

LA PROPAGAZIONE

Questo argomento è forse uno tra i più complessi in ambito OM quindi, per non scrivere decine e decine di pagine, ho deciso di proporre un riassunto i 2 articoli separati. Di seguito si riprenderanno le conoscenze base necessarie per comprendere la propagazione delle onde elettromagnetiche mentre, in un successivo articolo si andrà nel dettaglio per cercare di capire quali frequenze è meglio utilizzare (ed in quale momento) per portare a casa un bel DX.

Iniziamo quindi a parlare di come le onde elettromagnetiche generate dai nostri apparati interagiscono con l'atmosfera e come avvengono i fenomeni propagativi.

La rifrazione: una proprietà delle onde TUTTE

Una qualsiasi onda, che sia di materia (onde del mare), di pressione (suono) o elettromagnetica, quando interagisce con l'ambiente può farlo attraverso 3 fenomeni caratteristici di un'onda: la riflessione, la rifrazione e la diffrazione.

Per i più pignoli come me: si ci sono anche lo scattering e l'assorbimento... ma per evitare complicazioni ho voluto escluderli dal discorso.

La riflessione è il fenomeno più semplice da comprendere (si fa per dire) perché in un modo o nell'altro chiunque lo ha potuto sperimentare nella vita quotidiana, soprattutto chi gioca a biliardo o carambola. Quando un'onda colpisce un ostacolo, questa viene "rimandata indietro" con una direzione che dipende dall'angolo con cui ha raggiunto l'ostacolo.

La rifrazione invece, si verifica quando l'onda attraversa un materiale "trasparente", con una densità differente. L'onda, nel momento in cui attraversa materiali con diversa densità, cambia l'angolo di propagazione modificando la direzione in cui si muove. Grazie a questo fenomeno possiamo osservare gli arcobaleni... o le copertine degli album dei Pink Floyd!

La diffrazione è il fenomeno più complesso. Si verifica quando l'onda interagisce con un ostacolo di dimensioni analoghe alla sua lunghezza d'onda. Il risultato di questa interazione è alla base, non solo dalla meccanica quantistica ma anche di alcuni fenomeni molto comuni come la colorazione delle ali di alcune farfalle (*Morpho menelaus*).



Riflessione

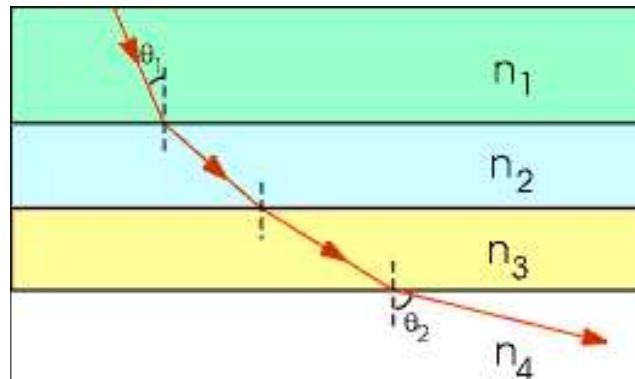
Rifrazione

Diffrazione

Un'onda può essere riflessa, rifratta ed anche diffratta indipendentemente dalla sua natura. Per esempio, un raggio di luce può essere riflesso in uno specchio allo stesso modo di come la nostra voce si riflette tra le rocce di una valle montana generando una eco. E' necessario però una precisazione importante, in merito alla rifrazione, che servirà più avanti nella discussione.

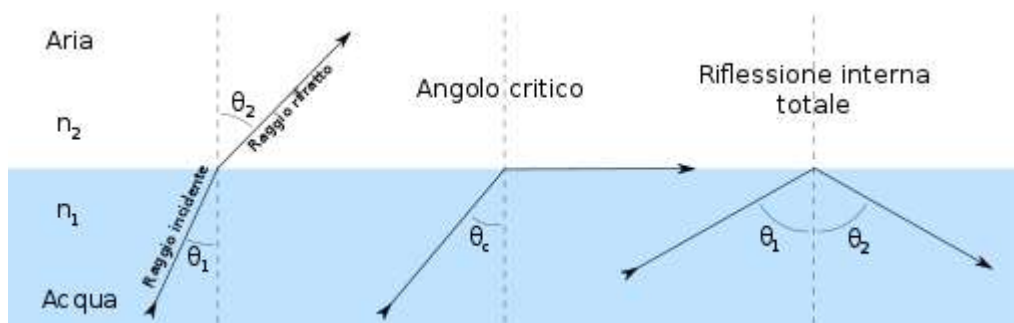
Se l'onda attraversa numerosi strati di materiali con densità tutte diverse, verrà rifratta ad ogni cambio di materiale (interfaccia) e si avrà quindi una variazione di direzione complessa che è strettamente collegata alla natura del materiale attraversato. Nell'immagine si vede un esempio di questo fenomeno.

Ovviamente i materiali in considerazione devono permettere il passaggio dell'onda e devono quindi essere tutti "trasparenti".



Esempio del percorso di un'onda che attraversa strati di materiali differenti. n rappresenta la densità del materiale. $n_1 < n_2 < n_3 < n_4$

In realtà per complicare le cose, si deve tenere conto anche dell'angolo con cui l'onda si avvicina all'interfaccia. Infatti come ci suggerisce Snell esiste un determinato angolo oltre il quale l'onda viene completamente riflessa dal materiale, anche se trasparente!



Schematizzazione dell'angolo critico. (Legge di Snell)

Ricorda niente questa immagine?

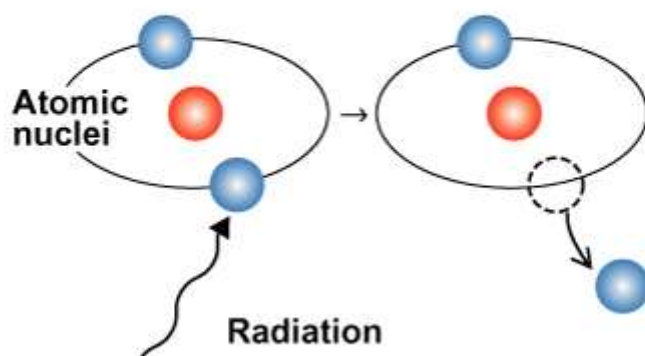
La ionizzazione

La ionizzazione è un fenomeno che coinvolge la materia e nello specifico è responsabile della generazione di ioni, particelle che possiedono una carica sia questa positiva o negativa.

Quando un atomo, costituito dal nucleo e da 1 o più elettroni che lo circondano, assorbe energia da una fonte esterna si può rompere in molti modi diversi. In base all'entità dell'energia assorbita avremo un allontanamento di uno o più elettroni (ionizzazione) o addirittura una "fissione" dell'atomo stesso che a sua volta libererà altra energia.

Tralasciando i processi di fissione che poco hanno a che fare con il radiantismo, concentriamoci ora sui processi di ionizzazione che sono invece essenziali per la generazione ed il mantenimento della ionosfera terrestre.

Immaginiamo di essere ai limiti dell'atmosfera terrestre, intorno ai 100Km di altitudine. A queste altezze, l'aria come la intendiamo noi non è più presente già da un bel pezzo ma ciò nonostante sono comunque presenti centinaia di migliaia (se non di più) molecole e atomi di gas, una sorta di residuo di atmosfera. Tutte queste molecole si muovono indisturbate e, quando solo raramente si incontrano tra loro, si urtano senza darsi troppo fastidio. Ipotizziamo ora che un raggio di luce ultravioletta in arrivo dal sole vada a colpire un atomo di elio. Questo, assorbirà la radiazione UV che causerà l'allontanamento di un elettrone dall'atomo stesso il quale, inizialmente privo di carica, perdendo un elettrone (carico negativamente) rimarrà con una carica positiva.



A SX un atomo neutro costituito da un nucleo (rosso) contenente 2 cariche positive. Le sfere blu sono i due elettroni carichi negativamente che bilanciano la carica totale dell'atomo. A DX, lo stesso atomo carico positivamente dopo che una radiazione energetica lo ha eccitato, liberando un elettrone

A questo punto immaginiamo che questo fenomeno si verifichi numerose volte, fino a ritrovarsi in una condizione in cui una miriade di particelle cariche si muovono circondate da altrettanti elettroni liberi. Questa configurazione però risulta molto instabile e quindi, “la natura” tenderà a ristabilire la neutralità con un processo inverso detto *ricombinazione*.

Dopotutto le cariche opposte si attraggono, esattamente come i poli opposti di due magneti.

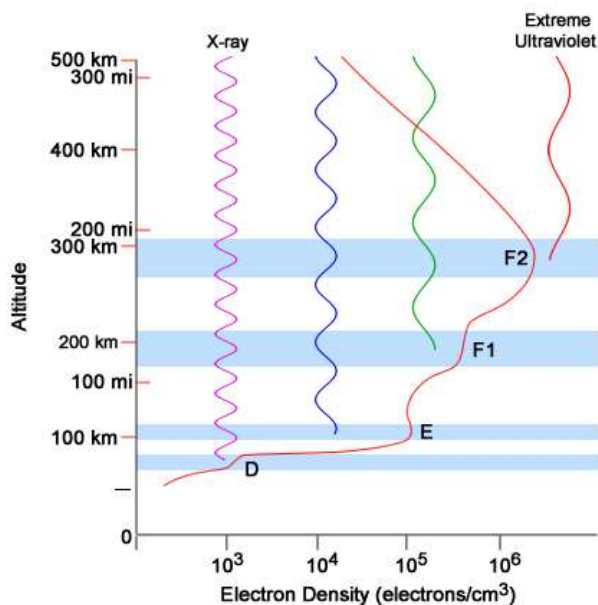
E' proprio grazie a questi meccanismi che si crea la famosa ionosfera: porzione dell'atmosfera in cui sono presenti elettroni liberi e particelle cariche che costantemente si formano e si ricombinano, interagendo con il campo magnetico terrestre dando vita a fenomeni estremamente belli ed affascinanti come le aurore boreali.

La ionosfera ed i suoi strati

Tra tutte le radiazioni che arrivano dal sole, ma anche dalle altre stelle, soltanto quelle ad elevata energia riusciranno a penetrare in profondità nella ionosfera mentre la maggior parte causerà la ionizzazione degli strati più superficiali. Inoltre, mentre la ionizzazione dipende quasi esclusivamente dall'intensità della radiazione che colpisce gli atomi e dalla natura degli atomi stessi, il processo di ricombinazione è molto più lento poiché dipende da fattori come la temperatura, la pressione, la densità....

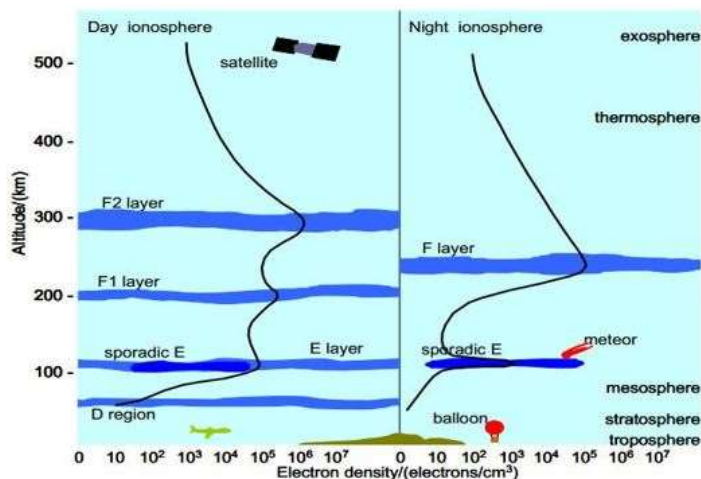
Il risultato di tutto ciò è un equilibrio tra ionizzazione e ricombinazione che genera una struttura a strati della ionosfera costituita dai famosi strati D, E ed F, come mostrato nella figura seguente.

Dall'immagine a lato si può anche notare come l'entità della ionizzazione diminuisce con la vicinanza al suolo ma, allo stesso tempo, oltre i 300Km di altitudine torna a decrescere. Questo andamento è facilmente spiegabile poiché: è vero che soltanto le radiazioni estremamente energetiche riescono a penetrare a livelli tali da ionizzare le molecole a bassa quota ma è anche vero che oltre una certa altitudine, l'atmosfera risulta talmente rarefatta che la quantità di atomi e molecole da ionizzare diminuisce. Ci stiamo avvicinando allo spazio esterno. Inoltre, negli strati in cui vi è una concentrazione di particelle più elevata (aria meno rarefatta) i fenomeni di ricombinazione sono più frequenti.



©THE COMET Program

SX: Andamento della densità elettronica nella ionosfera in funzione dell'altitudine. I colori, la forma ed il posizionamento delle radiazioni, non rappresenta l'effettiva energia o lunghezza d'onda. DX: stratificazione della ionosfera durante il giorno e la notte.



Sempre grazie ai fenomeni di ricombinazione è quindi facile comprendere perché lo strato più basso della ionosfera, lo strato D, è presente solo di giorno. Trovandosi ad altitudini relativamente vicine al suolo, le particelle che popolano questo strato possono rimanere ionizzate solo alla presenza di un costante irraggiamento da parte del sole che permette di mantenere il delicato equilibrio tra ricombinazione e ionizzazione a favore di quest'ultimo fenomeno. Non appena il sole cala, non ci sono più radiazioni che mantengono ionizzate le particelle che quindi possono ricombinarsi facilmente, diradando lo strato D.

Con un procedimento analogo è possibile spiegare anche l'unione degli strati F1 ed F2 in un unico strato F durante la notte. E' sempre la ricombinazione a guidare la dinamica dello strato ma questa volta, poiché i gas di quelle altitudini sono molto più rarefatti, una buona percentuale di particelle ionizzate resta tali. Tale percentuale diminuisce costantemente durante la notte e questo causa un assottigliamento costante dello strato F nelle ore immediatamente precedenti all'alba. Una volta che il sole sorge nuovamente, il ciclo ricomincia e lo strato F si sdoppia in F1 ed F2.

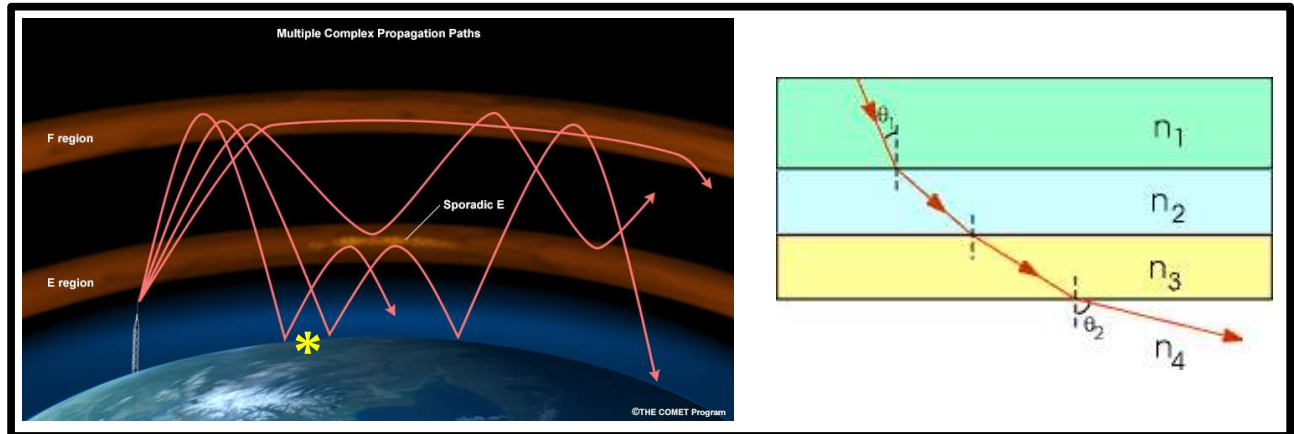
E lo strato E??

Beh possiamo considerarlo come una via di mezzo tra lo strato D, presente solo durante il giorno, e lo strato F, sempre presente ma con ionizzazione variabile. Lo strato E ha inoltre la peculiare caratteristica di poter ospitare zone circoscritte e temporanee, a bassa quota ma ad elevata ionizzazione la cui natura risulta essere ancora di difficile comprensione, il famoso "E sporadico"

Il segnale radio che si riflet... RIFRANGE !!

Spesso si dice che la ionosfera è molto utile per gli OM poiché permette di riflettere il segnale e raggiungere distanze elevate.

In realtà, spesso, non si verifica una riflessione ma bensì l'onda elettromagnetica che attraversa diversi strati della ionosfera a diversa densità, viene rifratta più volte e reindirizzata verso terra.

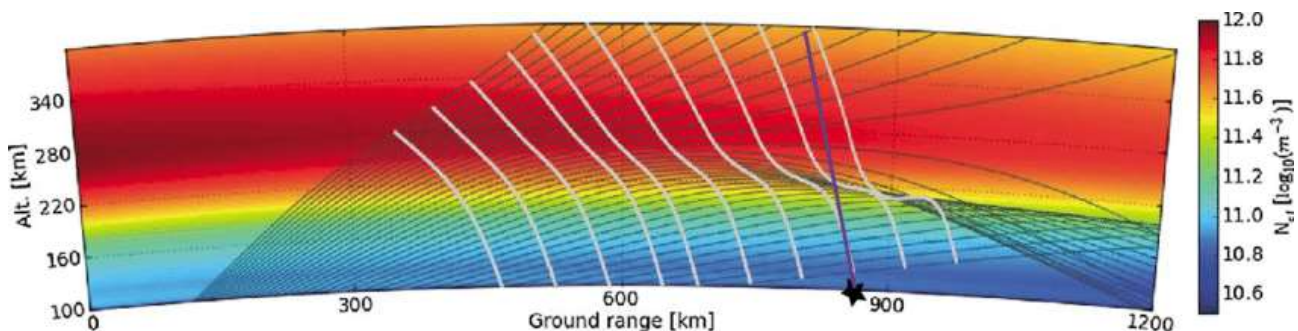


A SX: possibili percorsi di propagazione di un segnale radio rifratto dagli strati ionosferici. Da notare come la **riflessione** del segnale avviene esclusivamente sul terreno (asterisco giallo)
A DX: rappresentazione della legge sulla rifrazione

Paragonando la ionosfera ad una serie di strati con densità di ionizzazione via via crescente in funzione dell'altitudine, non è difficile capire perché i "rimbalzi" dei segnali radio sulla ionosfera vengono rappresentati con delle curve.

È necessario però tenere in considerazione che l'interazione tra il segnale radio e uno specifico strato della ionosfera, non dipende soltanto dalla densità di ionizzazione dello strato stesso ma anche dalla frequenza del segnale radio. Infatti, segnali radio con frequenze basse come le onde medie o le onde lunghe interagiscono facilmente con la ionosfera anche a basse densità di ionizzazione. Al contrario, frequenze relativamente più alte come le VHF, attraversano indisturbate le zone a bassa o media densità di ionizzazione per interagire prevalentemente con gli strati altamente ionizzati. Frequenze più alte come le UHF o superiori interagiscono davvero poco con la ionosfera permettendo quindi le comunicazioni satellitari.

L'immagine sottostante mostra la complessità dietro la previsione della propagazione di un segnale radio. Si vedono i percorsi del segnale radio a 16 MHz irradiato da diverse angolazioni rispetto l'orizzonte, da 5° a 40° di elevazione. Da notare come segnali con la medesima frequenza e potenza possono raggiungere distanze completamente differenti.



Journal of Geophysical Research: Space Physics, 121, 10.1002/2016JA022788

Ma quindi.... Come si propagano i nostri segnali radio nei vari strati della ionosfera?

→ Lo strato D

La ionizzazione di questo strato è tale da presentare una frequenza critica nel range delle onde medie. Inoltre la bassa ionizzazione e l'alta densità, trasformano questo strato in un ottimo "assorbitore" di radiazioni rendendo improbabile la propagazione delle onde medie durante il giorno. Le frequenze più alte non vengono influenzate da questo strato.

→ Lo strato E

Come già detto, siamo in una situazione di transizione tra uno strato molto denso ma poco ionizzato (D) e uno altamente ionizzato ma rarefatto (F).

Questa caratteristica rende lo strato E poco utilizzato in gamma HF ma molto utile per le gamme VHF, specialmente durante la presenza di E sporadico.

→ Lo strato F

Questo è lo stato principe per la propagazione. L'elevata ionizzazione è in grado di rifrangere i segnali radio in maniera ottimale e permette di comunicare a grandi distanze. Poiché è lo stato più esterno e rarefatto, risulta essere molto variabile ed influenzato dalle condizioni del sole.

Per poter prevedere quando è il momento migliore per premere il PTT e tentare il DX, bisogna quindi comprendere quali sono tutti i principali fenomeni generati dall'attività solare che influenzano i vari strati della ionosfera. Ma questo è argomento del prossimo articolo....