

E sporadico alle medie latitudini

Autore: F. Egano, Ik3xtv doc.n.22.09.31.01 (Giugno 2012)

Credits : AGU American Geophysical Union - ARRL American Radio Relay League - GFZ German Research Centre for Geosciences

Premessa

Al convegno ARI "VHF & UP 2012" tenutosi a Montichiari (BS), ho avuto l'opportunità di fare una presentazione relativa alle possibili cause dell' E sporadico alle medie latitudini. Da questa presentazione ho tratto questo documento, che è la versione completa di questa indagine sulla natura e sulle cause dell' E sporadico alle medie latitudini. (Questo documento è stato pubblicato su "Radio Rivista", organo ufficiale dell'ARI Associazione Radiomatori Italiani nel numero di Giugno 2012)

Introduzione

La propagazione per E sporadico è possibile grazie alla formazione di uno strato altamente ionizzato nella Regione E della ionosfera in grado di supportare le comunicazioni radio fino a frequenze anche maggiori di 150 MHz. Può accadere in qualsiasi momento dell'anno ma la stagione principale nell'emisfero nord è concentrata tra Maggio e Settembre con dei picchi a Giugno e Luglio e una minore stagione a Dicembre-Gennaio. Questo documento si concentra sull'Es alle medie latitudini che si differenzia in misura significativa dal fenomeno presente anche lungo la fascia tropicale e nelle zone polari. Nei mesi estivi si registra un forte aumento del flusso meteorico e questo dovrebbe essere un parametro chiave per la formazione degli strati ionizzati. All'interno della regione E hanno luogo forti venti orizzontali, questi venti fortissimi si muovono all'interno della ionosfera e sono separati da pochi chilometri di quota (Winds Shear) che addensano gli ioni. Questo documento intende fornire un aggiornamento su un argomento che viene studiato da molti anni, ponendo particolare attenzione alle variazioni diurne e semidiurne dei venti ionosferici generati dalle maree atmosferiche (venti ionosferici nella regione E sono controllati dalle maree solari). Questo documento si limita ad un'indagine delle cause di E sporadico circoscritto alle medie latitudini. Gli eventi di E sporadico nelle zone Aurorali e alle basse latitudini, segue dinamiche differenti e non sono argomento di studio in questo documento.

Il flusso meteorico

Si calcola che quotidianamente entrino nell'atmosfera alla velocità dell'ordine dei 100.000 Km/ora qualche decina di Miliardi di micro meteoriti di diametro variabile da qualche micron (pulviscolo cosmico) a qualche mm, senza contare le particelle di dimensioni più grandi. L'ablazione avviene all'altezza dello strato E, dove le possibilità di collisione con le molecole dei gas sono maggiori (per effetto dell'elevata densità). Si consideri che i processi di ricombinazione nella Regione E sono molto rapidi (circa 10 sec) eccetto per gli atomi metallici che hanno vita significativamente più lunga.

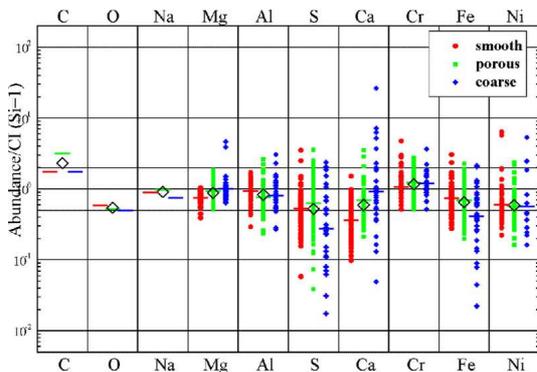


Fig.1

Fig.1 Left Image source: Wikipedia

The largest data set for major elements (Schramm et al., 1989) comes from the analyses of 200 stratospheric interplanetary dust particles. Brownlee (1997) gives electron microprobe data for 500 cosmic spherules in the 1 micrometer to 1 mill)

Fig.2 Right side image Source: Wikipedia

A scanning electron microscope image of an interplanetary dust particle that has roughly chondritic elemental composition and is highly rough (chondritic porous: "CP"). CP types are usually aggregates of large numbers of sub-micrometer grains, clustered in a random open order. The authors of this figure are Donald E. Brownlee, University of Washington, Seattle, and Elmar Jessberger, Institut für Planetologie, Münster, Germany.

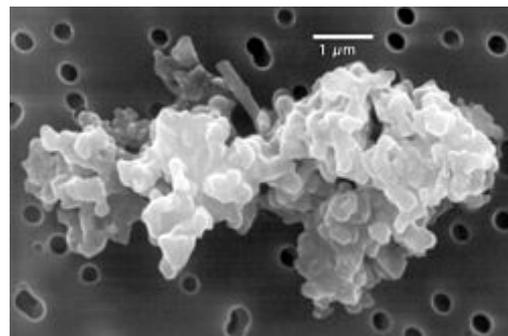


Fig.2

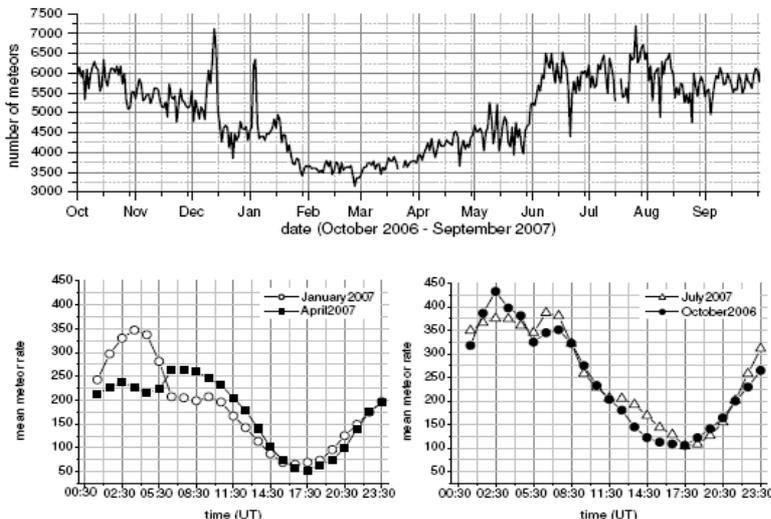


Fig.3

Daily meteor count rates at Collm (upper panel) and monthly mean diurnal cycle of meteor count rates for four different months (lower panel). (Fig.3)

IMAGES Courtesy: Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union.

La variazione stagionale
Lo studio sistematico sul flusso meteorico ha dimostrato che esiste una significativa variazione stagionale nell'input meteorico in entrambi gli emisferi settentrionale e meridionale, con un flusso circa 6 volte superiore durante i mesi estivi. Ciò è dovuto all'inclinazione di 23° dell'asse di rotazione terrestre. Durante l'estate locale, l'emisfero in questione è allineato in modo più diretto con il piano dell'orbita della Terra e quindi è maggiormente allineato con la direzione della velocità orbitale della Terra, questo consente una maggiore capacità di raccolta di meteoriti nel movimento di rotazione attorno al sole

Formazione dello strato Es

All'interno della regione E hanno luogo forti venti orizzontali, questi venti fortissimi si muovono all'interno della ionosfera e sono separati da pochi chilometri di quota (Winds Shear). Questi venti in presenza del campo magnetico terrestre comprimono gli ioni in sottili ammassamenti ad alta ionizzazione, perché questo ammassamento di ioni sia possibile sono necessari degli ioni metallici, come Magnesio (Mg⁺), Ferro (Fe⁺) e Nichel (Ni⁺), in quanto la loro capacità di ricombinazione è più lenta rispetto agli altri ioni e questo consente l'ammassamento in strati densi e sottili. Gli ioni metallici sono il residuo lasciato dalla polvere meteorica che entra nell'atmosfera terrestre catturata dalla forza gravitazionale della terra. Venti ionosferici (Winds Shear) sono stati misurati con velocità massima superiore a 100 m/s su una vasta gamma di longitudini, stagioni e ore del giorno.

L'intensità dell'evento di Es dipende dalla ionizzazione residua dello strato, dal numero di ioni pesanti presenti (relativi alla precipitazione meteorica) e dalla forza dei venti ionosferici soprattutto dall'ampiezza dell'indice di cambiamento della velocità del vento con l'altezza, responsabile dell'ammassamento ionizzato. Si evidenzia che ad altitudini di 100 km, forti venti ionosferici si trovano a tutte le latitudini. (Il primo scienziato che ha elaborato questa teoria è stato il prof. J. D. Whitehead

Della Queensland University – Australia, agli inizi degli anni '60).

In realtà la ionosfera è quasi sempre turbolenta quindi il modello che più si avvicina alla realtà è ondulatorio (Fig.4) (vedi note 2). Lo strato ionizzato può avere uno spessore che può variare da 1 a 5 km e una densità di ionizzazione fino a 100 volte quella tipica della regione E ordinaria. Le cortine ionizzate non sono statiche ma si muovono sul piano verticale con velocità che può variare da 0,6 a 4 m/sec (tendenzialmente verso il basso) e sul piano orizzontale con velocità da 40 a 100 m/sec. La direzione di spostamento è generalmente in una singola direzione (da ovest a est), come avviene per la maggior parte delle perturbazioni di origine meteorologica nella bassa atmosfera. (Anche se in alcuni casi si possono verificare movimenti diversi dovuti a perturbazioni su scala locale). La forma di questi strati è probabilmente frastagliata e non regolarmente circolare o ellittica. Inoltre, è stato dimostrato che la parte inferiore di queste nuvole è in molte circostanze concava, con inclinazioni che possono arrivare a 10 gradi.

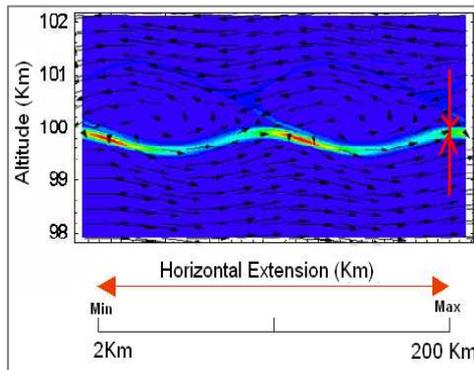


Fig.4

Il meccanismo di formazione nel dettaglio

La cortina di ioni viene creata dal movimento $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, dove \mathbf{v} si riferisce alla velocità del vento neutro zonale e \mathbf{B} è la componente orizzontale del campo magnetico terrestre (le linee di forza del campo magnetico terrestre sono ortogonali alla direzione del vento). Nel momento in cui ci sono venti neutri zionali verso Ovest e verso Est (1 vedi note), gli ioni si allineano seguendo le linee di forza del campo magnetico e vengono stesi dalla forza del vento in sottili strati. In pratica è una specie di laminato. Quindi in sintesi: Gli ioni si allineano lungo le linee del campo magnetico, l'azione dei venti ionosferici stende gli ioni creando delle cortine ioniche. Il meccanismo non è statico ma soggetto a continue turbolenze ionosferiche. (La Figura 5 illustra la rappresentazione grafica).

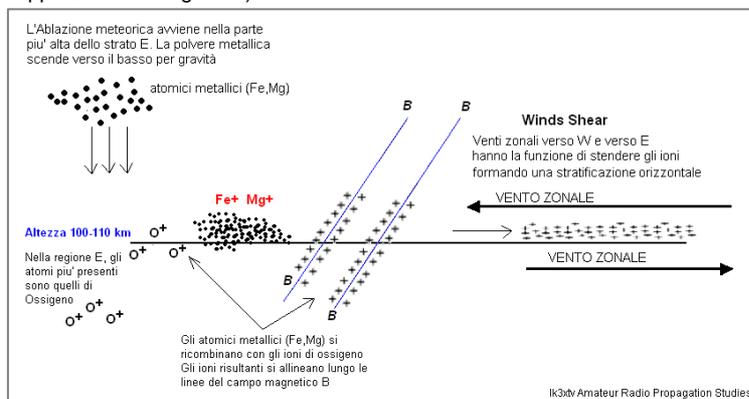


Fig.5

Tasso di ricombinazione degli ioni metallici

Gli studi basati su misurazioni di razzi sonda hanno dimostrato che all'interno dello strato Es predominano Ioni molecolari di tipo NO⁺ e O₂⁺, ioni atomici O⁺ e ioni atomici di origine meteorica Fe⁺, Mg⁺ e Si⁺ con predominanza di Fe⁺. La ricombinazione degli ioni molecolari a questa quota è molto rapida. Gli ioni atomici hanno una vita più lunga a causa della scarsa concentrazione. Tutta questa serie di Ioni viene stratificata in strati sottili dall'azione dei venti neutri inversi. La maggior parte degli ioni atomici presenti nello strato sono gli ioni metallici meteorici. Si consideri che gli atomi metallici possono diventare Ioni metallici sia per effetto ionizzante UV del sole sia per ossidazione con gli atomi di Ossigeno o trasferimento di carica gli ioni molecolari. Questo processo è alla base dell'elevata densità di ioni metallici compressi all'interno delle cortine di E sporadico. Degli studi chimici sui processi di ricombinazione hanno dimostrato la lunga durata degli ioni metallici all'interno degli strati di Es. A livello chimico, gli atomi degli elementi metallici differiscono significativamente da quelli dei non metalli. In genere hanno un'affinità piuttosto bassa per gli elettroni. Essi possiedono i più bassi potenziali di ionizzazione e le più basse elettronegatività fra tutti gli elementi. In altre parole è facilmente ionizzabile da parte della radiazione UV, che lo mantiene ionizzato a lungo. Alcuni studi rivelano che gli ioni di Ferro possono avere una vita anche di parecchie ore all'interno della regione E.

Connessione con il flusso meteorico

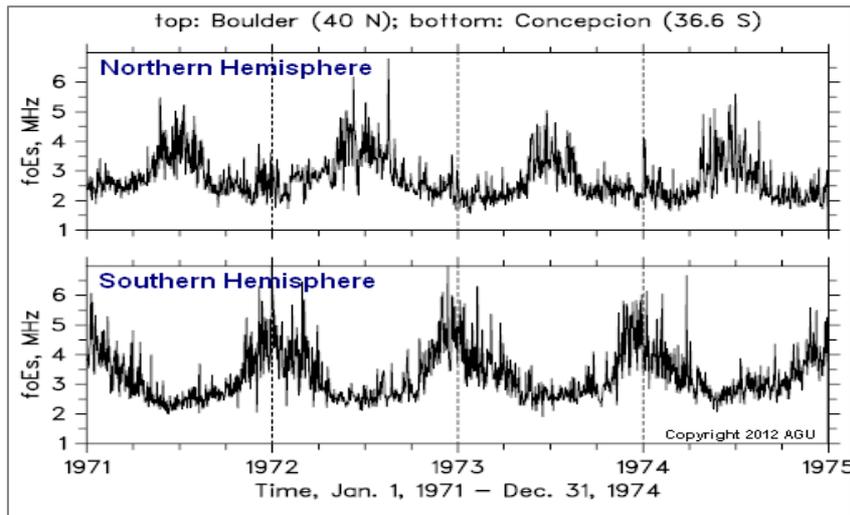


Fig.6: Typical annual variability of sporadic E critical frequencies foEs measured simultaneously in the Northern (Boulder, 40°N) and Southern (Concepcion, 36.6°S) Hemispheres. This seasonal variation, which is known for many years, is dominated by a strong summer maximum. IMAGES: Courtesy AGU American Geophysical Union

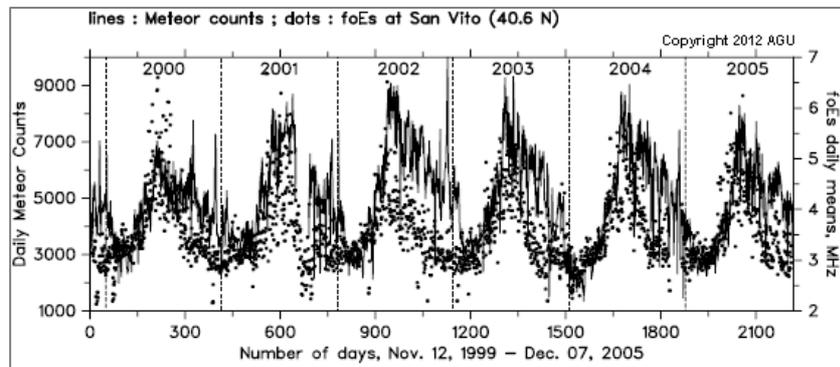


Fig.7: Comparison of the annual variability of daily meteor counts (solid line) measured in the Northern Hemisphere with the mean daily sporadic E critical frequency (foEs) values measured simultaneously with the San Vito ionosonde at 40.6°N. As seen, there is a good degree of agreement between the annual variations of both parameters. IMAGES: Courtesy AGU American Geophysical Union

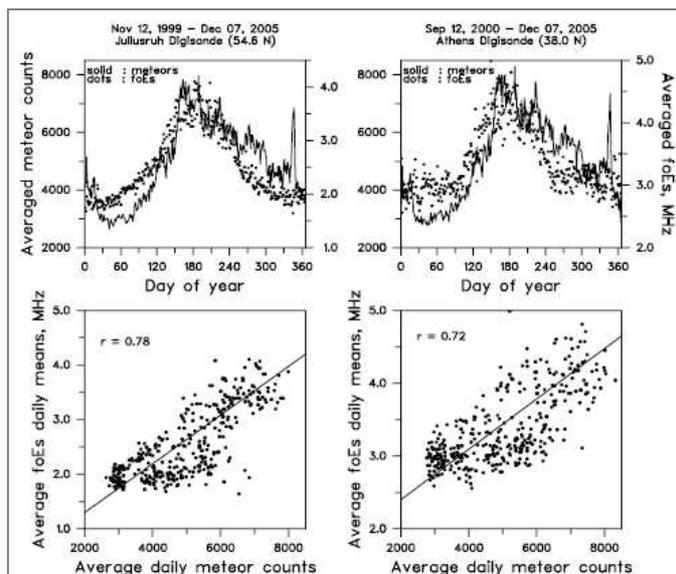


Fig.9: Comparison of the mean annual variation of meteor counts and foEs for two cases: (left) for the period from November 1999 to December 2005, using the Juliusruh (54.6°N) ionosonde, and (right) for the period from September 2000 to December 2005 and the Athens (38.0°N) ionosonde. As seen, the correlation between meteor count rates and sporadic E strength is quite good. IMAGES: Courtesy AGU American Geophysical Union.

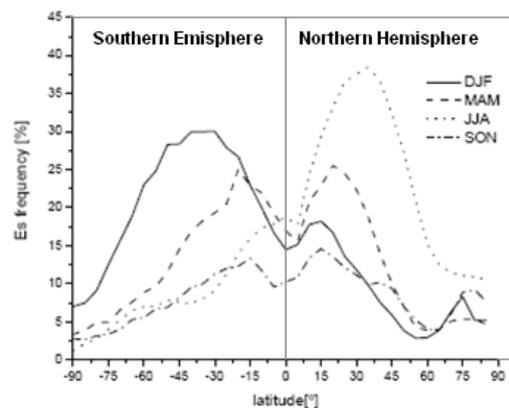


Fig.8: Gráfico riassuntivo sulla frequenza di E sporadico suddiviso per gruppi di mesi nell'emisfero nord e sud. IMAGES : Courtesy: Ann. Geophys., 27, 2555–2563, 2009

fo-Es Frequenza critica Es

Per avere un parametro scientifico di riferimento che indichi l'intensità di campo Es, si fa riferimento alla foEs (frequenza critica per Es che è la massima frequenza che ritorna a terra riflessa dallo strato. Questo indice viene fornito costantemente da una rete di ionosonde su scala mondiale. Si tratta di un buon indicatore per possibile attività di Es. Valori tipici sono di circa 3 MHz, ma può aumentare fino a più di 20 MHz in occasioni molto rare. Per MUF di 50MHz fino a 144MHz la foEs può variare tra 5 e 15 MHz. (Circa 10 volte la frequenza critica foEs)

Comparazione Input Meteorico con Eventi di E sporadico

Esiste una buona corrispondenza tra l'andamento dell'input meteorico con gli eventi di E sporadico, come si evidenzia nella Figura 10, dove vengono sovrapposte le due curve per evidenziare la corrispondenza tra le due variabili.

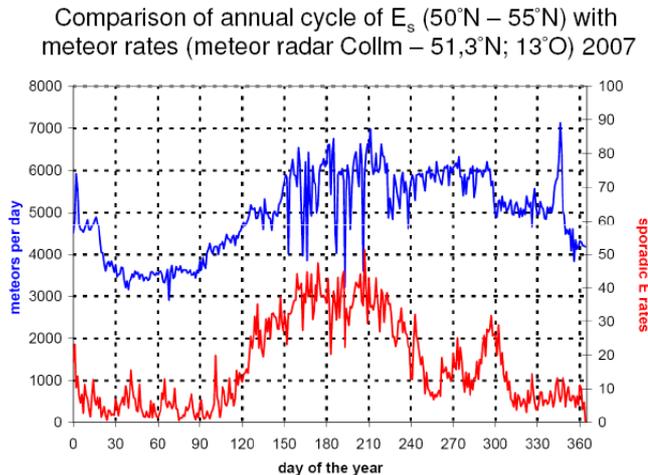
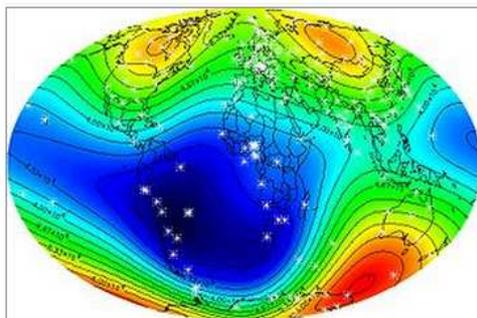


Fig.10: IMAGE: Courtesy GFZ German Research Centre for Geosciences

Il ruolo del campo magnetico

I movimenti del plasma sono controllati dal campo Magnetico terrestre. Il campo magnetico della Terra, per convenzione internazionale, è espresso in termini del vettore d'induzione magnetica. La sua unità nel Sistema Internazionale (SI) è il Tesla (T), ma nella pratica viene usato un suo sottomultiplo, il nanoTesla pari ad un milionesimo di Tesla. Dall'equatore ai poli, sulla superficie terrestre, il valore del campo varia in intensità, mediamente da circa 20.000 nT all'equatore a circa 70.000 nT delle zone polari. Il campo magnetico terrestre non è costante nel tempo né uniforme nello spazio. Le variazioni del campo possono essere misurate e presentate come valori medi giornalieri, mensili ed annuali. La componente orizzontale H del campo magnetico quindi, è il parametro chiave che regola la distribuzione globale (distribuzione geografica) degli eventi di E sporadico.



Intensità del campo magnetico nel 2000 secondo i dati IGRF. I due estremi sono i colori rosso e blu, rispettivamente di 68000 nT e di 24000 nT.

Fig.11: Courtesy: Wikipedia (source National Oceanic and Atmospheric Administration)

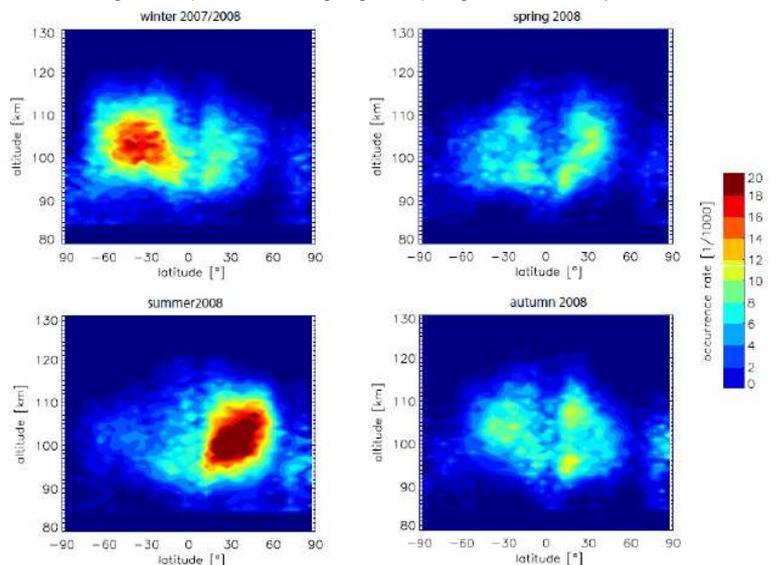


Fig.12

Fig.12 : Courtesy of GFZ German Research Centre for Geosciences. Distribuzione su scala globale suddivisa per stagione degli eventi di E sporadico in base all'altezza nella regione E.

Variazioni del campo magnetico

Il campo magnetico terrestre non è costante nel tempo né uniforme nello spazio. Le variazioni del campo possono essere misurate e presentate come valori medi giornalieri, mensili ed annuali.

Il campo magnetico terrestre è soggetto a continue variazioni direzionali e di intensità di origine interna o esterna. Le variazioni a lungo periodo (5-10 anni), dette "variazioni secolari", sono dovute a cambiamenti nelle sorgenti profonde e sono riconosciute dai dati degli osservatori magnetici e dei record archeologici e geologici (paleomagnetismo). Le variazioni a breve periodo (da pochi minuti fino a 5 anni) sono di origine esterna. Una terza categoria è quella delle variazioni a periodo molto lungo, legate al ciclo solare di 11 anni.

Connessione con il Campo magnetico Terrestre

Lo strato di Es è prodotto dal "movimento" $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ dove V è il vento neutro orizzontale e B è l'intensità del campo magnetico terrestre. La statistica ci conferma come gli Eventi di E sporadico quasi assenti lungo l'equatore magnetico, Basso tasso di Es sporadico nelle regioni dove il campo magnetico è debole, Significativo basso tasso di E sporadico nella zona dell'Anomalia Sud Atlantica

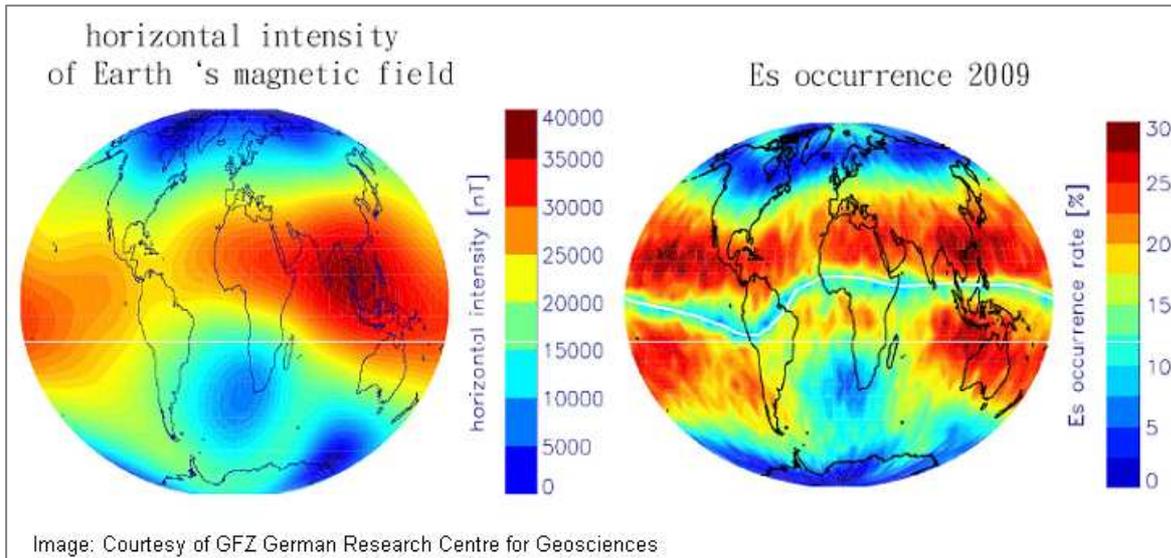


Fig.13

Connessione con le maree Atmosferiche

E' da tempo noto il fatto che l'Es non si limita a verificarsi "in orari diurni". Si sa che i livelli di ionizzazione in tutta la ionosfera tendono a registrare due picchi centrati temporalmente sui due versanti determinati dal mezzogiorno. La formazione dell'Es sembra seguire una analoga tendenza. In figura 6 riportiamo un grafico del verificarsi dell'Es nel corso dei mesi estivi. Come si può vedere, il picco estivo coincide con la mattinata (tra le 09 e le 12) e un picco secondario si registra tra le 19 e le 23 (vedi fig.14). Le maree agendo sui venti ionosferici modulano anche la localizzazione in altezza dello strato.

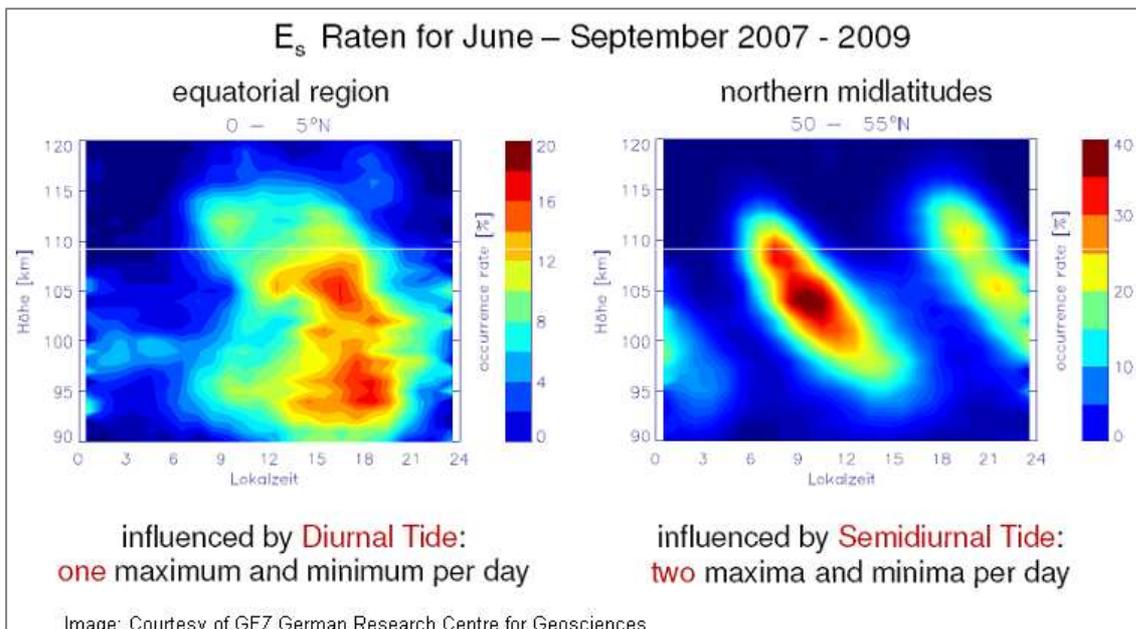


Fig.14

Fig.14: Alle medie latitudini, l'incidenza di Es è maggiore nelle ore del mattino (0900 -1200 LT) e nel tardo pomeriggio - sera, (1900 – 2300 LT) indipendentemente dalla stagione.

IMAGE Courtesy: GFZ German Research Centre for Geosciences

Maree atmosferiche

Le maree atmosferiche di maggior importanza sono prevalentemente generate nella troposfera e nella stratosfera dove l'atmosfera è periodicamente scaldata in seguito all'assorbimento della radiazione solare da parte del vapore acqueo e dell'ozono. Le maree generate sono poi in grado di propagarsi da queste regioni e di salire fino agli strati ionosferici più in alto. Le maree atmosferiche possono essere misurate come fluttuazioni regolari nel vento, nella temperatura, nella densità e nella pressione. Nonostante le maree atmosferiche abbiano molto in comune con le maree oceaniche si distinguono da queste ultime per due caratteristiche chiave: Le maree atmosferiche sono innanzitutto provocate dal riscaldamento dell'atmosfera da parte del sole, mentre quelle degli oceani sono prevalentemente provocate dal campo gravitazionale lunare. Ciò significa che la maggior parte delle maree atmosferiche hanno periodi di oscillazione legati alla durata di 24 ore del giorno solare, mentre quelle oceaniche hanno periodi più lunghi legati al giorno lunare (tempo tra due transiti lunari successivi) quantificabile in circa 24 ore e 51 minuti. Le maree atmosferiche si propagano in un'atmosfera dove la densità varia in modo significativo con l'altitudine. Una conseguenza di ciò è che le loro ampiezze crescono esponenzialmente quando la marea sale in regioni progressivamente più rarefatte dell'atmosfera. A livello del suolo, possono essere localizzate come oscillazioni lievi ma regolari della pressione superficiale con periodi di 24 e 12 ore. Tuttavia, a maggiori altitudini, le ampiezze delle maree diventano molto grandi. Nella mesosfera (altezza di ~ 50 - 100 km) le maree atmosferiche possono raggiungere velocità di 50 m/s e sono spesso la maggior causa di movimento dell'atmosfera. Si tratta comunque di complessi meccanismi termodinamici che governano la formazione dei venti neutri zionali o venti opposti mesosferici (Eastward - westward winds, causa del winds Shear)

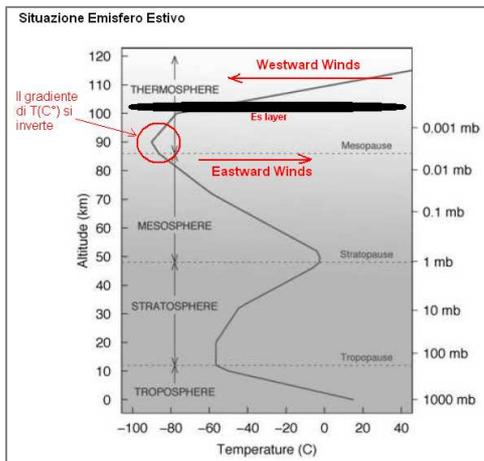


Fig.15: Il grafico riporta il gradiente di temperatura, ad un certo punto la temperatura non decresce più con la quota ma si inverte. Da notare anche i livelli di pressione (in scala logaritmica) praticamente la maggior parte della pressione è concentrata sugli strati più bassi (questo è dovuto al peso dell'aria).

Riassunto

L'azione combinata dei venti ionosferici e del campo magnetico comprime gli ioni in strati sottili altamente ionizzati. Il pulviscolo meteorico svolge una funzione di innesco. Il maggiore flusso meteorico estivo sommato all'intensità della radiazione solare sembrano essere gli ingredienti fondamentali per l'Es (marcata corrispondenza tra $>> f_0E_s$ e flusso meteorico). Il valore di intensità del campo magnetico terrestre determina la distribuzione geografica dell'evento. Il ciclo annuale di Es è connesso con il flusso meteorico. L'altitudine e ora locale delle aperture sono governate dalle maree atmosferiche.

Fig.15

Note

- (1) **Venti neutri ionosferici:** Ma da dove derivano i venti neutri zionali responsabili del winds shear? Si tratta di complesse dinamiche meteorologiche su larga scala. Generati sostanzialmente da moti convettivi all'interno dell'atmosfera che si propagano fino ai limiti della termosfera e connessi anche con il Vortice polare responsabile della circolazione inversa nella mesosfera (circa 100 km). La circolazione dell'aria allo stato neutro (venti neutri zionali) dipende direttamente da fattori termici ed è connessa anche alle maree atmosferiche.
- (2) **Modello ondulatorio:** gli strati ionosferici non sono omogenei, essi sono continuamente modellati da forti venti neutri ionosferici che possono avere movimenti zionali (direzione Est-ovest) lungo i paralleli e movimenti meridionali (direzione nord-sud lungo i meridiani). Inoltre ci sono delle turbolenze verticali con moti convettivi e AGW onde gravitazionali atmosferiche che modellano costantemente gli strati. La figura 16 mostra una simulazione al computer di come potrebbe essere una formazione di Es nella situazione di una ionosfera reale non omogenea.

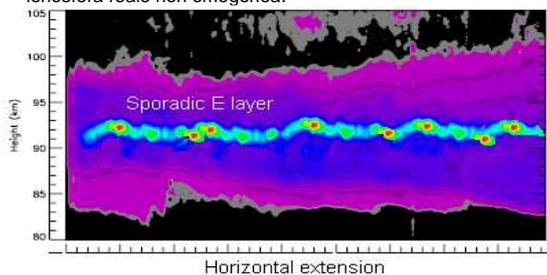


Fig.16

- (3) **Connessione con il ciclo solare:** Alcuni studi statistici sul lungo periodo sembrano evidenziare un maggiore tasso di Es in concomitanza con la fase bassa del ciclo, però si sono verificati anche casi significativi di una intensa stagione di Es in concomitanza con la fase alta del ciclo. Allo stato attuale non c'è una diretta ed evidente correlazione con il ciclo solare. In realtà un altro parametro di riferimento indica che l'occorrenza di Es è tendenzialmente associata a bassa attività geomagnetica, Valori $K < 4$, anche se si riscontrano eventi di Es con indici K relativamente elevati e quindi anche questa correlazione non è ancora del tutto chiara.

Riconoscimenti

Un ringraziamento a : AGU (American Geophysical Union), ARRL (American Radio Relay League), e GFZ (German Research Centre for Geosciences) per aver consentito la pubblicazione di parte del materiale di questa presentazione. Grazie anche a Giorgio Marchi, I1k1uwl per la consulenza su alcuni argomenti.

Acknowledgements

A special thanks to: AGU (American Geophysical Union), ARRL (American Radio Relay League), and GFZ (German Research Centre for Geosciences) for allowing the publication of part of the materials in this presentation. Thanks also to Giorgio Marchi, I1k1uwl for consulting about some arguments.

Referenze:

NOV 1997 – QST - ARRL Sporadic E--A Mystery Solved? Part 2 Author: Whitehead, Dr. David
An explanation for the seasonal dependence of midlatitude sporadic E layers C. Haldoupis,1 D. Pancheva,2 W. Singer,3 C. Meek,4 and J. MacDougall - GFZ Helmutz centre Potsdam –Germany
«Semidiurnal tidal signature in sporadic E occurrence rates derived from GPS radio occultation measurements at higher midlatitudes » C. Arras1, C. Jacobi2, and J. Wickert1 Helmholtz Centre Potsdam, German Research Centre for Geosciences (GFZ), Department 1: Geodesy and University of Leipzig, Institute for Meteorology, Germany
Annales Geophysicae
Meteogelo, Flavio Scolari
A tutorial review on Sporadic E layers Christos Haldoupis
Physics Department, University of Crete, Heraklion, Crete, Greece
"Global Observation and Analysis of Sporadic E layers using GPS radio occultation measurements" by C.Arras,J.Wickert,S.Heise,T.Schmidt.
Helmutz Centre Potsdam
"An explanation for the seasonal dependence of midlatitude sporadic E layers" JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, A06315, doi:10.1029/2007JA012322, 2007
Lo strato E sporadico Origini e ipotesi di un nuovo modello esplicativo, Mimmo Martinucci,I2www Radio Rivista
University of Utrecht- Olanda
Articoli vari di Marino Miceli, I4SN

Autore: Flavio Egano, I1k3xtv Documento N.22.07.31.01 Data: Gennaio 2012
I1K3XTV Amateur Radio Propagation Studies www.qsl.net/ik3xtv e.mail: ik3xtv@gmail.com © RIPRODUZIONE RISERVATA
Credit lines: Credits : AGU American Geophysical Union - ARRL American Radio Relay League - GFZ German Research Centre for Geosciences. Copyright 2012 ©