

Elementi di Radio Propagazione

E Sporadico

Le riflessioni che avvengono sullo strato E-sporadico sono prodotte al seguito di movimenti opposti dei venti solari all'interno dello strato E che provocano la ionizzazione sporadica. La frequenza massima utilizzabile via ES può raggiungere a volte anche i 200 MHz. Sui 6 m. E' possibile contattare anche tutta l'Europa e l'Africa del nord per lunghi periodi della giornata in particolare fra le 08:00 e le 22:00 GMT soprattutto nei mesi di maggio e ottobre. I segnali sono spesso molto forti (S9), a volte si osservano anche dei salti multipli che aumentano la distanza dei collegamenti in modo considerevole ad esempio Europa Africa centrale e anche a volte Europa America del nord costa est.

Gli strati più alti dell'atmosfera terrestre sono dunque ionizzati a causa dell'attività solare; le radiazioni uva, raggi x, e raggi gamma, le particelle emesse dal sole creano dei livelli con diversa concentrazione di carica elettromagnetica, aventi altezze variabili da 80 ad oltre 400 Km. I

- regione D: compresa fra circa 50, 95 km,
- regione E: compresa fra circa 95, 130 km,
- regione F: oltre 140 km suddivisi in due strati:
- strato F1: compreso fra circa 160, 250 km,
- strato F2: compreso fra circa 250, 400 km.

Le radiazioni EUV ionizzano la regione F (grande attività solare) e consentono quindi l'utilizzo di frequenze più alte per comunicazioni a lunga distanza.

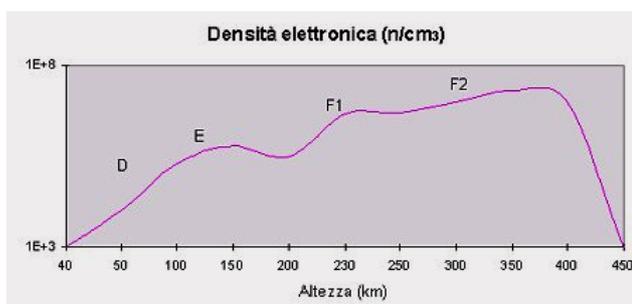
Le radiazioni UVA e X ionizzano la regione D ed impiegano un tempo di ritardo pari ad 8 minuti per raggiungere la terra dal sole, poichè tali emissioni viaggiano a velocità della luce.

D'altro canto, l'emissione delle particelle avviene in duplice modo:

- particelle ad alta energia (protoni ad alta energia e particelle alfa);
- particelle a bassa energia (protoni a bassa energia ed elettroni).

Le prime viaggiano a velocità considerevolmente più bassa rispetto alla luce, raggiungendo la terra dopo un tempo che varia dai 15 minuti a diverse ore. Esse causano un fenomeno di notevole assorbimento presso le regioni polari e costituiscono pericolo di radiazione per i sistemi satellitari e per il personale orbitante in veicoli spaziali.

Le particelle a bassa energia viaggiano a velocità inferiori rispetto alle prime (pervengono a terra dopo circa 20, 40 ore) e causano tempeste magnetiche, aurore boreali, alto assorbimento presso i poli ed il fenomeno dello *strato E sporadico*.



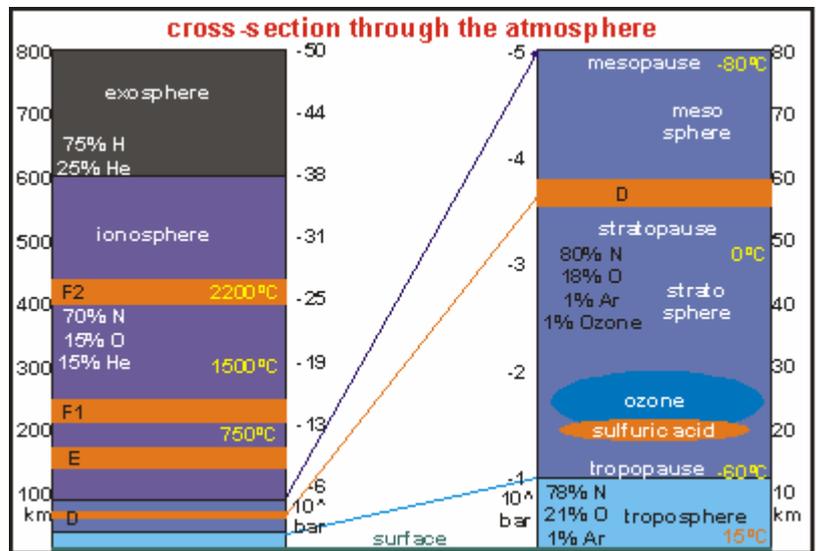
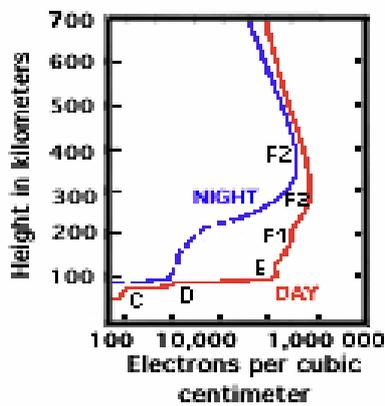
La diffrazione è un fenomeno fisico complesso grazie al quale è possibile spiegare come un'onda elettromagnetica possa superare un ostacolo posto sul suo cammino e propagarsi anche nella zona d'ombra prodotta dall'ostacolo. Tale fenomeno si giustifica utilizzando il principio di Huygens che stabilisce che ciascun punto di un fronte d'onda si può considerare come una sorgente puntiforme che irradia in tutte le direzioni. Pertanto, quando un fronte d'onda investe un ostacolo, i punti del fronte vicini all'estremità dell'ostacolo irradiano energia in tutte le direzioni; parte di tale energia si propaga quindi anche nella zona d'ombra.

La diffusione è un fenomeno analogo alla diffrazione ed è dovuto alla presenza di inomogeneità nella struttura dell'atmosfera come, ad esempio, pulviscolo atmosferico, variazioni termiche, particelle di vapore acqueo, turbolenze atmosferiche, temporali, ecc. Tutto ciò produce una variazione locale dell'indice di rifrazione dell'atmosfera che provoca deviazioni casuali nella direzione di propagazione delle onde elettromagnetiche.

L'attenuazione del suolo è dovuta al fatto che la terra si può assimilare ad un conduttore non ideale dotato di una certa conducibilità. Se il suolo fosse un conduttore ideale, il vettore campo elettrico sarebbe perpendicolare al suolo stesso (polarizzazione verticale). In realtà le onde superficiali penetrano nel suolo generando una componente di campo elettrico parallela al suolo che produce un movimento di cariche elettriche con conseguente dissipazione di energia. Pertanto, le onde che si propagano in direzioni orizzontali al suolo subiscono un'attenuazione maggiore di quelle che si propagano nello spazio libero. Il vettore campo elettrico si inclina nella direzione di propagazione dell'onda modificando anche il piano di polarizzazione dell'onda elettromagnetica. L'attenuazione del suolo dipende dalla frequenza delle onde e dalla distanza percorsa. Si può dimostrare che, a parità di frequenza, il mare produce una minore attenuazione della terra.

L'assorbimento atmosferico è dovuto alla natura e alla concentrazione degli elementi e composti presenti nell'atmosfera. In particolare la presenza di pioggia, grandine, neve o nebbia sono causa di assorbimento soprattutto per le frequenze superiori a qualche GHz. Le onde elettromagnetiche nel propagarsi nell'atmosfera interagiscono con le molecole presenti che assorbono parte dell'energia dell'onda. Ciò si traduce in una attenuazione della potenza della radiazione elettromagnetica. Il coefficiente di attenuazione per assorbimento dipende dalla costituzione chimica e fisica dell'atmosfera e dalla frequenza dell'onda.

Il fading per interferenza si manifesta sull'apparato ricevente sotto forma di evanescenza del segnale ricevuto. Tale fenomeno è dovuto all'interferenza tra i diversi segnali che partendo dall'antenna trasmittente seguono molteplici percorsi prima di giungere al ricevitore. I segnali captati dal ricevitore hanno ampiezza e fase continuamente variabili poichè dipendono dalla natura del suolo (mare, monti, ecc.) e dalla non uniformità dell'indice di rifrazione dell'atmosfera.



Lo strato E sporadico si manifesta all'interno della regione E ed è caratterizzato da un'alta densità elettronica. Queste "nubi" ad alta concentrazione elettronica, risiedono prevalentemente alla quota di 110 km.

La concentrazione elettronica di tali nubi relativamente sottili, dai 500 ai 2000 metri, è di parecchie volte più alta dello strato E che le circonda.

Sembra che alla formazione di queste nubi, concorrano anche fenomeni, quali meteoriti e raggi cosmici.

Il fenomeno dell'assorbimento è causato dalle collisioni degli elettroni, posti in oscillazione da un'onda radio, con le molecole circostanti. La ionosfera pertanto assorbe tanta energia termica dall'onda radio, quanto più è bassa la frequenza dell'onda stessa; infatti, al crescere della frequenza, le oscillazioni degli elettroni hanno ampiezza minore, con minore possibilità di perdita di energia a causa degli urti.

Bisogna considerare, infine, il non trascurabile effetto del campo magnetico terrestre sulla ionosfera.

Le emissioni di particelle dal sole disturbano il campo, variandone l'intensità e causando perdite di segnale nelle regioni polari, aurore boreali e de ionizzazione della regione F2 a medie latitudini (*tempesta ionosferica*). Questi fenomeni contribuiscono ad influenzare negativamente le radiocomunicazioni, impoverendo le condizioni operative per tutta la durata della tempesta.

Attività solare

L'attività solare segue un ciclo di circa undici anni con un'intensità di radiazione che ha un andamento a campana, salendo da un minimo ad un massimo per scendere nuovamente. Il flusso solare è in relazione poi con il numero di macchie solari visibili dalla terra. Questo è indicato facendo uso dei numeri di Wolf R, dato dalla formula $10g + t$, con g numero di gruppi e t numero di macchie; infatti queste formazioni si presentano spesso riunite a gruppi. Il sole ruota sul suo asse nel corso di 27 giorni, pertanto il numero delle macchie può variare notevolmente da giorno a giorno se la loro distribuzione non è uniforme. La concentrazione elettronica degli strati è massima al massimo del ciclo solare. Nell'arco della sua variazione si hanno scostamenti della MUF dell'ordine del 30%. L'influenza dell'attività solare sulla concentrazione elettronica dello strato D si differenzia alle diverse altezze: fra 70 e 90 Km i raggi X di origine solare sono la principale fonte di ionizzazione; al di sotto dei 70 Km le radiazioni più attive sono quelle cosmiche e la concentrazione massima si presenta pertanto quando l'attività solare è al suo minimo, cioè quando la dispersione interplanetaria dei raggi cosmici di origine galattica tende a ridursi.

Considerazioni generali sulla propagazione

La ricezione a grande distanza è assicurata dalla riflessione delle onde da parte della ionosfera. La ionosfera è una parte dell'atmosfera di altezza dal suolo compresa tra circa 50 e 400 Km. È costituita da strati man mano più rarefatti di gas, a causa delle radiazioni provenienti dal sole e dal cosmo gli elettroni sono estratti dagli atomi, si ha la costituzione di ioni positivi ed elettroni, dato poi che il numero non è elevato è difficile che uno ione incontri un elettrone libero in modo da ricostituire un atomo neutro, per tale motivo la ionizzazione persiste per un certo tempo, anche in assenza di radiazione solare. Gli strati che compongono la ionosfera cambiano dal giorno alla notte. Di giorno si formano 4 strati: D (50-90 Km), E (90-130 Km), F1 (130-250 Km), F2 (250-400 Km). Di notte gli strati D ed E scompaiono mentre gli strati F1 e F2 si fondono a formare un unico strato F (350 Km). Vi è poi la possibilità sia di giorno che di notte che si formi uno strato molto ionizzato, di comparsa casuale, detto E sporadico (100 Km); tale strato ha presenza aleatoria e sporadica, pare che la sua ionizzazione sia dovuta a meteoriti e fenomeni cosmici.

Lo strato D può raggiungere una densità massima di 10 miliardi di elettroni per metro cubo a quote tra 50 e 90 Km, questo strato non ha, a causa di tale bassa densità elettronica, grande rilevanza per la riflessione delle onde, mentre ha notevole importanza nell'assorbimento delle stesse. Lo strato E raggiunge una concentrazione di 100 miliardi di elettroni per metro cubo intorno ai 110 Km di altezza. Lo strato F1 ha una concentrazione dell'ordine di 200 miliardi di elettroni per metro cubo, lo strato F2 ha una concentrazione di elettroni che è generalmente la più densa arrivando a valori di 1000 miliardi di elettroni a metro cubo.

Dipendenza dalla frequenza

A seconda della frequenza dell'onda gli strati ionosferici si comportano in maniera diversa. Le frequenze più basse, al di sotto della LUF (frequenza minima utilizzabile) subiscono fenomeni di assorbimento. Salendo di frequenza si ha la rifrazione delle onde ad opera degli strati inferiori, man mano che l'onda raggiunge parti maggiormente ionizzate è respinta verso quelle che lo sono meno, tale sequenza di rifrazioni comporta un ripiegamento dell'onda che viene così riflessa verso la superficie terrestre, dalla quale, se la potenza è sufficiente, può nuovamente rimbalzare verso la ionosfera e così via. Su frequenze più elevate gli strati inferiori operano un'attenuazione per assorbimento parziale, mentre gli strati più alti rifraggono l'onda. Al di sopra della MUF (frequenza massima utilizzabile) anche lo strato F2 è attraversato e le onde si perdono nello spazio. Si definisce poi la FVC (frequenza critica verticale), la frequenza massima che trasmessa verticalmente è riflessa al suolo. Le frequenze appena citate possono poi essere determinate strato per strato e su varie distanze, in particolare si definisce la MUF 1000, MUF 1500, MUF 3000 (misurate rispettivamente a 1000, 1500 e 3000 Km).

Distanze raggiungibili

Lo skip, distanza raggiunta dai segnali, nel caso della riflessione dipende dallo strato in causa e dall'angolo di incidenza dell'onda, può raggiungere i 4000 Km nel caso dello strato F2 e 2000 Km nel caso dello strato E. La zona compresa tra l'area di diffusione dell'onda diretta e quella raggiunta dall'onda riflessa dalla ionosfera non riceve i segnali trasmessi e è chiamata zona d'ombra. In generale maggiore è la frequenza utilizzata tanto maggiore è la distanza che può essere coperta; più basso è l'angolo di irradiazione sull'orizzonte maggiore è lo skip ottenibile.

Variazioni con le ore del giorno

La scomparsa degli strati ionizzati è legata ai tempi di ricombinazione e ai valori di ionizzazione, la radiazione solare è massima alle grandi altezze e diminuisce col penetrare verso la superficie terrestre, la densità dei gas è invece maggiore alle quote basse e al suo aumentare i tempi di ricombinazione diminuiscono. Pertanto lo strato D scompare rapidamente dopo il tramonto, lo strato E se ne va nelle ore notturne, gli strati più in alto, F1 ed F2, sono quelli maggiormente ionizzati, ciò spiega pertanto la loro persistenza, sotto forma di un unico strato, anche nelle ore notturne. 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 ora locale; si notano poi altre due variazioni durante il giorno, i cui massimi si collocano intorno alle ore 10-11 locali e tra le ore 22-23 locali.

Variazioni con le stagioni dell'anno

Con il cambiare delle stagioni la radiazione solare passa dal valore massimo dell'estate a quello minimo dell'inverno. In estate si ha l'incremento dei valori della MUF e della FVC, gli strati sono fortemente ionizzati, ciò comporta l'apertura delle bande alte e l'attenuazione di giorno, ad opera degli strati D ed E fortemente ionizzati, di quelle più basse. In autunno e primavera si realizzano condizioni intermedie. In inverno data la minore intensità dei raggi solari gli strati sono poco ionizzati, F1 ed F2 si formano ad altitudini leggermente inferiori a quelle estive e lo strato F2 risulta essere meno spesso. In generale maggiore è l'incidenza del sole su una data zona, più elevata sarà la ionizzazione. Tuttavia in inverno si verifica quella che viene detta anomalia invernale: nelle ore centrali della giornata la concentrazione raggiunge valori molto elevati, superiore a quelli estivi, per poi cadere velocemente al tramonto; ciò accade soprattutto nello strato D tra i 70 e 90 Km e nello strato F2 dell'emisfero Nord, intorno alle ore 12 locali. Una possibile spiegazione è data dalla minore temperatura invernale che fa sì che l'atmosfera si comprima più in basso, offrendo alle radiazioni solari strati d'aria meno rarefatti. Lo strato E sporadico è più frequente nei mesi da maggio a settembre nelle ore di luce e con minor frequenza nelle ore notturne e durante l'inverno.

Variazioni con la posizione geografica.

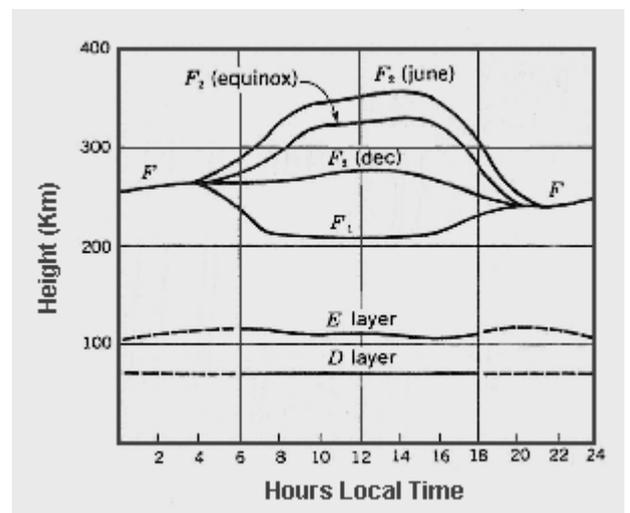
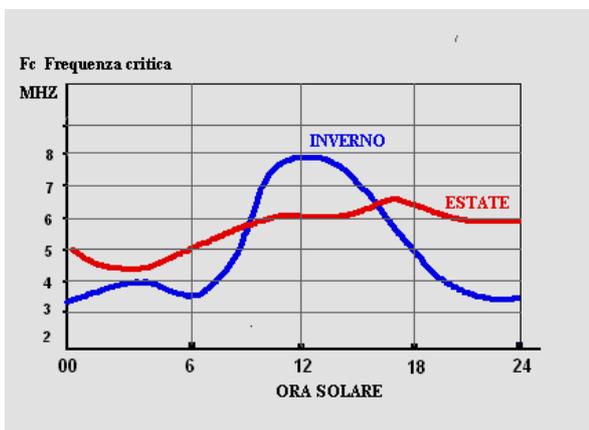
Le condizioni di insolazione della fascia equatoriale determinano su tale regione ionizzazione elevata durante tutto l'anno, ciò determina propagazione sulla lunga distanza verso sud (se siamo in Italia), detta propagazione transequatoriale. Al contrario le basse condizioni di insolazione sulle alte latitudini determinano una ionizzazione di scarsa entità, che ha i valori minimi ai poli dove si hanno le caratteristiche di propagazione transpolare; inoltre le emissioni corpuscolari del sole creano ai poli condizioni particolari, come le aurore boreali che possono influenzare positivamente la propagazione via nord. Durante perturbazioni geomagnetiche la densità elettronica dello strato D tra 75 e 90 Km tende a rinforzarsi alle latitudini subaurorali ed inferiori. 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 vi è poi una depressione della concentrazione di tale strato, associata alla caduta di particelle di alto valore energetico; ciò è dovuto alle linee di forza della magnetosfera e si estende su 2-10 gradi in direzione dell'equatore, subito dopo l'ovale aurorale, da mezzogiorno a tutta la notte. Al contrario degli altri strati della ionosfera lo strato E sporadico compare frequentemente alle alte latitudini. Il campo magnetico terrestre determina anch'esso alcune variazioni fra le condizioni di ionizzazione delle differenti aree della terra.

Anomalie

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 ora locale. 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)



Variazioni stagionali delle frequenze critiche della regione F al 44° parallelo nord, con un'attività solare medio alta. Le frequenze critiche estive sono minori delle invernali, questa anomalia viene definita "Depressione estiva".

STRATI IONOSFERICI

Strato 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.

Strato E

Tra 90 e 130 km si colloca lo strato E, che comprende lo strato E normale e lo strato E sporadico. Lo strato E normale è uno strato molto regolare e si trova ad un'altezza nella quale la temperatura ha una escursione da -80 a +80 gradi °C. La concentrazione elettronica dipende strettamente dalla distanza zenitale dal sole. Vi è un massimo giornaliero verso mezzogiorno ed un massimo stagionale in estate. Il massimo della concentrazione elettronica si colloca intorno ai 110 km ed è circa di 100 miliardi di elettroni per metro cubo. Con questa concentrazione il plasma elettronico ha una sua propria frequenza di riflessione di circa 3 MHz. Durante la notte, invece, la ionizzazione dello strato E si riduce drasticamente. La concentrazione elettronica è massima al massimo del ciclo solare. Nell'arco del ciclo solare si hanno variazioni della frequenza del plasma intorno al 30%. Una parte dello strato E, a circa 120 km, viene chiamata E Sporadico, proprio per il fatto che la sua presenza è sporadica. Pare che la sua ionizzazione sia dovuta a meteoriti e fenomeni cosmici non legati all'attività solare. La sua presenza è più frequente d'estate che d'inverno.

Strato 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)

Propagazione grey line

Quando tutto il percorso è in oscurità si ha il minimo assorbimento e perciò vi sono le migliori possibilità per le lunghe distanze. Il massimo possibile si verifica quando all'alba e al tramonto da noi, il corrispondente è nella situazione inversa.

Al levar del sole e per qualche ora la regione F è particolarmente dinamica e la sua rifrattività ha un gradiente che si alza con il sole.

Sulla linea grigia, si ha quindi una somma di fattori favorevoli come frequenze critiche crescenti, assorbimento dello strato D ancora lieve, pressione di radiazione che fa inclinare la ionosfera.

Inoltre, al mattino, nella fascia del terminatore, le MUF salgono rapidamente e le rifrazioni sono più marcate

Proprio quando il gradiente cambia bruscamente

MUF: Max usable frequency, è la più alta frequenza che in funzione della densità di ionizzazione viene rimandata a terra. A parità di condizioni la MUF dipende sensibilmente dall'angolo verticale di radiazione.

Sebbene per la geometria terrestre, si affermi che non possono verificarsi salti maggiori di 4000 km, per segnali con angolo di radiazione prossimo allo zero, lo strato F2, può introdurre una curvatura progressiva, che determina salti fino a 7000 km, sperimentato con MUF oltre 50 Mhz.

Analizziamo che cosa succede.

Quando si è ancora in oscurità lo strato F, comincia ad essere illuminato (essendo più in alto è il primo strato ad essere illuminato dal sole) e inizia il processo di ionizzazione.

Al sorgere del sole, si ionizzano anche gli strati bassi, compreso lo strato D ma l'assorbimento introdotto dagli strati inferiori della ionosfera è ancora lieve poiché l'assorbimento inizia, quando hanno raggiunto il loro livello di ionizzazione massimo. Prima, sono parzialmente ionizzati e creano un

gradiente progressivo di ionizzazione, insufficiente ad assorbire il segnale DX ma sufficiente a rifrangerlo, abbassandone l'angolo di incidenza verso lo strato F che invece è già pronto a portarlo fino a noi senza rimbalzi intermedi.

Un basso angolo di incidenza è importantissimo per il collegamento a lunga distanza.

Quando il sole illumina una zona ionosferica che si trova 2000 km a ovest del

trasmettitore: ovvero, quando il sole illumina il primo punto di rifrazione

ionosferica e gli strati bassi sono già molto ionizzati, l'assorbimento è quindi forte e

l'angolo di incidenza diventa irrilevante, con queste condizioni i segnali dx iniziano dapprima ad affievolirsi per poi scomparire.

Focalizzazioni

Quando il sole si è levato da poco e la luce continua a procedere verso ovest, le alte quote sono illuminate per prime e le basse più tardi.

Si forma così vicino al terminatore un bordo di luce che si sposta verso ovest con una multistratificazione dello strato F, ad andamento quasi parabolico.

Abbiamo insomma lungo il terminatore una specie di riflettore parabolico che focalizza i segnali.

Questa focalizzazione e' rilevata dall'improvviso aumento dell'intensita' dei segnali provenienti da ovest, che, arrivati ad un valore massimo, decadono di li a poco, quando l'illuminazione scende fino alla regione D, facendone crescere l'opacita'. Piu' e' bassa la frequenza, piu' e' corta la durata del fenomeno, dopo un picco breve ma accentuato.

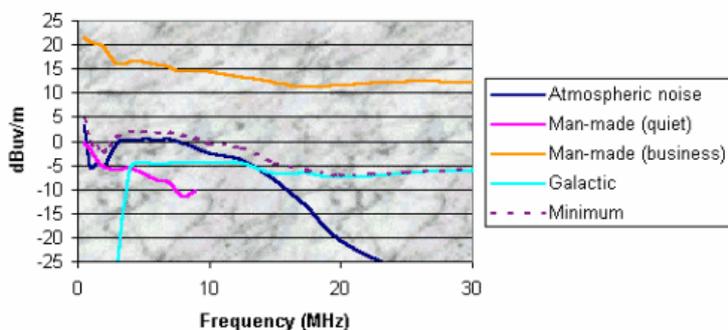
Rumore

Le bande alte delle Hf presentano un rumore atmosferico molto minore rispetto alla bande a frequenza piu' bassa.

Riporto una tabella 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 con la frequenza, al di sopra dei 22 Mhz diventa praticamente trascurabile.

Sui 10 e 12 metri, con buoni ricevitori si possono lavorare segnali debolissimi, impossibili da sentire su altre gamme.

In corrispondenza delle frequenze inferiori a 1 MHz diventa particolarmente elevato il livello del rumore radio di fondo captato dall'antenna e proveniente dall'ambiente circostante: la principale componente e' rappresentata dai disturbi atmosferici e da quelli naturali, in grado di mascherare facilmente la ricezione dei segnali che ci interessano. L'ampiezza di tali disturbi decresce abbastanza rapidamente all'aumentare della frequenza, diventando assai meno significativa nella banda delle VHF. Mentre e' possibile



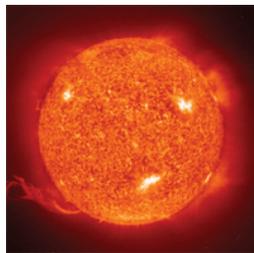
Livello d'ampiezza di diverse sorgenti di rumore

minimizzare l'effetto dei disturbi artificiali scegliendo opportunamente il sito d'installazione della singola stazione ricevente e la tipologia d'antenna utilizzata, molto più difficile è eliminare il disturbo di tipo atmosferico, soprattutto quello lontano. Esso è dovuto alle scariche elettriche temporalesche ed è quindi soggetto ad ampie variazioni nel tempo dipendenti dalle condizioni climatiche stagionali e giornaliere.

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. Oltre alla diminuzione dell'intensità del disturbo con la frequenza, si registrano valori nettamente superiori di notte rispetto al giorno, dovuti alla maggiore attenuazione subita dalla propagazione ionosferica diurna: si ha quasi la scomparsa dell'effetto a frequenze superiori a 30 MHz, sia perché è ormai insignificante il suo contributo energetico, sia perché a queste frequenze diventa improbabile la riflessione ionosferica.

Il radio sole e gli effetti ionosferici associati

Il Sole è stato uno dei primi oggetti studiati dai radioastronomi, non tanto per le sue particolari caratteristiche emissive, quanto per la vicinanza alla Terra che lo rende molto "brillante" oltre che nel visibile, anche in banda radio. Numerosi sono i fenomeni elettromagnetici che si originano nel Sole, fenomeni che possono essere studiati senza troppe difficoltà da appassionati volenterosi e motivati: nelle note seguenti forniremo alcune indicazioni introduttive, utili per inquadrare le reali possibilità di sperimentazione in questo campo.



Semplificando la fenomenologia, si classificano le radioemissioni solari in 3 principali componenti:

1. componente termica del "Sole quieto" (quella relativa ad un periodo di minima attività delle macchie solari), sempre presente;
2. emissioni lentamente variabili;
3. componenti del "Sole attivo" causate dall'attività delle macchie solari e dei brillamenti.

Le ultime due componenti sono legate all'attività delle macchie solari: quella lentamente variabile, d'origine termica, proviene dalle regioni del disco sopra le macchie, dove è più elevata la densità d'elettroni. La temperatura di queste regioni supera i due milioni di

gradi, contribuendo ad aumentare sensibilmente il livello medio d'emissione associato alla radiazione del "Sole quieto", con intensità lentamente variabile e proporzionale al numero di macchie presenti sul disco (il flusso radio legato a questo meccanismo segue il ciclo undecennale delle macchie solari). Conseguenza di un brillamento sulla superficie del Sole è una forte tempesta (burst) d'energia elettromagnetica proiettata nello spazio.

I burst si classificano come:

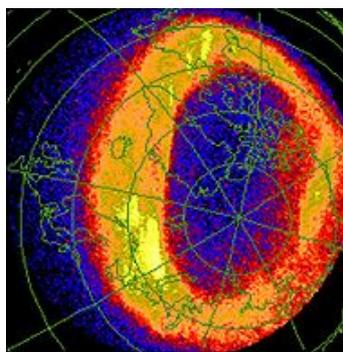
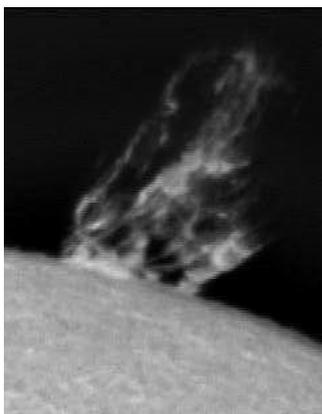
Tipo 1: eventi brevi a banda stretta che, di solito, si verificano contemporaneamente ad emissioni continue a larga banda. Hanno durata variabile da poche ore ad alcuni giorni.

Tipo 2: emissioni che si manifestano con una lenta deriva spettrale dalle frequenze più alte a quelle più basse. Mostrano spesso una struttura caratterizzata da una frequenza fondamentale e da una seconda armonica.

Tipo 3: emissioni caratterizzate da rapida deriva spettrale dalle frequenze alte a quelle basse. In molti casi si evidenziano armoniche e sono spesso accompagnati da rapidi "flash" di fase dovuti ad intense esplosioni d'energia elettromagnetica (flares).

Tipo 4: emissioni continue a banda larga associate a brillamenti (flares).

Tipo 5: emissioni continue a larga banda che possono apparire insieme a burst di tipo III. Hanno durata pari a circa 1 o 2 minuti, maggiore al diminuire della frequenza.



L'attività alla superficie del Sole è evidenziata dalla densità di macchie solari, che appaiono come aree scure sulla fotosfera, fluttuando in frequenza entro un ciclo d'attività approssimativamente pari ad 11 anni. Sono regioni scure perché più "fredde" rispetto al fondo: la loro temperatura è dell'ordine di 4000°K, mentre quella della superficie circostante è di 6000°K.

Nelle macchie solari si localizzano intensi campi magnetici e, sulla parte immediatamente superiore dell'atmosfera, si verificano spesso intensi brillamenti (flares) che producono potenti bursts di radio energia a frequenze comprese fra circa 5 MHz e 300 MHz. Spesso, durante i brillamenti più intensi, è emesso un intenso flusso di particelle cariche (raggi cosmici) ad alta energia viaggianti alla velocità di 500-1000 Km/s: quando tali particelle raggiungono il campo magnetico terrestre sono causa d'intensi disturbi radio e tempeste magnetiche, con formazioni di aurore.

La mappa delle radioemissioni solari dovute ai brillamenti appare molto più ampia di quella occupata dalle macchie solari. A differenza della radiazione proveniente dalla maggioranza delle radiosorgenti celesti, che risulta non polarizzata, quella associata ai brillamenti solari è a polarizzazione circolare, essendo causata dalle traiettorie a spirale degli elettroni che seguono il locale, intenso, campo magnetico associato al brillamento.

Gli studi radioastronomici sul Sole sono condotti sia con osservazioni dirette, sia osservando e registrando gli effetti della radiazione solare sulla ionosfera terrestre.

Ulteriore metodo (indiretto) largamente utilizzato per monitorare i brillamenti solari, quindi rivelare i cosiddetti effetti ionosferici, prevede il monitoraggio permanente, in banda VLF (tipicamente a frequenze inferiori a 150

KHz), di un forte e stabile segnale proveniente da una stazione radio abbastanza distante, registrando le variazioni d'intensità dell'emissione nel tempo. Quando si verificano intensi brillamenti solari, sono emessi fasci di radiazione X che investono la ionosfera terrestre (lo strato di particelle elettricamente cariche dell'atmosfera superiore), "perturbando" le sue capacità di riflessione verso le radioonde e causando un accentuato fading, con progressivo e lento decadimento d'intensità del segnale ricevuto. Questo sistema è considerato abbastanza affidabile per il monitoraggio dei brillamenti. Per garantire una corretta ricezione del segnale è indispensabile utilizzare un ricevitore stabile in frequenza e con il circuito dell'ADC (controllo automatico del guadagno) disattivato: solo in questo modo si ha la certezza che le variazioni d'intensità del segnale non siano causate da instabilità del sistema ricevente. I brillamenti solari emettono anche particelle cariche ad elevata velocità che in un paio di giorni raggiungono la superficie della Terra (mentre le radioonde ed i raggi X impiegano circa 9 minuti), interagendo con il campo magnetico terrestre e deformandolo. Alcune particelle sono incanalate e "guidate" lungo le linee di forza del campo attraverso i poli, producendo il caratteristico fenomeno delle aurore polari. La distorsione del campo magnetico terrestre produce il fenomeno chiamato "tempesta geomagnetica" (geomagnetic storm), osservabile con i magnetometri.

Qualsiasi corpo irradia onde elettromagnetiche in proporzione alla sua temperatura fisica: tale meccanismo di radiazione è chiamato termico, in quanto strettamente legato alla temperatura fisica dell'oggetto emittente (legge di Planck). La componente radio del "Sole quieto" è un'emissione termica proveniente dal gas caldo ionizzato, corrispondente ad una temperatura superficiale della fotosfera pari a circa 6000°K.

Magnetismo terrestre (Geomagnetismo)

Un campo magnetico può essere matematicamente rappresentato da un vettore, insieme di numeri che rappresentano l'ampiezza e la direzione della variabile, in ciascun punto di una superficie o di un volume. Il campo magnetico terrestre è generalmente descritto da un'ampiezza e da due angoli che fissano il suo orientamento, noti come inclinazione e declinazione. Alcuni strumenti di misura sono sensibili solo ad alcune componenti del campo magnetico, come nel caso della bussola che indica l'orientamento orizzontale (declinazione), ma non quello verticale (inclinazione) o l'ampiezza.

La distribuzione spaziale del magnetismo terrestre è generalmente approssimata con quella che sarebbe prodotta da un corto ed intenso dipolo, localizzato vicino al centro della Terra e spostato rispetto all'asse di rotazione. L'introduzione di ulteriori dipoli (caratterizzati da minore intensità e con differenti orientamenti) consente di perfezionare tale modello ed adattarlo alle caratteristiche locali. Il campo misurato alla superficie terrestre, oltre a non essere costante nel tempo (con oscillazioni a lungo termine dell'ordine di anni), è sensibile alla distribuzione di depositi minerali locali ed interagisce con le particelle elettricamente e magneticamente cariche provenienti dal Sole. L'attività geomagnetica terrestre è quindi un fenomeno indotto dal vento solare, flusso costituito da un plasma di elettroni liberi e ioni espulsi dal Sole: in presenza di forti perturbazioni sulla stella, il vento solare può aumentare considerevolmente la sua velocità d'interazione con la magnetosfera terrestre alterandone la distribuzione e producendo brusche ed improvvise variazioni del campo. Si osservano anche variazioni giornaliere dovute all'azione combinata del riscaldamento solare che induce correnti elettriche circolanti nella parte superiore dell'atmosfera, e all'effetto marea causato dall'azione gravitazionale solare che ridistribuisce il plasma ionosferico. Sono registrabili simili variazioni (anche se con intensità molto inferiore) prodotte dall'effetto mareale della Luna che induce deboli correnti ionosferiche. Altre variazioni non periodiche sono prodotte da fenomeni fisici identici a quelli responsabili del vento solare: in corrispondenza di zone peculiari della corona, chiamate buchi coronali, il locale campo magnetico consente una libera uscita del vento solare. Alcune particelle "spazzolano" la magnetosfera terrestre che, in risposta, subisce espansioni e contrazioni. I brillamenti solari sono sorgenti d'intensa radiazione elettromagnetica, raggi X, radiazione ultravioletta e particelle cariche (elettroni, protoni, nuclei più pesanti). Tale radiazione aumenta la percentuale di ionizzazione della ionosfera terrestre, mentre le particelle sono generalmente deviate dal campo magnetico terrestre. Le distorsioni più ampie della magnetosfera terrestre sono causate da espulsioni di massa coronale.

L'intensità del campo magnetico totale misurabile sulla superficie terrestre varia fra 0.1 e 1.0 Gauss (0.0001 e 0.0001 Tesla), generalmente diretto verso i poli magnetici con direzione orizzontale predominante verso i tropici e le medie latitudini, ed è inclinato, in direzione verticale, verso le regioni polari. Si registrano variazioni temporali più piccole di due o più ordini di grandezza durante il giorno e la notte, su scale di tempo che variano da pochi secondi a diverse ore (fino ad un giorno intero).

Fasce di Van Allen

Le Fasce di Van Allen (sono una componente importante della magnetosfera terrestre, quella regione dello spazio in cui il moto delle particelle cariche del vento solare e della radiazione cosmica non troppo energetica viene condizionato dal campo magnetico terrestre).

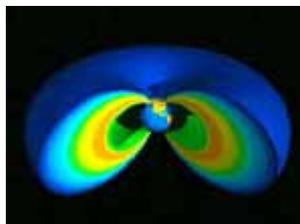
Le fasce sono formate da particelle cariche, per lo più di origine cosmica e solare, intrappolate nel campo magnetico: sono state scoperte all'inizio dell'era spaziale, nel 1958, con i rivelatori di particelle posti a bordo dei satelliti "Explorer 1 e 2" da James Van Allen, da cui hanno preso il nome.

Le particelle cariche delle fasce (una interna e l'altra più esterna) sono elettroni e protoni con energie cinetiche che vanno dal Kev ai GeV. La distribuzione spaziale delle particelle è molto complessa e variabile nel tempo (specie per la fascia esterna). Le particelle si muovono lungo le linee di forza del campo magnetico terrestre seguendo traiettorie a spirale e oscillando in latitudine tra i punti coniugati di riflessione negli emisferi boreale e australe. C'è anche un moto delle cariche in longitudine che forma una corrente di tipo anulare attorno alla Terra.

La distribuzione approssimata delle particelle è la seguente (1 Rt = 6378 km, raggio terrestre):

- 1 - Distanze fra 2.5 e 5.8 Rt: protoni poco energetici (ca. 3 Mev)
- 2 - Distanze fra 1.5 e 1.7 Rt: protoni energetici (> 30 Mev)
- 3 - Distanze fra 3 e 4.3 Rt: elettroni poco energetici (ca. 2 Mev)
- 4 - Distanze fra 1.6 e 8.5 Rt: elettroni molto energetici (> 40 Mev)

La vita media delle particelle nella fascia interna è di circa 10 anni, le particelle vengono poi perse per cattura atmosferica. Nella fascia esterna invece, soggetta a forti perturbazioni a causa dei brillamenti solari, la vita media non ha un valore ben definito. Addirittura, recentemente la NASA ha individuato l'esistenza di una terza fascia, poi scomparsa, formatasi durante un periodo caratterizzato da un'elevata attività solare.



La cintura magnetica interna, scoperta dagli Explorer 1 e 2, deve la sua esistenza alla straordinaria stabilità delle orbite attorno alla Terra. Essa è un prodotto della radiazione cosmica che da sola ha un'intensità piuttosto bassa: l'ammontare dell'energia ricevuta dalla Terra dai raggi cosmici è comparabile a quella che riceve dalla luce stellare. Solo l'accumularsi delle particelle nel corso degli anni rende la fascia magnetica interna tanto intensa.

I raggi cosmici sono composti da veloci cariche positive, che bombardano la Terra da ogni direzione. Sebbene il loro numero sia piccolo, l'energia di ogni particella è alta, cosicché quando questi ioni urtano i nuclei dei gas dell'atmosfera, i frammenti vanno rimbalzando verso differenti direzioni. Molti frammenti vengono assorbiti dall'atmosfera o dal suolo, ma alcuni vengono espulsi nuovamente nello spazio.

Se essi sono elettricamente carichi, ad esempio elettroni o ioni, essi vengono quasi sempre catturati dal campo magnetico terrestre. Nessuno di questi, comunque, dura molto a lungo.

Alcuni dei frammenti sono neutroni, particelle simili ai protoni ma non caricate elettricamente. Per questo, i neutroni non subiscono l'influenza del campo magnetico terrestre e muovendosi troppo velocemente perché la gravità possa trattenerli, essi solitamente sfuggono nello spazio.

Il neutrone è comunque radioattivo: nel giro di circa 10 minuti esso si divide in un protone, che assume la maggior parte dell'energia, un elettrone ed un neutrino, privo di massa. Dieci minuti però sono molti per una particella veloce, abbastanza per arrivare a metà strada per Marte. Comunque il tempo di decadimento è stato calcolato statisticamente e, se i 10 minuti rappresentano la media, un basso numero di neutroni decade presto, quando ancora essi si trovano all'interno del campo magnetico terrestre. In questo modo i protoni che derivano dai neutroni spesso possono rimanere intrappolati in orbite fisse per tempi piuttosto lunghi.

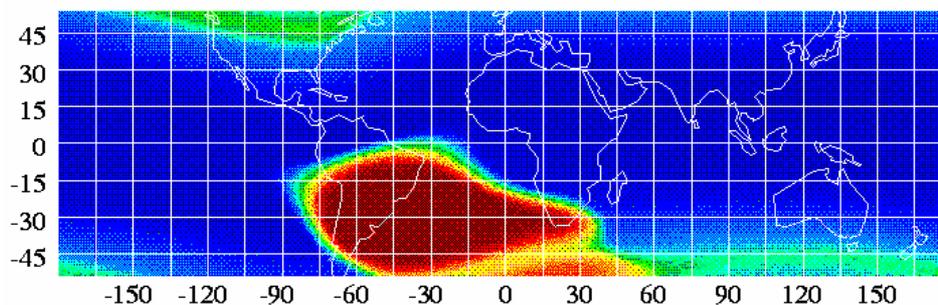
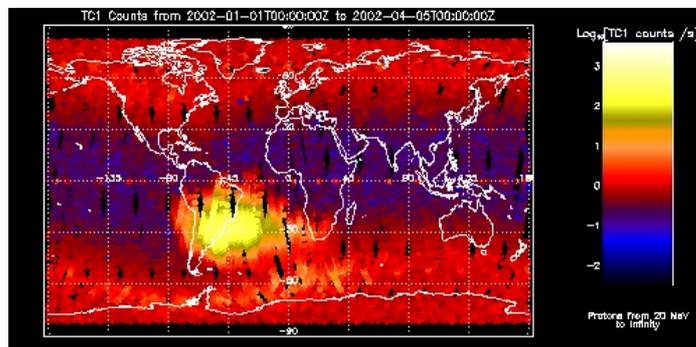
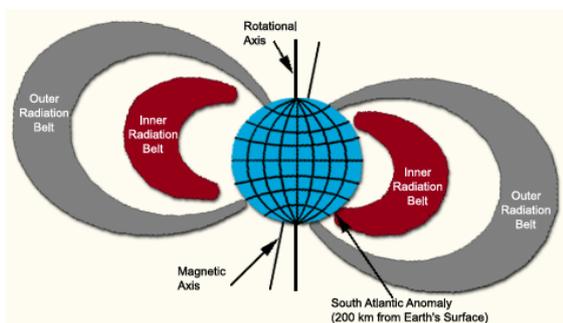
Mi ha colpito l'articolo di IXIRPJ (Roberto Joyeusaz), pubblicato sul sito ufficiale dell'ARI che parla di "E-sporadico e fasce di Van Allen", che ritengo molto interessante.

Le Fasce di Van Allen sono centrate con l'asse magnetico terrestre, che è inclinato rispetto all'asse geografico. Questa sfasatura tra l'asse geografico e l'asse magnetico, fa che la distanza delle Fasce di Van Allen non sia omogenea rispetto a tutta la superficie terrestre. Sopra l'Oceano Atlantico meridionale la parte più interna delle Fasce di Van Allen è molto vicina alla terra, fino a toccare la parte alta dell'atmosfera terrestre.

I fenomeni di riflessione e rifrazione delle onde radio dipende proprio dalle zone ionizzate dell'alta atmosfera e sappiamo anche che i fenomeni più frequenti di E-Sporadico, avvengono proprio tra l'Europa ed il Sud America, sfruttando gli strati altamente ionizzati che si trovano sopra l'Oceano Atlantico meridionale, nella stessa zona della Anomalia Sud Atlantica.

Dovrebbe esserci una correlazione tra i due fenomeni.

Le Fasce di Van Allen risentono in maniera notevole dell'intensità del vento solare, dei brillamenti solari e dei raggi cosmici. La propagazione è sempre legata alla stessa tipologia di fenomeni, o a altri fenomeni che sono comunque legati in maniera biunivoca a questi, come le macchie e/o il flusso solare



Ipotesi

Esiste la possibilità un fenomeno strano sulle bande alte, ovvero può capitare di ascoltare i propri echi di ritorno, con un ritardo stimabile nell'ordine di 300 – 400 milli secondi.

Il fenomeno, e' riscontrabile su frequenze indicativamente superiori ai 21 Mhz .

Potrebbe trattarsi di una riflessione "esterna" su strati piu' elevati, influenzati dalle fasce di Van Allen, o di zone ad elevata ionizzazione indotte dalle fasce che in determinati punti si avvicinano all'atmosfera terrestre.

Queste "anomalie" localizzate al di sopra dello strato F2, potrebbero indurre una riflessione e spiegare il motivo di questi percorsi molto lunghi (e quindi il ritardo dei segnali) sulle bande piu' alte delle HF, e favorire certi collegamenti dx anche con piccola potenza.

Studi della NASA hanno dimostrato l'esistenza di queste irregolarita', una di queste viene chiamata "Anomalia sud Atlantica", poiche' in questa zona e' stata accertata un'anomalia di questo tipo.

Potrebbero verificarsi, in certi casi altre anomalie, magari di natura anche temporanea, indotte da irregolarita' del campo magnetico terrestre.

Forse e' un'ipotesi azzardata (che comunque vale la pena di essere approfondita), gli echi potrebbero essere causati dai segnali, che in determinate condizioni e con il ciclo solare al massimo possono fare anche piu' di un giro del mondo e arrivare quindi in ritardo di qualche frazione di secondo.

Guide d'onda

Talvolta la regione F2 si presenta , in certe particolari condizioni, come una gigantesca guida d'onda che intrappola i fasci incidenti e li fa tornare a terra a distanze grandissime; questo si puo' verificare specialmente quando i fasci lambiscono la zona crepuscolare tra notte e giorno, dove la ionosfera , al comparire del sole, subisce repentini cambiamenti; fenomeni analoghi si possono avere per quei treni d'onde che lambiscono la zona del polo nord , in coincidenza con aurore boreali, allora si hanno collegamenti eccezionali con potenze piccolissime.

Back scatter

La diffusione di segnali che dopo essere stati riflessi da un salto ionosferico tornano a terra e al contatto con il terreno ruvido si sparpagliano in ogni direzione e' detta "backscatter", cosi' puo' accadere che la m.u.f. sia favorevole in una certa direzione e porti i segnali in una certa area.

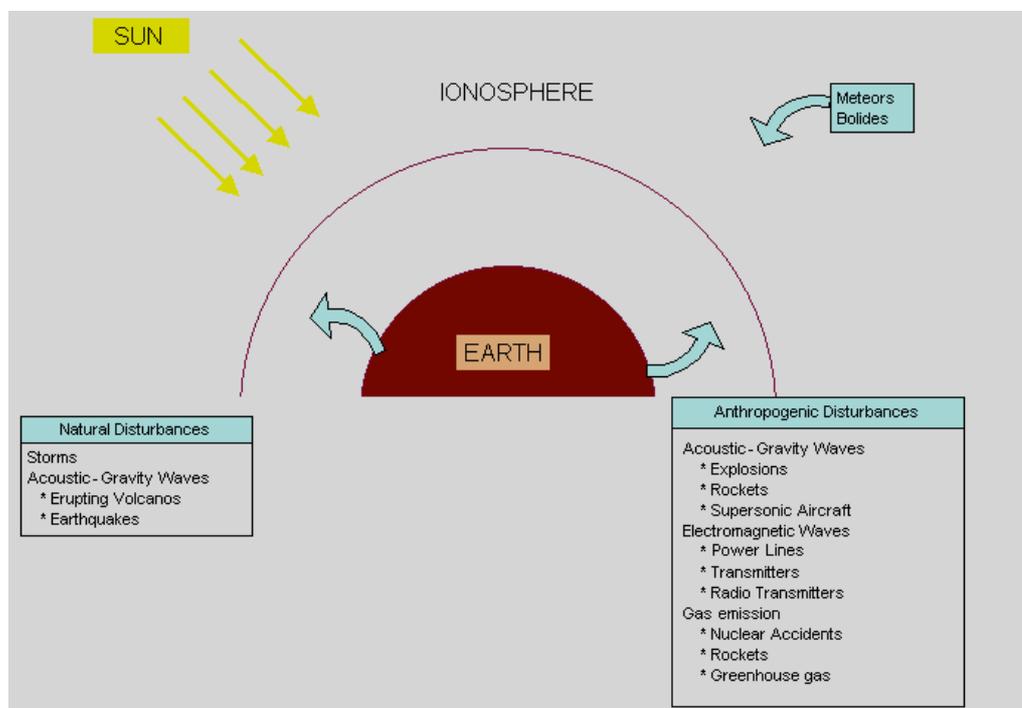
In questa si verifica il back scatter che permette di ascoltare stazioni indirettamente puntando le antenne direttive non nella direzione del corrispondente, ma talvolta 30 o 60 gradi spostate rispetto ad esso.

Il collegamento si realizza infatti non con il puntamento diretto, ma indirizzando le antenne dei due corrispondenti verso l'area dove avviene la diffusione.

Disturbi nella Ionosfera

La figura in basso mostra le varie fonti di disturbo che possono influenzare la ionosfera.

La maggior fonte di disturbo e' tuttavia di origine solare.



Flavio Egano IK3XTV

www.qsl.net/ik3xtv *Propagation Observatory*

Bibliografia:

"Il Radio-sole e gli effetti ionosferici associati" dal sito web di Flavio Falcinelli www.radioastrolab.it

"ARRL" Handbook 1996

"Manuale di Radiotelegrafia" di Carlo Amorati I4ALU

"Antenne linee e propagazione" di Nerio Neri I4NE