

LA RADIO PROPAGAZIONE IONOSFERICA

di ik0eln Giovanni Lorusso

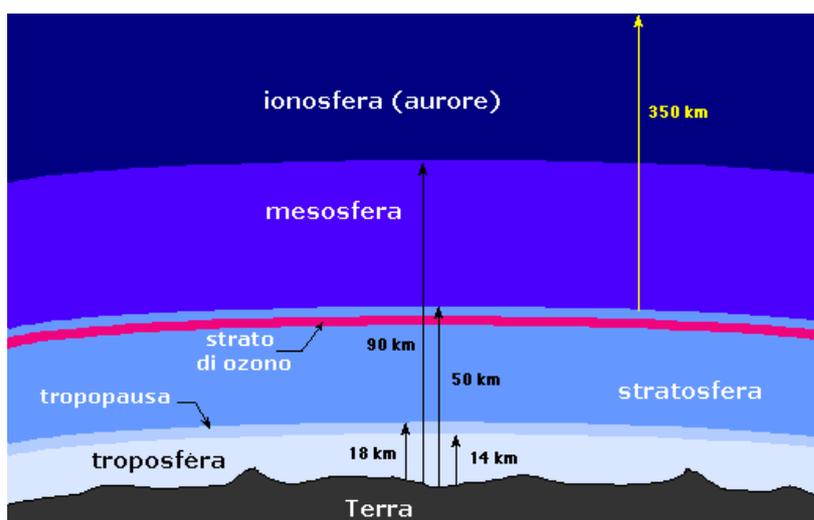


Premessa

a seguito della pubblicazione dell'articolo "L'Astronomia e i radioamatori" mi sono pervenute numerose e.mail ed un buon numero di telefonate da parte di alcuni lettori, per lo più radioamatori, i quali mi hanno chiesto di redigere un articolo dedicato espressamente alla propagazione delle onde radio via ionosfera. A tal riguardo, devo dire che, se da un lato sono lusingato dal fatto che vi siano lettori a cui piacciono i miei articoli scientifici, dall'altro lato trovo non poca difficoltà nella stesura di questo articolo, in quanto, ricco di terminologie scientifiche che ho dovuto adattare per renderlo il più comprensibile possibile. Mi scuso, quindi, se, nel corso della lettura, vi sono termini scientifici di non facile interpretazione. Tuttavia, resto a disposizione per quanti desiderino spiegazioni o ulteriori approfondimenti, Tutti i miei recapiti sono riportati su QRZ.COM. Buona lettura.

La scienza che studia le proprietà fisiche dell'atmosfera terrestre viene chiamata Aeronomia ed è divisa in diverse aree di ricerca: la meteorologia, l'aereologia, l'elettricità atmosferica, la fisica ionosferica, il magnetismo terrestre, la fisica dei raggi cosmici, l'ottica atmosferica. Riguardo alla fisica ionosferica, va detto che l'atmosfera terrestre viene definita un involucro di aria che circonda la Terra fino ad una quota dove sono ancora avvertibili le azioni elettromagnetiche e gravitazionali del nostro pianeta. Gli strati atmosferici

sono così suddivisi: la Troposfera, che dal suolo raggiunge la quota di 12 Km., dove avviene il rimescolamento dell'aria e, quindi, i fenomeni meteorologici; la Stratosfera che si estende fino a 60 Km. di



quota, dove manca totalmente il vapore acqueo e la temperatura sale da -55°C a 0°C ; l'Ozonosfera che rappresenta una valida difesa per la Biosfera; la Mesosfera nella quale la temperatura, ad una quota tra 75/85 Km., torna a decrescere con la quota, con un minimo di -83°C ; la Termosfera, detta anche strato caldo, perchè ad una quota tra 400/500 Km., raggiunge un max di 1773°C ; al di sopra, fino ai limiti dell'atmosfera si trova la Esosfera, dove le temperature dette "cinetiche" raggiungono valori elevati oltre i valori di scala. Per quanto riguarda poi, il fenomeno della ionizzazione, la definizione è la seguente: La Ionosfera è una zona dell'alta atmosfera che si estende dai 60 Km. ad oltre 1000 Km. di quota. E' caratterizzata dalla presenza di una notevole densità di elettroni e di ioni liberi che la rendono riflettente alle onde radio delle frequenze HF da 3 a 30 Mhz. Ciò permette collegamenti a lunga distanza superando gli ostacoli naturali e la stessa curvatura terrestre. La Ionosfera è prodotta dall'azione ionizzante della radiazione solare, in modo particolare dai Raggi X e dai Raggi UV che, interagendo con i gas presenti negli strati alti dell'atmosfera terrestre: ossigeno, azoto, idrogeno ed elio in minima parte, ed altri gas nobili, rendono possibile la composizione e la distribuzione di strati ionizzati. Nella regione dell'alta atmosfera, compresa tra i 50 e 350 Km. l'aria è molto rarefatta e, quindi, le particelle di gas che la compongono si allontanano tra loro. Ma, quando si giunge ad alcune centinaia di Km. dalla superficie terrestre, la rarefazione è così grande che ogni singola molecola di gas è isolata. I gas che compongono gli strati dell'alta atmosfera sono soggetti alle diverse radiazioni provenienti dal Sole e dallo Spazio; e, come già accennato in precedenza, le radiazioni solari sono quelle elettromagnetiche, comprese tra i Raggi UV ed i Raggi X; a questi, vanno affiancate le particelle cariche provenienti dallo Spazio. L'energia delle radiazioni solari è talmente intensa che negli atomi di gas è tale da provocare la separazione degli elettroni, annientando il precedente equilibrio atomico. Quindi, la radiazione solare costituisce la forza energetica esterna capace di produrre una miscela di elettroni e ioni positivi liberi in eccesso, unitamente ad atomi neutri, generando, così, il fenomeno della ionizzazione. Dallo studio del Sole e, in modo particolare, dall'azione del Vento Solare emerge che la nostra Stella è la fonte principale della ionizzazione dell'alta atmosfera terrestre, determinata dalla sua complessa radiazione elettromagnetica che, interagendo con i gas presenti, questi risultano sensibili al processo di

ionizzazione su frequenze diverse dello spettro dell'ultravioletto. All'aumentare della quota aumenta l'intensità degli agenti ionizzanti, nel contempo diminuisce la densità di particelle delle molecole ionizzabili. E' importante sottolineare che, oltre che sul piano geofisico, la fisica ionosferica ha una grande rilevanza per le comunicazioni radio e per la biosfera. Infatti, la Ionosfera, in virtù dei suoi stessi processi di formazione, costituisce uno schermo efficace contro le radiazioni solari ad alta energia, come i Raggi UV e Raggi X; i quali, determinerebbero una evoluzione degli organismi viventi terrestri sicuramente diversa da quella che conosciamo. Lo studio e la ricerca sin ora svolta ha dimostrato che il volume di gas ionizzato non è distribuito omogeneamente; pertanto la combinazione dei due effetti dovuti al flusso solare e la densità delle molecole, concorrono alla

Regione D - Km 50/90

Agenti ionizzanti:
Fotoni solari della Riga Alfa di Lyman a 121,5 nm;
Fotoni solari UV tra 103 e 112 nm;
Fotoni solari X tra 0,2 e 0,3 nm;
Raggi Cosmici.



Regione E - Km 90/180

Agenti ionizzanti:
Fotoni solari UV tra 80 e 100 nm;
Raggi X da 1 e 10 nm.

Regione F - Km 180/500

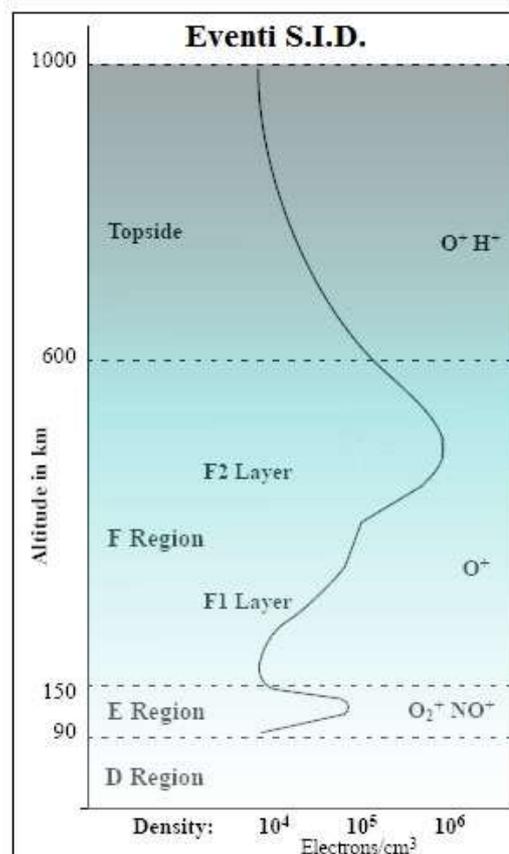
Suddivisione
Strato F1 - Km 180/220;
Strato F2 - Km 220/500;
entrambi gli strati risentono dalla radiazione solare strettamente collegata al ciclo undecennale del Sole.

formazione della ionizzazione stratificata, ovvero: una ionizzazione decrescente verso l'alto e verso il basso. Quindi la densità elettronica viene usata come parametro per individuare le varie regioni ed i vari strati nell'ambito di queste, nella tradizionale ripartizione della ionosfera. Per cui, nella ripartizione della Ionosfera in regioni e strati, troviamo la Regione D che si trova ad una altezza variabile tra i 50 ed i 90 Km. con una concentrazione diurna di elettroni liberi che cresce rapidamente con la quota e con un massimo dopo il mezzogiorno locale.

La ionizzazione della Regione D è proporzionale all'altezza del Sole e scompare totalmente al tramonto. Inoltre, il massimo avviene nel pomeriggio del periodo estivo; mentre in inverno il massimo avviene ad una quota tra i 70 ed i 90 Km. Gli agenti ionizzanti sono: fotoni solari della Riga Alpha di Lyman, a 121,5 nm.; fotoni solari UV, tra 103 e 112 nm; fotoni solari X, tra 0,2 e 0,3 nm; e da Raggi Cosmici. La Regione E si trova ad una quota variabile di 90/180 Km. ed ha una maggiore densità della Regione D. Compare rapidamente al mattino per scomparire di notte a causa della ricombinazione ionica. Raggiunge, quindi, il minimo verso la mezzanotte per crescere

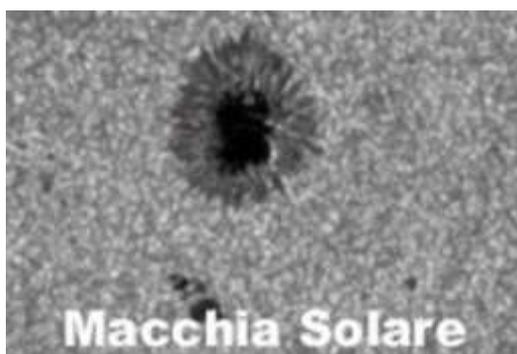
immediatamente all'alba, per poi raggiungere il massimo intorno al mezzogiorno locale. Fenomeno, questo, dovuto alla distanza zenitale del Sole. Gli agenti ionizzanti sono: fotoni solari UV tra 80/100 nm; raggi X da 1 e 10 nm. Infine, la Regione E si divide in strato E normale e strato E sporadico. Quest'ultimo rientra nelle anomalie della Ionosfera. La Regione F staziona ad una altezza variabile tra i 180/500 Km., risente principalmente dalla radiazione solare strettamente collegata al ciclo undicennale del Sole e si divide in due strati: F1 e F2. Lo strato F1 si trova ad una altezza di circa 180/220 Km.; mentre lo strato F2 si trova ad una altezza intorno ai 220/500 Km. e forma la parte più alta della ionosfera. Ma anche la Ionosfera presenta delle anomalie, suddivise in Anomalie Diurne, Anomalie Stagionali, Anomalie Geografiche, Anomalie Cicliche.

L'anomalia diurna è una variazione legata all'orario e, soprattutto alla rotazione terrestre, la quale determina una intensità di radiazione UV che raggiunge la Ionosfera in determinati punti, che, nelle ore del giorno la radiazione solare è più forte e, di conseguenza, la Ionosfera è perfettamente ionizzata; nelle ore notturne la radiazione giunge ancora alla Ionosfera ed è molto modesta. E' anche dimostrato però, che lo strato F2 non è del tutto legato alla posizione del Sole; si rileva un massimo nelle ore diverse dal mezzogiorno, generalmente tra le 13,00 e le 15,00 locali, vi sono poi dei massimi secondari tra le 10,00 e le 11,00 e, successivamente, tra le 22,00 e le 23,00 locali. Le anomalie sono anche di carattere stagionale dovute al cambiamento di posizione della Terra rispetto al Sole. Questa situazione genera la ionizzazione della Regione E, soprattutto quando il Sole è più alto nel cielo. Più complicato per lo strato F2 perchè nei mesi invernali la ionizzazione diurna è molto intensa, fino a diminuire drasticamente nelle ore di oscurità. Viceversa, nel periodo estivo il Sole produce il riscaldamento anche di questo strato a causa della



Le anomalie sono anche di carattere stagionale dovute al cambiamento di posizione della Terra rispetto al Sole. Questa situazione genera la ionizzazione della Regione E, soprattutto quando il Sole è più alto nel cielo. Più complicato per lo strato F2 perchè nei mesi invernali la ionizzazione diurna è molto intensa, fino a diminuire drasticamente nelle ore di oscurità. Viceversa, nel periodo estivo il Sole produce il riscaldamento anche di questo strato a causa della

maggior insolazione, la quale provoca la dilatazione dei gas ed una minore concentrazione di ioni ed elettroni, tale che la ionizzazione per metro quadro si riduce al punto da diminuire anche il potere rifrattivo. Questa bizzarra anomalia, nota ai radioamatori dediti ai collegamenti a lunga distanza, è definita “Depressione Estiva”. L'Anomalia geografica o Anomalia Transequatoriale si spiega perchè il Sole si presenta con l'inclinazione molto diversa alle varie latitudini, per cui l'intensità delle radiazioni ionizzate che raggiungono la Ionosfera varia da zona a zona; ma più elevata nella fascia equatoriale dove il Sole è sulla sua verticale. Inoltre, nello strato F2 varia con la latitudine, in quanto, probabilmente, intervengono altre radiazioni solari, quali Raggi X e Raggi Cosmici.



L'Anomalia Ciclica è caratterizzata, in maniera quasi diretta, dal livello delle macchie solari che cambia in occasione di ogni ciclo solare. Il ciclo undicennale del Sole infatti, esercita una considerevole influenza sulla ionizzazione degli strati atmosferici terrestri che si evidenzia nel

comportamento dello strato F2.

Lo strato E Sporadico è una strana anomalia, ancora oggetto di studio, non obbedisce ad alcuna regola fissa, in quanto appare e scompare tra i mesi di Maggio e Settembre sempre all'improvviso senza manifestare alcun segno premonitore e senza nessuna correlazione con la radiazione solare. Il fenomeno Es appare ad una altezza quasi uguale allo strato E normale e, per questo motivo, assume il nome di “E Sporadico”; si manifesta frequentemente nelle zone equatoriali e nelle zone aurorali; alle medie latitudini è più frequente da Maggio a Settembre e con un certo incremento anche a Dicembre, nella mattinata tardi ed alla sera, talvolta oltre la mezzanotte, con segnali radio evanescenti che possono sparire del tutto all'improvviso, confermando la fine del fenomeno sporadico; offrendo aperture temporanee alla ricezione di segnali radio di stazioni, impossibili da ricevere normalmente su determinate lunghezze d'onda. Riguardo ai

fenomeni propagativi, poiché l'area atmosferica ionizzata non è più elettricamente neutra, ma conduttrice è da considerarsi una superficie conduttrice sulla quale le onde elettromagnetiche irradiate dalla Terra possono essere riflesse. Quando un treno d'onda incidente arriva allo strato/plasma mette in oscillazione gli ioni e gli elettroni presenti e liberi i quali si muovono in percorsi oscillatori secondo la frequenza dell'onda incidente. E' bene ricordare che nel 1896 Guglielmo Marconi, dall'Inghilterra riuscì a trasmettere segnali con un oscillatore ad onde corte alla distanza di chilometri utilizzando proprio la riflessione ionosferica; ed il 20 Giugno 1922, nel corso della conferenza tenutasi all'Institute of Radio Engineers, lo stesso Marconi datava lo studio delle onde corte già all'epoca delle ricerche di Herz e dello scienziato italiano Augusto Righi. La prova dell'efficienza delle onde corte riflesse sulla Ionosfera, effettuata da G. Marconi era valida non solo per scopi scientifici di laboratorio, ma anche per l'invio di segnali, con l'uso delle telegrafia senza fili. Pertanto, dal punto di vista tecnico accade che, se in un plasma si propagano onde elettromagnetiche, il campo elettrico di queste ultime induce in moto vibratorio le particelle cariche che reirradiano energia elettromagnetica a causa della interazione fra le particelle cariche e neutre. Comunque, una parte dell'energia vibrazionale comunicata dalle onde viene dissipata ed il risultato è un propagazione caratterizzata da dispersività (fading) legata a frequenze di risonanza delle vibrazioni particellari e da assorbimento legato alle anzidette interazioni dissipative. La Ionosfera, come plasma, in presenza del campo magnetico terrestre, reagisce come un Magnetoplasma, nel quale l'assorbimento e, quindi, la dispersività sono condizionate dalla forza del campo geomagnetico, detta Forza di Lorentz, generando un modo di vibrazione diverso da quello in assenza di campo geomagnetico. Va aggiunto che la componente Nord-Sud del campo magnetico terrestre mette in oscillazione gli elettroni della Ionosfera senza però contrastarne il movimento. Mentre la componente in direzione Est-Ovest provoca un movimento di elettroni nella Ionosfera che viene contrastato dalla Forza di Lorentz. A conclusione, possiamo dire che gli elettroni anziché muoversi in linea retta, tra un urto e l'altro tendono a descrivere delle traiettorie a spirale alle linee di forza magnetiche, girando intorno ad esse con una frequenza proporzionale alla intensità del campo magnetico detta Frequenza di Larmor. L'onda elettromagnetica differisce da un'onda luminosa solo dalla frequenza;

ciò presune che la riflessione e la rifrazione ionosferica, seguano le leggi dell'ottica quando incontrano durante il loro percorso mezzi di differente costante dielettrica. Tenendo conto della sua frequenza è bene precisare che essa influisce in modo determinante, in quanto, se la frequenza è bassa, il semiperiodo dell'onda dura molto di più così come più lungo sarà il percorso impresso dall'onda degli elettroni e ioni, creando una maggiore possibilità di ricombinazione. Invece se la frequenza dell'onda è elevata i movimenti di oscillazione degli elettroni e degli ioni saranno molto brevi, creando una minore possibilità di ricombinazione. In parole povere: se si continua ad aumentare la frequenza, si giunge a valori di lunghezza d'onda talmente bassi che le onde attraversano lo strato ionizzato, alla pari della luce che attraversa il vetro. Da questo dipende la frequenza critica di MUF (massima frequenza usabile) e di LUF (minima frequenza usabile).

Riepilogo dei tre principali concetti:

- 1) l'intensità di ionizzazione degli strati atmosferici varia principalmente in rapporto alla radiazione che riceve dal Sole;**
- 2) più la ionizzazione è intensa e più elevata diventa la frequenza massima che lo strato può riflettere;**
- 3) oltre la frequenza massima l'onda incidente buca lo strato ionizzato e si disperde nello spazio.**

ik0eln, Giovanni Lorusso