

PRECURSORI SISMICI ELETTROMAGNETICI – TEORIA DEL FENOMENO

INTRODUZIONE

La previsione degli eventi sismici è uno degli argomenti più scottanti della storia attuale della geofisica. Gli studi sono molti, ma la difficoltà nel trovare meccanismi e soluzioni applicative valide e ripetitive hanno provocato molti entusiasmi e contemporaneamente molta confusione, fino al punto da ingenerare contrasti tra gli stessi studiosi e a considerare fantascienza le possibili previsioni basate sugli studi dei precursori.

In realtà durante gli anni '60 e '70, in molte nazioni particolarmente sismiche come il Giappone, l'Unione Sovietica, la Grecia, in Cina, ma anche in USA, si sono svolti esperimenti e ricerche in tal senso.

Alcuni risultati concreti ha lasciato sperare che sia possibile generare un algoritmo di calcolo per la prevedibilità, ma le successive indagini hanno cozzato con le notevoli complessità delle varie strutture geofisiche che variano da zona a zona, con meccanismi sismo genetici spesso notevolmente diversi dovuti soprattutto alle diverse caratteristiche delle rocce coinvolte nel fenomeno.

La FESN intende contribuire agli studi che tutt'ora proseguono sull'argomento installando una propria rete di monitoraggio dei precursori sismici elettromagnetici mediante hardware e software auto costruito e dal costo limitato, in modo tale da rendere gli studi facilmente ampliabili a molte altre zone sismiche.

La documentazione necessaria a costruire la propria stazione di monitoraggio è presente nelle pagine e nei links di questo sito ed eventuali ulteriori informazioni possono essere richieste vi a e-mail a posta.fesn@gmail.com.

MECCANISMO GENERATORE DEL FENOMENO

Nella prima fase gli sforzi dovuti al movimento delle zolle si accumulano lungo le zone critiche (faglie) causando la compressione delle rocce interessate. Questa fase dura generalmente diversi anni ed è comunque attualmente monitorata dagli enti ufficiali. Nelle zone maggiormente a rischio, mediante il posizionamento di sensori basati sulla tecnologia GPS in grado di misurare i minimi spostamenti del terreno (vedi rete GPS dell'OGS).

Quando la compressione supera la capacità elastica della roccia, si formano delle microfrazture che causano una deformazione aumentando il volume della roccia stessa (dilatanza). Questa deformazione è stata individuata mediante lo studio della modifica di velocità delle onde sismiche: il rapporto v_p/v_s tra la velocità di propagazione delle onde longitudinali e quella delle onde trasversali diminuisce sino a valori anomalmente bassi e torna normale proprio poco prima del rilascio dell'energia accumulata generando il sisma. La diminuzione di v_p/v_s è dovuta alla dilatanza delle rocce che divengono sottosature d'acqua riducendo fortemente v_p mentre ha poco effetto su v_s .

Lo studio è stato effettuato nel 1969 da due ricercatori russi: I. L. Nersesov e A. N. Semonova. Le microfrazture si dispongono in genere parallelamente all'asse di massima compressione. La dilatanza avviene in media, con uno sforzo che corrisponde a circa la metà di quello necessario a generare la frattura conseguente all'evento sismico.

L'acqua presente nella vicina falda proprio a causa della dilatanza, tende a penetrare all'interno della roccia fratturata tendendo a saturare la roccia, tuttavia il tempo necessario all'acqua per saturare la roccia è piuttosto lungo e il processo che genera nuove microfrazture è più veloce di quello che ne permette la saturazione. L'interazione continua tra i due processi rende le rocce sottosature.

L'acqua riesce infine a saturare la roccia e a questo punto gli sforzi di compressione sono tali che la roccia microfrazturata satura, non è più in grado di sostenerli in quanto l'acqua presente all'interno degli interstizi, essendo quasi incompressibile, riduce la capacità elastica della roccia.

E' a questo punto che inizia e si propaga la frattura che genera l'evento sismico.

La dilatanza quindi tende a ritardare il manifestarsi del terremoto aumentando l'elasticità della roccia, mentre l'acqua nel momento in cui riesce a saturare le rocce, ripristina la trasmissione integrale della compressione, riducendo il tempo necessario al raggiungimento della forza di rottura e quindi dell'evento sismico.

Durante il fenomeno della dilatanza, che può durare da alcune ore a diversi giorni, si possono modificare

alcuni parametri fisici misurabili, come la resistività elettrica, l'altezza della falda, l'emissione di gas radon o di gas idrogeno, possono verificarsi anche sciami microsismici.

Studi nel campo delle bande ULF (tra 0.1 e 10 Hz), ELF e VLF (tra 10 Hz e 30 kHz) sono attualmente in corso negli USA, ma non si ha notizia di rilevamenti correlabili ai terremoti, anche se nel campo delle ULF si sono riscontrate delle anomalie che potrebbero essere considerate precursori.

La rilevazione di modifiche dell'ampiezza del rumore di fondo rilevabile mediante semplici apparati radio ha stimolato studi specifici in questo campo.

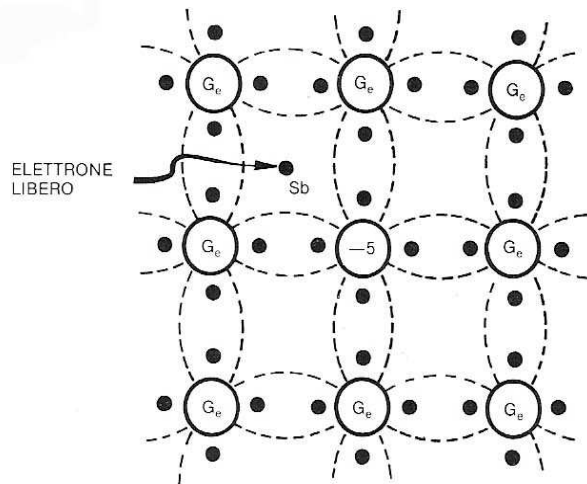
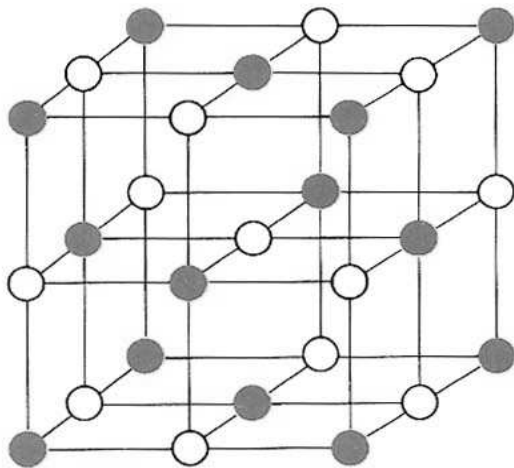
Alcune evidenze, segnalate anche da radioamatori durante i giorni antecedenti le forti scosse dell'Umbria, hanno spinto il prof. Ezio Roberto Mognaschi dell'Università di Pavia, Dipartimento di Fisica "A. Volta", radioamatore con nominativo IW2G00, recentemente scomparso, a effettuare studi specifici e a ipotizzare un meccanismo fisico per la produzione di onde elettromagnetiche da parte delle rocce cristalline, nonché a verificare in laboratorio la veridicità dell'ipotesi avanzata.

Affinché si possa verificare l'emissione elettromagnetica, delle rocce è indispensabile che queste siano di tipo cristallino.

A tal proposito va ricordato che in Friuli, pur mancando, o essendo presenti in misura molto limitata, graniti o rocce di origine vulcanica, oltre al basamento posto in profondità, sono presenti diverse rocce a carattere cristallino (marmi) derivanti dalla parziale fusione del calcare.

L'ipotesi del prof. Mognaschi comprende il seguente meccanismo:

- Qualche tempo (da alcune ore a qualche giorno) prima del sisma distruttivo, il fenomeno della dilatazione aumenta in modo esponenziale, causando microfrazture che si propagano in modo ramificato all'interno del materiale cristallino.



La rottura dei legami cristallini, se il materiale non è un buon conduttore (come la roccia appunto), produce intensi campi elettrici. Questi infatti vengono generati dal disequilibrio provocato dalla rottura delle strutture molecolari cristalline con conseguente formazione di ioni di segno opposto che vengono a trovarsi l'uno di fronte all'altro a piccola distanza. Questa condizione, genera dei piccoli dipoli elettrici che rimangono in vita durante il periodo di rilassamento della roccia a seguito della frattura. Il tempo di vita dei dipoli elettrici è molto limitato, dell'ordine di 10^{-4} secondi e dipende dalla resistività della roccia e dalla sua costante dielettrica, tuttavia, pur essendo un tempo brevissimo, è sufficiente a far generare dai dipoli un campo elettromagnetico.

Gli atomi posizionati su un lato della roccia microfratturata, essendo sottoposti alle forze elettromagnetiche di richiamo di quelli posti sulla faccia opposta, causano un'oscillazione dei dipoli elettrici che a loro volta generano onde elettromagnetiche. Tuttavia i dipoli sono troppo piccoli rispetto alla lunghezza d'onda emessa per poter essere efficienti, inoltre gli strati di roccia tra l'ipocentro e la superficie schermano parzialmente i segnali, quindi il rumore irradiato si limita ad essere rilevabile solo nelle zone circostanti l'epicentro.

Per una roccia con resistività dell'ordine di 10^6 Ohm per metro e costante dielettrica relativa $E_r \sim 10$ risulta $T = P E_r E_0 \sim 10^{-4}$ s, un intervallo di tempo breve, ma sufficiente per permettere la generazione di onde elettromagnetiche.

Le verifiche effettuate dal prof. Mognaschi partono da alcune informazioni ottenute da un altro radioamatore: Marco Eleuteri di Todi (PG) il quale ha osservato variazioni insolite del QRM (rumore elettromagnetico di fondo) osservato prima del sisma del 12 maggio 1997.

Analizzando le frequenze del rumore di fondo registrato prima del sisma si è verificato che queste risultano allineate su di una retta di equazione

$$\log f = \log f_0 - k (t - t_0)$$

ove

t_0 rappresenta il tempo (misurato in ore) al quale viene osservato il sisma,

f_0 la frequenza limite del QRM al momento del sisma

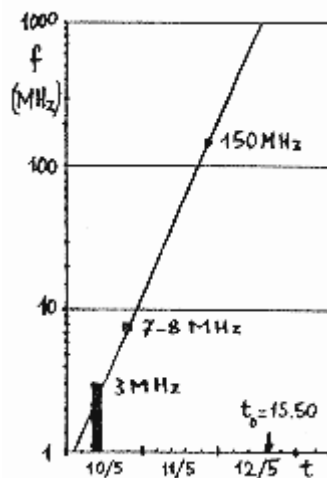
k una costante che, per i dati in esame, vale $5.5 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$

Passando dai logaritmi decimali a quelli naturali e, da questi, ai numeri si ottiene:

$$f = f_0 \exp - \beta (t - t_0)$$

ove

$$\beta = k/0.4343 = 0.13 \text{ h}^{-1}.$$



La frequenza massima del rumore di fondo prima del sisma a cui è giunto il prof. Mognaschi seguendo le sue intuizioni e i suoi calcoli, raggiunge il limite dei 1700 MHz

A questa frequenza l'effetto condensatore delle rocce costituite da materiale dielettrico filtra la maggior parte della potenza irradiata limitando moltissimo la possibilità di registrare tali segnali in lontananza rispetto al punto epicentrale e questo è la probabile spiegazione del fatto che tale rumore di fondo (QRM) non sia stato segnalato da altri radioamatori posti a distanza di alcuni chilometri dalla zona del sisma.

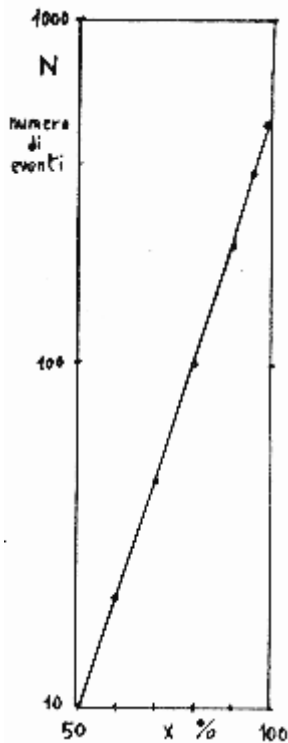
La frequenza degli eventi di microfrattura in funzione dello sforzo è risultata crescente con legge esponenziale, proprio come per la frequenza del QRM elettromagnetico.

Indicando con N il numero di eventi di microfrattura rilevati in corrispondenza di uno sforzo x che rappresenta il valore percentuale rispetto allo sforzo alla rottura, si ha:

$$N = N_0 \exp h(x 100)$$

ove

$$N_0 = 500 \text{ ed } h = 0.08.$$



Le verifiche effettuate in laboratorio dal prof. Mognaschi, non hanno fatto altro che confermare il fenomeno. Un campione di roccia sottoposto a notevole pressione con l'utilizzo di una pressa fino a causarne delle microfatture molto simili a quelle che si producono in natura, ha effettivamente emesso energia elettromagnetica sotto forma di onde radio che è stato possibile rilevare con l'ausilio di un'antenna in ferrite e un ricevitore posizionato in ascolto sulla banda dei 500 kHz.

Ulteriori approfondimenti circa la ricerca del prof. Mognaschi, sono reperibili sul seguente sito:

<http://www.anisn.it/geologia2000/index.html>

dal quale sono state estrapolate le informazioni utili e le immagini necessarie alla compilazione di quanto sopra.

Tutto ciò conferma la possibilità di poter utilizzare una rete di ricevitori quale dispositivo più opportuno per il monitoraggio dei precursori elettromagnetici.

Tuttavia alcuni dubbi sull'effettiva validità del metodo possono essere avanzati sui seguenti punti:

- L'antenna proposta può non avere la sensibilità necessaria date le sue dimensioni ridotte rispetto alla lunghezza d'onda estremamente lunga delle emissioni considerate.
- I disturbi rilevabili possono essere confusi da altri tipi di sorgenti sia antropiche (di origine umana) sia di origine naturale (attività solare).
- Il dispositivo ricevitore utilizzato potrebbe non avere le caratteristiche minime necessarie (il ricevitore usato nel progetto è a banda larga in modo tale da ricevere contemporaneamente il rumore di fondo che si dovrebbe sviluppare appunto con larghezza di banda estesa).
- L'effettiva completezza e funzionalità del software utilizzato.

L'ipotesi di sperimentazione su cui si basa la rete proposta dalla ARI-FESN, tuttavia si basa sul concetto di qualità-prezzo, il quale deve necessariamente essere a portata di amatori in modo tale da poter essere facilmente duplicato ed esteso.

La possibilità di affiancare la rete di monitoraggio dei precursori elettromagnetici ad una rete di monitoraggio sismica come quella della FESN, offre la possibilità di verificare in tempo reale ogni segnale ricevuto, inoltre la possibilità di eliminare alla fonte i rumori antropici eliminando segnali ricevuti solo localmente e verificando la forma d'onda dei segnali precursori ricevuti possono risolvere alcuni dubbi. Quelli rimanenti saranno verificabili ed eventualmente solubili successivamente alle verifiche che sarà possibile effettuare sul campo.

Un ulteriore motivo di ritenere valido l'approccio in questione è quello dato dall'articolo apparso sul mensile l'Astronomia di Giugno 2007, nel quale è citato un esperimento Italo-Russo che sfruttando un satellite artificiale sarà in grado di monitorare il cambiamento di polarizzazione delle fasce di Val Halen dovuto proprio alle emissioni terrestri a bassa frequenza precursori degli eventi sismici.

Sulle caratteristiche di propagazione delle onde VLF e quindi alla possibilità di riceverle a distanza, seguono alcune considerazioni.

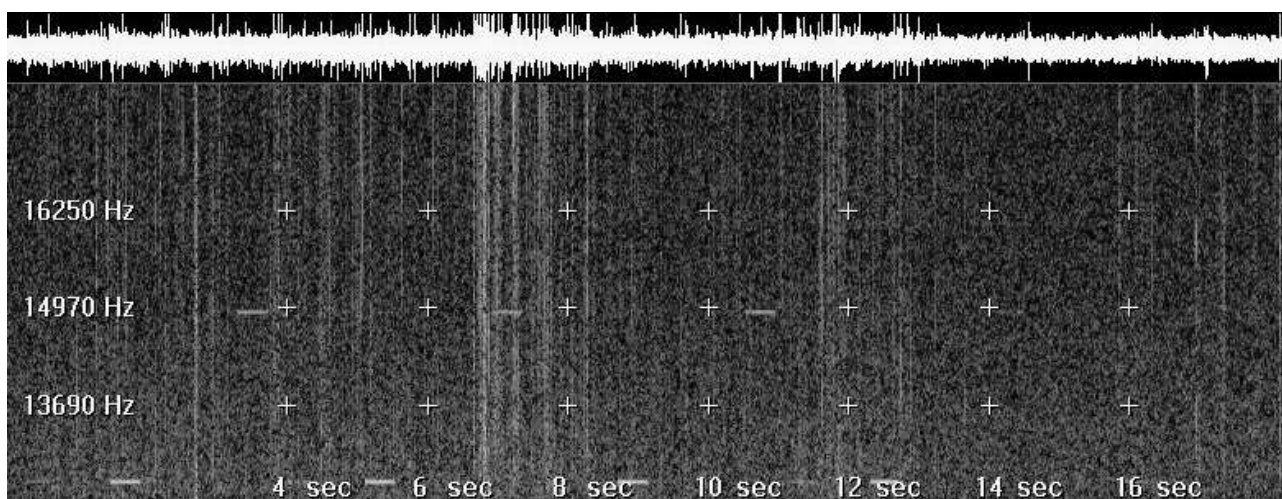
CONSIDERAZIONI SUL MECCANISMO ELETROMAGNETICO DEL FENOMENO

I precursori sismici elettromagnetici sono dei fenomeni che si esplicano all'interno dello spettro radio, il quale è una gamma molto estesa di frequenze elettromagnetiche all'interno della quale si pongono la maggior parte dei sistemi di comunicazione utilizzati dall'uomo.

Le interferenze ricevute proprio nell'ambito delle comunicazioni terrestri ha spinto i ricercatori a effettuare studi sul campo e grazie a questi studi è stato possibile appurare che esistono alcune finestre di frequenza ben definite che il pianeta utilizza per lanciare dei segnali che ancora non sono del tutto compresi. La gamma di frequenze radio in cui si trovano anche i fenomeni caratterizzati dai precursori sismici è quella denominata ELF-VLF (extremely low frequency – very low frequency). Si tratta, in dettaglio della gamma di radiofrequenze che parte da 0,1 Hz e va fino a 100 kHz.

All'interno di questa banda di frequenze vi sono dei sistemi di comunicazione utilizzati dalle organizzazioni militari per trasmettere informazioni ai sottomarini in immersione, nell'ambito di missioni polari o da altri utilizzatori particolari che collocandosi al di sotto del mare o addirittura all'interno di grotte o gallerie, sfruttano la particolarità di queste frequenze di essere in grado di attraversare strati anche notevoli di roccia o d'acqua senza perdere in modo significativo la qualità del segnale e quindi la capacità di informazione contenuta.

Nell'immagine che segue sono rappresentati dei segnali (le linee più chiare verticali) che sono crepitii e altri segnali di origine naturale nonché due stazioni Alpha (le linee tratteggiate orizzontali).



Tuttavia la dispersione di questo genere di emissioni è molto elevato, inoltre la necessità di realizzare antenne di dimensioni estremamente grandi rende queste tecniche di trasmissione particolarmente costose e quindi utilizzabili solo da pochi.

CENNI DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Le onde elettromagnetiche sono in grado di viaggiare nello spazio in condizione di assoluta mancanza di materia. Sono altresì in grado di viaggiare all'interno di alcuni materiali o sostanze come l'aria. Attraversando sostanze diverse però, cambiano alcuni parametri del loro viaggio e avvengono alcuni fenomeni di rilievo. Ad esempio la velocità di propagazione cambia in funzione del mezzo che attraversano e quando il mezzo cambia, e le onde sono costrette a passare per esempio da un'aria relativamente secca ad una nuvola, quindi con una concentrazione di vapore d'acqua molto maggiore, cambiano la direzione di propagazione (effetto di rifrazione) in modo molto simile alla luce (composta anch'essa da onde elettromagnetiche di frequenza molto elevata).

La capacità di rallentamento, connesso quindi alla capacità di deviazione elettromagnetica delle diverse sostanze viene definita matematicamente come *indice di rifrazione*.

In dettaglio il vuoto ha indice di rifrazione pari a 1, l'aria ha indice pari a circa 1,0003.

Inoltre la diversa temperatura o la diversa concentrazione di sostanze può variare l'indice di rifrazione.

Indicando con n l'indice di rifrazione lo stesso è espresso dalla seguente espressione:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}; \quad \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad ; \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \cdot \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}$$

dove:

v = velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche;

ϵ = costante dielettrica;

μ = permeabilità magnetica nel mezzo;

v_0 = velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto;

ϵ_0 = costante dielettrica nel vuoto;

μ_0 = permeabilità magnetica nel vuoto;

L'espressione sopra indicata mostra che l'indice di rifrazione n è proporzionale alla radice quadrata dei valori di permeabilità magnetica e costante dielettrica.

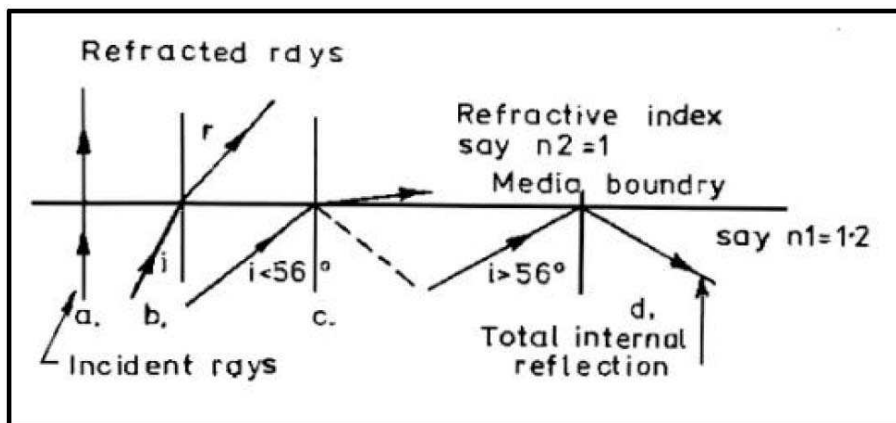
I valori dell'angolo di incidenza di un'onda elettromagnetica che raggiunge una piano di discontinuità tra due materiali diversi (es. aria acqua) e quello di rifrazione è espresso da una legge detta **Legge di Snell**

$$\frac{\sin(\vartheta_i)}{\sin(\vartheta_r)} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

dove:

ϑ_i = angolo di incidenza;
 ϑ_r = angolo di rifrazione;

Quanto sopra espresso matematicamente si può visualizzare così come segue:



Dall'immagine si può vedere che esiste un angolo particolare in cui l'onda rifratta prosegue parallelamente alla superficie del piano di discontinuità dei materiali.

Questo avviene quando:

$$\sin(\vartheta_r) = 1, \text{ cioè } \vartheta = \pi/2$$

perciò quando

$$\sin(\vartheta_i) = n_{21}$$

In tutti gli altri casi, ovvero quando il fronte d'onda ha un angolo di rifrazione più basso rispetto al piano di discontinuità, allora il segnale sarà riflesso, invece quando viene superato l'angolo critico il segnale sarà rifratto.

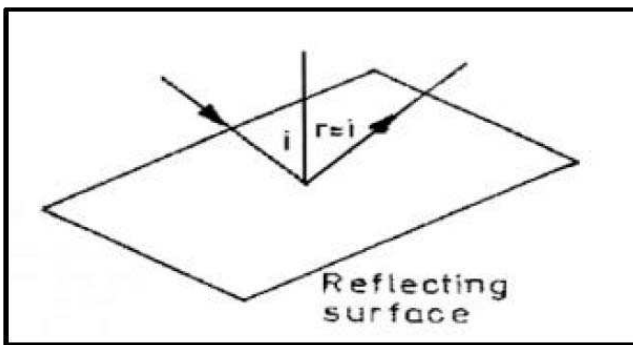
Il particolare angolo in cui si verifica la condizione di rifrazione parallela al piano di discontinuità è detta angolo limite e il simbolo è il seguente:

ϑ_c

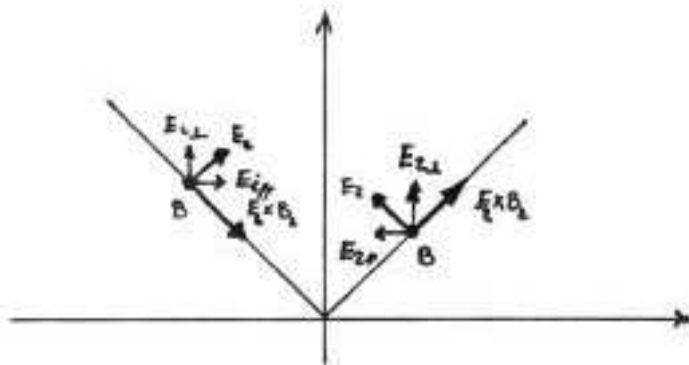
Questa condizione di prosecuzione del segnale parallela al piano di discontinuità viene detta **riflessione totale**

La riflessione avviene, similmente ad uno specchio, quando un raggio di luce ovvero un'onda elettromagnetica, raggiunge la superficie riflettente con un determinato angolo e viene riflessa con lo stesso angolo di incidenza rispetto alla perpendicolare al piano.

Questo avviene solo in condizioni teoriche in quanto qualsiasi tipo di piano ottenibile possiede delle irregolarità che comportano delle diffusioni del segnale che prendono il nome di **diffrazione** la diffrazione, comunque, avviene in modo minore o maggiore in funzione della dimensione delle irregolarità e della lunghezza d'onda. In pratica minore è la lunghezza d'onda del segnale, maggiore è la diffrazione, ovvero più la lunghezza d'onda si avvicina alla dimensione delle irregolarità, maggiore è il fenomeno della diffrazione.



Dal punto di vista elettromagnetico esistono due tipi principali di riflessione: quello che avviene in corrispondenza di una superficie metallica (riflessione totale) e quello che avviene in corrispondenza di una superficie dielettrica. Le superfici metalliche riflettenti, opportunamente piane, sono usate nelle antenne paraboliche o in particolari tipi di ripetitori di segnale detti passivi, in grado di riflettere la quasi totalità del segnale che li raggiunge (una parte minima del segnale viene comunque dissipata sotto forma di calore) come indicato in figura.



Le superfici riflettenti dielettriche, cioè formate da materiale non conduttore, possono anch'esse riflettere il segnale radio, ma sono molto più soggette a dispersione a causa della superficie, che in natura, non risulta quasi mai sufficientemente piana. L'acqua del mare, le nubi, la terra stessa, sono materiali dielettrici riflettenti, la capacità di riflessione dei segnali è però inficiata dalle loro increspature tipiche. In determinate condizioni è perfino possibile che la riflessione avvenga internamente e in quantità totale.

Esiste un'ulteriore caratteristica delle onde elettromagnetiche, indicata con il nome di **diffrazione** che consiste nella proprietà delle onde di irradiarsi in tutte le direzioni una volta che il fascio incontra un ostacolo molto piccolo, ovvero di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda.

Un caso tipico è quello del fascio di onde costretto ad attraversare un foro molto piccolo. Anche se il fascio è costituito da onde a percorsi paralleli, una volta attraversato il foro, il fascio perde le sue caratteristiche di omogeneità di direzione e si diffonde in tutte le direzioni perdendo perciò coerenza.

Questo fenomeno è sfruttato dai trasmettitori perché permette di fare in modo che il fascio di onde elettromagnetiche sia in grado di superare determinati tipi di ostacoli come una collina o la curvatura della terra.

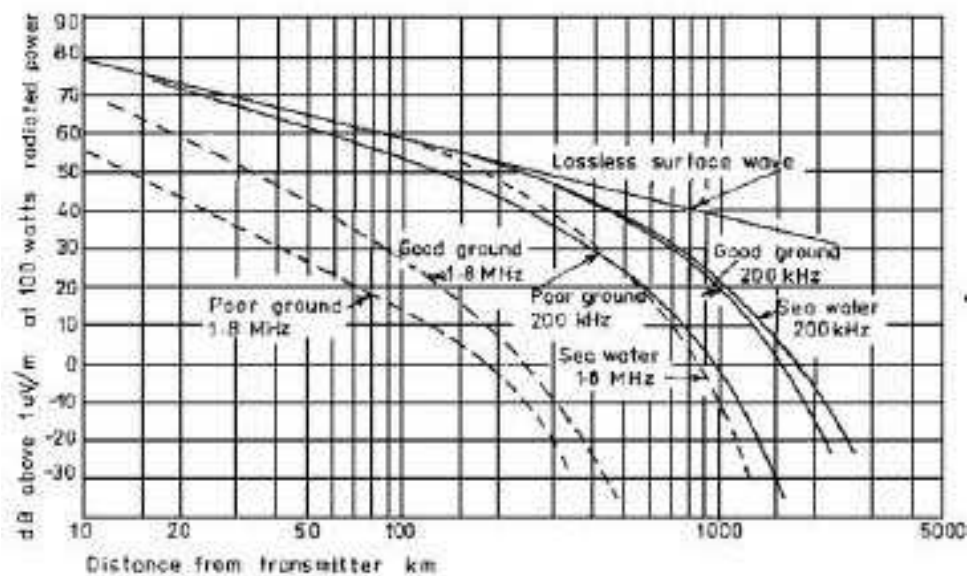
Un ultimo fenomeno rilevante nella propagazione delle onde è quello dello **scattering**, sfruttato anche dai radioamatori per determinati collegamenti altrimenti impossibili, è conseguenza di caratteristiche del terreno, molecole, polveri meteoritiche, che interagiscono con l'onda elettromagnetica muovendosi con essa e generando a loro volta un campo elettromagnetico.

La propagazione delle onde radio avviene con tutti i modelli sopra descritti e viene suddiviso in diversi tipi di onda:

onda diretta: avviene quando trasmettente e ricevente sono in portata ottica e pertanto il segnale parte dal trasmettitore e raggiunge il ricevitore seguendo una linea retta e attraversando un solo strato di materiale dielettrico. In realtà il segnale ha una tendenza naturale a incurvarsi seguendo la curvatura terrestre in quanto l'indice di rifrazione cambia in funzione dell'altezza, modificandosi i valori di umidità, pressione e temperatura. La tendenza del segnale a curvarsi seguendo la superficie terrestre ha portato a sfruttare questa caratteristica nell'ambito delle trasmissioni al di sopra dei 30 MHz.

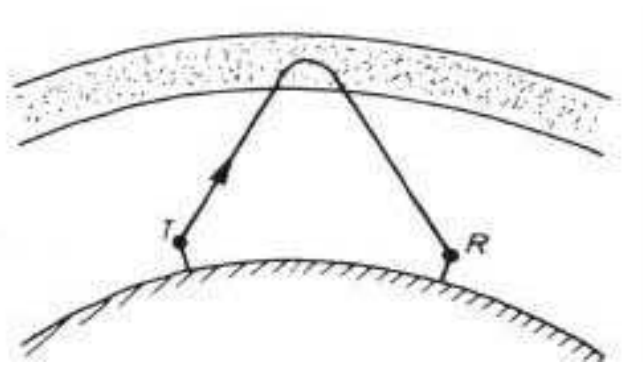
onda riflessa: avviene quando la superficie del suolo o di altre superfici verticali o sub-verticali riescono a riflettere la maggior parte del segnale permettendo al fascio di onde di effettuare dei lunghi tragitti rimbalzando sugli ostacoli naturali e permettendo di raggiungere il ricevitore anche quando lo stesso non è visibile;

onda superficiale: è l'onda che si propaga seguendo la superficie del suolo. La capacità di raggiungere il ricevitore da parte di questo tipo di onde è limitata dalla limitata conducibilità del suolo, dall'altezza delle antenne, dalla permittività ϵ del terreno, dalla morfologia del territorio attraversato dal fascio d'onde e dalla rifrazione della parte bassa dell'atmosfera.

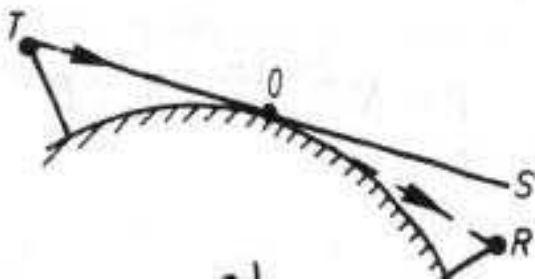


Questo tipo di propagazione avviene preferenzialmente nell'ambito della gamma VLF (da 3 a 30 kHz). Per frequenze via via superiori, l'attenuazione aumenta rendendo non proponibile questo sistema per le radiocomunicazioni.

onda ionosferica: si tratta della capacità dell'atmosfera di produrre degli strati di particelle ionizzate, grazie all'attività solare, che comportano la formazione di strati di discontinuità che riescono a riflettere il segnale radio che si propaga lungo un determinato angolo (minore è l'angolo incidente, maggiore è la riflessione). Questo fenomeno, dipendente in larga parte dal ciclo undecennale di attività solare e valutato in funzione del numero di macchie solari rilevate, consente collegamenti su lunghezze molto elevate, in condizioni particolari anche fino agli antipodi, nella gamma delle onde corte (da 3 a 30 MHz).

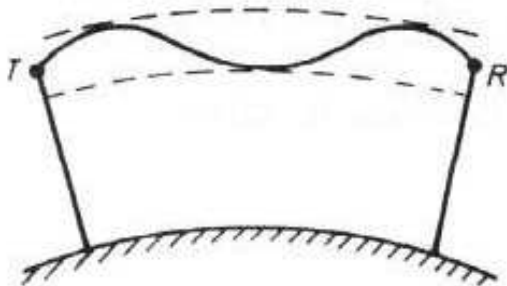


onda diffratta: come spiegato più sopra, questo tipo di propagazione sfrutta la capacità delle onde propagantesi in linea retta, di essere diffratte dalla linea dell'orizzonte e di raggiungere il ricevitore posizionato oltre le condizioni di visibilità dovuta alla curvatura terrestre.



scattering: lo scattering, come sopra descritto, sfrutta zone riflettenti o diffrangenti dell'atmosfera dovute a strati di polveri o molecole ionizzate. Questa particolare condizione è sfruttata per l'effettuazione di collegamenti su frequenze più elevate delle onde corte > 30 MHz. Una delle peculiarità di questo tipo di collegamenti è comunque quella della sua variabilità temporale. Gli strati ionizzati necessari spesso sono molto instabili dipendendo, per esempio, dal passaggio di sciami meteoritici che durano anche solo pochi secondi.

strato troposferico: la troposfera, strato dell'atmosfera nel quale avvengono tutti i fenomeni meteorologici, può formare, in condizioni di stabilità meteo, quindi con alta pressione, degli strati di aria umida all'interno dei quali l'indice di rifrazione varia permettendo al segnale elettromagnetico di viaggiare all'interno degli strati quasi come fossero delle guide d'onda. Il fenomeno è particolarmente rilevante per l'effettuazione di collegamenti in banda VHF (da 30 a 300 MHz), tuttavia le variabili che concorrono alla formazione e al mantenimento del fenomeno sono molteplici: temperatura, umidità, pressione, frequenza utilizzata, posizione del ricevitore).

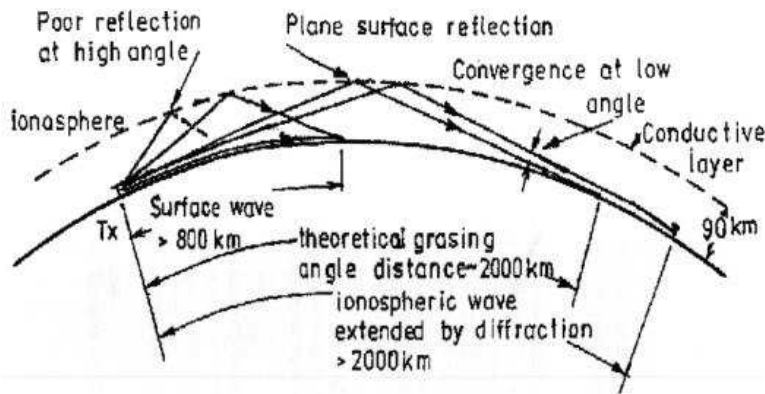


La propagazione delle onde radio nel campo delle VLF (da 3 a 30 kHz), avviene grazie a tutti i tipi di onde descritte nei paragrafi precedenti, tuttavia alcune di queste non concorrono alla ricezione di questi segnali: le onde riflesse e quelle dirette si annullano per la maggior parte in quanto la differenza di lunghezza dei

loro cammini comporta uno sfasamento dell'onda di 180° pertanto la sovrapposizione dei segnali porta a zero la risultante.

L'onda di superficie, invece è in grado di percorrere un numero elevato di chilometri (fino a 1000), praticamente senza perdere energia.

Distanze maggiori possono essere raggiunte grazie alle onde diffratte e alle riflessioni ionosferiche.



La ionosfera è quella parte dell'atmosfera terrestre che grazie alla limitata concentrazione di gas interagisce facilmente con i raggi cosmici, quelli ultravioletti e altri tipi di radiazione prodotte dal sole.

La ionosfera si compone a sua volta di diversi strati caratterizzati dalle loro diverse caratteristiche di ionizzazione ed è in grado di comportarsi diversamente con le varie frequenze elettromagnetiche che la raggiungono producendo effetti sia positivi che negativi nell'ambito delle radiocomunicazioni terrestri. L'interazione della ionosfera con l'attività solare, può a sua volta produrre segnali radio di difficile interpretazione e spesso con origini non del tutto comprese su diverse gamme di frequenza comprese quelle in banda VLF.

Le cariche libere che compongono la ionosfera modificano la sua costante dielettrica ϵ seguendo l'espressione sotto indicata.

$$\epsilon_e = \epsilon_0 \cdot \left(1 - \frac{81 \cdot N}{f^2} \right)$$

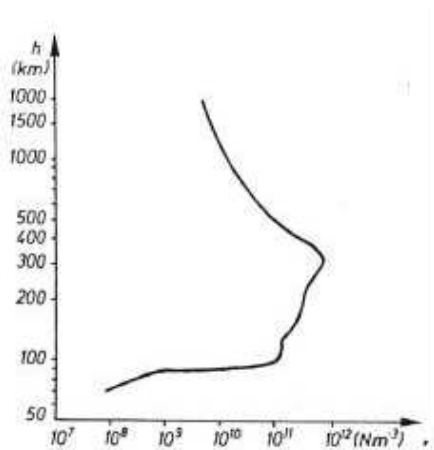
Dove:

ϵ_e = costante dielettrica apparente dello strato ionizzato;

ϵ_0 = costante dielettrica tipica dell'aria;

N = numero di elettroni liberi per m^3 ;

f = frequenza in Hz;



Il fenomeno quindi è inversamente proporzionale alla frequenza in quanto la velocità quadratica media dell'elettrone cresce al diminuire della frequenza.

Da ciò si desume che gli strati ionosferici debbono essere considerati come dielettrici (non conduttori).

Un'onda che raggiunge uno strato ionosferico proveniente da terra subisce una curvatura, a seconda della frequenza e della concentrazione di elettroni presenti all'interno dello strato ionizzato. La curvatura indotta può costringere l'onda a incurvarsi verso terra oppure a oltrepassare lo strato e disperdersi nello spazio.

La *frequenza critica* è quella al di sotto della quale le radioonde rifratte vengono respinte verso il suolo ed è fornita dalla seguente formula:

$$f_c = 9 \cdot \sqrt{N}$$

dove:

f_c = frequenza critica massima per ottenere la rifrazione verso il basso;

N = numero di elettroni libero per m^3 ;

Nella ionosfera le radioonde perdono un po' di energia dovuta alle collisioni degli elettroni con le molecole. La perdita è un funzione della frequenza di collisione ed è minore negli strati alti della ionosfera in quanto la pressione atmosferica è minore, mentre aumenta negli strati bassi a causa della più elevata concentrazione di materia.

Nell'interfaccia tra la ionosfera e la troposfera, si può formare uno strato sottile in cui le collisioni sono massime generando perdite di energia delle onde radio molto elevate. Questo strato, che diversamente dalla ionosfera che presenta caratteristiche di materiale dielettrico (non conduttore) viene chiamato *strato di conduzione*, è presente a diverse altezze ed è frutto dell'attività solare. Di giorno ha maggiore spessore e si colloca in media a circa 70 km di quota, di notte, quando l'effetto di ionizzazione solare è minore, lo strato si assottiglia e si porta ad una quota superiore: circa a 90 km. Si può paragonare lo strato di conduzione ad un film con caratteristiche di resistività posizionato nel punto più basso della ionosfera.

Come già intuibile dalla formula di cui sopra, le perdite aumentano con il diminuire della frequenza delle onde radio. Infatti, mano a mano che la frequenza aumenta, le vibrazioni degli elettroni sono più contenute e pertanto è più difficile che incontrino nel loro oscillare altre particelle con cui collidere.

Lo strato di conduzione è particolarmente dissipativo per le onde VLF, mentre per le onde di più bassa frequenza, la perdita di energia è minore in quanto la curvatura cui sono sottoposte non permette loro di raggiungere gli strati elevati della ionosfera.

La possibilità che le onde LF (low frequency) siano riflesse verso il suolo dipende pertanto dallo stato degli strati della ionosfera, e quindi varia in funzione dell'ora del giorno e della notte, ma anche del periodo dell'anno.

Il coefficiente di riflessione per le onde LF è dato dalla seguente formula:

$$f_c = 9 \cdot \sqrt{N}$$

dove:

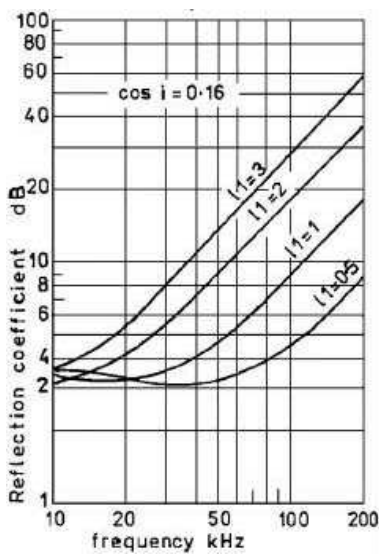
$20 \log_{10} |R|$ è il coefficiente di riflessione espresso in dB;

f è la frequenza espressa in Hz;

i è l'angolo di incidenza con la ionosfera ed è espresso in gradi (°);

h_1 è la quota ed è espressa in km;

Nella tabella che segue si può desumere il comportamento delle onde radio in funzione della frequenza e in termini di riflettenza:



Per concludere si può affermare che la riflessione migliore avviene per la gamma di frequenze tra i 10 e i 30 kHz. Inoltre la riflessione diminuisce all'aumentare dell'angolo di incidenza con lo strato ionosferico e di notte la riflessione è maggiore in quanto lo strato di conduzione (dissipativo) si forma a quote più elevate.

Informazioni più dettagliate si possono trovare al seguente sito:

http://www.itacomm.net/PH/27_Romero&Monari_it.pdf.

Dal quale sono state ricavate informazioni e immagini utili alla compilazione di quanto sopra.

BIBLIOGRAFIA E ALTRI RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- I. L. Nersesov e A. N. Semonova in Physical Basis of Foreshocks, Nauka, Mosca, (1969)
P. Varotsos e K. Alexopoulos, Tectonophysics, 110, 73 (1984)
J. W. Warwick, C. Stoker e T. R. Meyer, J. Geophys. Res., 87, 2851 (1982)
A. C. Fraser-Smith et al., Geophys Res. Lett., 17, 1465 (1990)
J. Y. Dea, P. M. Hansen e W.-M. Boerner, Phys. Earth Planetary Interiors, 77, 109 (1993)
F. Bella et al., comunicazione alla XXI General Assembly della IUGG, Boulder, (1995)
F. Bella et al. in Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, (1994)
E. Mognaschi, Radioonde, 8, 2 (1997)
E. Mognaschi, Radiorama, 12/97, pag. 34
C. H. Scholz, J. Geophys. Res., 73, 1417 (1968)
L'Astronomia n. 287 pag. 35 - Luglio (2007)
Nerio Neri - Radiotecnica per Radioamatori

LINKS

- <http://www.vlf.it/mognaschi/TERREM3.html>
<http://theo.inrne.bas.bg/~mavrodi/>
<http://www.vlf.com>
<http://www.earthquakeprediction.gr>
<http://www.anisn.it/geologia2000/index.html>
http://www.itacomm.net/PH/27_Romero&Monari_it.pdf