

COLLEGAMENTI SU PERCORSI POLARI

Analisi scientifica della Propagazione alle alte latitudini

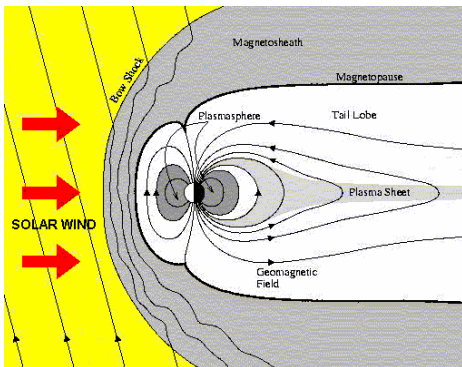
LA IONOSFERA ALLE LATITUDINI ALTE

La ionosfera alle alte latitudini presenta delle caratteristiche differenti e particolari dovute al fatto che essa si trova maggiormente esposta alle perturbazioni solari.

Le linee di forza del campo magnetico convergono verso i poli, passando orizzontalmente sopra l'equatore magnetico, esse catturano le particelle emesse dal vento solare e le convergono verso i poli generando alle alte latitudini delle deboli tempeste secondarie quotidiane che rendono la ionosfera polare in una condizione di continua agitazione e fortemente dipendente dall'intensità del vento solare e di conseguenza dalla situazione dell'attività solare stessa.

All'interno della ionosfera polare, tutti gli strati, ma soprattutto la regione F, essendo lo strato più esterno e quindi il più esposto, presenta situazioni d'estrema dinamicità legate all'andamento di questi fenomeni.

L'andamento delle linee di forza, che si chiudono in maniera concentrica sui poli geomagnetici, sono allineate orizzontalmente con l'equatore e quindi proteggono la ionosfera alle basse latitudini dalle perturbazioni del vento solare.



MAGNETOSFERA

La magnetosfera è la parte esterna dell'atmosfera che circonda la terra e altri pianeti come Mercurio, Giove, Saturno, dotati di campo magnetico.

La magnetosfera è situata tra la sommità della ionosfera e il limite superiore di questa zona (chiamato MAGNETOPAUSA), che la separa dallo spazio interplanetario.

È in questa zona che si trova il campo magnetico della terra.

L'interazione del vento solare con il campo magnetico terrestre provoca la Magnetosfera, che per effetto della pressione esercitata dal vento solare, assume la forma tipica della cometa, compressa dal lato illuminato, si allunga per almeno 600 mila chilometri dal lato oscuro.

Le particelle cariche del vento trovano difficoltà ad attraversare le linee di forza del campo, mentre possono scivolare agevolmente lungo esse; proseguono quindi verso la coda da dove, essendo il campo debole, possono finalmente precipitare all'interno, guidate dalle linee di forza, verso i poli.

La precipitazione particellare si arresta nella ionosfera delle alte latitudini che subisce quindi delle perturbazioni anche quando non avvengono forti eruzioni solari.

Queste particelle energetiche sono elettroni e protoni ad alta energia che catturati dalle linee di forza sono accelerati all'interno del campo magnetico verso le regioni polari dove entrano in contatto con l'atmosfera formando un circolo chiamato ovale Aurorale.

Questo circolo è centrato sul polo geomagnetico e si estende per circa 3000 chilometri di diametro nei periodi di quiete geomagnetica. L'ovale aurorale è localizzato tra i 60 e i 70 gradi di latitudine nord e sud e si allarga in estensione quando la magnetosfera è disturbata.

Caratteristiche dinamiche della ionosfera polare

La ionosfera polare è una parte della magnetosfera terrestre ed è influenzata dal livello di dispersione magnetosferica e dalla dinamica del vento solare.

I parametri del vento solare che possono essere considerati come fattori di controllo della ionosfera polare, sono quelli relativi alla pressione dinamica $P_{sw} = mnV$ (dove m è la massa del protone, n è la densità del vento solare e V è la sua velocità).

Recentemente si è scoperto che l'aumento della pressione dinamica del vento solare causa cambiamenti spaziali significativi alle alte latitudini a causa della precipitazione di particelle dalla magnetosfera.

Il livello di ionizzazione di giorno nella ionosfera polare si riduce di circa la metà quando la magnetopausa si avvicina alla terra, esiste quindi un collegamento importante tra la posizione della magnetopausa ed il livello di ionizzazione di giorno nella ionosfera polare. La struttura della ionosfera non dipende soltanto dalla radiazione ultravioletta del sole, ma anche dagli effetti del vento solare e dal campo magnetico della terra. La maggior parte dell'energia del vento solare che viene trasferita nella magnetosfera e nella ionosfera è depositata nelle regioni polari, uno dei processi di dispersione di questa energia è l'aurora.

Fenomeni nella magnetopausa

L'energia e la massa vengono trasferite dal vento solare al sistema magnetosfera-ionosfera.

Gli elementi principali nel processo di trasferimento di energia si fondono alla magnetopausa.

La magnetopausa nel lato illuminato della terra e le regioni polari sono come sappiamo molto dinamiche, con fenomeni che possono accadere nel giro di alcuni minuti così come per l'evoluzione dei segnali radio che possono arrivare e poi sparire in poco tempo poiché le riflessioni sono regolate da questi eventi.

Il rilascio esplosivo di energia nella magnetosfera è chiamato tempesta magnetosferica, e causa altri fenomeni, come la formazione di una Aurora.

Tuttavia, è ancora poco chiaro che cosa avviene all'interno di queste fasce esplosive della tempesta magnetosferica.

Per studiare le varie caratteristiche del fenomeno, quale la forte accelerazione delle particelle, la modulazione, l'aumento di intensità delle correnti ionosferiche e i fenomeni aurorali, vengono eseguite osservazioni complete da terra (per esempio tramite radar HF, macchine fotografiche speciali, fotometri, riometri), e magnetometri localizzati nelle zone polari, inoltre avvengono osservazioni utilizzando degli aerostati (osservazioni del campo elettrico e dei raggi X) e negli ultimi anni vengono eseguiti continui monitoraggi e studi tramite una rete di satelliti dedicati ad orbita polare.

Tempeste magnetiche

Le tempeste magnetiche sono le più grandi dispersioni energetiche che avvengono nella magnetosfera della terra.

Il vento solare ad alta velocità e il campo magnetico interplanetario generano delle grandi forze elettriche che inducono molte particelle caricate ad alta energia a penetrare profondamente nella magnetosfera interna.

Cause estreme di questo fenomeno sono per esempio, una depressione magnetica alle latitudini equatoriali e fenomeni di Aurora che si spingono anche a latitudini molto più basse del normale.

La ionosfera polare risponde globalmente alle dispersioni nel vento solare, tuttavia, la risposta è spesso differente fra le due regioni polari (Artide ed Antartide) che possono avere caratteristiche e comportamenti differenti.

Le osservazioni simultanee in entrambe le regioni polari quindi forniscono i dati che confrontati sono spesso diversi, l'assorbimento e la dispersione di energia nella magnetosfera risulta essere differente tra i due poli.

Struttura della ionosfera polare

Un'altra fonte di ionizzazione nella ionosfera delle alte latitudini è l'aurora, la dispersione di luce causata dalla caduta a spirale di elettroni e protoni che colpiscono l'atmosfera ad elevata velocità provenienti dalla magnetosfera con moti a spirale lungo le linee di forza del campo magnetico, incrementa la densità elettronica nella ionosfera polare.

Queste particelle, che entrando in collisione con gli atomi neutri presenti nella ionosfera, oltre a produrre una spettacolare rete di luci (Aurora visibile) producono una ulteriore ionizzazione nell'atmosfera.

I diversi colori dell'aurora visibile, dipendono dai diversi gas presenti e dal loro stato elettrico, a seconda della concentrazione di atomi di ossigeno oppure di azoto, i colori possono variare dal rosso al verde.

Questa ulteriore fonte di ionizzazione aumenta considerevolmente durante i periodi di alta attività solare (massimo del ciclo undecennale) e durante le tempeste geomagnetiche.

Questi fenomeni avvengono ad altitudini comprese tra i 100 e i 400 chilometri, anche se l'effetto più intenso si ha tra i 100 e i 150 chilometri, all'interno della regione E o nella parte più alta della regione D.

Dinamica della ionosfera polare

I venti e le onde atmosferiche nella ionosfera polare sono influenzati sia dall'atmosfera più bassa e densa che, dagli agenti elettrodinamici collegati alla regione magnetosferica.

La precipitazione di particelle aumenta la densità elettronica così come l'eccitazione aurorale, creando forti interazioni tra la ionosfera, l'atmosfera neutra e la magnetosfera.

Lo ionosfera e l'atmosfera neutra sono legate sia dinamicamente che chimicamente.

Alle latitudini basse e centrali nel lato illuminato della terra, per esempio, i venti neutri termosferici spostano il plasma ionosferico attraverso le linee del campo geomagnetico, creando una dinamo atmosferica che genera tutta una serie di correnti ionosferiche e l'electrojet equatoriale, si forma una forte corrente dal lato illuminato verso il lato oscuro che entra nella regione E, lungo l'Equatore geomagnetico.

Nelle regioni polari, d'altra parte, gli ioni che vanno alla deriva all'interno della ionosfera, a causa del campo elettrico imposto dalla magnetosfera, generano forti correnti nella regione F polare (electrojet polare).

La ionosfera inoltre interagisce fortemente con la magnetosfera, e una funzione importante di questa interazione è l'accoppiamento elettrodinamico effettuato dalle correnti elettriche che fluiscono seguendo le linee del campo geomagnetico che collegano la ionosfera al plasma della magnetosfera.

Si produce quindi un campo elettrico, che genera le correnti orizzontali nella ionosfera polare responsabile del flusso convettivo degli ioni di cui abbiamo appena parlato.

Queste correnti sono trasportate sia dagli elettroni aurorali che precipitano verso il basso seguendo le linee del campo che dagli elettroni ionosferici che fluiscono verso l'alto.

Questi notevoli flussi di energia nell'atmosfera superiore, ha effetti profondi sia sulla ionosfera che sulla termosfera neutra e

Oltre che eccitare le emissioni aurorali, la precipitazione aurorale degli elettroni aumenta la densità del plasma e la conducibilità della ionosfera.

Si tratta di fenomeni fisici complessi che interagiscono con la dinamica della propagazione HF e la influenzano in maniera importante.

Grande variabilità delle MUF

Le particelle energetiche presenti nelle regioni polari sono sempre in uno stato di forte agitazione pertanto la ionosfera si presenta raramente ben stratificata e in quiete, questo è uno dei motivi della difficoltà dei collegamenti sopra il polo (i segnali mediamente devono percorrere almeno 4000 chilometri per oltrepassare la regione e quindi sono soggetti ad una forte interazione da parte di essa), inoltre questo stato di costante agitazione provoca una grande Variabilità delle MUF della regione F, alle nostre latitudini l'andamento delle MUF è abbastanza regolare, grandi sbalzi li possiamo trovare in corrispondenza della Grey line, alla sera e al mattino, per il resto l'andamento delle MUF è genericamente regolare, viceversa alle alte latitudini esiste una forte variabilità delle massime frequenze utilizzabili, determinata appunto dalle stesse caratteristiche dinamiche delle ionosfera la cui stratificazione, soprattutto nelle regioni più in alto e quindi più esposte non è uniforme e subisce continue variazioni.

POLI GEOMAGNETICI

La posizione geografica dei poli geomagnetici non è stabile, ma subisce delle fluttuazioni nel corso degli anni.

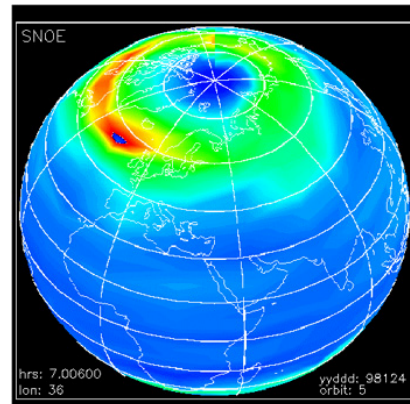
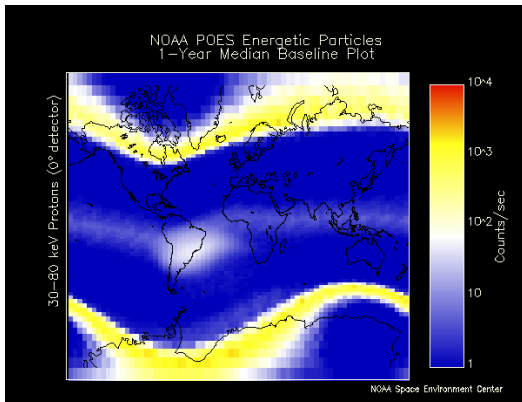
C'è un lento cambiamento nel tempo, denominato "variazione secolare" del campo magnetico, osservata in tutte le sue componenti.

I poli magnetici nord e sud non hanno lo stesso comportamento, le loro variazioni sono differenti sia come valore che come direzione, il polo nord attualmente si sposta in direzione nord-est ad una velocità di 12 Km. per anno, mentre il sud magnetico si sposta verso nord ovest con una velocità di circa 14 Km all'anno.

La variazione secolare è un fenomeno regionale oltre che un fenomeno planetario ed è più grande e complicato nella regione Antartica.

In un'area di circa 1000 Km di estensione, tra il Sud Africa e l'Antartide, la variazione secolare del campo Magnetico dovuto al

Movimento dei poli risulta essere 18 volte maggiore rispetto alla media planetaria. La causa della variazione secolare e' dovuta probabilmente ai moti convettivi che avvengono all'interno del nucleo liquido della terra. Attualmente il polo Nord magnetico e' localizzato vicino a Ellef Ringes Island, nell'Artico Canadese.



La figura in alto a sinistra mostra la maggior concentrazione di particelle ad alta energia attorno ai poli , nella fascia equatoriale e nella zona del Sud Atlantico , causata dall'Anomalia Sud Atlantica. La figura a destra mostra l'estensione dell'ovale Aurorale nell'emisfero boreale.

STRUTTURA MOLECOLARE DELLA REGIONE D

La regione D e' la piu' importante per un'analisi degli assorbimenti in gioco nei collegamenti radio, si tratta dello strato che incide piu' di tutti nelle attenuazioni introdotte sui treni d'onde che attraversano la ionosfera, pertanto riporto di seguito alcuni dati sulla struttura molecolare di questa regione.

Alle alte latitudini assume un significato ancora piu' importante poiche' la regione D e' dinamicamente legata all'attivita' geomagnetica e di conseguenza alla precipitazione particellare causata dall'attivita' solare, quindi l'assorbimento dipende in maniera diretta e preponderante da questi fattori.

Essa inizia approssimativamente a 40 chilometri di altezza e si estende fino a circa 100 chilometri.

Per effetto della relativa vicinanza alla superficie terrestre, la densita' molecolare e' molto piu' elevata della concentrazione elettronica, questo provoca un elevato livello di collisioni tra le molecole neutre e le particelle elettroniche.

La densita' di ionizzazione dello strato D segue un andamento abbastanza regolare, essa ha inizio alla levata del sole, aumenta man mano che il sole irradia la ionosfera, raggiunge il picco massimo al mezzogiorno locale, inizia a diminuire nel pomeriggio e scompare repentinamente dopo il tramonto.

La composizione molecolare dell'atmosfera nella regione D e' simile alla composizione molecolare della troposfera.

La forte concentrazione ionica della regione D e' la causa principale dell'assorbimento indotto sulle onde in transito, dovuto, alle collisioni tra gli elettroni e le particelle ioniche.

ASSORBIMENTO

L'assorbimento dell'energia delle radio onde e' sensibile ai cambiamenti nella densita' elettronica nelle regioni D e, in misura minore nella regione E della ionosfera. L'assorbimento aurorale e' causato dalla precipitazione degli elettroni energetici (10 KeV) dalla magnetosfera, che fa aumentare la densita' elettronica ionosferica fra circa 70 e 120 chilometri di altezza.

Soprattutto in presenza di perturbazioni ionosferiche, si possono formare delle chiazze di differente densita' elettronica, chiazze della larghezza di alcuni chilometri, che provocano oltre a livelli non omogenei di assorbimento anche forte instabilita' ed evanescenza dei segnali.

Tempeste ionosferiche improvvise (SID) aumentano la densita' particellare negli strati piu' bassi della ionosfera, espandono il relativo limite verticale ed abbassano il livello della ionosfera piu' bassa.

La rifrazione dei segnali HF si ha principalmente nella parte piu' alta della ionosfera (strato F), dove il numero di elettroni liberi e' piu' grande. Le frequenze inferiori alla MUF "Massima frequenza limite utilizzabile" sono piegate verso la terra, mentre quelle superiori alla MUF non incontrano la piegatura sufficiente e attraversano la ionosfera.

Viceversa al di sotto della LUF "Minima frequenza utilizzabile" i segnali non riescono a penetrare gli strati ionosferici piu' bassi (Regione D). Ciò accade perché ogni volta che un radiosegnale attraversa lo strato D, induce un'oscillazione sulle particelle atmosferiche ionizzate, molte di queste particelle ionizzate si scontreranno con le molecole neutre presenti all'interno della regione D, maggiore e' la densita' degli strati piu' bassi, piu' frequenti sono questi scontri e di conseguenza maggiore e' l'energia sottratta all'onda, che si disperde in calore (E' questa la dinamica dell'assorbimento) Più bassa la frequenza, più grande il grado di assorbimento del segnale, poiche' aumentano le probabilita' di collisione in quanto la distanza che gli elettroni possono percorrere e' piu' grande quando la frequenza dell'onda che li ha eccitati e' bassa.

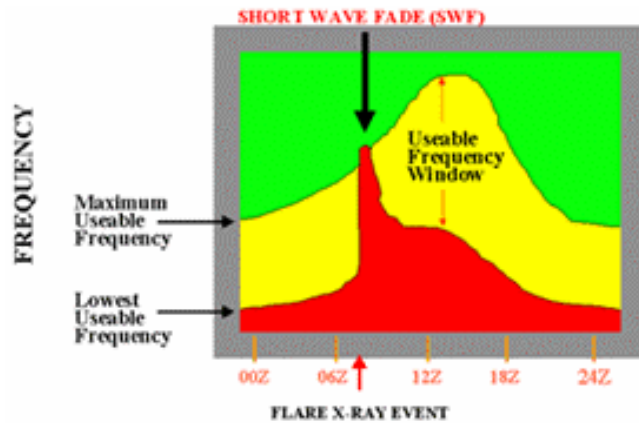
DISTURBI IONOSFERICI IMPROVVISI (SID)

Il vento solare ha un forte effetto sul campo magnetico terrestre che e' soggetto alle sue variazioni di velocita' e alla differente pressione di radiazione.

Quando le caratteristiche del vento solare cambiano rapidamente, il campo magnetico diventa disturbato, e questo genera delle forti correnti all'interno della ionosfera, l'aumento della ionizzazione all'interno della zona aurorale puo' essere talmente forte da assorbire tutti i segnali radio che la attraversano (Blackouts polare).

La propagazione alle basse latitudini generalmente risente meno degli effetti negativi delle tempeste geomagnetiche anche se non ne e' del tutto esente.

Infatti, dopo dei brillamenti solari di forte intensita' (Flares di categoria X), che generano un aumento del vento solare (valori anche superiori a 800 Km/sec.) le condizioni di propagazione nelle bande HF ne risentono in maniera pesante, anche a latitudini come la nostra.



La finestra di propagazione delle HF è la gamma di frequenze comprese tra la LUF e la MUF.

Gli operatori HF, scelgono le frequenze migliori all'interno di questa finestra, in modo che i loro segnali attraversino lo strato D assorbente e vengano successivamente curvati dagli strati ionosferici più in alto (soprattutto nella regione F)

Le curve di MUF e di LUF mostrano una variazione normale e quotidiana. Durante il pomeriggio, la radiazione solare ricevuta è massima, pertanto gli strati D e F sono fortemente ionizzati, di conseguenza anche LUF e MUF sono elevate.

Durante la notte, la riduzione della luce solare (de-ionizzazione) induce tutti gli strati ionosferici a indebolirsi (alcuni strati scompaiono) ed i valori delle LUF e delle MUF sono depressi.

Alle alte latitudini, a causa delle caratteristiche molto instabili della ionosfera, tutte queste considerazioni assumono caratteristiche ancora più importanti, le variazioni delle LUF e delle MUF, proprio a causa della dinamicità degli strati (le cui caratteristiche sono ancora più soggette alle variazioni solari) sono più repentine e meno prevedibili.

Quando la radiazione di raggi X emessi durante un brillamento solare (Flare), aumenta significativamente la ionizzazione dello strato D e il suo assorbimento (quindi la LUF si alza), questo può causare una sorta di black out propagativo nell'intero emisfero illuminato della terra e può durare da dieci minuti ad un'ora o due. Il livello di assorbimento può diventare talmente forte da chiudere la finestra di propagazione HF completamente.

OVALE AURORALE

Le linee di forza del campo magnetico terrestre convergono verso i poli e convogliano le particelle di plasma verso le regioni polari, quindi attorno ai poli magnetici si forma una regione ad alta densità di plasma che nei momenti di bassa attività solare rimane circoscritta attorno ai poli, ma nei periodi di alta attività solare in concomitanza con tempeste geomagnetiche può raggiungere anche le latitudini più basse e raggiungere l'Europa centrale.

La forte ionizzazione delle cortine aurorali può in certi casi provocare delle rifrazioni dei treni d'onde, interagendo a livello di riflessione dei segnali con lo strato F.

Potrebbero essere dovuti a questo meccanismo per esempio, alcuni fenomeni di grandi deviazioni azimutali, (a volte per esempio capita di sentire meglio il Giappone con le Antenne verso Nord anziché 40° a Est).

Questi fenomeni in ogni caso dipendono dall'intensità del plasma aurorale la cui formazione segue regole molto complesse, legate all'attività solare e al campo geomagnetico.

Riflessione sulle cortine aurorali

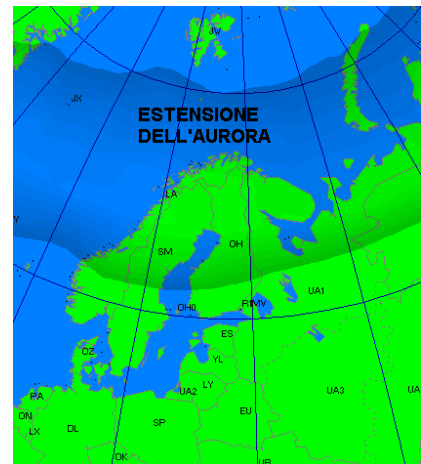
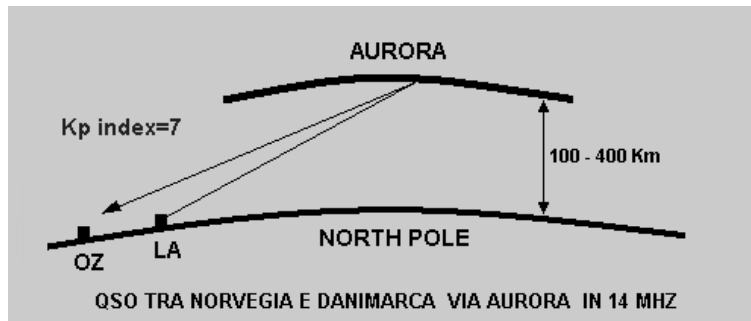
Grazie alla segnalazione di un amico OM, Tony De Longhi IZ3ESV, che è in contatto con una stazione operante nel sud della Norvegia abbiamo la prova della possibilità di riflessione dei segnali ad opera delle cortine Aurorali.

Si tratta di Ketil Olsen LA2UJA con il quale abbiamo instaurato una collaborazione per lo studio e l'osservazione della propagazione ionosferica, l'amico Ketil gode infatti di un osservatorio particolare essendo situato a Kolnes, oltre i 60° di latitudine Nord e quindi in una posizione privilegiata per l'osservazione dei fenomeni legati alla Ionosfera Polare e alle Aurore.

L'esperienza riportata dall'OM Norvegese che con le antenne verso Nord collegava con segnale forte e stabile una stazione dalla Danimarca che a sua volta irradiava verso Nord, (puntando l'antenna direttamente verso la Danimarca la stazione Danese non era ascoltabile, geograficamente il Sud della Norvegia e la Danimarca sono molto vicine) dimostra che esiste la reale possibilità di una riflessione, anche per le frequenze HF sulle cortine aurorali.

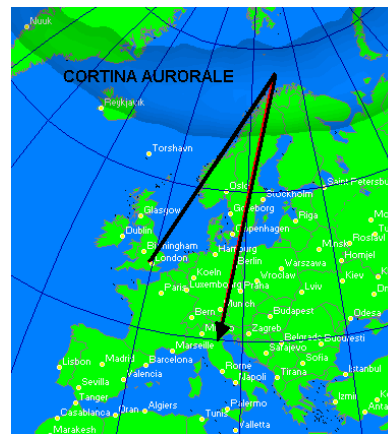
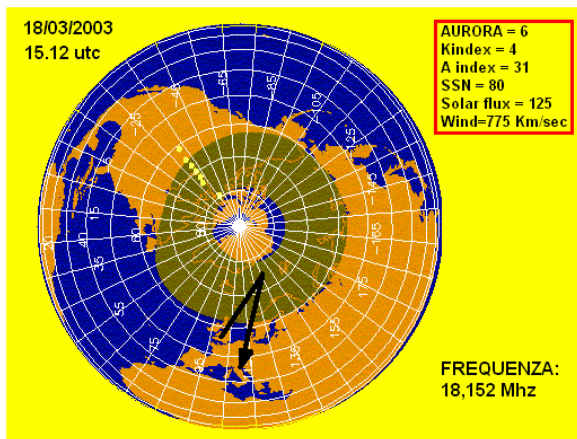
Da un'analisi più approfondita di questo interessante qso, avvenuto l'1 Febbraio 2003 alle 22,23 Utc sulla frequenza di 14 Mhz, è emerso che l'attività aurorale era intensa, confermata anche dall'elevata attività geomagnetica con un indice $K_p=7$, esiste infatti una stretta correlazione tra l'indice K_p e la radio Aurora.

Alla stessa maniera di questa riflessione diretta, potrebbero avvenire delle deviazioni o delle riflessioni laterali per quei segnali che lambiscono le cortine aurorali, soprattutto quando, a causa dell'elevata attività geomagnetica si allargano in estensione e in densità.



Nella figura sopra a sinistra ho riportato la dinamica dei segnali riflessi dall'ovale aurorale, mentre nella cartina a destra ho ricostruito l'estensione dell'aurora per un indice Kp pari a 7 alle ore 22,23 Utc del 01/02/2003. Come si puo' vedere il plasma aurorale arriva fino alla Norvegia meridionale.

Simile come principio, ma diversa nella dinamica e' invece la testimonianza che ho preso di persona, durante un altro interessante qso avvenuto il giorno 18 Marzo 2003, alle 15,12 Utc sulla banda dei 17 metri. La stazione inglese G3KLL era in collegamento con OH2HMA da Parkala (Finlandia), ascoltavo entrambe le stazioni rispettivamente con segnali di 5/3 e 5/9, solo che la stazione Inglese era possibile ascoltarla solamente con l'antenna a Nord, puntando la direttiva a 310° azimutali verso il Regno Unito, G3KLL non si sentiva. Con molta probabilita' il segnale della stazione Anglosassone, che con la sua Yagi irradiava verso Nord per collegare OH2HMA, veniva riflesso dall'ovale aurorale e ascoltato dalla mia antenna, puntata a Nord. Il segnale non era forte, solamente 5/3, ma questo corrisponde con l'attivita' aurorale non elevatissima, come confermano gli indici raccolti dal NOAA e riportati nella figura in basso, ma in grado lo stesso di introdurre riflessioni sui treni d'onde. La propagazione verso la Gran Bretagna e verso Ovest in generale, risultava chiusa, mentre erano buoni i segnali da Nord, poiche' oltre alla stazione Finlandese, ascoltavo bene anche alcuni OM Norvegesi e Svedesi. Con molta probabilita' la propagazione verso Ovest, cioe' in direzione della Massima irradiazione solare, era deteriorata dall'elevato assorbimento indotto dal forte vento solare che alle 15.12 Utc era di 775 Km/sec.



GREY LINE

La linea del terminatore ovvero il confine tra giorno e notte causato dall'ombra proiettata dalla sfera terrestre, attraversa orizzontalmente le regioni polari, e la posizione esatta dipende dalla stagione.

Durante il solstizio d'inverno (21 Dicembre), la linea del terminatore e' posizionata in maniera tangenziale al circolo di 66.7 gradi di latitudine Nord (Circolo polare), l'area all'interno di questo circolo e' sempre sul lato oscuro, e che corrisponde alla lunga notte polare delle regioni artiche.

Viceversa, durante il solstizio d'Estate (21 Giugno), la linea del terminatore e' sempre tangenziale al circolo polare ma in questo caso esterna, la regione interna al circolo polare e' sempre sul lato illuminato durante la stagione estiva.

Durante gli equinozi (21 Marzo e 21 Settembre), la linea del terminatore passa sopra il polo e divide esattamente in due parti uguali la regione polare.

La presenza continua della radiazione solare per molti mesi e poi la successiva scomparsa per un altrettanto lungo periodo, rendono uniche le caratteristiche dell'Atmosfera in quest'area.

La posizione del terminatore e' critica per la formazione della ionosfera polare.

Le intense radiazioni solari di raggi ultravioletti (EUV) ionizzano l'alta atmosfera nel lato illuminato.

Questo processo domina la formazione della ionosfera sulla parte illuminata dal sole.

Ioni dell'atomo di Ossigeno che vivono a lungo (O+ prodotti sul lato illuminato) ruotano assieme alla terra e formano una scia ionizzata verso il lato in oscurita'.

Avviene quindi una precipitazione di particelle energetiche nella zona aurorale che causa una ionizzazione dell'alta atmosfera. La zona aurorale forma un ovale centrato attorno al polo geomagnetico che varia dimensioni e posizione durante il giorno a causa di numerosi fenomeni (Solari-geomagnetici) che agiscono contemporaneamente.

La presenza di un significativo campo elettrico nella regione polare, genera all'interno del plasma ionosferico delle correnti che attraversano i campi elettrici e magnetici.

Valori tipici di questa corrente con un campo elettrico di 50 mV/m e' di 1 Km/sec.

Entrambi i valori aumentano durante i periodi disturbati (alta attivita geomagnetica) con valori di campo elettrico superiori a 100-150 mV/m e una velocita della corrente ionosferica di 2-3 Km/sec.

Dal punto di vista pratico, ho sperimentato "sul campo" come il posizionamento della Grey line influenzi la possibilita' o no del collegamento transpolare, la complessa dinamica della ionosfera polare, si traduce poi in un comportamento molto selettivo. Sulla propagazione dei segnali, solo in determinate ore della giornata i collegamenti diventano possibili.

FLUTTER FADING (Fading distortente)

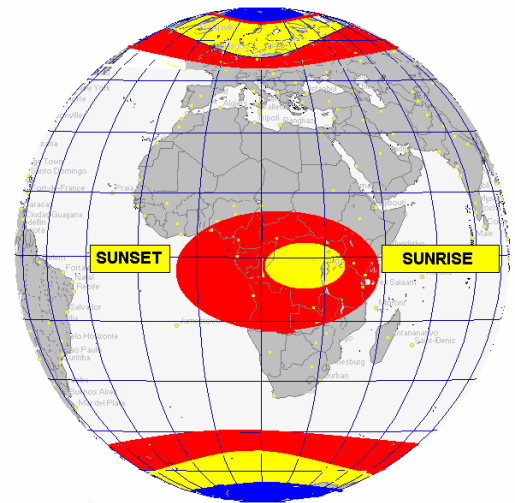
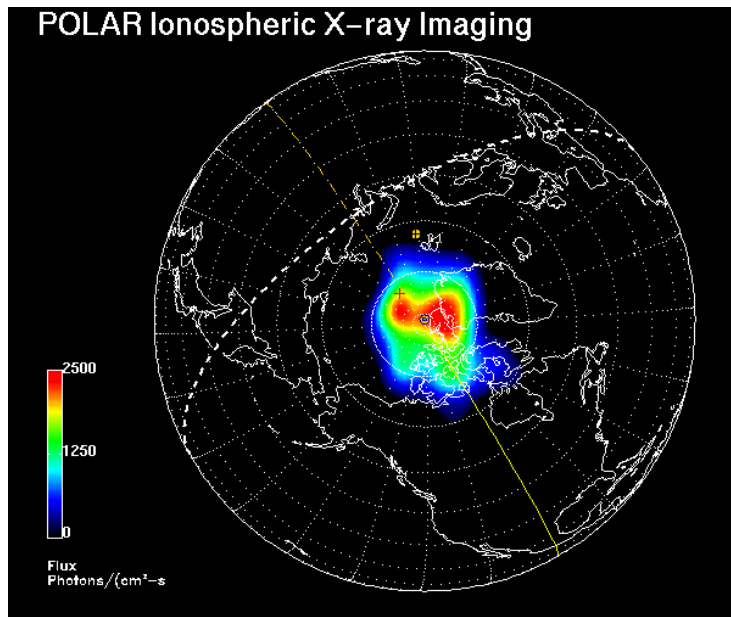
I segnali che passano attraverso la zona polare sono riconoscibili poiche' caratterizzati da un rapido fading distortente (scintillamento). A causa della continua e caotica precipitazione di particelle energetiche (Elettroni e protoni) con differenti livelli di energia, provenienti dal vento solare e catturate dalle linee di forza del campo magnetico terrestre che convergono verso i poli, si formano delle chiazze irregolari di maggiore densita' elettronica, (la ionosfera polare non e' omogenea ma soggetta a continue turbolenze oltre a essere molto esposta alle variazioni dell'attivita' solare), la presenza di tantissime irregolarita' aventi un gradiente di ionizzazione che continua a variare, sono causa di rifrazioni continue che provocano lo sparpagliamento dei segnali (multi-scatter) e ne consegue che il segnale ricevuto e' distorto ed evanescente.

Il fading distortente tende ad essere un effetto altamente localizzato ed avviene soltanto se il percorso del segnale penetra una regione ionosferica dove sono presenti delle irregolarita' di densita' elettronica

La scintillazione tende ad essere piu' severa per quei segnali che passano a cavallo dell'Equatore geomagnetico.

Il fenomeno e' piu' intenso dal tramonto locale fino subito dopo la mezzanotte e durante i periodi di alta attivita' solare.

Nelle regioni aurorali e polari, la scintillazione e' ancora piu' forte, e aumenta con livelli elevati di attivita' geomagnetica.



La figura sopra a sinistra mostra la differente concentrazione di particelle energetiche nella zona polare, la disomogeneita' e l'instabilita' della ionosfera polare e' la causa del Flutter fading, che aumentano quando l'attivita' geomagnetica e' elevata e causano il blocco della propagazione sui percorsi alle latitudini elevate.

La figura sopra a destra mostra la distribuzione delle irregolarita', causa dello scintillamento ionosferico, localizzate nelle regioni polari e a cavallo dell'equatore.

In quest'ultima area, le irregolarita' sono localizzate soprattutto all'interno della regione F e al terminatore dove i treni d'onde che arrivano trovano una situazione di grande agitazione.

In quest'area da una parte cessa la pressione di radiazione solare che invece e' accentuata nella parte illuminata.

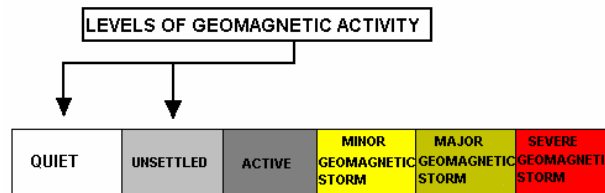
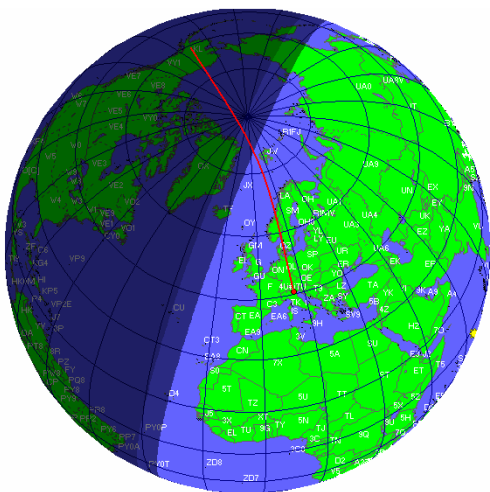
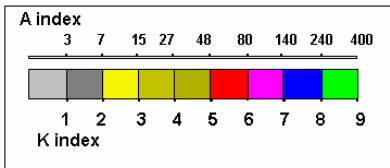
Il plasma ionosferico e' quindi spinto continuamente dalla parte in luce verso quella oscura.

Si formano degli ammassi sigariformi orientati secondo le linee di forza del campo geomagnetico, queste strutture si estendono per circa 2000 km a nord e a sud dell'equatore magnetico, i raggi incidenti vengono deviati a causa del differente gradiente che incontrano oltre alla possibilita' che si formino delle guide d'onda all'altezza della regione F.

Lo scintillamento e' provocato dal passaggio dei treni d'onde a cavallo dell'equatore magnetico, dove il moto e il disordine degli ammassi sigariformi causano continue variazioni dell'indice di rifrazione.

MISURAZIONE DEL CAMPO GEOMAGNETICO (K index)

Il campo geomagnetico può essere misurato con degli strumenti chiamati magnetometri. I dati raccolti ogni 3 ore (3-hour interval, K-index) da una rete di magnetometri danno la situazione delle condizioni geomagnetiche e una misurazione quantitativa del livello di attività geomagnetica, in quanto tale valore varia da 0 a 9. Esso indica la massima fluttuazione della componente orizzontale del campo magnetico terrestre (livello di induzione elettromagnetica espresso in nT) relativa ad un giorno di quiete geomagnetica, misurata in un intervallo di tempo di 3 ore. Un elevato valore dell'indice K significa una maggiore attività aurorale. L'indice K è necessariamente legato alla specifica locazione geografica dell'osservatorio, quindi per le località dove non sono presenti osservatori è necessario prendere come riferimento il valore della stazione più vicina. Da una media ponderata degli indici K di una rete di osservatori geomagnetici viene calcolato l'indice Kp (indice planetario ufficiale) che indica la situazione globale dell'attività aurorale, ed è disponibile giornalmente nei bollettini pubblicati sulla rete web. Per un miglior monitoraggio è stato introdotto l'indice A che si basa su una scala più ampia dell'indice K e che fornisce un valore medio giornaliero dell'attività geomagnetica poiché è una media di tutti gli indici K della giornata, il valore dell'indice A varia da 0 a 400.



CONDIZIONE PER SKIP POLARE:
 Campo geomagnetico calmo
 A index < 15 K index < 3

La figura sopra mostra la posizione del terminatore per i collegamenti che ho effettuato con l'Alaska, la posizione della Grey line è critica per la formazione della ionosfera polare, e dipende dalle stagioni, i periodi migliori sono in linea di massima quelli degli equinozi, quando l'irradiazione delle regioni polari risulta essere omogenea. Inoltre ho riportato gli indici geomagnetici ottimali per avere possibilità di propagazione transpolare

POLAR CAP ABSORPTION

Il polar cap absorption o assorbimento della regione polare, avviene dopo un flare di protoni, il flare di protoni è il più distruttivo. E rilascia un'enorme quantità di protoni ad alta energia, queste particelle che penetrano nella nostra atmosfera, sono soggette al campo magnetico terrestre che le accumula nei poli nord e sud magnetici, qui, le particelle formano una corrente ad alta velocità che entra nella ionosfera, e grazie alla loro alta energia, riescono a penetrare anche negli strati più bassi (regione D), qui entrano in collisione con le molecole già presenti, causando una ionizzazione supplementare che produce un maggiore assorbimento delle onde in transito. Le comunicazioni sulle lunghe distanze vengono quindi bloccate da questi eventi nelle regioni polari, l'attenuazione dei segnali è normalmente confinata nelle zone a latitudine elevata, anche se in concomitanza con flares maggiori, si possono verificare degli assorbimenti anomali e quindi dei blackouts propagativi fino anche a 50° di latitudine. I picchi massimi del fenomeno si hanno subito dopo il flare e sono necessari parecchi giorni prima che la situazione si normalizzi. Questo perché l'assorbimento anormale della regione D ha lunga durata. Tale fatto si attribuisce all'aumento della densità delle particelle ionizzabili normali, incrementata dalla presenza di protoni, la cui ionizzazione ha lunga vita, tale da allungare enormemente il tempo di ricombinazione.

VARIAZIONI LEGATE AL CICLO SOLARE

La ionosfera polare risente tantissimo delle variazioni legate al ciclo undecennale del sole, in quanto come abbiamo detto il ciclo delle stagioni con la presenza o assenza di luce per molti mesi, rende gli strati ionosferici polari estremamente legati all'attività dell'astro, inoltre le variazioni del numero di macchie e quindi del flusso solare producono delle differenti condizioni di ionizzazione soprattutto nella regione F, ed è proprio il livello di ionizzazione della regione F che determina la propagazione sulle lunghe distanze nei percorsi polari.

Inoltre, i dati della tabella statistica che ho realizzato su un campione di collegamenti effettuati su percorsi trans-polari sono riferiti a collegamenti effettuati in un periodo alto del ciclo undecennale del sole, la mia intenzione è di realizzare una statistica simile (propagazione permettendo) su un periodo di bassa attività solare, per confrontare poi i dati ed i risultati ottenuti.

GRAFICI

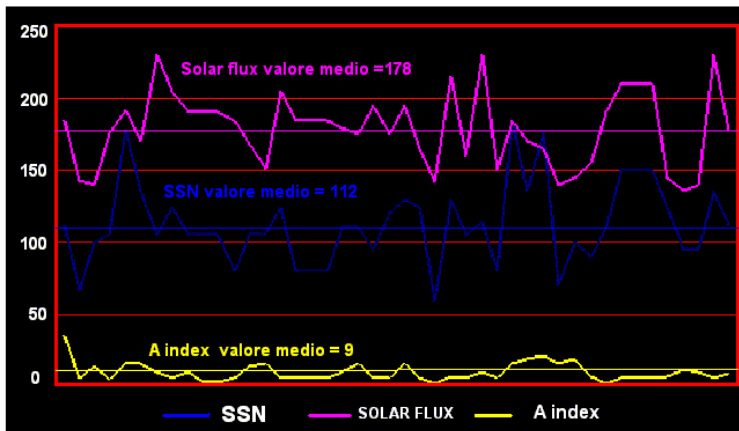
Ho riportato i collegamenti fatti con stazioni della costa Occidentale del Nord America (California, Oregon, Washington, Montana, Alaska, Canada Occidentale), su percorsi quindi che passano o lambiscono il polo nord, per i radio collegamenti dobbiamo considerare il polo nord magnetico, che rispetto al nord geografico è spostato approssimativamente verso il nord del Canada, i treni d'onde diretti verso quest'area geografica, lambiscono il polo geomagnetico.

I dati sono riferiti a collegamenti realizzati nel 2001 e nel 2002 prendendo in esame un campione di 43 diversi QSO realizzati sulle bande alte delle HF, principalmente in 18 e 21 Mhz ma anche 14 e 24 Mhz.

Ho riportato assieme alla data e all'ora UTC anche i dati relativi al numero di macchie solari, del flusso solare e soprattutto dell'indice A, che indica il livello medio dell'attività geomagnetica giornaliera.

| DATA | UTC | CALL | MHZ | SSN | SOL FLUX | A index |
|----------|------|--------|--------------|------------|------------|----------|
| 29/10/00 | 805 | KL7Y | 21 | 112 | 185 | 35 |
| 30/06/01 | 805 | NL7KF | 18 | 66 | 143 | 5 |
| 24/07/01 | 652 | NL7Z | 18 | 100 | 140 | 14 |
| 7/10/01 | 737 | KL7AC | 18 | 105 | 175 | 4 |
| 07/02/02 | 710 | NL7KF | 18 | 178 | 192 | 15 |
| 31/10/02 | 718 | NL7KF | 18 | 135 | 170 | 15 |
| 25/01/02 | 1722 | W7AL | 18 | 105 | 230 | 10 |
| 25/02/02 | 1824 | N7CMJ | 18 | 125 | 205 | 5 |
| 13/02/02 | 2055 | KL1V | 14 | 105 | 190 | 10 |
| 15/02/02 | 1729 | W6ED | 18 | 105 | 190 | 3 |
| 15/02/02 | 1759 | N7SMJ | 18 | 105 | 190 | 3 |
| 18/02/02 | 1809 | KL7LF | 21 | 80 | 185 | 5 |
| 19/11/02 | 1738 | VA5DX | 18 | 105 | 168 | 14 |
| 07/12/02 | 1747 | N7CMJ | 18 | 106 | 151 | 16 |
| 25/02/02 | 2118 | VA5DX | 18 | 125 | 205 | 5 |
| 02/03/02 | 1822 | VE6WQ | 21 | 80 | 185 | 5 |
| 02/03/02 | 1823 | VE6F | 21 | 80 | 185 | 5 |
| 02/03/02 | 1828 | W7WA | 21 | 80 | 185 | 5 |
| 03/03/02 | 1812 | NK7U | 21 | 110 | 180 | 10 |
| 06/03/02 | 1736 | N7CMJ | 18 | 110 | 175 | 15 |
| 16/04/02 | 1608 | W6TG | 21 | 95 | 195 | 5 |
| 02/05/02 | 600 | W6YJG | 18 | 120 | 175 | 5 |
| 10/05/02 | 1405 | W7LR | 18 | 130 | 195 | 15 |
| 05/06/02 | 615 | K6VX | 18 | 125 | 165 | 5 |
| 28/06/02 | 605 | N7CMJ | 18 | 60 | 142 | 2 |
| 24/07/02 | 1745 | W6ED | 18 | 130 | 215 | 7 |
| 21/09/02 | 1730 | K7QQ | 21 | 105 | 160 | 5 |
| 12/12/01 | 1600 | N7CMJ | 18 | 115 | 230 | 10 |
| 26/09/02 | 1650 | W6ED | 18 | 80 | 150 | 5 |
| 18/10/02 | 1645 | WB6RSE | 24 | 185 | 185 | 15 |
| 30/10/02 | 1607 | N7WX | 21 | 135 | 170 | 19 |
| 02/11/02 | 1649 | N7GYD | 18 | 177 | 165 | 21 |
| 03/03/01 | 1707 | K6HNZ | 21 | 70 | 140 | 15 |
| 04/03/01 | 1654 | N6BV | 21 | 100 | 145 | 19 |
| 06/03/01 | 1855 | VE6ZM | 21 | 90 | 155 | 7 |
| 30/04/01 | 1609 | VE6QLL | 18 | 110 | 190 | 2 |
| 22/06/01 | 555 | K7AYP | 18 | 150 | 210 | 5 |
| 22/06/01 | 620 | WB7Q | 18 | 150 | 210 | 5 |
| 22/06/01 | 552 | WA6BOJ | 18 | 150 | 210 | 5 |
| 18/07/01 | 1540 | K6SMF | 18 | 125 | 145 | 7 |
| 24/07/01 | 652 | NL7Z | 18 | 95 | 135 | 12 |
| 03/08/01 | 600 | K6SMF | 18 | 95 | 140 | 10 |
| 02/12/01 | 1838 | W7AL | 18 | 135 | 230 | 5 |
| | | | MEDIA | 112 | 178 | 9 |

Infine ho ricavato un grafico che illustra l'andamento dei dati con la media degli indici solari e geomagnetici.



POSIZIONE DEL TERMINATORE

Un'altra importante considerazione da fare nel caso dei collegamenti trans-polari riguarda il posizionamento del terminatore, la cui posizione e' critica e selettiva, dalle mie osservazioni pratiche risulta che per avere propagazione possibile sui percorsi polari almeno una parte del percorso deve trovarsi in oscurita' ,mentre la parte rimanente deve essere irradiata dal sole.

Infatti dall'analisi degli orari dei vari collegamenti ci sono possibilita' nelle ore del primo mattino oppure nelle prime ore della sera (da noi), quindi in linea di massima nelle prime ore che seguono il tramonto mentre nella West Coast, dal corrispondente , siamo nelle prime ore dopo l'alba.

Quando tutto il percorso e' illuminato oppure tutto in oscurita' sembra che i collegamenti non siano possibili.

La causa dovrebbe essere un insieme di fattori dovuti alle caratteristiche estremamente dinamiche della ionosfera polare che e' molto sensibile alle variazioni di irradiazione solare, entrano in gioco correlazioni tra gli assorbimenti introdotti dalla regione D (che dipendono molto dalla posizione del sole) e il livello di ionizzazione della regione F, oltre alla posizione dell'ovale aurorale che non e' statico ma si muove orientandosi verso la direzione del sole.

CONSIDERAZIONI

Le osservazioni pratiche confermano la teoria che per una buona propagazione alle alte latitudini il campo geomagnetico deve essere in quiete.

I collegamenti verso la West Coast Americana e l'Alaska, sono possibili quando l'attivita' geomagnetica e' bassa, la propagazione su percorsi polari dipende molto dall'indice geomagnetico, molto di piu' che dal flusso solare e dal numero di macchie.

Come regola di carattere generale, se il campo magnetico e' in quiete sono possibili collegamenti transpolari anche con un numero di macchie e di flusso solare relativamente bassi, un campo magnetico calmo significa anche un basso assorbimento della regione D. Che e' una delle cause dei black out propagativi delle regioni polari, in ogni caso la previsione della propagazione non e' una scienza esatta. Lo conferma il fatto che ho realizzato un paio di collegamenti anche con indice superiore a 20 (A index=21 e 35 si tratta di valori non elevati ma che indicano un campo geomagnetico attivo) questo perche' non si e' ancora ben compreso come le varie componenti che concorrono alla radiopropagazione interagiscono tra loro.

Flavio Egano

e-mail:flavio.egano@schneiderelectric.it

- *Un ringraziamento a Tony de Longhi, iz3esv e a Ketil Olsen, la2uja, per la preziosa collaborazione*

Bibliografia:

Ha collaborato per alcune osservazioni pratiche Tony De Longhi, IZ3ESV.

Le immagini sono tratte dal sito web sec-noaa.

Mappe elaborate con il programma Dx Atlas.

Manuale dell'operatore Dx

"Space Environment Topics" from NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration)

Osservazioni di LA2UJA, Ketil Olsen.

Articoli vari di Marino Miceli, I4SN.

"The Arctic Basin" by The Arctic Institute of North America

Dizionario Enciclopedico Universale del Corriere della sera.

RadioAstrolab ing.Flavio Falcinelli