

## Propagazione sui 40 metri

### Introduzione

La banda dei 40 metri deve essere analizzata in due modi differenti; una durante il giorno e l'altra dopo il tramonto del sole. Il comportamento della propagazione e' notevolmente differente. Durante il giorno la gran parte dei segnali arriva con un elevato angolo e la propagazione e' corta, al tramonto, la propagazione via via si allunga, e durante la notte diventa possibile il collegamento Dx. I collegamenti a lunga distanza che avvengono dopo il tramonto, su percorsi in oscurita', sono dovuti alle riflessioni nella regione F, durante il giorno invece i segnali vengono curvati dagli strati piu' bassi della Ionosfera Principalmente nella regione E. Inoltre, su questa frequenza, l'attenuazione introdotta dallo strato D (anche se in maniera molto meno marcata che in 80 o 160 metri) diventa importante, e lo stesso dicasi per il rumore atmosferico, che in 40 metri non e' trascurabile, si tratta dunque di una frequenza molto interessante ma impegnativa, vero banco di prova per antenne, ricevitori e operatori.

### Frequenze di lavoro e frequenze limite

Le caratteristiche di riflessione degli strati, le quali risultano molto diverse nel corso della giornata, delle stagioni e del ciclo delle macchie solari, hanno come conseguenza una propagazione marcatamente dipendente dalla frequenza. Per ciascuno strato si determina una frequenza limite inferiore (LUF) e una frequenza limite superiore (MUF), e in linea di principio soltanto nel tratto compreso fra queste frequenze limite e' possibile il traffico Dx senza limitazioni. L'intervallo MUF-LUF comprende quelle frequenze che con direzione verticale di trasmissione riescono ad attraversare due volte lo strato attenuante D, vengono riflesse da uno degli strati superiori e giungono dal corrispondente con sufficiente intensità di campo nonostante l'attenuazione introdotta dallo strato D. La frequenza LUF e' determinata esclusivamente dal fattore di attenuazione dello strato D e dato che quest'ultimo e' presente soltanto di giorno, anche la LUF esiste solo di giorno. Essa puo' essere di 10...15 mhz, ma dipende notevolmente dalla potenza di trasmissione. Con un aumento di potenza e' possibile abbassare la LUF verso frequenze piu' basse, ovviamente entro certi limiti. Con circa 100 w. Di potenza Tx essa si aggira attorno ai 5...8 mhz, con una potenza 10 volte maggiore puo' essere ulteriormente abbassata alla meta' circa; i valori sono molto diversi a seconda dell'attivita' solare. Se l'influsso della LUF non puo' essere eliminato, l'unico traffico possibile e' quello per onde terrestri, oppure occorre passare ad una frequenza più alta. La MUF, considerando le sue oscillazioni legate al decorso del giorno e della stagione, puo' essere così suddivisa:

- *strato E sui 2...4 mhz*
- *strato F1 sui 3...6 mhz*
- *strato F2 sui 3...14 mhz*

*(Valori riferiti ad un numero relativo di macchie di 100)*

Tutti i segnali con frequenza piu' elevata non vengono riflessi, bensì attraversano lo strato e se non vengono riflessi da uno strato superiore con una MUF piu' alta, si perdono nello spazio. Come già detto, questi intervalli LUF-MUF e le condizioni di propagazione ad esse collegate si riferiscono a tragitti verticali del segnale, che non danno portata, se si abbassa l'angolo di emissione del segnale, la MUF cresce sempre piu' man mano che l'angolo si abbassa.

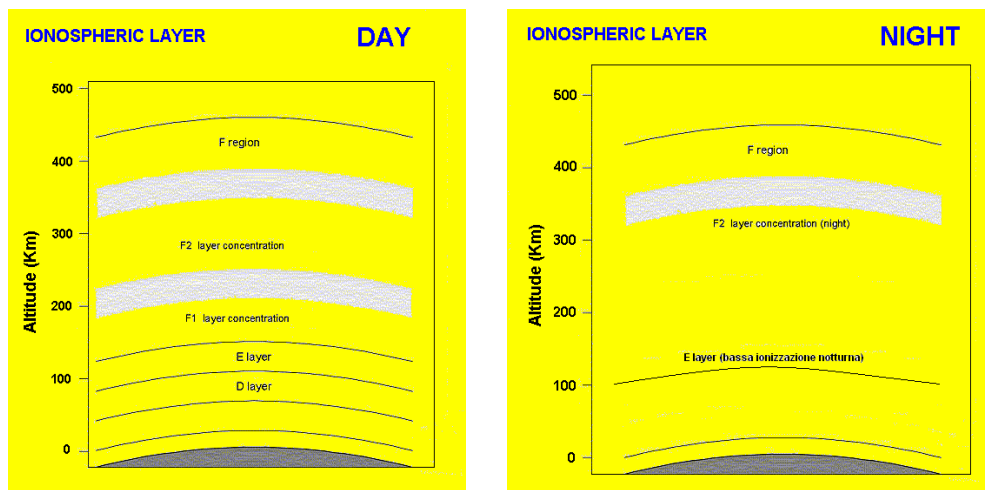
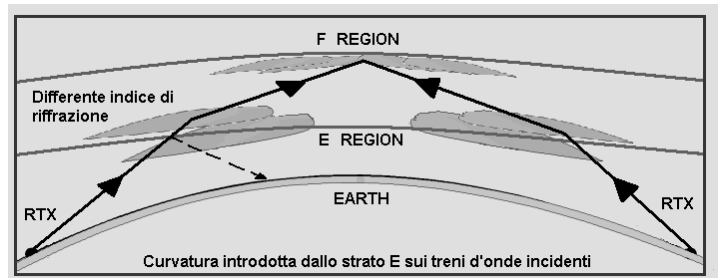
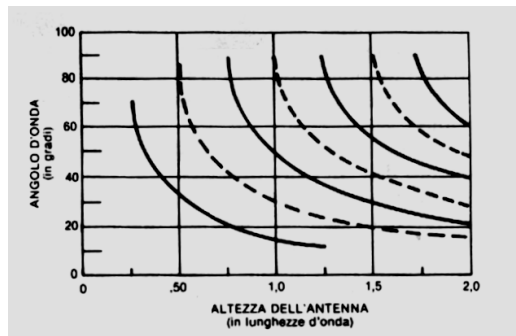


Fig.1: Variazione giornaliera degli strati ionosferici. Durante la notte scompare lo strato attenuante D, e lo strato E di cui rimane solamente una leggera ionizzazione residua. Rimane presente ancora una ionizzazione ad un'altezza di circa 300/400 Km, la regione F2 notturna.

## Angoli d'irradiazione

L'angolo di irradiazione del segnale assume una grande importanza per determinare la lunghezza dello skip, sui 40 metri, data la lunghezza d'onda in gioco, non e' facile realizzare sistemi di antenna che irradiano con bassi angoli e posizionarli alti rispetto al suolo.

Pertanto gli angoli di irradiazione delle antenne sui 40 metri sono generalmente alti, questo spiega in parte i collegamenti diurni a skip corto dovuti a curvatures dei segnali introdotte dallo strato E.



## Propagazione diurna

La propagazione diurna e' caratterizzata da collegamenti a skip corto, sono possibili collegamenti in un raggio fino a 400- 600 Km, ma sono possibili anche collegamenti locali, su distanze ancora piu' brevi (50 - 100 Km), dovuti alla riflessione dei segnali sullo strato E, come si vede dal grafico riportato sotto, i treni d'onde possono venire riflessi dalla regione E a quote attorno ai 100-115 Km (teoricamente l'altezza della regione E e' compresa tra 90 e 130 Km), gli angoli di irradiazione e l'altezza degli strati riflettenti determinano l'area utile per i collegamenti.

La mia opinione e' che questi limiti teorici sono solo indicativi, l'altezza delle varie regioni ionosferiche non e' sempre costante, ma subisce delle variazioni nel tempo (giornaliere e stagionali), cosi' come i confini tra i vari strati, non sono perfettamente delineati, questo e' dovuto al fatto che la ionosfera, allo stesso modo della troposfera, e' un gas in continuo movimento, dove ci sono varie turbolenze e anomalie, generate dalle continue variazioni dell'attivita' solare e geomagnetica.

Inoltre esistono anche delle stratificazioni non ionizzate, ma capaci di flettere, per i diversi indici di rifrazione, le onde radio, che concorrono ad accorciare le distanze dei collegamenti diurni.

A causa della disposizione di elettroni liberi, in strati piu' o meno definiti, dell'angolo di incidenza e della quantita' di elettroni liberi per centimetro cubo, si hanno riflessioni su stratificazioni basse, La deflessione verso terra e' tanto piu' marcata quanto piu' grande e' lo spessore dello strato attraversato e quanto piu' lungo e' il percorso delle radioonde all'interno dello strato.

Per una legge di rifrazione dell'ottica le onde piu' lunghe subiscono un maggiore incurvamento verso terra nel passaggio negli strati intermedi e nella troposfera, e' per questo che gli skip sono via, via piu' corti al diminuire della frequenza utilizzata.

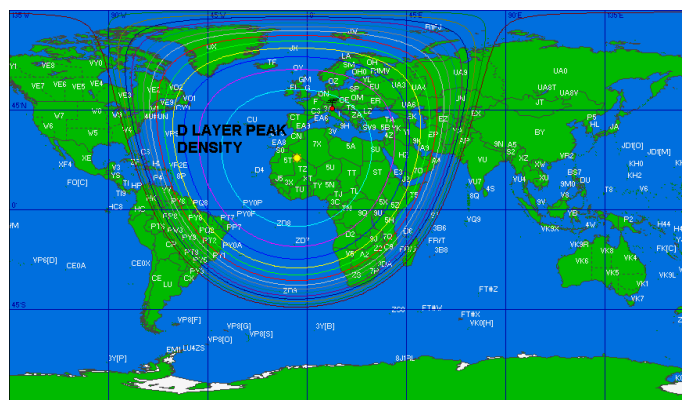
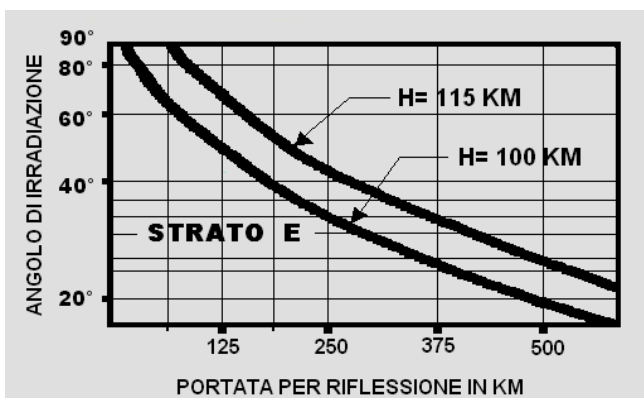
Lo skip corto e' presente solitamente di giorno, poiche' gli strati intermedi vengono attivati dalla radiazione solare, verso l'imbrunire si assiste ad un progressivo aumento della distanza dei collegamenti dovuti alla progressiva scomparsa di queste regioni non ionizzate, della quasi scomparsa dello strato E e quindi la riflessione avviene nella regione F.

L'indice di ionizzazione della regione E diminuisce progressivamente dopo il tramonto e man mano che il sole procede verso Ovest, e anche se rimane una ionizzazione residua, questa non e' piu' sufficiente a incurvare i treni d'onda.

La regione E assume secondo me un ruolo molto importante nella propagazione diurna sui 7 Mhz, poiche' determina la lunghezza dei collegamenti, i treni d'onde vengono deviati dallo strato E che ha una ionizzazione sufficiente a riflettere segnali con questa frequenza e non riescono a raggiungere la regione F piu' in alto.

Inoltre bisogna tener conto che gli strati hanno caratteristiche diverse a seconda delle stagioni dell'anno, d'estate le regioni D ed E sono fortemente ionizzate, quindi nei pomeriggi estivi, il forte assorbimento introdotto dallo strato D, non permette in genere buoni collegamenti nonostante l'alta ionizzazione della regione E, che resiste anche durante la notte

In quanto l'elevato livello di ionizzazione diurno e' piu' lento a scomparire, tendendo ad attenuare i segnali in transito verso lo strato F. E' questo uno dei motivi per cui la propagazione in 40 metri e' di norma migliore durante i mesi invernali.



La mappa in alto a destra illustra la situazione dell'assorbimento della regione D in un pomeriggio estivo, che è una delle cause della cattiva propagazione diurna estiva dei 40 metri.

### Regione E

viene definita come quella parte dell'atmosfera tra i 90 ed i 140 km di altezza, anche se questi confini sono piuttosto arbitrari. Nella regione E la temperatura cresce rapidamente con la quota, e si passa dall'ommosfera, in cui i gas atmosferici sono essenzialmente mescolati tra loro, all'eterosfera, in cui i vari costituenti si separano per diffusione. Sopra gli 80 km vi è un'apprezzabile dissociazione di ossigeno molecolare  $O_2$  in ossigeno atomico O. Il livello in cui vi è un massimo di concentrazione di O si trova tra gli 85 ed i 100 km. La regione E ha una grande importanza dal punto di vista geomagnetico, poiché, a queste quote, sono presenti sistemi di correnti, quali l'elettrogetto equatoriale e l'elettrogetto aurorale, responsabili di alcune importanti variazioni geomagnetiche. La regione E può essere suddivisa in due parti: lo strato E regolare e l'E sporadico. A sua volta lo strato E regolare può essere diviso nelle zone E<sub>1</sub> ed E<sub>2</sub>. Lo strato E regolare segue l'andamento della ionizzazione per fotoionizzazione solare e, quindi, mostra il suo massimo di frequenza critica  $f_0E$  intorno al mezzogiorno locale. Durante la notte la ionizzazione dello strato E si riduce drasticamente, mentre l'E sporadico si manifesta sia di giorno che di notte. In questa regione la variazione stagionale della frequenza critica evidenzia valori maggiori durante i mesi estivi rispetto a quelli che si riscontrano durante i mesi invernali.

Gli ioni positivi che dominano la regione E sono  $O_2^+$  e  $NO^+$ . La produzione dello ione dell'ossigeno molecolare è dovuta all'assorbimento della radiazione C(III) e della radiazione Lyman b. Ulteriori ioni vengono prodotti da radiazioni su lunghezze d'onda tipiche dei raggi X. Nella regione E la variazione di densità elettronica è grossomodo in equilibrio con la quantità media degli ioni prodotti tramite processi di ricombinazione. Proprio a causa di tale caratteristica, ci si aspetterebbe un andamento della densità elettronica in cui, questa, durante le ore notturne, fosse praticamente trascurabile. In realtà, di notte la presenza di ioni ed elettroni nella regione E è apprezzabile. Si suppone che questo sia dovuto, oltre che a fenomeni di trasporto degli elettroni, anche alla ionizzazione provocata dalla penetrazione nell'atmosfera delle meteore, le quali, incendiandosi, emettono energie con lunghezza d'onda tipiche delle radiazioni Lyman a, Lyman b e dell'He II (30.4 nm). Si deve necessariamente menzionare anche la presenza, a queste quote, dell'ossido nitrico NO, che, con lo ione  $O_2^+$  dà luogo alla formazione dello ione  $NO^+$ .

### Attenuazione

Gli assorbimenti ionosferici sono sostanzialmente due, quello deviativo riferito a quella parte della ionosfera dove l'indice di rifrazione ha variazioni significative, e quello non deviativo, che si verifica sostanzialmente nella regione D, dove l'indice di rifrazione può considerarsi quasi costante, quest'ultimo è anche il più importante e ha pesanti conseguenze nella propagazione nelle bande basse delle onde corte, per le quali si presenta come una cortina nebbiosa.

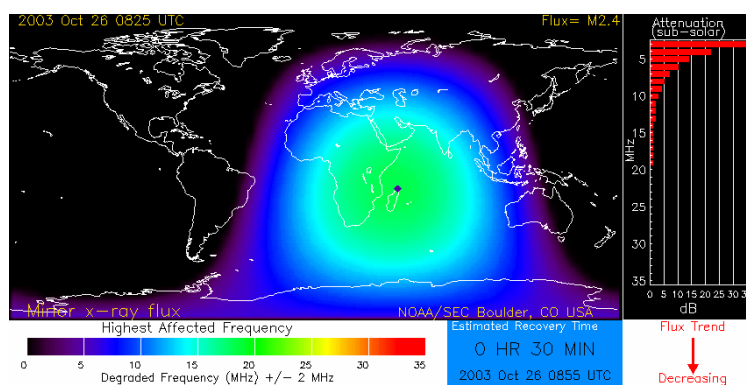
L'assorbimento è funzione della ionizzazione pertanto il massimo assorbimento avviene nel mezzogiorno solare nel punto di riflessione e durante la stagione estiva, inoltre l'indice di assorbimento della regione D è massimo quando l'attività solare è alta, questo poiché la ionizzazione dello strato D è molto legata alla luce solare, dopo il tramonto, la ionizzazione decade rapidamente e lo strato D svanisce.

La regione D presenta un'altissima densità di particelle neutre (anche 1000 volte maggiore rispetto alla regione E)

La radiazione solare che arriva allo strato D è attenuata dall'attraversamento dagli strati più alti della ionosfera pertanto la ionizzazione risulta molto bassa anche perché a causa della forte densità di ioni questi hanno molte probabilità di ricombinarsi rapidamente.

Quando la frequenza è bassa, gli elettroni dell'onda elettromagnetica entrante, hanno maggiori possibilità di entrare in collisione con le particelle neutre, e data l'elevata densità di particelle queste collisioni sono frequentissime e hanno come conseguenza che l'elettrone eccitato perde l'energia (che si trasforma in calore) nello scontro, prima ancora di averla reirradiata.

L'attenuazione è selettiva, essendo inversamente proporzionale al quadrato della frequenza.



La mappa in alto raffigura il livello di Assorbimento introdotto dallo strato D ( Dati forniti in tempo reale dal NOAA.)

### Regione D

Lo strato D si estende, approssimativamente, da 50 a 90 km, con una concentrazione elettronica che cresce rapidamente con l'altezza. La concentrazione elettronica nello strato D presenta una variazione diurna importante: raggiunge il suo massimo poco dopo mezzogiorno solare locale, mentre conserva valori estremamente bassi nelle ore notturne. In inverno, nonostante che la distanza zenitale dal sole sia molto grande, si osservano spesso concentrazioni elettroniche molto elevate, sempre tra 70 e 90 km, dovute probabilmente alla natura ed alla concentrazione dei gas che compongono l'atmosfera. L'influenza dell'attività solare sulla concentrazione elettronica nello strato D si differenzia alle diverse altezze: tra 70 e 90 km i raggi X di origine solare sono la principale fonte di ionizzazione e questa è massima quando il ciclo solare è al suo massimo; al di sotto dei 70 km le radiazioni più attive sono quelle cosmiche e la concentrazione massima si presenta quando l'attività solare è al suo minimo, per cui la dispersione

interplanetaria dei raggi cosmici di origine galattica tende a ridursi. Durante una perturbazione geomagnetica la densità elettronica tra 75 e 90 km tende a rinforzarsi alle latitudini subaurorali ed inferiori, per l'apporto di elettroni ad alto contenuto energetico. Lo strato D può raggiungere una densità massima di 10 miliardi di elettroni per metro cubo a quote tra 50 e 90 km, con alta densità di particelle neutre. Questo strato non ha, a causa della relativamente bassa densità elettronica, grande rilevanza per la riflettività nei riguardi delle onde usate nei radiocollegamenti via ionosfera, mentre invece assume notevole importanza nei riguardi dell'assorbimento, tanto che lo strato D può essere considerato lo strato assorbente per eccellenza. Lo strato D ha il negativo effetto di attenuare le onde che la attraversano soprattutto quelle a frequenza più bassa. Al crepuscolo, avviene una rapida degradazione dello strato D, per ricombinazione

### Rumore atmosferico

Le bande basse delle Hf presentano un rumore atmosferico maggiore rispetto alla bande a frequenza più alta.

Sui 7 mhz, il rumore atmosferico è abbastanza elevato, con valori superiori di notte che di giorno, dovuti alla maggiore attenuazione subita dalla propagazione ionosferica diurna causata dalla regione D.

(Il disturbo è sempre una radiazione elettromagnetica che propagandosi all'interno della ionosfera risponde alle stesse leggi e subisce le stesse attenuazioni dei segnali veri e propri).

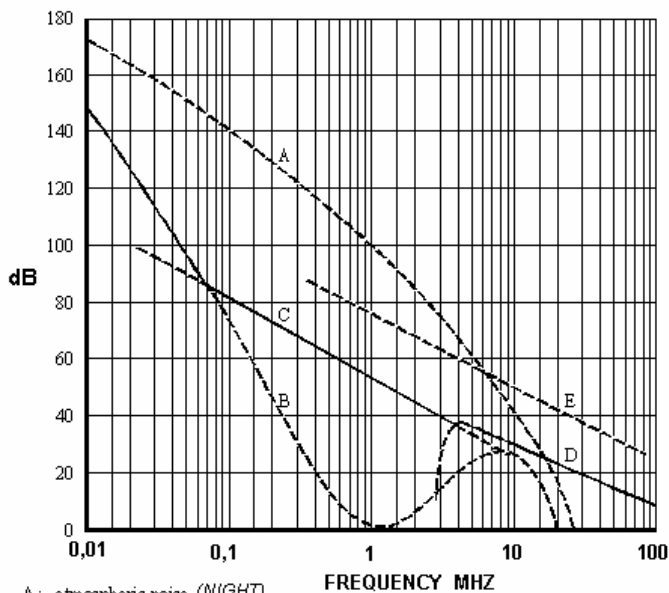
L'effetto dei disturbi atmosferici cessa quasi completamente per le frequenze superiori ai 30 Mhz, sia perché è ormai insignificante il suo contributo energetico, sia perché a queste frequenze diventa improbabile la riflessione ionosferica.

Riporto un grafico dove, in funzione della frequenza vengono raffigurati i disturbi, trascurando il rumore galattico, che risulta essere quasi costante per quasi tutto lo spettro delle Hf, il rumore atmosferico decresce progressivamente come già detto con la frequenza, al di sopra dei 22 Mhz diventa praticamente trascurabile.

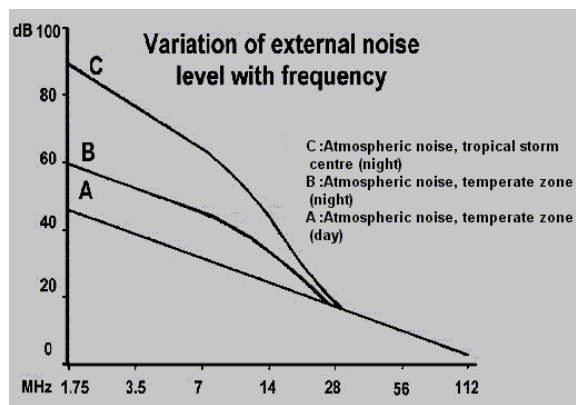
Il disturbo atmosferico è dovuto alle scariche elettriche temporalesche ed è quindi soggetto ad ampie variazioni nel tempo dipendenti dalle condizioni climatiche stagionali e giornaliere.

La banda dei 40 metri è più silenziosa d'inverno proprio perché la probabilità di temporali alle nostre latitudini è minore.

Ogni scarica causata da un temporale origina impulsi RF, con densità spettrale decrescente con la frequenza, che si propagano in tutte le direzioni (il numero medio dei temporali che avvengono contemporaneamente sulla terra è circa 1800, con un numero medio di 100 scariche elettriche/sec.). Di conseguenza, si valutano i loro effetti fino a distanze molto grandi, dato che la propagazione può avvenire per via ionosferica. Si distingue un effetto locale, causato dalle condizioni meteorologiche locali, e un effetto lontano. Il primo si presenta essenzialmente come una sequenza d'impulsi molto intensi ma distanziati nel tempo, mentre il secondo perde il carattere marcatamente impulsivo per la sovrapposizione aleatoria degli effetti dovuti ad un grande numero di scariche lontane.



- A: atmospheric noise, (NIGHT)
- B: atmospheric noise, (DAY)
- C: man-made noise, quiet receiving site
- D: galactic noise
- E: median business area man-made noise



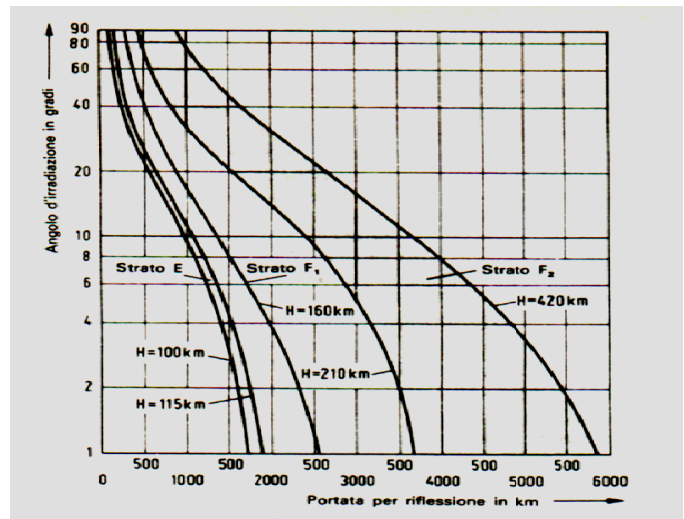
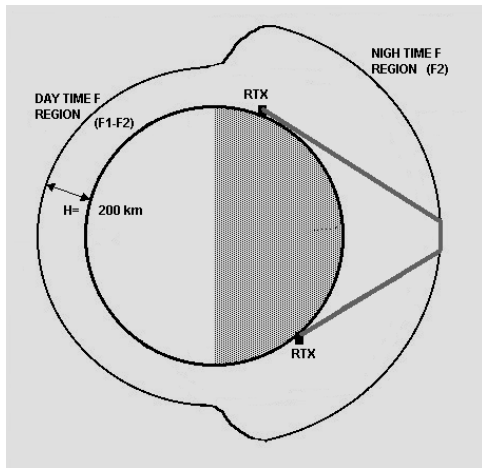
### Propagazione notturna

Dopo il tramonto, lo strato D decade rapidamente e anche se in maniera più lenta, decade progressivamente anche la ionizzazione dello strato E. Gli strati ionizzati utili per le riflessioni dei treni d'onde incidenti si alzano progressivamente a causa della ricombinazione dovuta alla graduale scomparsa della pressione di radiazione solare, e questo il motivo per cui i collegamenti tendono progressivamente ad allungarsi dopo il tramonto del sole. I treni d'onde raggiungono la regione F per essere deviati molto più lontano (vedasi il grafico indicativo sulla portata per riflessione dei vari strati). Durante la notte, abbiamo alcuni fattori favorevoli per il collegamento sulle lunghe distanze, l'assorbimento dello strato D è minimo e la ricombinazione della regione F causata dalla cessata radiazione solare mantiene attiva solamente la regione F2 posta più in alto (400 Km), questi fattori da una parte spiegano il motivo dell'allungamento delle tratte in oscurità e dall'altra i collegamenti Dx. In linea di massima i collegamenti a lunga distanza hanno luogo su percorsi completamente al buio, oppure quando almeno uno dei corrispondenti si trova in prossimità del terminatore, infatti sui percorsi illuminati dal sole l'assorbimento dello strato D e l'incidenza degli strati inferiori non consentono ai treni d'onda di propagarsi per lunghe distanze. Inoltre, la presenza di una ionizzazione residua nella regione E potrebbe realizzare in alcune situazioni, una sorta di guida d'onda causata dai differenti indici di rifrazione, intrappolando i treni d'onde tra la regione F e lo

strato E, e facendoli tornare a terra dopo migliaia di chilometri, quando ad esempio, lungo il percorso le onde incontrano delle discontinuità capaci di fletterle nuovamente verso terra. Inoltre, questa ionizzazione residua, potrebbe deviare i fasci d'onde abbassandone l'angolo di irradiazione verso la regione F, allungando lo skip.

### Regione F

Lo strato F inizia ad un'altezza di circa 130 km. Durante la notte lo strato F si comporta in modo diverso che di giorno, quando si divide in due differenti strati: F1 ed F2, anche se la concentrazione elettronica non presenta stratificazioni molto nette. Lo strato F1 è la zona compresa tra 130 e 210 km di altezza e la concentrazione elettronica è dell'ordine di 200 miliardi di elettroni per metro cubo. Lo strato F2, il più alto degli strati ionosferici, è quello in cui la concentrazione degli elettroni è generalmente la più densa: i suoi valori sono compresi tra 1000 miliardi di elettroni per metro cubo di giorno e 50 miliardi di elettroni per metro cubo di notte. L'"anomalia diurna" consiste nel fatto che il massimo della concentrazione elettronica dello strato F2 si produce spesso un'ora dopo il mezzogiorno solare, in genere tra le 13 e le 15 ore locali. Si sono notate sperimentalmente altre due variazioni durante il giorno, i cui massimi si collocano intorno alle ore 10-11 locali e tra le ore 22-23, sempre locali. Nell'emisfero Nord l'"anomalia stagionale" consiste in una tendenza alla concentrazione elettronica dello strato F2 intorno alle 12 locali, e ad essere più alta d'inverno che d'estate. L'"anomalia equatoriale" consiste nel fatto che nelle zone comprese tra 20 e 30 gradi, sia a Nord che a Sud dell'equatore, l'influenza della distanza zenitale del sole sulla concentrazione elettronica dello strato F2 è notevolmente diversa da quella che ci si aspetta. Nelle latitudini elevate si osservano alcune "anomalie" nelle caratteristiche dello strato F2, probabilmente associate alla caduta di particelle di alto valore energetico. Vi è infatti una depressione pronunciata nella concentrazione elettronica dello strato F2, dovuta alle linee di forza della magnetosfera e che si estende su 2-10 gradi in direzione dell'equatore, subito dopo l'ovale aurorale e da mezzogiorno a tutta la notte. Alcune osservazioni sulle concentrazioni elettroniche, al di sopra dell'altezza in cui avviene il suo massimo, sono state effettuate con radar a diffusione incoerente, con missili e sonde installate a bordo di satelliti. Queste osservazioni mostrano come la concentrazione elettronica decresce in modo approssimativamente esponenziale con l'altezza. Intorno a 100 km si ha una variazione del gradiente della concentrazione elettronica causata dalla presenza di un passaggio da ioni di ossigeno a ioni di idrogeno; l'altezza alla quale avviene questa transizione aumenta con la latitudine. A 1000 km la concentrazione elettronica è normalmente dell'ordine di 10 miliardi di elettroni per metro cubo. Le onde radio vengono riflesse dagli strati ionizzati. Se il sole ha un certo comportamento, la ionosfera avrà una certa densità e struttura; ad altri comportamenti del sole invece corrisponderanno altrettanti caratteri di densità e struttura. Per cui possiamo comprendere che le variazioni di propagazione sono legate ai seguenti fenomeni: alternarsi del giorno e della notte (variazione diurna) alternarsi delle stagioni (variazione stagionale) alternarsi di periodi di alta attività solare con periodi di calma (variazione del ciclo solare).



### Influenza dell'attività solare sulla propagazione

Il sole è il "motore" della propagazione ionosferica, quindi la sua attività influenza in maniera diretta la propagazione su tutte le frequenze dello spettro HF. Sui 40 metri, tuttavia, l'incidenza dell'attività solare, è minore rispetto alle bande alte, anzi, con il ciclo solare verso il minimo le aperture tendono ad essere più lunghe e stabili e il rumore atmosferico è minore nei periodi di attività solare scarsa. Inoltre l'assorbimento dello strato D è minore, poiché essendo inferiore il flusso solare, è più bassa anche la sua ionizzazione, per quanto riguarda la regione F, a causa della bassa attività subisce anch'essa una minore ionizzazione, rendendo problematica la riflessione delle frequenze più alte ma sufficiente a deviare le frequenze più basse.