

E Sporadico

Un nuovo modello: Meteore + Wind Shear + Forza di Lorentz

Data: Luglio 2012 documento N. 74.12.09.04072012 autore: Flavio Egano, ik3xtv

ik3xtv@gmail.com <http://www.gsl.net/ik3xtv/>

Introduzione

Al momento la teoria più accreditata per spiegare la formazione dello strato E sporadico è quella del Wind Shear.

Sul numero di Giugno 2012 di Radio Rivista è stata pubblicata una mia relazione sull'E sporadico alle medie latitudini. Ora, avvalendomi anche della collaborazione dell'amico Giorgio, IK1UWL, ho condotto successivi studi che mi hanno portato alla formulazione di un nuovo modello, legato sempre al Wind Shear, ma che introduce il contributo della Forza di Lorentz e la separazione tra ioni ed elettroni. Questo nuovo modello ho pensato di chiamarlo "**Meteore + Wind Shear + Forza di Lorentz**". I precedenti modelli e teorie parlavano sempre di un accumulo di ioni. La novità sta nel meccanismo di addensamento di uno strato di elettroni liberi N in quanto, come vedremo qui di seguito sono i responsabili della rifrazione ionosferica. Si tratta di un piccolo contributo, da parte di Radioamatori Italiani dell'ARI, nel comprendere meglio quest'affascinante fenomeno della propagazione.

Il flusso meteorico

La materia prima viene fornita dal materiale meteorico che entra nell'atmosfera e brucia per attrito, data l'altissima velocità di entrata, formando sia direttamente ioni (per surriscaldamento) sia ossidi ionizzati combinandosi con gli ioni ossigeno (questi formati dai raggi UV) presenti a quelle quote. (L'atomo metallico perde un elettrone e diventa uno ione +).

I venti neutri zonali

La chiave di lettura dell'Esporadico è da ricercare nella meteorologia. Soprattutto nella dinamica dei venti neutri nella mesosfera. Sappiamo che la materia prima è fornita dal materiale meteorico che entra nell'atmosfera che brucia per attrito data l'altissima velocità di entrata formando sia direttamente ioni (per surriscaldamento) sia ossidi ionizzati combinandosi con gli ioni ossigeno (questi formati dai raggi UV) presenti a quelle quote. (L'atomo metallico perde un elettrone e diventa uno ione +). Come abbiamo già detto quello che varia maggiormente nel breve è la velocità del vento. Ma è anche il parametro più difficile da prevedere e da controllare. Presenta rilevanti variazioni in ampiezza su scala locale. Esiste però una tendenza stagionale importante e per effetto di un complesso meccanismo di circolazioni atmosferiche su larga scala (Vortice Polare VP e circolazione inversa: si consideri che il VP e' il sistema che in pratica governa il tempo meteorologico alle medie latitudini. Questi venti nei mesi estivi presentano una netta tendenza con un andamento da Ovest verso Est a quote più alte (circa 95-100 Km) e un verso opposto a quota inferiore (circa 80-85 Km), cioè da est verso ovest. (vedi fig.2). Il campo magnetico terrestre, orientato Sud-Nord è ortogonale alla direzione dei venti inversi. La forza di Lorentz separa gli ioni positivi dagli elettroni, accumulando questi ultimi al centro, disperdendo verso l'esterno gli ioni. Nei mesi Invernali si ha un'inversione nella circolazione dei venti dominanti (vedi fig.2). Abbiamo detto come la riflessione dell'onda elettromagnetica sia dovuta agli elettroni. La favorevole combinazione estiva dell'andamento dei venti, associato al maggior apporto meteorico è la causa della marcata occorrenza estiva.

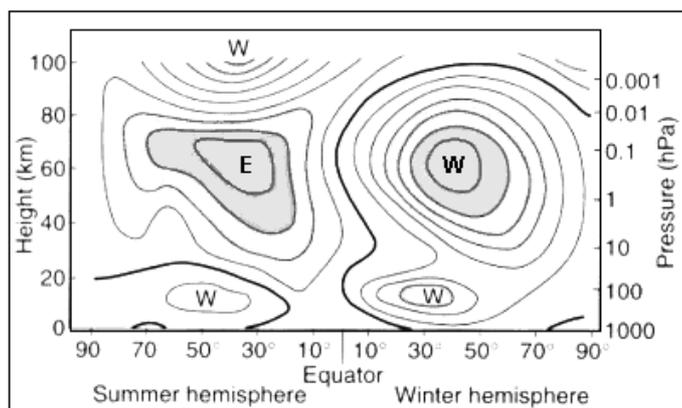


Fig2. Circolazione generale dei venti a varie quote. Le correnti zonali nella stratosfera (più in basso) e nella Mesosfera (più in alto) si invertono stagionalmente. Dal grafico si può notare come nell'emisfero estivo i venti in quota dominanti abbiano un andamento da ovest a est a circa 95-100 Km di quota e da est verso ovest più in basso. (W= Venti da ovest E= Venti da est). Quindi nell'emisfero estivo, i venti in quota dominanti hanno un il verso favorevole per la formazione dello strato di elettroni. Courtesy: Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima – CNR, Italia.

La Forza di Lorentz.

In fisica si chiama forza di Lorentz la forza che agisce su un oggetto elettricamente carico che si muove in un campo magnetico. La caratteristica principale della forza di Lorentz è che è sempre diretta perpendicolarmente rispetto alla direzione del moto (che ha assunto l'oggetto elettricamente carico all'interno del campo magnetico). Essa dunque non compie lavoro meccanico (variazione di energia cinetica), ma ha effetto solo sulla traiettoria della particella carica ovvero è una forza deflettente. La forza di Lorentz è la forza **F** esercitata dal campo elettromagnetico sulla carica, ed è proporzionale a **q** e al prodotto vettoriale tra **v** e **B**, secondo la relazione:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B})$$

Dove:

F= è la forza esercitata dal campo elettromagnetico

q= carica elettrica puntiforme

V=velocità istantanea

B=Campo di induzione magnetica

La Forza di Lorentz applicata alla ionosfera e alla direzione dei venti zonali

La regola della forza che agisce su una corrente elettrica immersa in un campo magnetico è chiarissima e non ha eccezioni, se elettroni e ioni+ si muovono nello stesso senso, le forze su di loro sono di senso opposto. Quando il vento superiore va in un senso (e quello inferiore nell'altro) si addensano gli ioni, quando va nel senso opposto (e viceversa per quello inferiore) si addensano gli elettroni. Siccome sono gli elettroni i responsabili della riflessione dell'onda elettromagnetica, si ha E sporadico quando abbiamo ammassamento di elettroni e questo avviene con un verso dei venti neutri zonali come nella figura 1. In pratica l'azione combinata dei venti + forza di Lorentz compie una separazione tra gli ioni e gli elettroni e forma uno strato denso di elettroni l'allontanamento degli ioni metallici e quindi la loro lentissima ricombinazione.

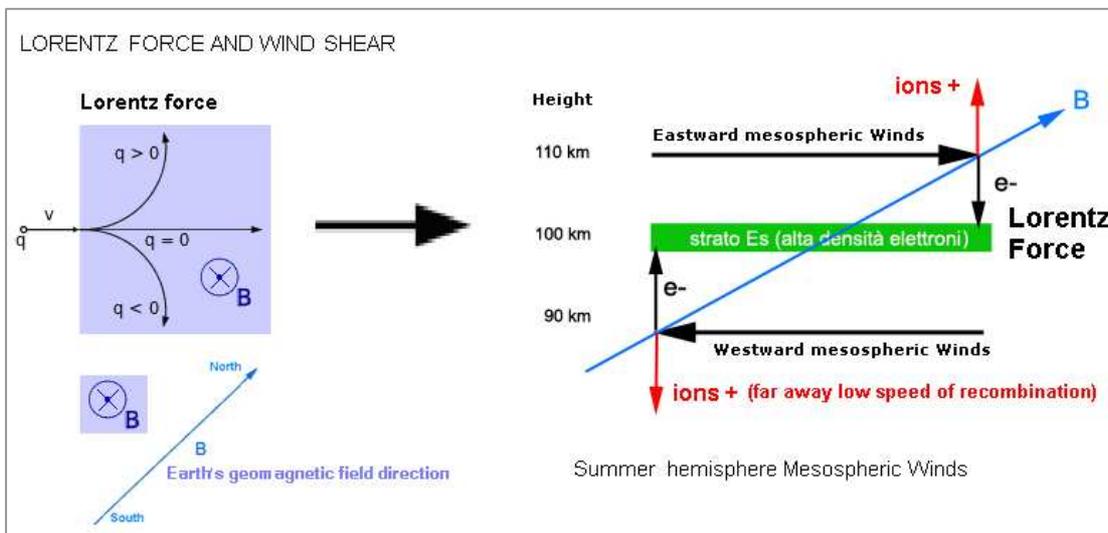


Fig.1: Schema grafico del modello Wind Shear+ Forza di Lorentz, responsabile della concentrazione dello strato di elettroni nel mezzo. Lo schema si riferisce ai mesi estivi dove l'andamento dominante dei venti e' verso est per quelli superiori e verso ovest per quelli inferiori. Solamente con questa direzione dei venti neutri zonali è possibile l'accumulo di elettroni liberi. La rifrazione delle onde radio nella ionosfera si deve alla concentrazione di Elettroni liberi N. Grafico by Giorgio, ik1uwl

Forze di Lorentz

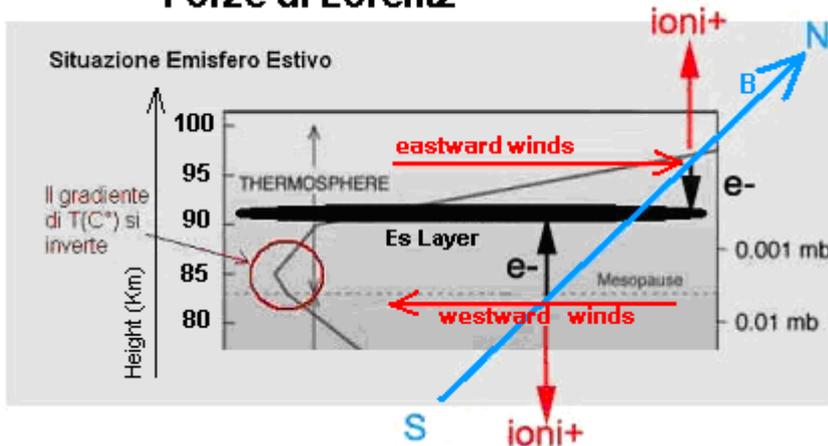


Fig.3 La figura mostra nel dettaglio che cosa avviene a una quota attorno ai 90 Km. Forza di Lorentz associata ai venti e alle linee di forza del campo magnetico terrestre B che vanno da sud a nord,

La rifrazione ionosferica dipende dagli elettroni

Quando un'onda elettromagnetica piana incide su questo volume, il campo elettrico dell'onda produce uno spostamento degli elettroni e degli ioni; lo spostamento degli ioni è assai più ridotto di quello degli elettroni, perché uno ione pesa assai più degli elettroni (circa 2000 volte di più nel caso dell'idrogeno atomico, il gas più leggero), quindi consideriamo solo lo spostamento degli elettroni.

Facendo ricorso all'equazione di Altar-Appleton che descrive l'indice di rifrazione per la propagazione delle onde elettromagnetiche in un plasma magnetizzato. Ricaviamo che la rifrazione è proporzionale alla densità di elettroni liberi espressa con N. L'onda viene rifratta per effetto delle collisioni con gli elettroni liberi.

Alcune considerazioni

- 1 - Se uno ione è trascinato dal vento è a tutti gli effetti una corrente elettrica. Se c'è un campo magnetico perpendicolare a questa corrente, nasce una forza che agisce sullo ione in direzione perpendicolare al piano contenente il vettore velocità e il vettore campo magnetico. Se questo piano è orizzontale, la forza è verticale.
- 2 - Siccome esistono sugli 80-85 km di quota venti (periodici) in un verso, e sui 95-100 km di quota venti in senso opposto, gli elettroni (cariche negative) presenti a queste quote sono concentrati in uno strato a circa 90-95 km di quota, perché quelli nella corrente inferiore subiscono una forza verso l'alto, e quelli della corrente superiore, di verso opposto come velocità ma con lo stesso verso del campo magnetico, vengono spinti verso il basso. Gli ioni + (cariche positive) subiscono il processo inverso.
- 3 - A queste quote sono sempre presenti degli ioni e degli elettroni, specie quelli metallici che bruciano sugli 80 km di quota, nei mesi estivi un minimo di strato Es c'è sempre. Questo è confermato anche da recenti studi dell'Università di Creta, che con strumenti molto sensibili ha rilevato la presenza di strato Es che non viene rilevato dalle Ionosonde (meno sensibili). La densità dello strato è proporzionale alla velocità, campo magnetico e densità ionica, perché il fenomeno varia così tanto di giorno in giorno?

L'entità del vento è legata a fenomeni stagionali, non giornalieri. Il campo magnetico invece è influenzato da eventi solari. E la quantità di meteoriti varia nel tempo. Possibili spiegazioni. Delle tre variabili, velocità vento, campo magnetico, presenza di ioni, quello che varia maggiormente nel breve è la velocità del vento.

Alcune osservazioni:

a - Quando il wind shear ha un certo verso si ha concentrazione nel mezzo. Quando il wind shear ha il verso opposto si ha diradazione anziché concentrazione, perché si invertono le forze. Questo è coerente con la durata temporale dello strato E osservata.

b - Il vento trascina nello stesso verso sia gli ioni positivi che gli elettroni. Ma la forza dovuta al campo magnetico che agisce sugli ioni positivi è di senso opposto di quella che agisce sugli elettroni. Quindi globalmente l'equilibrio elettrico c'è, ma non localmente. Nel senso che lo strato denso Es è formato solamente da soli elettroni, mentre gli ioni + vengono spostati sopra e sotto. Questa è anche la spiegazione più logica degli elevati tempo di ricombinazione. Negli strati ionosferici normali per esempio (gli strati più alti), che si formano per effetto della radiazione UV, non c'è separazione tra ioni ed elettroni, e infatti, data la vicinanza avviene un processo di ricombinazione continuo, rallentato solamente dall'intenso processo di ionizzazione solare. Quando cala il sole la ricombinazione è rapida, indipendentemente da quali ioni siano. Se anche fossero stati metallici, la ricombinazione sarebbe stata rapida lo stesso, la forza di attrazione tra un elettrone ed un ione + è indipendente dalla natura dello ione, dipende solo dal quadrato della distanza.

Modello previsionale

Una previsione certa allo stato attuale non è possibile perché non c'è la possibilità di avere dei dati in tempo reale sull'ampiezza e la fase dei venti in quota. Si può tentare un modello di tipo probabilistico, partendo dal fatto determinante che l'orario delle possibili aperture è governato dalle maree atmosferiche, cioè dalla variazione giornaliera dell'ampiezza dei venti. Questa ampiezza ha variazioni legate all'ora locale e alla latitudine. Nella tabella in basso è riportata l'occorrenza in percentuale di E sporadico ad una latitudine di 40-45°. I venti inversi presentano due picchi di velocità giornalieri ed è in prossimità di questi picchi che c'è la maggiore probabilità di E sporadico.

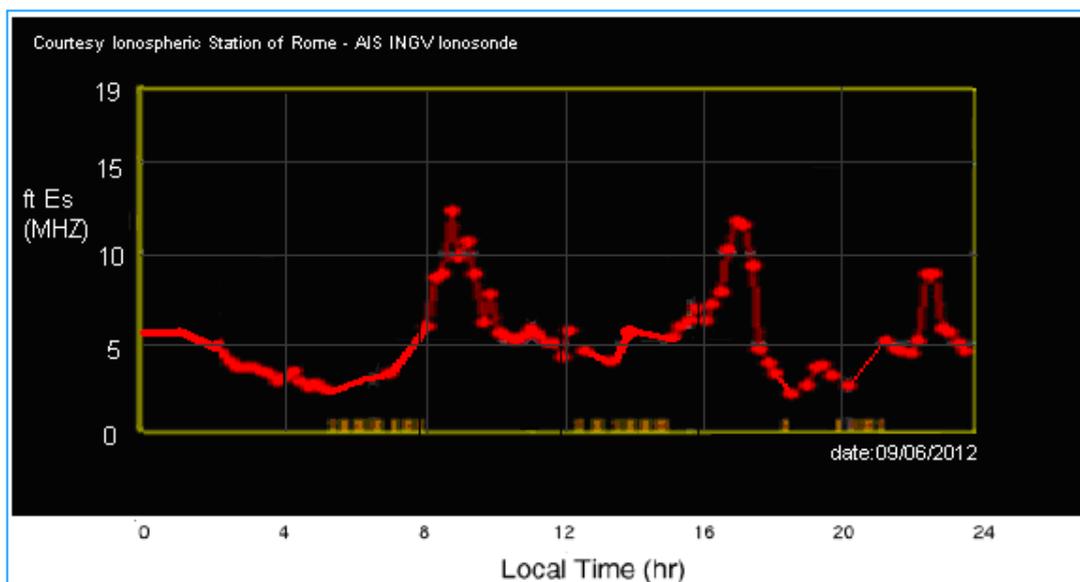
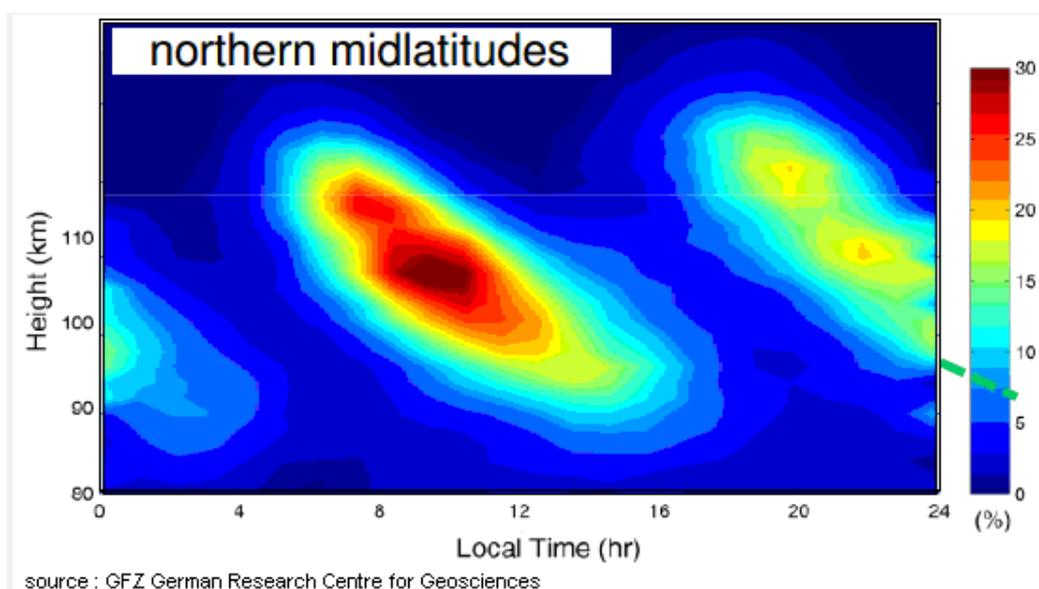


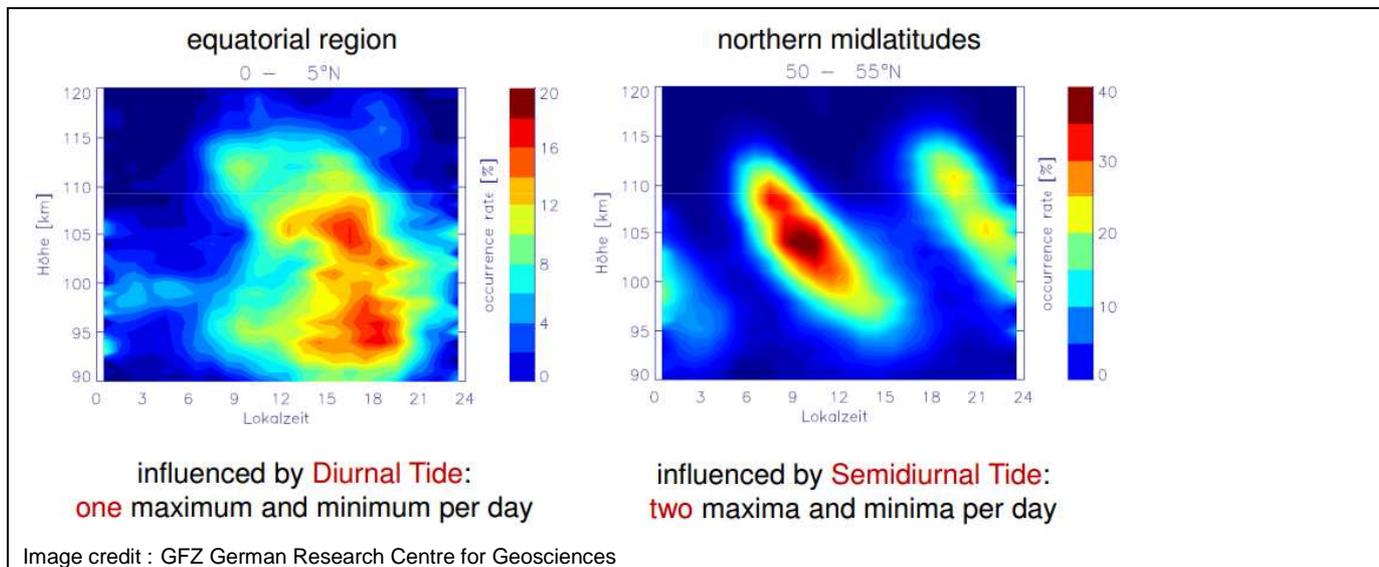
Fig.4 Confronto dell'andamento giornaliero della ftEs con la probabilità di E sporadico. Emerge una significativa corrispondenza tra la curva di Es presso Roma e il grafico probabilistico in alto (fonte GFZ German Research Centre for Geosciences).

Da notare anche come la localizzazione in altezza delle aperture tende a scendere (Linea tratteggiata).

Immagine: elaborazione di ik3xtv su dati GFZ German Research Centre for Geosciences.

modello di Previsione

Allo stato attuale una previsione non è possibile. Si possono solamente estrapolare dei modelli come quello in basso.



Il meteor Radar di Collm

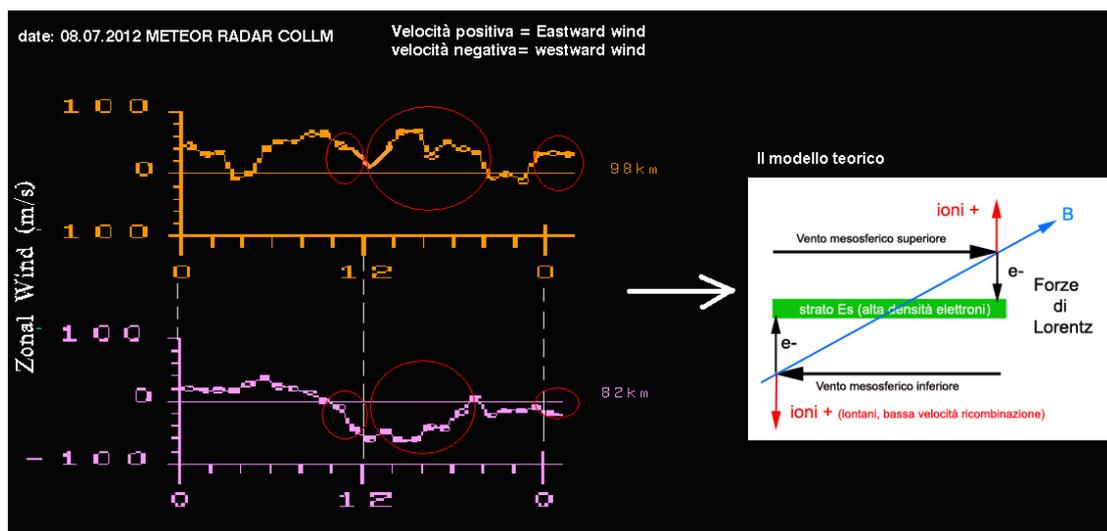


Fig.5 Analisi pratica con utilizzo meteor Radar di Collm in Germania che registra le velocità dei venti zionali in quota. Quota riportata a destra del diagramma velocità dei venti. Ho estrapolato l'andamento del vento superiore a quota 98 km (marcato andamento verso Est) Con ampiezza influenzata dalle semidiurnal tides. Il vento inferiore a quota 82 Km ha un andamento prevalente verso Ovest , soprattutto per le ore di luce. Con marcata ampiezza nella parte centrale della giornata. Ho cerchiato le fasi di wind shear e di possibile accumulo elettroni. Quindi formazione di Es. Scala velocità: 100 m/Sec=360 Km/h (Immagine elaborata da Ik3xtv su dati del meteor Radar di Collm)

Le variazioni del Flusso meteorico

Il flusso meteorico non è costante ma presenta delle variazioni:

- variazione stagionale (flusso medio circa 6 volte maggiore nei mesi estivi)
- variazione diurna (picco al mattino seguito da progressiva diminuzione)
- variazione oraria

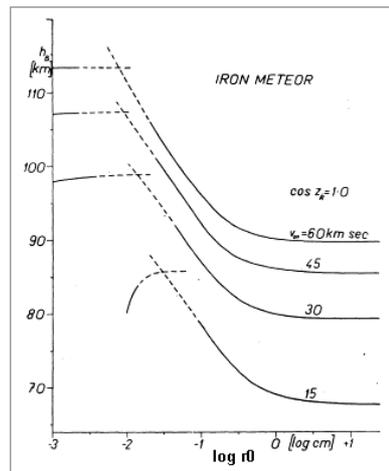
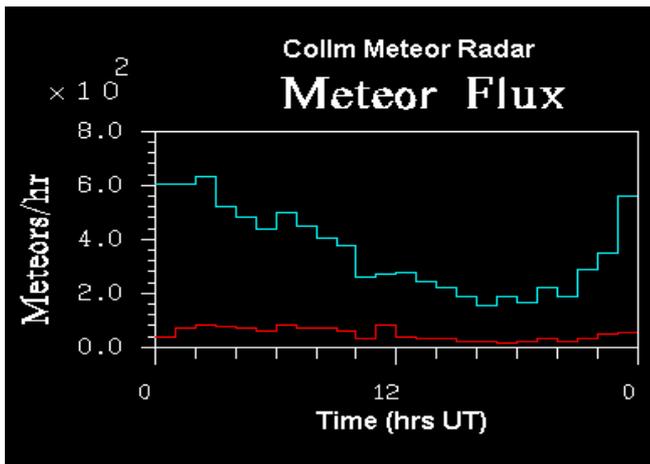


Fig. A sinistra: esempio di curva del flusso meteorico giornaliero del Meteor Radar di Collm-Germania. Il picco di flusso si verifica nelle prime ore del mattino seguito poi da una progressiva diminuzione durante il giorno. Notare la differenza oraria tra l'arrivo della maggiore quantità di massa e le ore di massima Es (vedi tabelle probabilità) dovuta alla migrazione per forza di Lorentz..

Grafico a destra: Dispersione del materiale meteorico (funzione della dimensione) prima che wind shear e Lorentz lo addensino
 Courtesy: SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS) (Ceplecha, Z. & Padevč, T. Astronomical Institute of Czechoslovakia

Conclusioni

Questo nuovo modello si presta bene a spiegare la marcata occorrenza stagionale estiva del fenomeno Es e il lento processo di ricombinazione degli ioni. Inoltre dimostra come si possa avere occorrenza di Es solamente quando i venti inversi presentano dei ben precisi vettori (vento superiore verso Est e vento inferiore verso Ovest). Se questi vettori cambiano, avviene il diradamento elettronico e quindi non si può avere Es sporadico. Nell'emisfero estivo la direzione prevalente dei venti mesosferici è favorevole all'accumulo di elettroni liberi, viceversa nei mesi invernali la direzione dei venti si inverte. La difficoltà al momento è prevedere l'ampiezza e il vettore dei venti e questo è un grosso limite per la previsione.

Nota: Ipotesi e modelli validi per le medie latitudini

Alcune considerazioni

La forza di Lorentz devia la traiettoria dell'elettrone finché si muove orizzontalmente; quando ormai si muove verticalmente la forza di Lorentz cessa di agire e l'elettrone prosegue per inerzia con la velocità raggiunta. Meno ioni trova sul suo cammino, maggiore la probabilità che arrivi fin dove il vento è inverso e di nuovo la forza di Lorentz agisce rallentandolo. Dato che la quota centrale a cui si vaporizzano le polveri meteoriche è sui 90 km, e coincide con la regione di inversione dei venti, il grosso dell'apporto meteorico resta neutrale. Se però si considera che i corpuscoli più grossi vaporizzano più in basso, nella fascia dei venti inferiori, c'è la possibilità che la formazione dello strato Es sia prevalentemente un fenomeno dal basso verso l'alto. In questo caso gli elettroni risalenti attraverserebbero la fascia neutra di inversione dei venti e verrebbero concentrati per rallentamento all'interno della fascia superiore di vento. Questo potrebbe spiegare lo scostamento di quota tra Es e fascia neutra di inversione.

Note:

1-Formazione dei venti

Il riscaldamento locale provoca una diminuzione di densità perché la maggiore agitazione termica provoca allontanamento delle particelle, cioè una diminuzione della pressione locale. Le particelle meno dense, essendo immerse nel campo gravitazionale terrestre, salgono a quote maggiori, raffreddandosi per l'espansione. Si ha così una zona inferiore centro di bassa pressione ed uno superiore centro di alta pressione (marea).

Si forma un richiamo di particelle verso il centro di bassa pressione (vento zonale inferiore) ed una espansione di particelle dal centro di alta pressione (vento zonale superiore).

2-Apporto meteorico

In questa fascia della Ionosfera (Regione E), oltre ai gas componenti l'atmosfera, arrivano dallo spazio esterno particelle di varia dimensione (polvere meteorica, prevalentemente metallica) dotate di grande energia cinetica, che collidono con le particelle dell'atmosfera. Le collisioni provocano la trasformazione della loro energia cinetica in energia termica, vaporizzandole e ionizzandole.

Il gas presente in queste zone della fascia si è così arricchito di ioni metallici e dei loro elettroni. In caso di differenze pressorie, tutte le particelle componenti si muovono come vento, elettroni inclusi.

3- Formazione asimmetrica

Potrebbe anche essere possibile una formazione "asimmetrica" dello strato, in alternativa a quella "simmetrica", entrambe possibili a seconda della giornata meteo e della dimensione delle particelle. Infatti anche nell'ipotesi "simmetrica" gli elettroni debbono venire fermati da vento opposto, altrimenti si incrocerebbero e se ne andrebbero. Nel caso simmetrico gli elettroni si fermano per forze elettrostatiche di repulsione, ma soprattutto per frenatura dal vento opposto. Non è necessario, per la formazione di uno strato Es, che gli elettroni debbano provenire da sopra e sotto simultaneamente. Potrebbero venire innalzati dal vento inferiore e fermati da quello superiore opposto.

Collaborazione

Grazie per la collaborazione a Giorgio Marchi, ik1uwf

Referenze:

Dynamical Meteorology - (IMAU, Utrecht University)

del GFZ German Research Centre for Geosciences

Wikipedia

Università di Padova- Corso di Elettronica e Telecomunicazioni G. Lullo

INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare sezione di Trieste Edoardo Milotti

Università di Lipsia Istituto di Meteorologia