

RUMORI ELETTROMAGNETICI

DI ORIGINE NATURALE E ANTROPICA

Cesidio Bianchi e Antonio Meloni

L'ambiente terrestre è continuamente esposto a radiazioni elettromagnetiche che determinano un rumore elettromagnetico di fondo. Per quanto concerne le onde elettromagnetiche nella banda "Non Ionizing Radiation" (NIR), che comprendono le frequenze fino a 300 GHz, il rumore elettromagnetico di fondo può avere sia una origine naturale che artificiale. Nel primo caso le radiazioni elettromagnetiche hanno generalmente una origine atmosferica o cosmica, mentre nel secondo caso sono originate dalle tecnologie umane utilizzate per la distribuzione di energia elettrica e per le comunicazioni. In questo saggio viene riportata una breve descrizione riguardante la fenomenologia del rumore elettromagnetico di origine naturale e di origine artificiale nella banda del NIR.

Il rumore elettromagnetico naturale mostra una ampia varietà di sorgenti che coinvolgono diversi fenomeni fisici e che coprono un ampio campo di frequenze con varie caratteristiche di propagazione ed un' ampia escursione dei livelli di energia.

A causa dell'espansione delle tecnologie oggi giorno il rumore elettromagnetico di origine artificiale, in alcuni ambiti, ha superato il rumore di origine naturale (presenti sulla Terra). Questa circostanza ha portato alcuni a considerare le possibili conseguenze negative sulla vita umana e sul sistema vivente in generale e indagini unite a un quadro sinottico più dettagliato, risultano necessarie per capire il livello di energia nelle diverse bande di frequenza e la loro influenza sulla vita in generale.

INTRODUZIONE

Le sorgenti del rumore elettromagnetico di origine naturale esistono sin dalle origini dell'universo e, pertanto, dall'origine la vita sulla Terra si è sviluppata ed evoluta in un "mare" di rumore elettromagnetico. Il rumore elettromagnetico naturale, per esempio, è stato sempre presente e forse, in piccola parte, ha influenzato l'evoluzione dei sistemi viventi. Capire come il rumore elettromagnetico di fondo si genera e si propaga e come interagisce con il sistema vivente può contribuire ad una maggiore conoscenza sui segreti della vita sulla terra.

Nel presente lavoro prendiamo in considerazione le diverse bande di frequenza, iniziando dalle più basse frequenze che le cavità ionosferica e magnetosferica possono sostenere, fino al rumore elettromagnetico di origine galattica ed artificiale nella banda delle microonde. A seconda della frequenza, il rumore naturale all'interno della cavità magnetosferica nasce da fenomeni di interazione onda particella che si esercitano ai vari livelli nella magnetosfera. All'interno della cavità ionosferica il rumore atmosferico viene originato dall'emissione di scariche elettriche naturali che producono diversi ed interessanti fenomeni di propagazione.

Le tecnologie umane, che sono state realizzate per la distribuzione dell'energia e per le comunicazioni, sono le cause non naturali che danno il maggior contributo al rumore elettromagnetico artificiale. Altre cause del rumore artificiale sono i sistemi d'accensione degli autoveicoli, i processi termici industriali e gli strumenti per le applicazioni medicali e scientifiche. Il rumore elettromagnetico è distribuito, anche se non in modo uniforme, in tutte le bande di frequenza. Nella banda VLF-HF il rumore atmosferico è maggiore del rumore artificiale nell'ordine di qualche decina di dB nelle aree rurali ed è comparabile al rumore artificiale anche nelle aree industrializzate. A più alte frequenze il rumore elettromagnetico originato nell'atmosfera diviene meno importante ed il rumore

cosmico è prevalente fino alla lunghezza d'onda millimetrica. In generale il rumore artificiale si concentra in particolari frequenze in corrispondenza delle frequenze di utilizzo dei dispositivi tecnologici.

Entrambi, sia il rumore artificiale che quello naturale, possono influenzare in diversi modi i sistemi viventi. L'esposizione del sistema biologico al campo elettromagnetico induce le correnti elettriche e le cariche superficiali e del campo all'interfaccia dei mezzi elettricamente differenti e, con l'aumento delle frequenza, gli effetti termici sono molto più evidenti. A livello fisico-matematico questo comportamento viene descritto dalle equazioni di Maxwell. Pertanto, se le proprietà elettriche dei sistemi biologici esposti sono conosciute, è possibile stabilire come essi interagiscono coi campi elettromagnetici. Un sistema biologico è praticamente trasparente al campo magnetico statico, la vita sulla Terra si è sviluppata in un ambiente dove è presente un campo magnetico naturale che va dai 20 ai 70 μT . Campi magnetici variabili nel tempo interagiscono con i sistemi viventi in funzione della lunghezza d'onda e delle dimensioni fisiche del sistema considerato. Campi elettrici statici o lentamente variabili nel tempo, all'interno del sistema biologico riducono la loro intensità di diversi ordini di grandezza. Le membrane cellulari hanno un ruolo chiave nel proteggere i sistemi biologici esposti agli ampi campi elettrici, da quello statico fino alla banda ELF. Le onde elettromagnetiche a più alta frequenza interagiscono con le molecole dell'acqua polare che generalmente costituisce una ampia frazione dei sistemi viventi. Le membrane cellulari conferiscono ai sistemi biologici peculiari proprietà elettriche specialmente alle più basse frequenze. Aumentando la frequenza decresce la permittività dielettrica ed il campo elettrico interno è paragonabile al campo esterno. A frequenze più elevate prevalgono soprattutto gli effetti termici. La caratterizzazione delle onde radio di origine naturale ed artificiale ci permette di stabilire anche come hanno interagito i sistemi biologici con i campi elettromagnetici. Attualmente è importante la caratterizzazione del rumore di origine artificiale per

comprendere come la vita può essere influenzata da questi nuovi contributi che ormai, in certi ambiti, superano il rumore di origine naturale nell'ambiente.

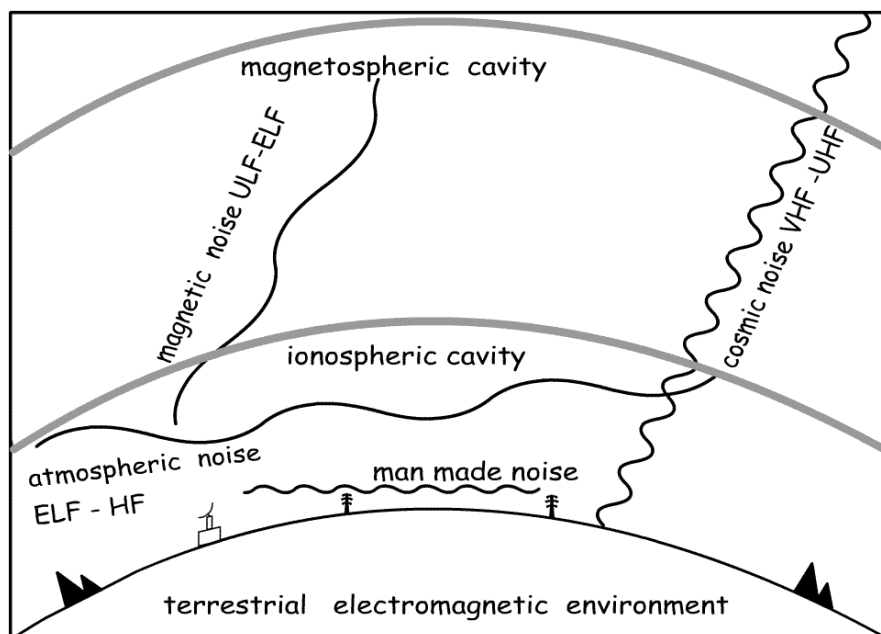


Figura 1- Rappresentazione pittorica del rumore elettromagnetico naturale e artificiale

2) RUMORE DI ORIGINE NATURALE

Le radiazioni non ionizzanti delle onde elettromagnetiche nella banda compresa tra i mHz e i 300 GHz abbracciano 14 ordini di grandezza (figura 2). Le corrispondenti lunghezze d'onda vanno da lunghezze comparabili con le dimensioni del sistema solare, per le onde intorno ai mHz di frequenza, ai millimetri per le frequenze intorno ai 300 GHz.

	frequency range	wavelength (m)	main natural radio noise source	environment
ULF (ultra low frequency)	1 - 3000 mHz	3×10^{11} - 3×10^8	resonances in the magnetospheric cavity, interaction with particles of solar origin and radiative pressure with the magnetosphere	magnetospheric cavity
ELF (Extremely low frequency)	3- 3000 Hz	10^8 - 10^5	resonances in the ionospheric cavity	ionospheric cavity
VLF (very low frequency)	3 - 30 kHz	10^5 - 10^4	propagation in the ionospheric cavity of the atmospheric discharge radiate energy	ionospheric cavity
LF (low frequency)	30 - 300 kHz	10^4 - 10^3	atmospheric noise	ionospheric cavity
MF (medium frequency)	300 - 3000 kHz	10^3 - 10^2	atmospheric noise	ionospheric cavity
HF (high frequency)	3- 30 MHz	10^2 - 10	atmospheric noise and cosmic noise	ionospheric cavity
VHF (very high frequency)	30- 300 MHz	10 - 1	atmospheric and cosmic noise	Earth surfaces (mainly due to the cosmic noise the penetrate the ionospheric layers)
UHF (ultra high frequency)	300 - 3000 MHz	1 - 10^{-1}	cosmic noise	as above
SHF (super high frequency)	3 - 30 GHz	10^{-1} - 10^{-2}	cosmic noise	as above
EHF (extremely high frequency)	30 - 300 GHz	10^{-2} - 10^{-3}	cosmic noise	as above

Figura 2 – Principali sorgenti naturali nella banda fino a 300 GHz (NIR)

Rumore magnetico nella banda ULF/ELF e altri fenomeni di propagazione

Il campo magnetico statico terrestre include anche delle variazioni temporali molto lente: secolari, annuali, di 27 giorni, diurni, e le variazioni magnetiche bay type che hanno 1 frequenza molto bassa ($<1\text{mHz}$); tutto questo può essere considerato una sorta di rumore "magnetico". Le variazioni possono essere quantificate in decine di nT per le variazioni diurne, e centinaia di nT in caso di forti tempeste magnetiche. A più alte frequenze, in questa banda, hanno luogo diversi altri fenomeni come le pulsazioni geomagnetiche.

Le pulsazioni geomagnetiche si osservano nella banda "ultra low frequency" (ULF) che copre approssimativamente il campo di frequenze comprese tra 1 mHz a 1Hz, vale a dire dalla più bassa frequenza che la cavità magnetosferica può sostenere, fino alle varie girofrequenze ioniche.

La frequenza delle pulsazioni viene considerata "ultra" bassa quando è più bassa delle frequenze naturali del plasma, come la frequenza del plasma e la girofrequenza ionica. Le pulsazioni geomagnetiche furono per la prima volta osservate nelle misurazioni durante gli eventi della Grande Aurora del 1859 (Stewart, 1861).

Le pulsazioni a bassa frequenza sono generalmente correlate all'instabilità di Kelvin Helmholtz che ha luogo nella magnetopausa, essendo generata dall'interazione del vento solare con la magnetosfera, o dalle onde "upstream" nella regione "foreshock". Nella successiva figura 3 vengono rappresentate le pulsazioni geomagnetiche, la variazione dell'intensità, la frequenza insieme ad altre informazioni (Lanzerotti 1990).

pulsation classes	continuous pulsations					irregular pulsations		
	Pc1	Pc1	Pc3	Pc4	Pc5	Pi1	Pi2	incoherent noise
period (s)	0.2 - 5	5 - 10	10 - 45	45 -150	150 -600	1 - 40	40 - 150	1 - 1000
frequency (mHz)	200-5000	100-200	22-100	7-22	2-7	25-1000	2-25	1-1000
intensity (nT)	1	3	10	<300	300	10	100	-
source	e.m. ion cyclotron instability in the equatorial magnetosphere	e.m. ion cyclotron instability in the equatorial magnetosphere	wave-particle interaction in the bow shock region	drift of protons from the nightside	magneto-pause instability	modulation of particles	substorms	ionospheric current (intensity increase with the magnetic activity)

Figura 3 – Sorgenti magnetiche di rumore

Altri fenomeni elettromagnetici originati dall'interazione di particelle sulla magnetosfera danno origine alle emissioni elettromagnetiche che si propagano all'interno della cavità magnetosferica. Le emissioni dei "chorus" e "hiss" sono tra i fenomeni più rilevanti. Le emissioni dei chorus sono tra le più intense manifestazione di sorgenti magnetiche che si originano nella magnetosfera esterna e si propagano fino alla superficie terrestre dove sono osservate alle latitudini intermedie. Le caratteristiche spettrali dei chorus (da 500 Hz a 1.2 kHz) consistono in una successione di toni prevalentemente crescenti che assomigliano al cinguettio degli uccelli e proprio da qui le emissioni prendono il loro nome. Le emissioni dei cosiddetti hiss sono manifestazioni elettromagnetiche molto intense che avvengono su un'ampia banda di frequenza compresa tra qualche centinaia di Hz e diverse decine di kHz. Esse avvengono principalmente nella zona aurorale. Questo allargamento fino alle alte frequenze è causato dal carattere anisotropico del modo di propagazione dei whistler. I toni risultanti sono fortemente modulati sui toni dei soffi aurorali.

Rumore atmosferico nella banda ELF/VLF e relativi fenomeni elettromagnetici

I fulmini sono la principale sorgente di energia del rumore di fondo elettromagnetico all'interno della cavità ionosferica. Tali fenomeni comprendono emissioni che partono dalla banda di frequenza ELF (pochi Hz) fino alla banda VHF (centinaia di MHz) e si originano dall'energia irradiata dal fulmine (fig.4).

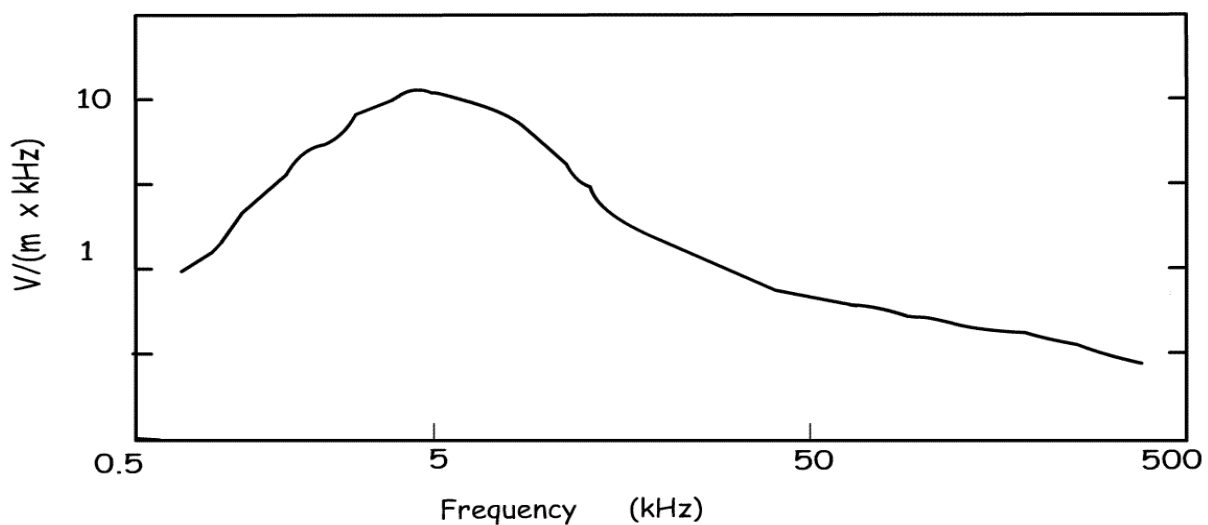


Figura 4 – Spettro elettromagnetico originato dalla scarica elettrica

Diversi milioni di fulmini si abbattono ogni giorno sulla Terra. Essi sono le manifestazioni delle scariche elettriche delle 2000 tempeste che si stima si abbiano giornalmente su scala planetaria; la Terra viene pertanto colpita circa 100 volte al secondo dai fulmini. Tali scariche, in alcuni casi, sono molto violente e possono facilmente raggiungere i 10000 ampere. L'ammontare di energia rilasciata da ogni scarica può variare da qualche unità a qualche decina di GJ. Da qui, per la durata di ogni scarica (meno di una al s), le potenze coinvolte in questo fenomeno sono dell'ordine di 0.1 -1 TW. L'energia totale rilasciata annualmente è nell'ordine di 10^{19} J. Solo il 10% dell'energia sprigionata dai fulmini viene irradiata

come energia elettromagnetica e questo corrisponde alla quantità d'energia elettrica prodotta nel 1970 dalle centrali di tutto il mondo.

I fenomeni più rilevanti nella banda a bassa frequenza ELF sono le risonanze di Schumman. Questi fenomeni consistono in un segnale elettromagnetico ad ampio spettro composto da onde di frequenza al di sotto di 60 Hz. Le risonanze di Schumman si hanno perché la Terra e la ionosfera formano una guida d'onda naturale che mostra una frequenza fondamentale di risonanza a 7.8 Hz e componenti armoniche superiori a circa 15.6, 23,4 e 31.2 Hz (figura 5). Il sistema Terra-Atmosfera può essere visto da un punto di vista elettromagnetico, come una serie di strati della crosta di conduttività elettrica differente. La Terra e gli strati della ionosfera appaiono come conduttori perfetti con una trascurabile conducibilità dell'aria nel mezzo; essi formano una cavità Terra-ionosfera nella quale la radiazione elettromagnetica viene intrappolata. Le scariche elettriche all'interno della troposfera irradiano l'energia in questo sistema e le onde si propagano nella cavità. Nel caso di interferenza costruttiva, le risonanze della cavità Terra-ionosfera vengono eccitate nelle su menzionate bande di frequenza (6-60 Hz).

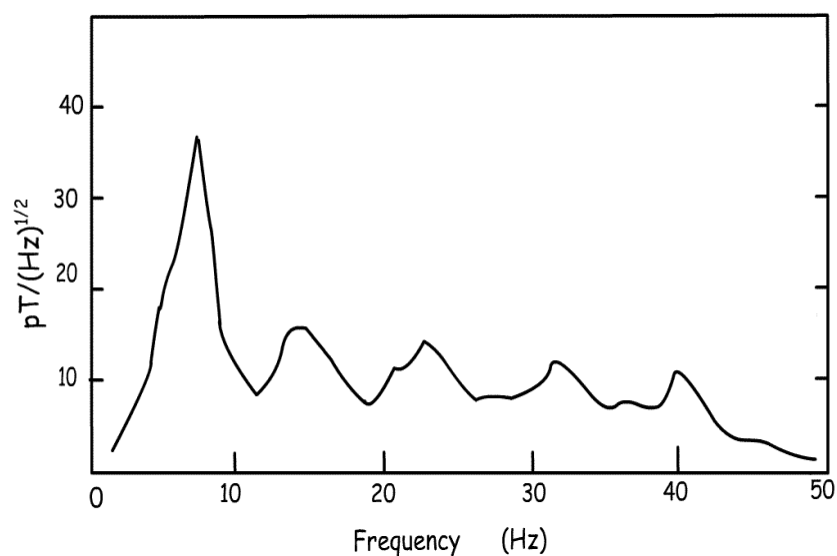


Figura 5- Picchi di risonanze di Schumann

Una serie di fenomeni di propagazione, che sono rilevanti in questa banda di frequenza, sono i cosiddetti sferics, tweeks e whistlers. Le onde radio atmosferiche sono segnali impulsivi generati dai fulmini che viaggiano con una bassa attenuazione nella guida d'onda Terra-ionosfera. Questi segnali impulsivi (pochi ms) si propagano per migliaia di chilometri. Come in una vera guida d'onda, la guida d'onda Terra-ionosfera può sostenere la propagazione di questi segnali con valori di attenuazione molto bassi. Dal momento che solo la parte superiore di questo canale varia col tempo, la propagazione delle onde sferiche è determinata dalle condizioni stesse della ionosfera. Tramite una rete di semplici ricevitori con antenne direzionali è facile rilevare gli sferics anche semplici ricevitori AM commerciali ricevono questi come disturbi sonori tipici chiamati statics. Tali disturbi hanno maggiore intensità se la distanza del ricevitore dal fulmine e se l'energia ad esso associata è rilevante. Queste scariche elettriche emettono radiazione elettromagnetica su quasi tutto lo spettro delle onde radio anche se gran parte dell'energia è concentrata nella banda VLF tra 0.1 a 10 kHz e lo spettro di potenza ha una tipica pendenza (figura 6).

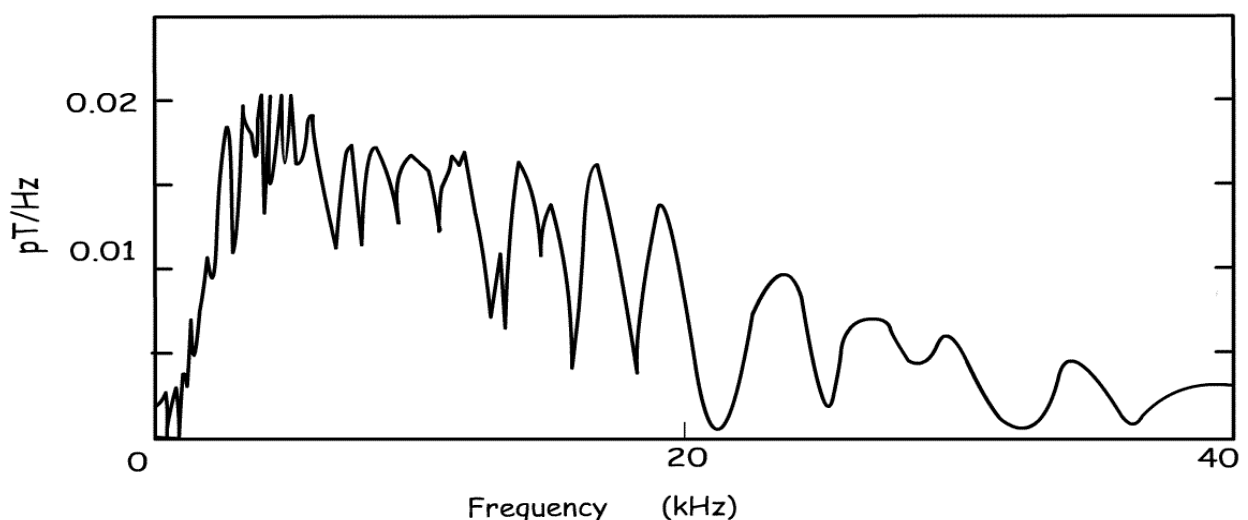


Figura 6 – Tipico spettro di frequenza dell'energia elettromagnetica emessa da un fulmine

I tweeks sono sferics che durante la propagazione hanno subito una dispersione in frequenza. Tradotti acusticamente il suono è simile ad un canto d'uccelli con frequenze comprese nell'intervallo 1-7 kHz. Quando essi si propagano per lunghe distanze in un mezzo dispersivo come la ionosfera, le loro componenti armoniche si separano lungo il percorso (Helliwell R.A. 1965). Queste componenti penetrano nella ionosfera a diverse profondità in funzione della frequenza. Le alte frequenze penetrano ad una maggiore profondità rispetto alle basse frequenze e queste ultime, essendo meno attenuate, percorrono distanze maggiori. I diversi percorsi implicano differenti tempi di arrivo all'osservatore. In uno spettrogramma (figura 7) risultano come toni discendenti con una durata dell'ordine di 25 a 150 ms. I tweeks vengono normalmente uditi alla sera dopo il tramonto.

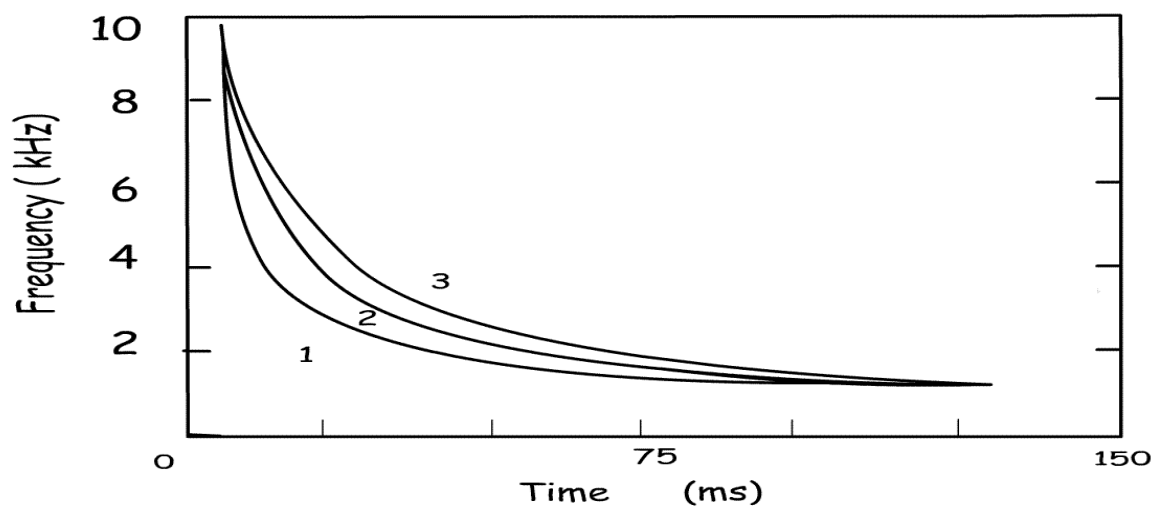


Figura 7 – Tweeks si propagano su differenti e notevoli distanze nella guida d'onda Terra-ionosfera. Si originano dagli sferic e subiscono una dispersione in frequenza in ragione della distanza percorsa. La traccia 1 mostra un tweek che ha percorso 60000 km (1), la traccia 2 più di 10000 km e la traccia 3 più di 14000 km (3).

I whistlers sono notevoli esplosioni generate dal rilascio di energia elettromagnetica dei fulmini. Parte di questa energia oltrepassa la barriera ionosferica e si propaga attraverso la magnetosfera. Possono essere udite dai radiorecettori come un lungo fischio che decresce nella frequenza, da circa 6 kHz ad alcune centinaia di Hz (figura 8). Nella magnetosfera i whistlers interagiscono con gli elettroni liberi e sono vincolati a propagarsi lungo le linee del campo magnetico terrestre. Le componenti armoniche del segnale identificate come Whistlers corrispondono alle onde elettromagnetiche che hanno viaggiato per diversi raggi terrestri arrivando all'osservatore in tempi differenti. Infatti, le frequenze più basse hanno un ritardo di 3-6 secondi rispetto alle alte frequenze. La dispersione dei Whistlers dipende dalla lunghezza del percorso fatto dal segnale e dalle caratteristiche del mezzo di propagazione (come la densità elettronica ed il campo magnetico statico).

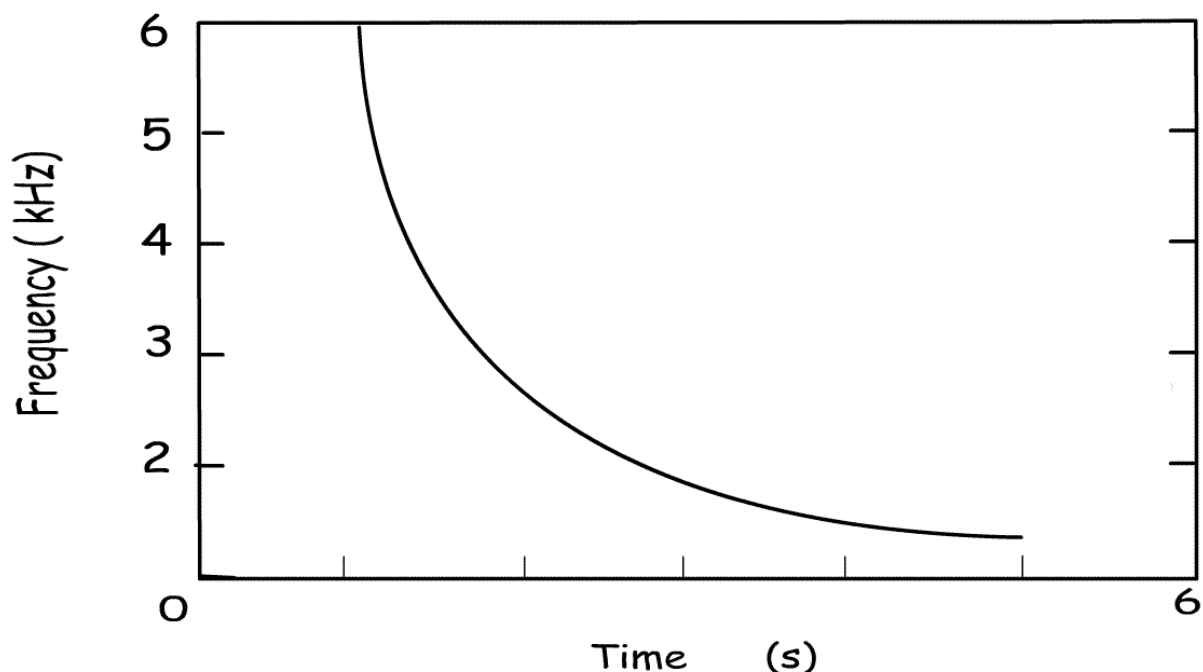


Figura 8 – Spettro di un Whistler

Rumori naturali nella banda LF/MF/HF

Anche in questa banda di frequenza il rumore elettromagnetico di origine naturale ha la sua fonte principale nel rilascio di energia elettrica nell'atmosfera da parte di manifestazioni elettriche. Tale rumore è generalmente decrescente in ampiezza all'aumentare della frequenza ed è influenzato dalle condizioni ionosferiche. Dato che le frequenze LF/MF/HF vennero usate molto presto nelle comunicazioni e nelle trasmissioni radio, in questa banda di frequenza il rumore naturale fu oggetto di studi scientifici tra la comunità degli ingegneri e le misurazioni del rumore elettromagnetico naturale nelle bande LF/MF/HF iniziarono molto presto, ossia allo svilupparsi degli apparati di radiocomunicazione. Le onde elettromagnetiche irradiate dal rilascio dell'energia impulsiva da parte dei fulmini non possono oltrepassare il confine della ionosfera. Le onde penetrano attraverso gli strati più bassi della ionosfera e, dipendendo dalla frequenza, vengono diversamente assorbiti. Le onde radio vengono riflesse dagli strati superiori della ionosfera fino ad una certa frequenza, chiamata frequenza critica, e dipendono dalle locali condizioni della ionosfera. Inoltre l'angolo di incidenza tra l'onda e gli strati della ionosfera gioca un ruolo importante. Infatti possono stabilirsi diversi modi di propagazione in base alle geometrie dei percorsi. I risultati sono riassunti nella figura 10 dove vengono tracciati il rumore atmosferico e le frequenze. Nella stessa figura il rumore cosmico, che inizia a frequenze maggiori di quelle del plasma della ionosfera, comincia ad apparire. Le basse frequenze del rumore cosmico dipendono dalle condizioni della ionosfera cioè dalla frequenza del plasma di circa 15-30 MHz. L'ampiezza del rumore cosmico decresce con la frequenza anche se le basse frequenze sono molto attenuate rispetto alle alte frequenze. Nel 1960 una campagna di misurazioni del rumore atmosferico condotta dal Consultative Committee International Radio (CCIR) diede il maggiore contributo alle conoscenze relative al rumore elettromagnetico di

fondo in tale banda di frequenza. Vennero installati 16 radiometri in differenti località del mondo per monitorare il rumore elettromagnetico nelle bande di interesse ed i risultati furono riepilogati in un rapporto del CCIR n. 322 nel 1964 e n.322-3 nel 1988. La distribuzione planetaria del rumore atmosferico è riportata nella figura 9 insieme al rumore cosmico. Nella figura i livelli più forti sono associati alla regione equatoriale ed i più deboli alla regione Antartica.

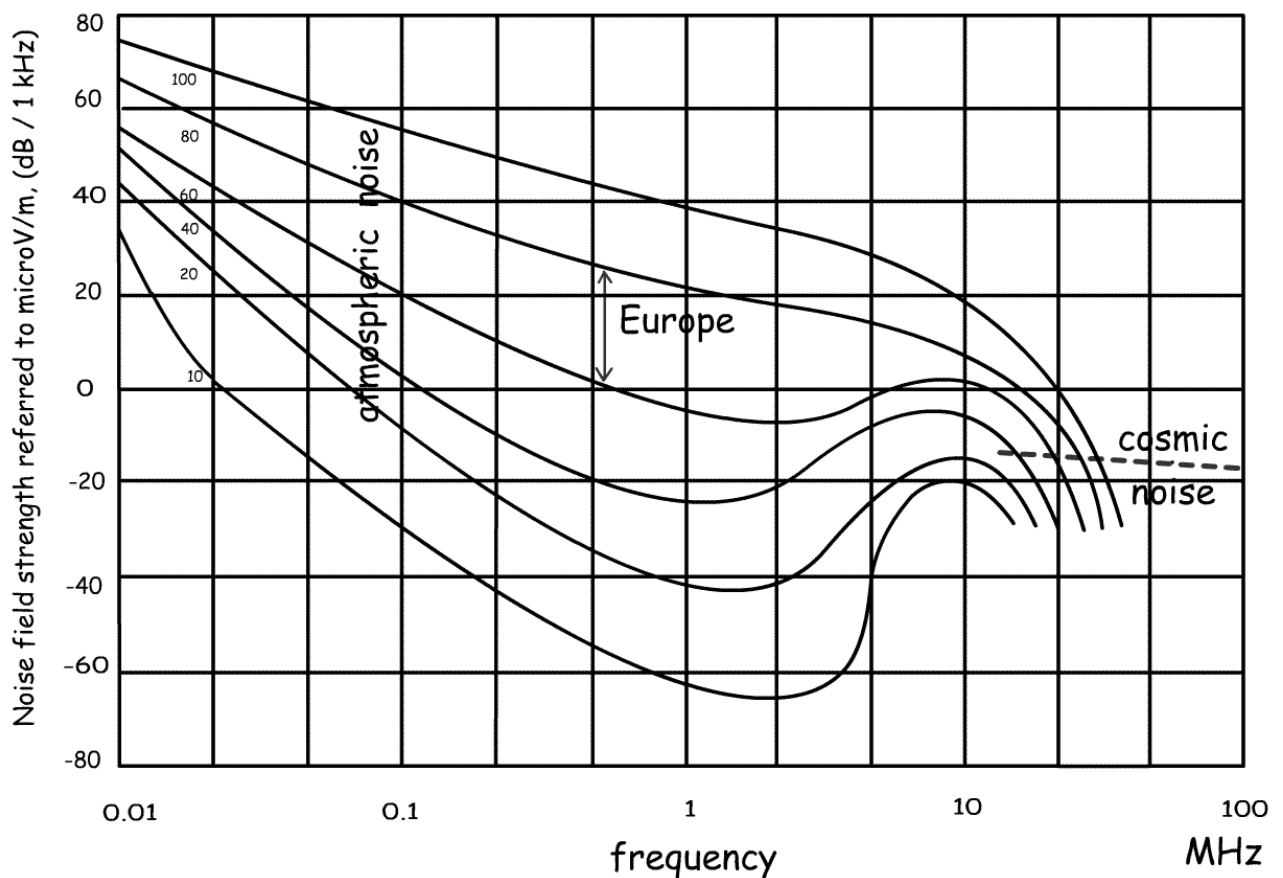


Figura 9 – Rumore atmosferico e cosmico. Intensità di campo elettrico in funzione della frequenza nella banda 001-100 MHz .

Rumori naturali nella banda UHF/SHF/EHF

In questa banda di frequenze il rumore naturale predominante è il rumore cosmico (o galattico) di fondo. Per molte caratteristiche il rumore cosmico è simile al rumore naturale terrestre, come quello generato da scariche molto lontane, o al rumore

artificiale; per questa ragione all'inizio delle misurazioni delle onde radio risultò difficile identificare le sorgenti. La scoperta dell'origine di questo rumore di fondo è solitamente considerato come la nascita della radioastronomia. Nel 1931 Karl Jansky costruì una antenna operante a 20.5MHz e, dopo mesi di attente e scrupolose osservazioni, concluse che l'origine del rumore registrato si trovava al di fuori del sistema solare; da allora quelle bande di frequenza sono state scrupolosamente investigate dai radioastronomi (Krauss 1988).

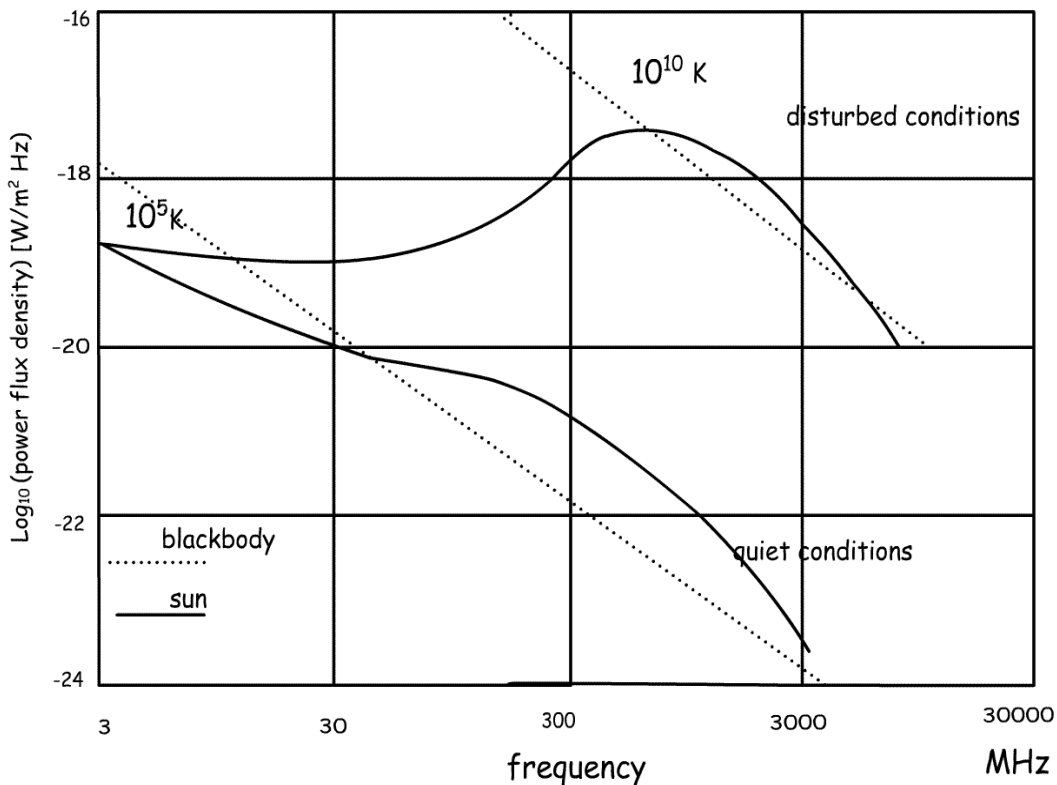


Figura 10 – Emissioni radio del Sole

Nella figura 10 sono riportate la sorgente solare e le altre principali. Alcune di queste sorgenti sono molto forti o mostrano un comportamento particolare (figura 11).

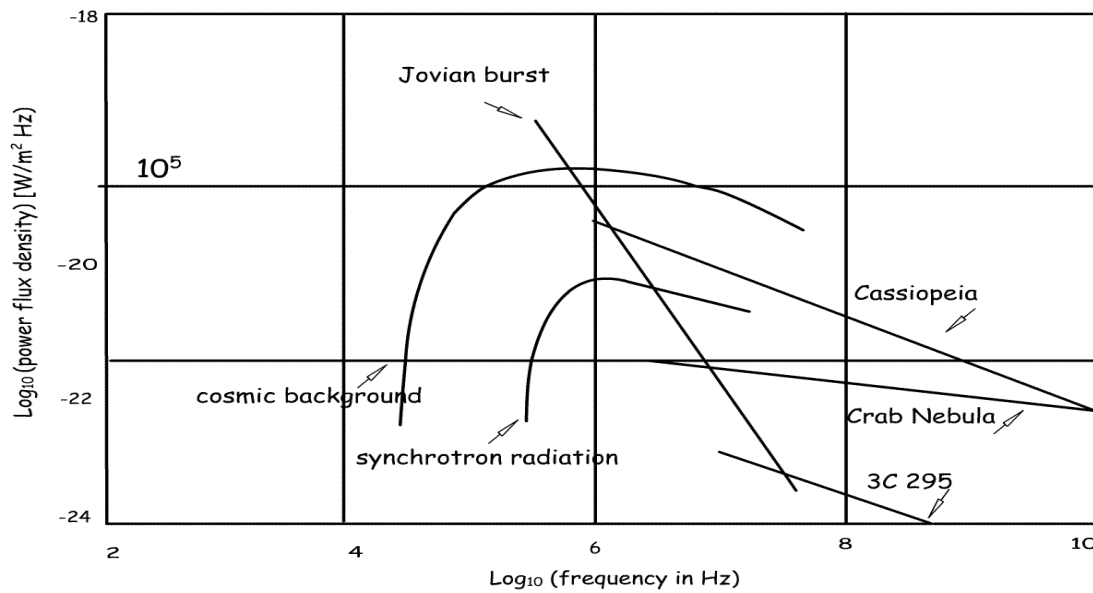


Figura 11 – Alcune rilevanti radio sorgenti e rumore cosmico di fondo

La radiazione di sincrotrone ha un caratteristico ampio spettro come altre sorgenti di onde impulsive (Bekefi et al. 1977). Inoltre i sistemi galattici o stellari danno luogo ad una forte e più comune fonte di rumore: il rumore termico. Il rumore termico deriva dagli elettroni e dagli ioni che si muovono in un mezzo dissipativo. Le altre fonti sono le radiazioni di frenamento (bremsstrahlung) principalmente dovute alla collisione di elettroni e protoni.

RUMORE ELETTROMAGNETICO ARTIFICIALE (MAN-MADE)

Il rumore artificiale è un rumore originato dalle tecnologie umane. Questo rumore dipende fortemente dalla distanza dalle sorgenti (linee elettriche, radio, tv, installazioni per le comunicazioni e altro) e può ovviamente variare anche di molti ordini di grandezza, nonché dalla frequenza e dall'energia emessa. L'energia e la frequenza nella loro distribuzione temporale e spaziale sono le quantità che meglio descrivono le sorgenti delle onde radio di origine artificiale. Altre importanti caratteristiche sono la natura continua o impulsiva delle onde

emesse, la modulazione e la polarizzazione delle onde. Le sorgenti artificiali sono principalmente localizzate nelle aree commerciali, industriali e residenziali; nelle zone rurali le sorgenti scarseggiano (rapporto CCIR N.258-5 1990). A causa della lontananza dalle sorgenti in questa banda di frequenza, nelle aree rurali, l'energia prodotta dal rumore di origine artificiale è in media di 20-30 dB più bassa che nelle aree residenziali e commerciali (fig.12).

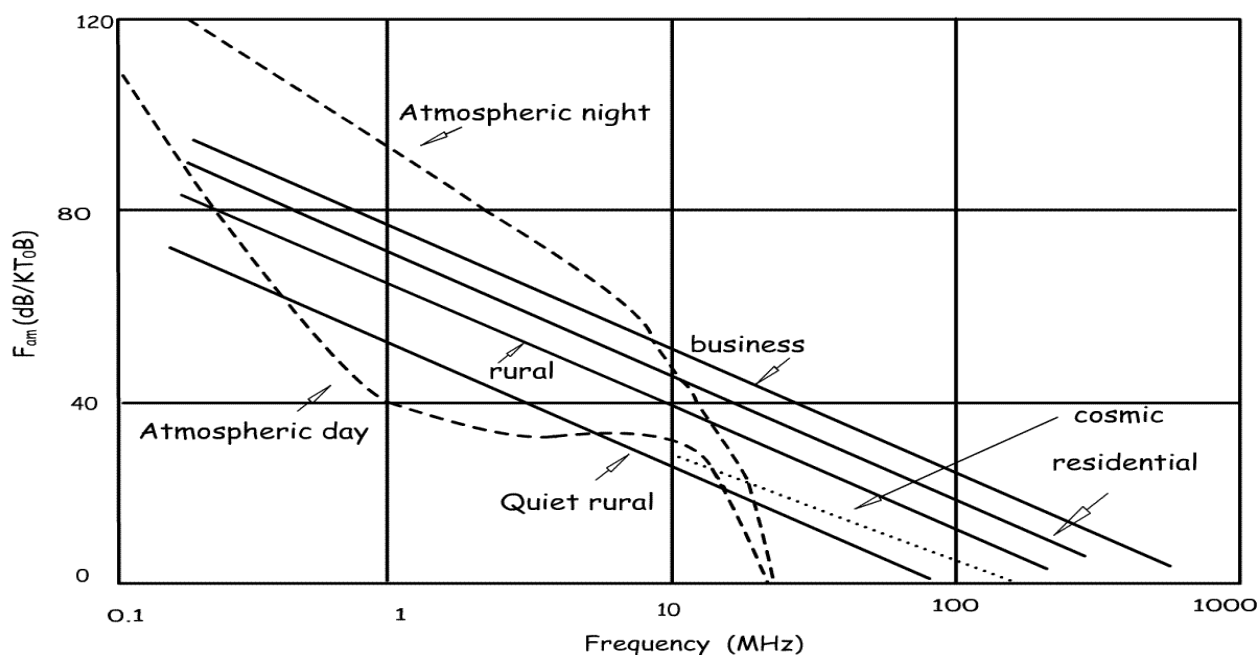


Figura 12 – Le linee continue indicano il valore di potenza medio del rumore artificiale espressa in F_{am} (dB above thermal noise at $T_0 = 288$ K). Il rumore atmosferico (le linee in tratteggio indicano il rumore atmosferico mentre le linee punteggiate rappresentano il rumore cosmico).

Anche nel caso del rumore elettromagnetico di origine artificiale conviene distinguere i contributi nelle diverse bande di frequenza dove sono indicate le principali sorgenti.

ELF band

In questa banda la sorgente più potente di rumore artificiale è costituita dalle linee dell'energia elettrica che, idealmente, operano ad una singola frequenza generalmente 50 Hz (60 Hz negli Stati Uniti). I campi elettrici e magnetici generati a questa frequenza sono praticamente scollegati ed a causa delle linee

elettriche a configurazione multipolare decrescono drammaticamente all'aumentare della distanza dalle linee stesse. Le linee di energia elettrica sono ora diffuse in tutti i continenti del pianeta eccetto in Antartide dove le onde naturali nella banda ELF vicine ai 50-60 Hz possono essere registrate con pochi disturbi. Anche alcune regioni disabitate in altri continenti sono relativamente prive di questo tipo di disturbi ma, in generale, nella banda ELF i 50-60 HZ dei campi elettrici e magnetici rappresentano la sorgente più potente sia per l'energia emessa che per l'estensione della sorgente stessa.

Nella figura 13 viene mostrato come il campo elettrico e magnetico declinino in relazione alla distanza dalle linee elettriche.

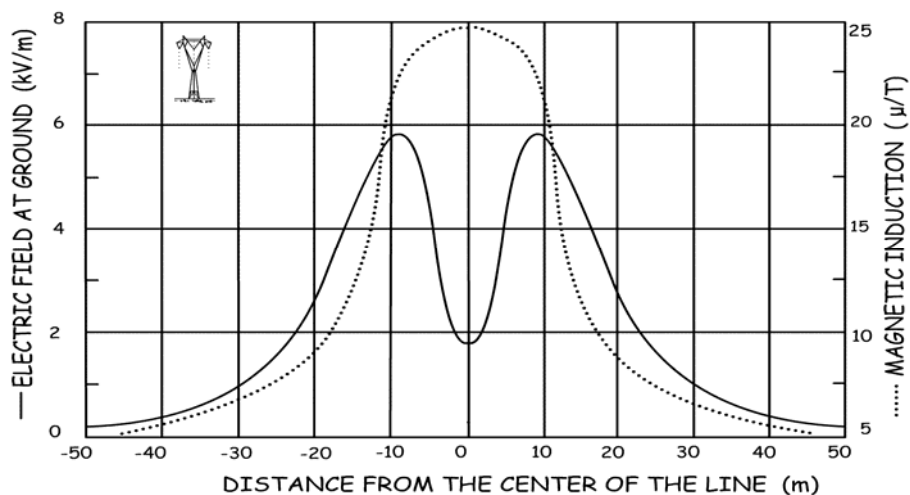


Figura 13 – Campo elettrico e d’induzione magnetico al suolo sotto una linea di 380 kV.

VLF-HF band

Come per le altre frequenze il rumore di origine artificiale è generato dalle emissioni dei dispositivi tecnologici per uso domestico, industriale e dagli apparati per la radiocomunicazione, incluse le trasmissioni radio, dal momento che tutti questi dispositivi impiegano oscillatori elettrici che diventano indesiderate sorgenti di emissione elettromagnetica.

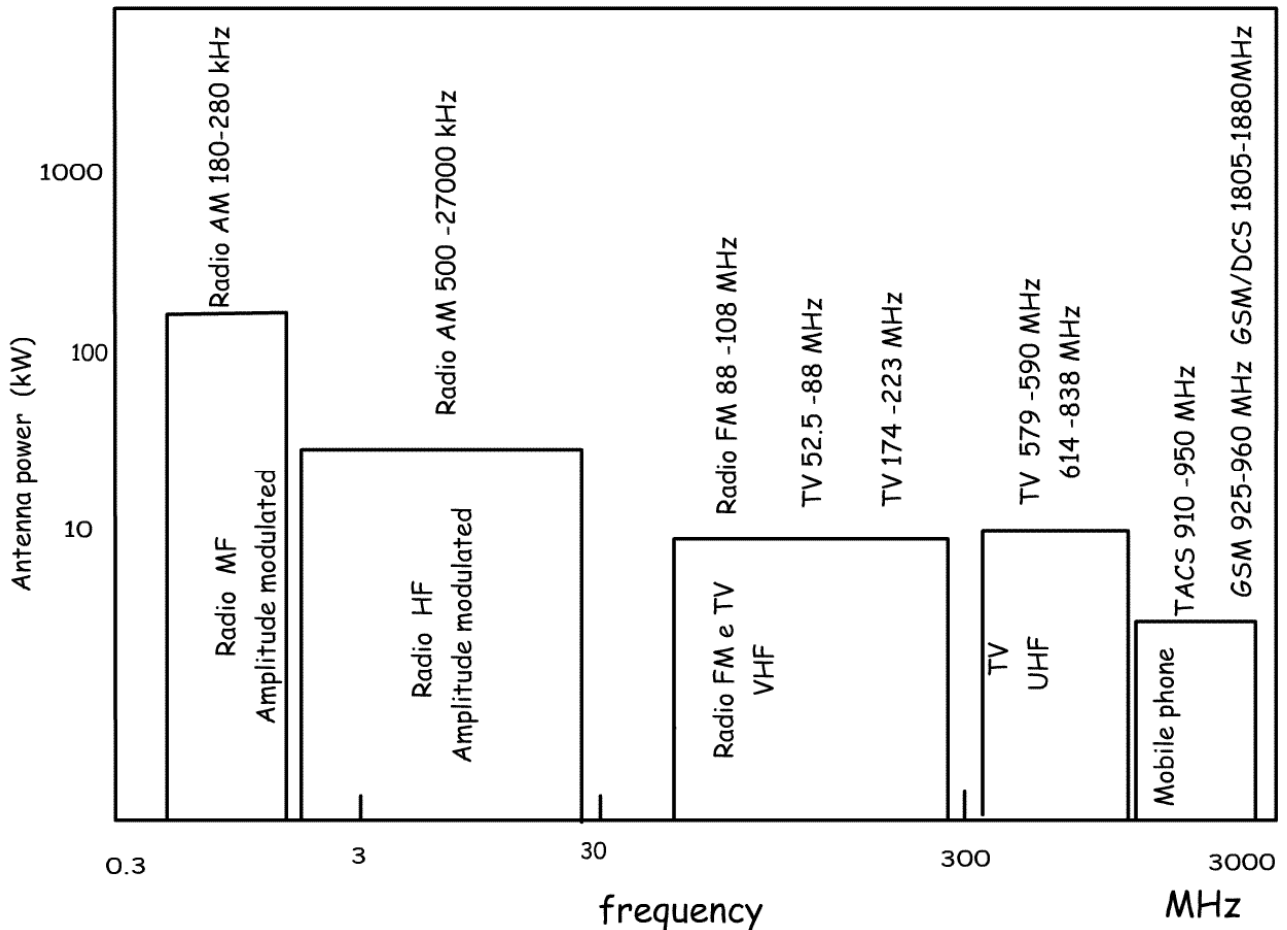


Figura 14 - Potenza emessa dai più comuni sistemi di comunicazione

Le principali sorgenti sono le stazioni radio AM (figura 14) ed alcune applicazioni industriali. Tra queste ultime le sorgenti più rilevanti sono rappresentate dai riscaldamenti che sfruttano l'induzione magnetica e le perdite dielettriche nel materiale. Altre più deboli ma numerose sorgenti, che contribuiscono in modo rilevante alla formazione del rumore di fondo artificiale, sono le accensioni automobilistiche. Abbiamo anche sorgenti domestiche come le macchine elettriche, i monitor delle televisioni e dei computers, ecc... Altre applicazioni medicali o scientifiche risultano irrilevanti nella configurazione del rumore elettromagnetico di fondo in queste bande di frequenza.

VHF-UHF band

Le radiazioni elettromagnetiche in queste bande di frequenza sono dovute alle trasmissioni radio e televisive FM, alle stazioni di telefonia mobile (figura 14) ed ai sistemi di accensione delle automobili.

Gli apparati radar e satellitari non danno un contributo rilevante ai livelli del rumore elettromagnetico di fondo. Le principali sorgenti domestiche sono i telefoni cordless ed i forni a microonde ecc., ma questi apparecchi non hanno un impatto significativo all'esterno.

SHF-EHF band

A causa della complessità del sistema delle radiocomunicazioni e delle limitazioni nelle applicazioni industriali operanti a queste frequenze, in questa banda vengono impiegati solo particolari strumenti. Queste bande comprendono i sistemi di comunicazione e remote sensing satellitare, i sistemi radar, le apparecchiature mediche e scientifiche, tutte risentono delle intrinseche difficoltà tecnologiche nella fabbricazione degli oscillatori elettrici, delle linee di trasmissione, delle antenne ecc... Per questa ragione il rumore di origine artificiale è molto basso nelle bande SHF e EHF. Inoltre, a causa della natura dei processi fisici di emissione a cui obbediscono questi fenomeni ed i loro modi di propagazione, le onde SHF e EHF sono rigidamente direzionali. Altre applicazioni tecnologiche in questo range sono collegate con le osservazioni e le misurazioni passive come in radioastronomia.

Conclusioni

In questo lavoro sono stati descritti il rumore elettromagnetico di fondo e le sue principali caratteristiche. Il rumore elettromagnetico di origine naturale costituisce un fondo di onde radio nel quale tutto il sistema vivente è immerso e nel quale di conseguenza si è evoluto sin dalle origini della vita sulla terra. Sovrapposto al rumore elettromagnetico naturale il rumore artificiale è attualmente in aumento.

Le principali sorgenti e le principali caratteristiche del rumore elettromagnetico di origine artificiale sono state descritte e comparate con quelle del rumore di origine naturale. Il livello del rumore artificiale è costantemente cresciuto negli ultimi 100 anni così come si sono espanse le applicazioni tecnologiche di natura elettromagnetica.

È stata quindi fatta una digressione delle principali caratteristiche e sorgenti nella banda di frequenza delle radiazioni non ionizzanti (NIR) ed è stato fatto un breve excursus delle sorgenti del rumore naturale, partendo dalle più basse frequenze che le cavità magnetosferica e ionosferica possono sostenere, alle sorgenti galattica e cosmica che penetrano la densità elettrica dell'alta atmosfera.

Questi studi, che hanno messo le radici nell'era pioniera delle comunicazioni radio, quando le conoscenze relative al rumore naturale erano essenzialmente rivolte alla valutazione della tecnologia radio, hanno negli anni rivelato la loro importanza per la geofisica, la fisica spaziale, per l'astrofisica e per molti altri campi di ricerca.

In particolare una dettagliata conoscenza delle caratteristiche delle onde di corrente nella magnetosfera sono, come ci si aspettava, importanti per i sistemi di comunicazione terra, ma possono essere rilevanti anche nella

progettazione dei satelliti orbitanti intorno alla Terra e navi spaziali interplanetarie.

Bibliografia

Bekefi G., Barrett A.H., Electromagnetic vibration, waves, and radiation, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA, 1977.

Bianchi C., Lozito A., Meloni A., Campi elettromagnetici: tecniche di monitoraggio ambientale e principi dell'interazione biologica, Quaderni di Geofisica Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia Roma, Italy 2002.

C. C. I. R., "World distribution and characteristics of atmospheric radio noise," Int. Radio Consultative Comm., Int. telecommun. Union, Geneva, Switzerland, Rep 322, 1964.

C. C. I. R., "Characteristics and applications of atmospheric radio noise data," Int. Radio Consultative Comm., Int. Telecommun. Union, Geneva, Switzerland, Rep. 322-3, 1988.

C. C. I. R., "Man-made radio noise" Int. Radio Consultative Comm., Int. Telecommun. Union, Geneva, Switzerland, Rep. 258-5, 1990.

Helliwell R.A, Wistelers and related ionospheric phenomena, Stanford University Press, Stanford California USA, 1965.

Hitchcock R.T., Patterson R.M., *Radio-Frequency and ELF Electromagnetic Energies*, Wiley Interscience N.Y. USA, 1995.

J.D.Krauss – *Antennas*- Mc Graw Hill N.Y. ,1988.

L. J. Lanzerotti, C. G. MacLennan, and A. C. Fraser-Smith, Background magnetic spectra: $\sim 10^{-5}$ to $\sim 10^5$ Hz, Geophys. Res. Lett., vol. 17, pp.1593-1596, 1990.

Lin, J.C. – *Electromagnetic interaction with biological System* – Plenum Press – N.Y. USA (1989)