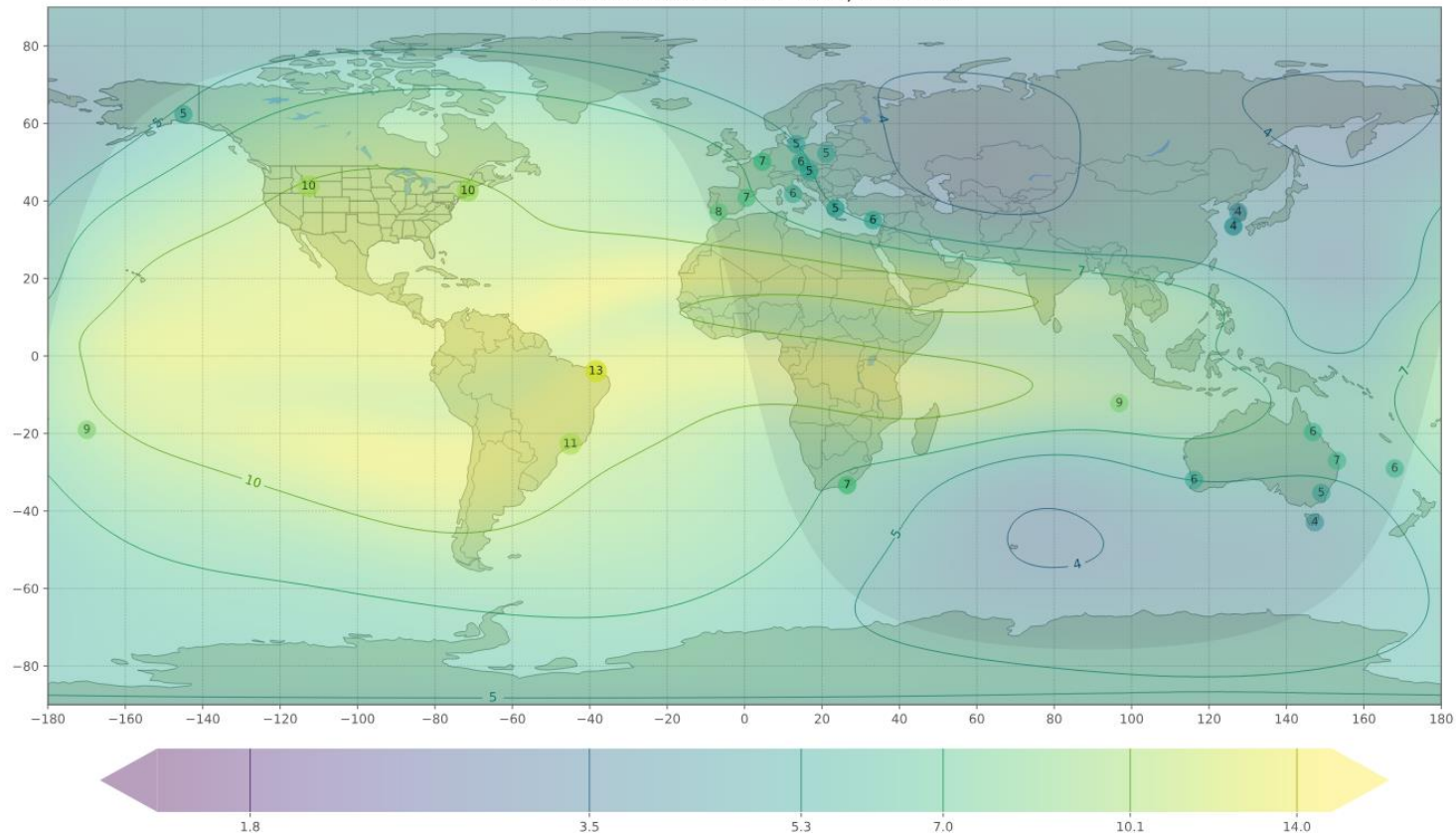
Longitude 012.5 E

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)



Propagazione Ionosferica

fof2 2025-02-12 18:15 eSFI: 134.7, eSSN: 96.3

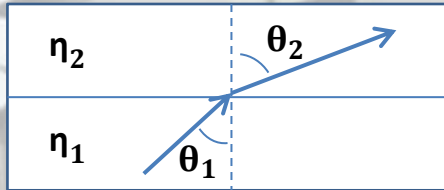


<https://prop.kc2g.com/>

Propagazione Ionosferica

Concentriamo adesso la nostra attenzione sul caso 2 in cui la frequenza f del fascio EM che raggiunge la ionosfera è *maggiore* della frequenza critica ($F > F_0$)

Abbiamo visto che in questo caso il plasma si comporta come **un mezzo a indice di rifrazione variabile** causando la deviazione del fascio in funzione del valore assunto dall'indice di rifrazione η (eta) con le stesse regole dell'ottica geometrica descritte dalla legge di Snell:



$$\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_2 \sin \theta_2$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

La fisica del plasma ionosferico ci dice che il valore dell'indice di rifrazione η varia in funzione del valore della densità elettronica N_e e della frequenza f secondo la relazione:

$$\eta = \sqrt{\epsilon_r} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_0}{f}\right)^2} \cong \sqrt{1 - \frac{81N_e}{f^2}}$$

Propagazione Ionosferica

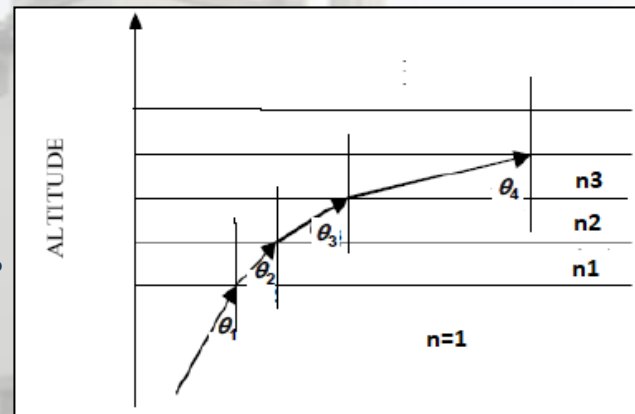
Ne consegue che il valore **dell'indice di rifrazione η** che nell'aria è di circa 1 inizia a diminuire mano mano che il fascio penetra nella zona ionizzata dove il valore di N_e aumenta fino a raggiungere il suo valore massimo nello strato F2 causando la deviazione del fascio

ricordando che:

$$\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_i \sin \theta_i \quad \text{Per } n_1=1 \quad \sin \theta_i = \frac{\sin \theta_1}{\eta_i}$$

Da cui:

Per **$\eta_i = \sin \theta_1$** il valore dell'angolo θ_i è pari a 90° e il fascio subirà quindi una riflessione totale tornando verso terra.



Ne risulta che nel caso in cui $F > F_0$ la riflessione avviene solo se la combinazione Frequenza/Angolo di incidenza è tale da rispettare la relazione: $\eta \leq \sin \theta_1$

Propagazione Ionosferica

Abbiamo già visto come il valore dell'indice di rifrazione η dipenda dalla frequenza e dal livello di concentrazione elettronica N_e , se eguagliamo le due relazioni

$$\eta = \sin \theta_1 \quad \text{e} \quad \eta = \sqrt{1 - \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}$$

Ne possiamo ricavare una terza che ci permette di determinare la massima frequenza $F_{\max}$ per la quale si ha la riflessione in funzione dell'angolo di incidenza θ (*theta*) del fascio EM e del livello di ionizzazione e quindi di F_0 :

$$F_{\max} = \frac{F_0}{\cos \theta}$$

Questa relazione ci dice che la *massima frequenza per la quale si ha riflessione (MUF) dipende dal livello di ionizzazione e dall'angolo di incidenza θ con cui il fascio raggiunge lo strato*, angolo che a sua volta dipende, come vedremo dall'altezza dello strato e dall'angolo di radiazione dell'antenna.

Propagazione Ionosferica

Vedremo meglio più avanti come, a causa della curvatura della superficie terrestre, e in funzione dell'altezza dello strato F2, il massimo valore che può assumere θ è di circa **70°** questo è il valore convenzionale utilizzato per calcolare la **MUF(3000)F2**

Ionospheric Station of Rome - AIS INGV Ionosonde

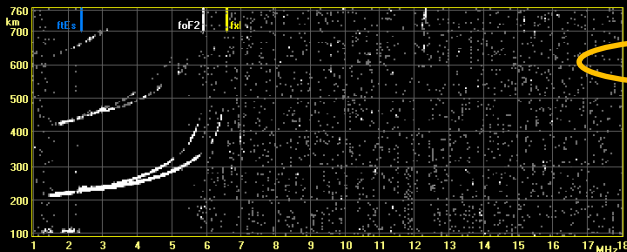
Latest Ionogram

Latitude 41.8 N

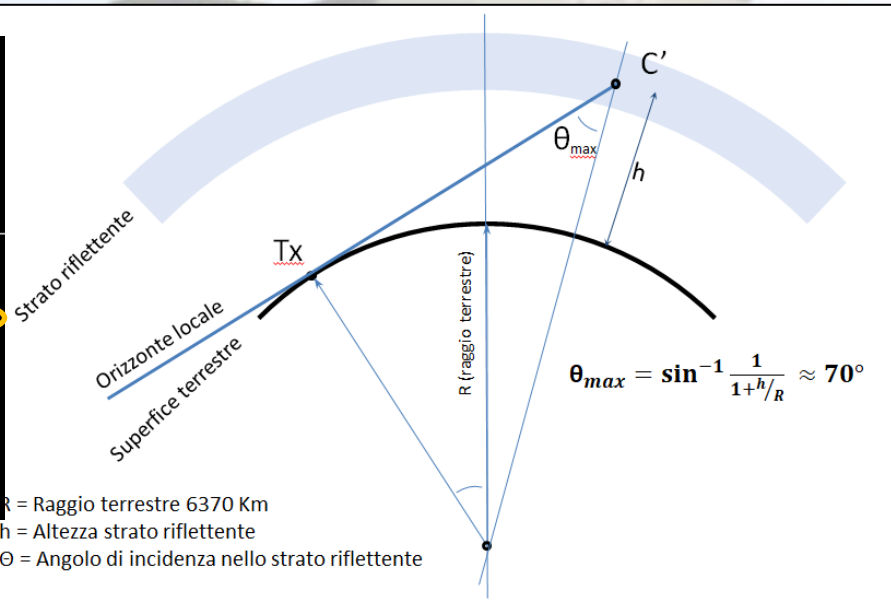
Longitude 012.5 E

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Rome (lat: +41.8, lon: 012.5) - DATE: 2025 02 11 - TIME (UT): 17:45



AUTOSCALA output	
foF2	5.3 MHz
MUF(3000)F2	18.4 MHz
M(3000)F2	3.12
foF1	6.6 MHz
foF1	NO
fEs	2.4 MHz
h'Es	095 km

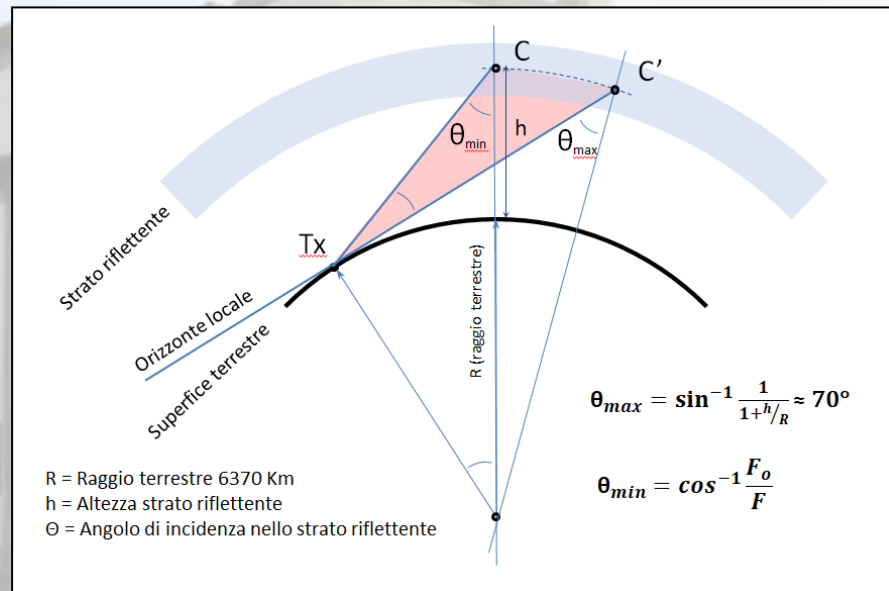


Pisa

Propagazione Ionosferica

Abbiamo visto, dal comportamento della ionosfera fin qui descritto, come per frequenze F maggiori di F_0 la riflessione non è sempre garantita ma **è possibile solo se l'angolo di incidenza θ risulta maggiore di $\cos^{-1} \frac{F_0}{F}$**

Abbiamo anche visto come esista un valore dell'angolo di incidenza $\theta_{\max}$ che non può essere superato a causa della curvatura della superficie terrestre, ne deriva che se si usa una frequenza di lavoro $F < MUF$ **l'angolo di incidenza θ deve comunque essere compreso entro un range che si estende da $\theta_{\min}$ a $\theta_{\max}$**



Propagazione Ionosferica

Una volta descritte le principali dinamiche della propagazione ionosferica possiamo fare alcune considerazioni sui sistemi di antenna e sulla loro ottimizzazione in relazione a tali dinamiche:

1. La prima importante considerazione è che in funzione delle condizioni di propagazione (*valore della frequenza critica F_0*) per ciascuna banda si può determinare *il range angolare per il quale è garantita la riflessione.*
2. La seconda considerazione che ne deriva è che per sfruttare al meglio le condizioni di propagazione *il lobo di radiazione della nostra antenna dovrebbe coincidere il più possibile con il range angolare di cui sopra.*
3. Sulle bande più basse dove, in base al valore di valore F_0 , la riflessione potrebbe essere sempre garantita, *il lobo di radiazione della nostra antenna è comunque determinante nel definire lo «skip» ottimale*

Proviamo a chiarire meglio questi aspetti:

Propagazione Ionosferica

Geometria della riflessione Ionosferica

Si noti che :
AOC e ABC sono triangoli simili
Da cui l'angolo in O di AOC è
uguale all'angolo in A di
ABC che a sua volta è
uguale a β
se ne ricava:

$$OB = R \cos \beta$$

Si noti inoltre che il triangolo
OBS è rettangolo in B
Se ne ricava:

$$OB = OS \sin \Phi$$

Eguagliando le due espressioni si ottiene:

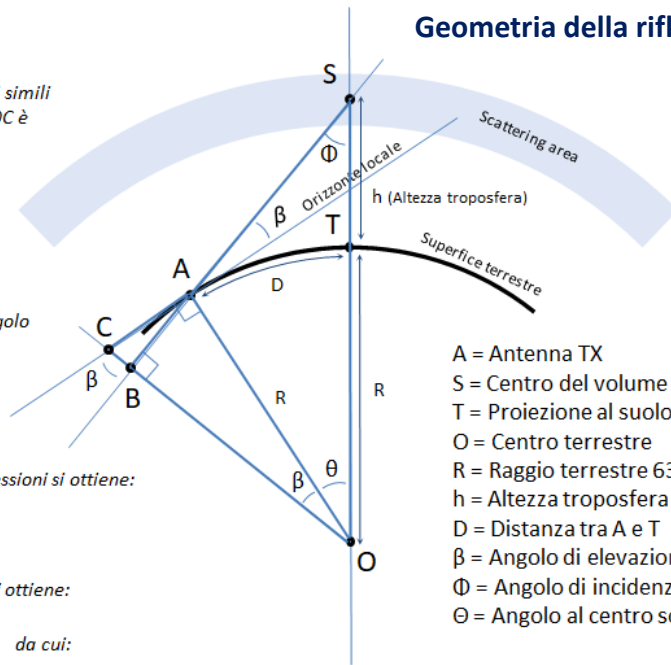
$$R \cos \beta = OS \sin \Phi$$

Ma poichè $OS = R + h$ si ottiene:

$$R \cos \beta = (R+h) \sin \Phi \quad \text{da cui:}$$

$$\sin \Phi = \frac{R \cos \beta}{R+h} \quad \text{da cui:}$$

$$\Phi = \sin^{-1} \frac{\cos \beta}{1 + h/R}$$



A = Antenna TX
S = Centro del volume di scattering
T = Proiezione al suolo di S
O = Centro terrestre
R = Raggio terrestre 6370 Km
h = Altezza troposfera
D = Distanza tra A e T
 β = Angolo di elevazione sull'orizzonte locale
 Φ = Angolo di incidenza nel volume di scattering
 Θ = Angolo al centro sotteso tra A e T

$$D_{A-T} \text{ (Km)} = 111,25 * \Theta$$

$$\Theta = 90 - \beta - \Phi$$

$$\Phi = \sin^{-1} \frac{\cos \beta}{1 + h/R}$$

(angoli espressi in gradi)

Propagazione Ionosferica

Come dimostra la geometria della riflessione, illustrata nella slide precedente, c'è una relazione diretta tra il valore dell'angolo di incidenza θ e il valore dell'angolo di radiazione β dell'antenna (angolo di take off) con cui il fascio viene irradiato, la relazione è la seguente:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\cos \beta}{1 + h/R}$$

Per cui i limiti che definiscono il range all'interno del quale si ha la riflessione (θ_{min} e θ_{max}) possono essere espressi in funzione dell'angolo di radiazione β della nostra antenna (angolo di take-off):

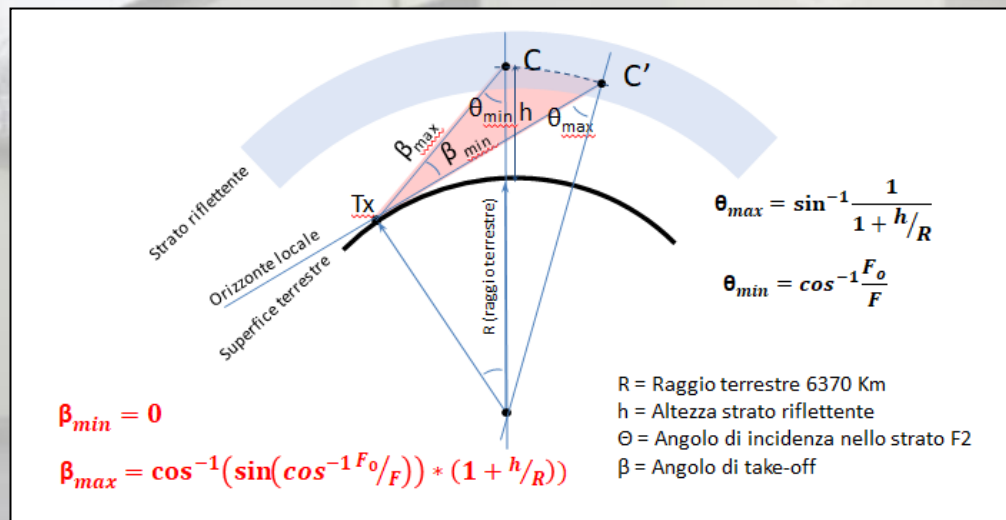
$$\beta_{min} = 0 \quad (\text{Limite inferiore dovuto alla curvatura della superficie terrestre})$$

$$\beta_{max} = \cos^{-1}(\sin(\cos^{-1} F_0/F) * (1 + h/R)) \quad (\text{Limite superiore dovuto alla Frequenza Critica } F_0 \text{ e all'altezza } h \text{ dello strato riflettente})$$

Angolo di radiazione

E' opportuno osservare come il limite inferiore dell'angolo di take-off $\beta_{\min}$ non dipende da f_0 ma **è sempre uguale a «zero»** in quanto è dovuto alla curvatura della superficie terrestre (orizzonte locale).

Diversamente il limite superiore $\beta_{\max}$ dipende dall'angolo minimo di incidenza $\theta_{\min}$ e quindi dalla **Frequenza Critica** f_0 . Ne consegue che man mano che la frequenza critica si abbassa anche $\beta_{\max}$ diminuisce



Angolo di radiazione

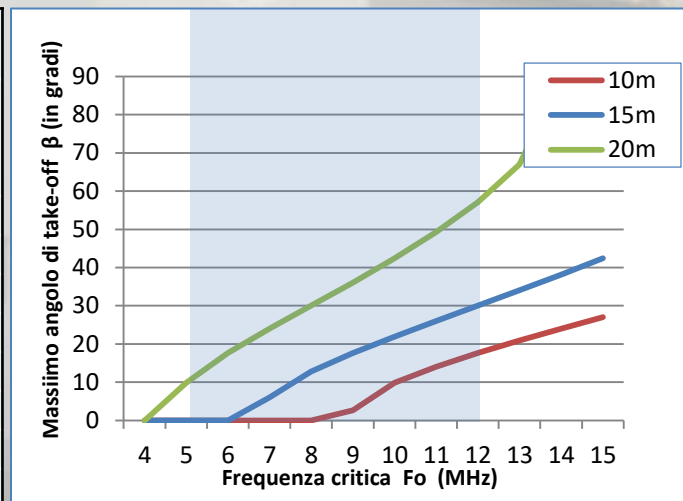
Considerando un'altezza media dello strato F2 di 350 Km è possibile quindi determinare per ciascuna banda il range utile dell'angolo di radiazione β in funzione dei valori di F_o

Il calcolo è limitato alle sole tre bande 10 15 e 20 in quanto gli attuali livelli di ionizzazione garantiscono riflessione pressochè totale sulle bande inferiori

Banda = 10m	
Fo (MHz)	Angolo Max β (gradi)
5	Closed
6	Closed
7	Closed
8	Closed
9	Closed
10	8,0
11	12,6
12	16,2

Banda = 15m	
Fo (MHz)	Angolo Max β (gradi)
5	Closed
6	Closed
7	6,0
8	12,7
9	17,6
10	21,9
11	26,0
12	30,0

Banda = 20m	
Fo (MHz)	Angolo Max β (gradi)
5	9,8
6	17,6
7	24,0
8	30,0
9	36,1
10	42,4
11	49,3
12	57,1



Angolo di radiazione

Facendo riferimento alla «Geometria della riflessione ionosferica» (slide 15) e conoscendo il range angolare di riflessione (slide 17) è relativamente facile determinare l'area geografica «potenzialmente» coperta (Area di Skip) dal fascio riflesso:

$$D(km) = 222,4 * \left\{ 90 - \beta - \sin^{-1} \left(\frac{\cos \beta}{1 + h/R} \right) \right\}$$

Banda 10m:

Range di riflessione = 0°-16° (per Fo = 12MHz)

Skip teorico= 2300 – 3800Km

Banda 15m:

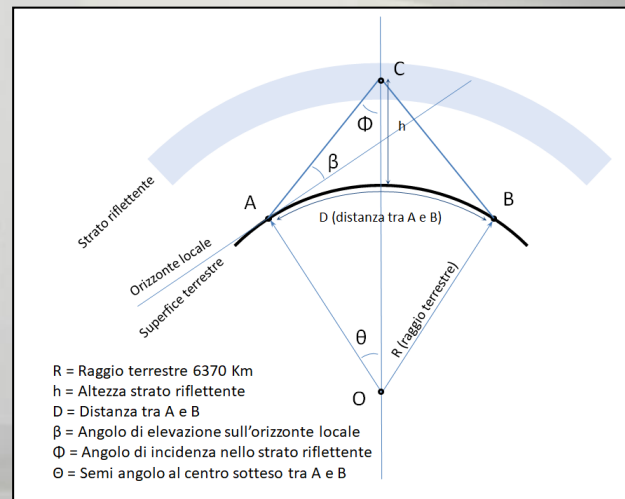
Range di riflessione = 0°-30° (per Fo = 12MHz)

Skip teorico = 1000 – 3800Km

Banda 20m:

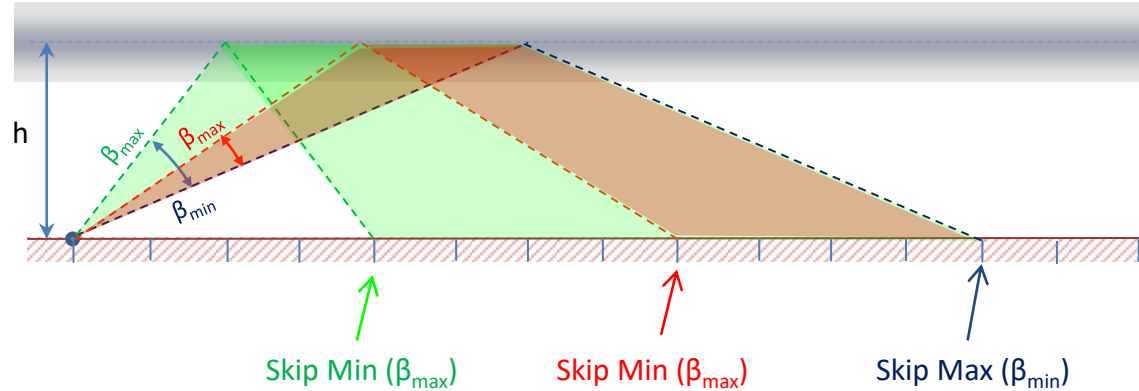
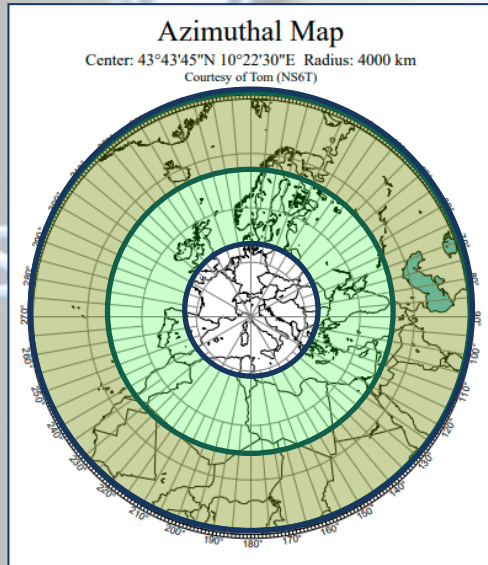
Range di riflessione = 0°-57° (per Fo = 12MHz)

Skip teorico= 650 – 3800Km



Area di Skip in funzione dell'angolo di take-off

Anche in questo caso è opportuno evidenziare che poichè il valore dello Skip dipende da $\beta_{\max}$ che come abbiamo visto dipende a sua volta da f_0 , i limiti dell'Area di Skip dipendono da f_0 ed in particolare al diminuire di f_0 o la fascia di Skip si restringe mantenendo però costante il limite superiore:

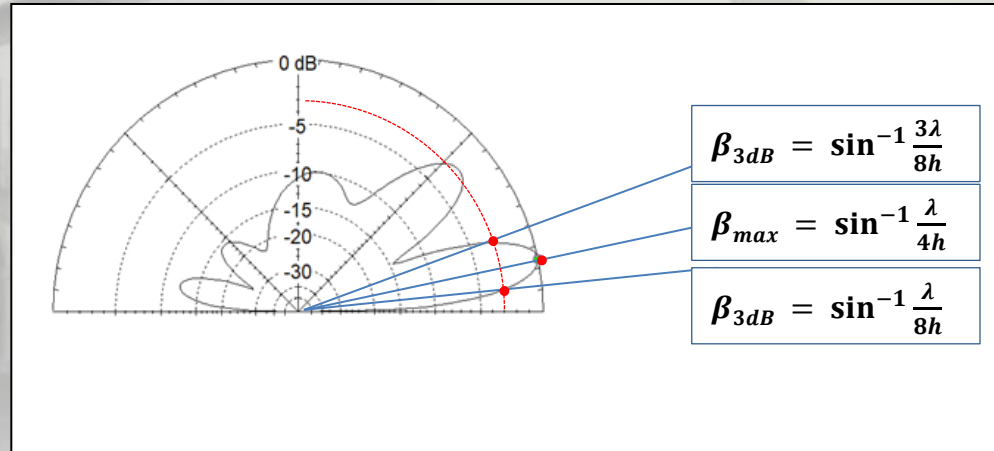
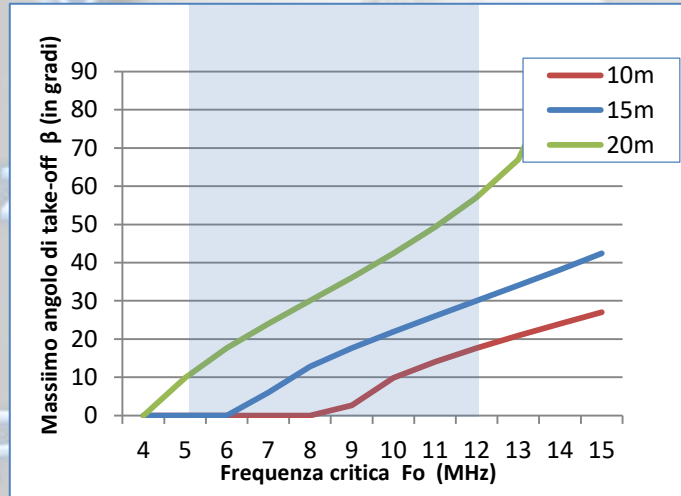


$$D(km) = 222,4 * \left\{ 90 - \beta - \sin^{-1} \left(\frac{\cos \beta}{1 + h/R} \right) \right\}$$

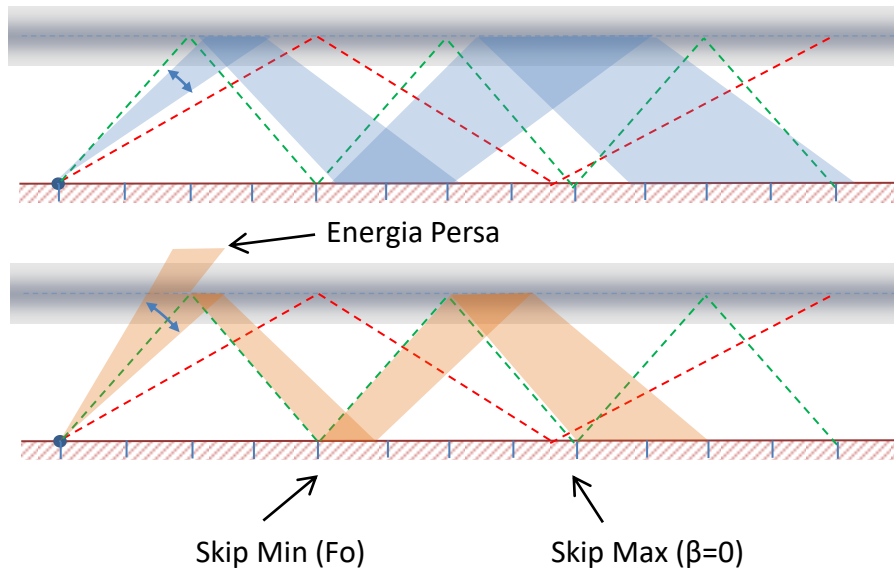
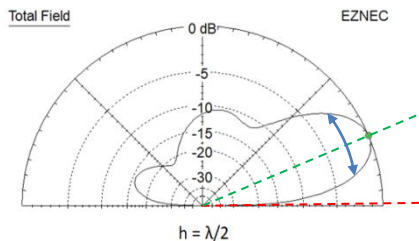
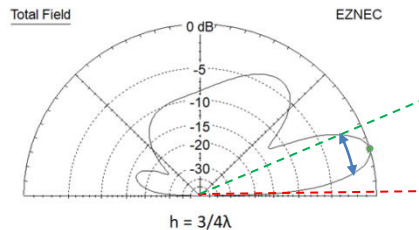
Lobo di Radiazione dell'antenna

Abbiamo visto all'inizio come le caratteristiche del lobo di radiazione in termini di angolo di massima radiazione e ampiezza del fascio dipendano sostanzialmente dall'altezza di installazione dell'antenna.

Abbiamo adesso visto invece che l'angolo ottimale di radiazione dipende dalla frequenza in relazione dalle condizioni di propagazione



Lobo di Radiazione dell'antenna



$$Skip (km) = 222,4 * \left\{ 90 - \beta - \sin^{-1} \left(\frac{\cos \beta}{1 + h/R} \right) \right\}$$

Lobo di Radiazione dell'antenna

Sulla base di tutto quello che abbiamo visto fino a qui si può affermare che *tutta l'energia che la nostra antenna irradia al di fuori del range angolare per il quale si ha riflessione è di fatto «persa».*

Ne deriva è che per sfruttare al meglio le condizioni di propagazione il *lobo di radiazione* della nostra antenna dovrebbe coincidere il più possibile con il range angolare di cui sopra.

Abbiamo visto all'inizio come si forma il *lobo di radiazione* della nostra antenna e quale influenza ha sul lobo stesso l'altezza da terra a cui viene posta l'antenna.

Ne consegue che *sarà solo l'altezza a determinare l'angolo ottimale di radiazione*



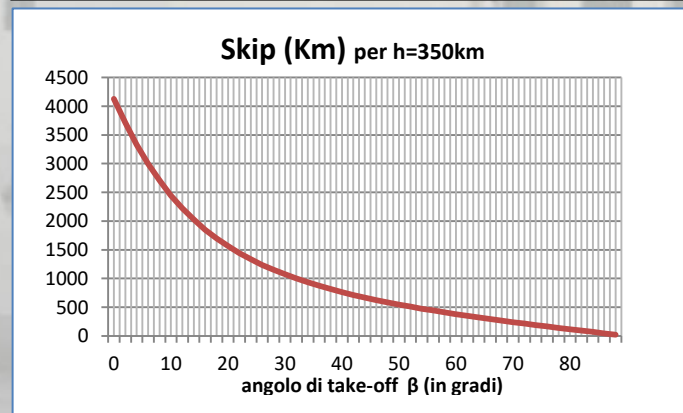
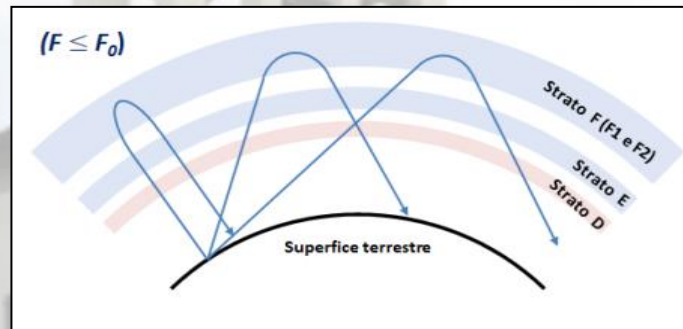
Lobo di Radiazione dell'antenna

Consideriamo adesso il caso, tipico delle bande più basse, in cui la nostra frequenza di lavoro sia inferiore o uguale a f_0 ($F \leq F_0$).

In questo caso come abbiamo già detto la riflessione avviene per qualsiasi angolo di incidenza del fascio.

In questo caso l'angolo di massima radiazione della nostra antenna determina l'area geografica in cui avremo la massima intensità di segnale.

Angoli di radiazione elevati favoriranno i collegamenti a distanza minore come indicato nel diagramma



Lobo di Radiazione dell'antenna

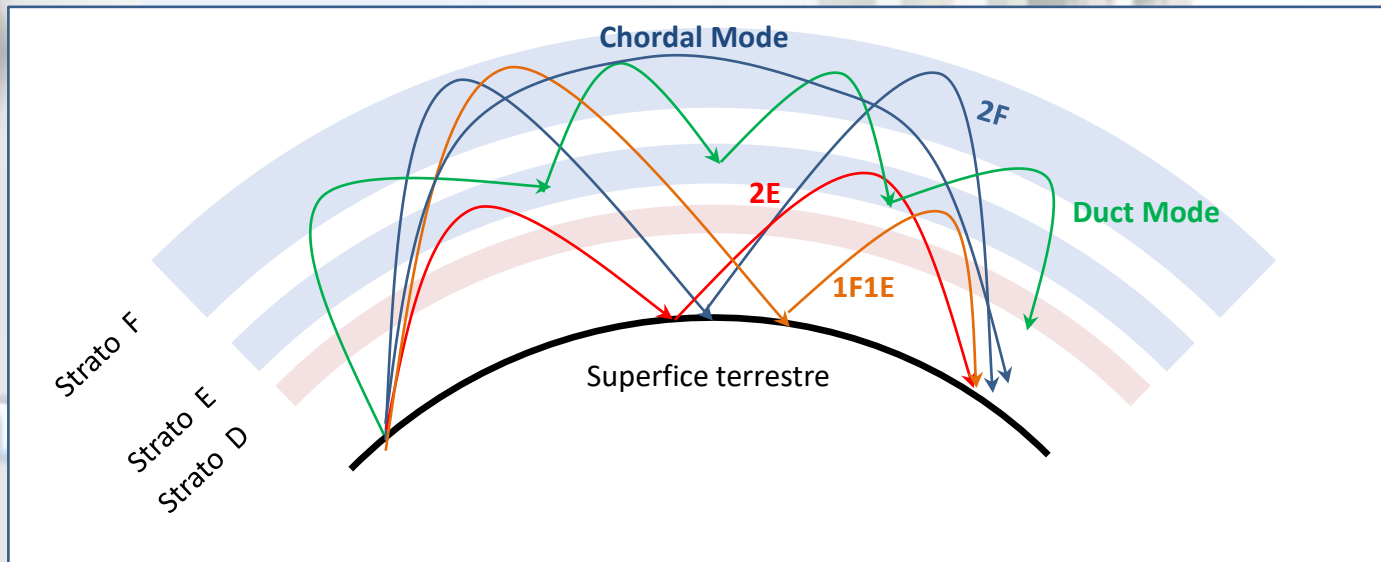
Come appare evidente dalle slide precedenti un basso angolo di radiazione, oltre ad evitare di perdere parte dell'energia emessa quando la riflessione non è totalmente garantita, permette di sfruttare al meglio le condizioni di scarsa propagazione che, come abbiamo visto, causano la riduzione del range angolare di riflessione comprimendolo verso il basso via via che f_0 si riduce.

A prescindere poi dagli aspetti sopra descritti è comunque opportuno ricordare che un basso angolo di radiazione è sempre da preferire quando l'obiettivo è il DX in quanto permette di raggiungere una stessa distanza con il minor livello di attenuazione possibile *grazie al minor numero di riflessioni* (hop) ed inoltre il livello di attenuazione nelle «*riflessioni a terra*» è minore per angoli più bassi.

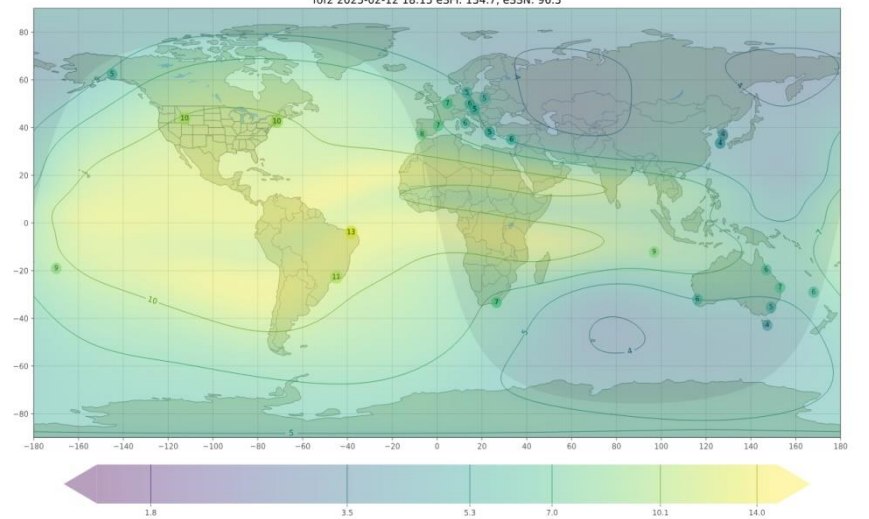
Tipo di suolo	Attenuazione dB (angolo 0 -20°)	Attenuazione dB (angolo 20 -40°)
Mare	0,2	0,5
Terra	3	5
Neve - Ghiaccio	6	8

Lobo di Radiazione dell'antenna

E' opportuno infatti ricordare che Il percorso via riflessione ionosferica può realizzarsi in diverse modalità e condizioni attraverso riflessioni e rifrazioni multiple che possono avvenire anche interessando strati diversi della ionosfera.



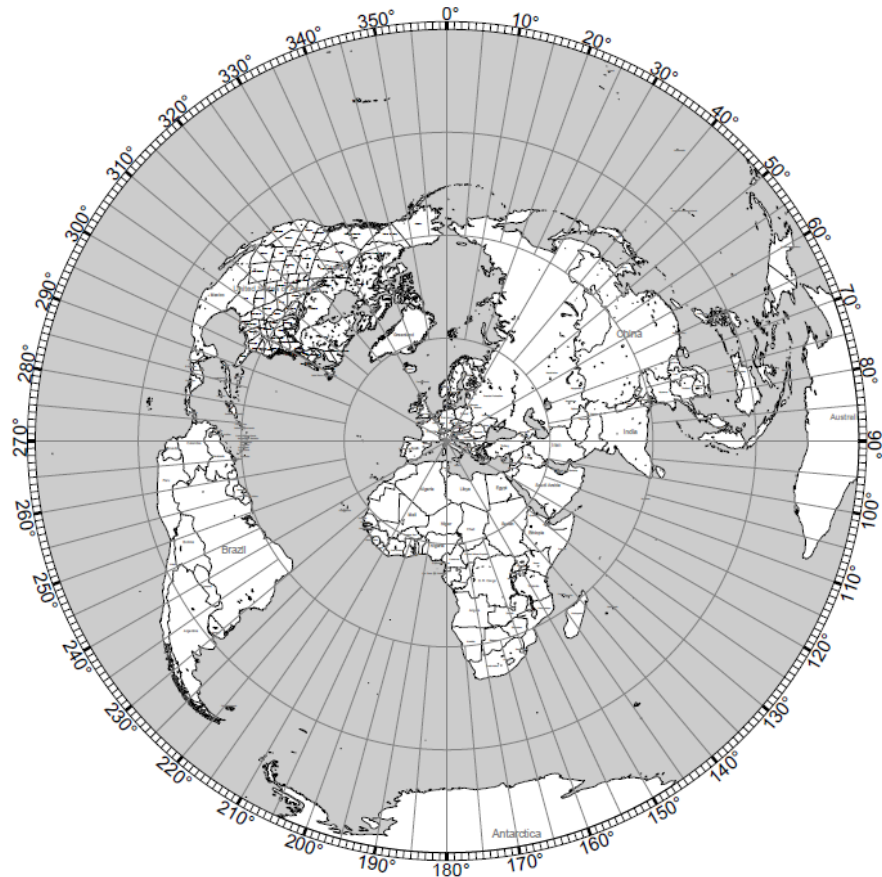
Le modalità Duct e Chordal è più probabile che si presentino alle latitudini equatoriali (anomalia equatoriale) o lungo la "gray line" (zona di confine tra giorno e notte) e permettono generalmente di avere una minore attenuazione in quanto il segnale radio non attraversa ripetutamente gli strati D ed E come avviene nelle riflessioni multiple a terra.



Tipo di suolo	Attenuazione dB (angolo 0 -20°)	Attenuazione dB (angolo 20 -40°)
Mare	0,2	0,5
Terra	3	5
Neve - Ghiaccio	6	8

Azimuthal Map

Center: 43°41'15"N 10°22'30"E Radius: 15000 km



Pisa

Conclusioni

Analogamente a quanto abbiamo visto nella prima serata a proposito dell'efficienza di radiazione, possiamo anche stasera affermare che le prestazioni di una antenna dipendono significativamente dalle condizioni di installazione e in particolare *L'angolo di massima radiazione del lobo verticale dipende esclusivamente dall'altezza di installazione sul piano di terra*

Più che preoccuparci del valore di guadagno dichiarato dal costruttore dovremmo preoccuparci delle condizioni di installazione prima fra tutte *l'altezza che sarebbe opportuno poter fissare in funzione della frequenza delle condizioni di propagazione e della tipologia di traffico che vogliamo privilegiare.*



Sezione
di
Pisa

***Grazie
per l'attenzione***





**Sezione
di
Pisa**

Discussione





Sezione
di
Pisa

Parametri che caratterizzano la propagazione ionosferica in HF:

- N_e = Densità elettronica dello strato ionizzato
- F_0 = Frequenza critica dello strato ionizzato (frequenza di plasma)
- η = Indice di rifrazione dello strato ionizzato
- Φ = Angolo di incidenza del fascio EM nello strato riflettente
- β = Angolo di elevazione (take-off) del fascio sull'orizzonte locale
- Φ_c = Angolo di incidenza «critico» oltrepassato il quale il fascio EM non viene più riflesso
- MUF (3000F2) = Massima frequenza utilizzabile (per $\Phi=70^\circ$)