

IQ5IN Lezione di elettronica per radioamatori

5ª LEZIONE

Onde radio e propagazione, bassa frequenza ed alta frequenza, suddivisione delle frequenze radio

STRATI IONIZZATI dell'ATMOSFERA e PROPAGAZIONE delle ONDE RADIO

Il segnali di **radio frequenza** si irradiano dall'antenna **trasmittente** in tutte le direzioni e perciò alcuni segnali seguono la superficie **terrestre** ed altri **si dirigono verso il cielo** (vedi fig.284).



Le onde che allontanandosi dall'antenna si propagano seguendo la superficie della **terra** vengono comunemente chiamate **onde di terra** o di **superficie**.

Le onde che si propagano verso lo spazio, staccandosi nettamente dalla superficie terrestre, vengono chiamate **onde spaziali** e quelle che ritornano verso terra perché riflesse dagli **strati ionizzati** dell'atmosfera vengono comunemente definite **onde di cielo oppure onde riflesse**.

Le **onde di cielo** si generano perché ad un'altezza di circa **60 km** dalla Terra c'è la **ionosfera** suddivisa in più **strati ionizzati** che possono raggiungere un'altezza massima di **300 km** (fig.285). Questi **strati** presentano la caratteristica di riuscire a **riflettere** certe gamme di frequenze radio nello stesso modo in cui fa uno **specchio** se colpito **da un raggio di luce**.

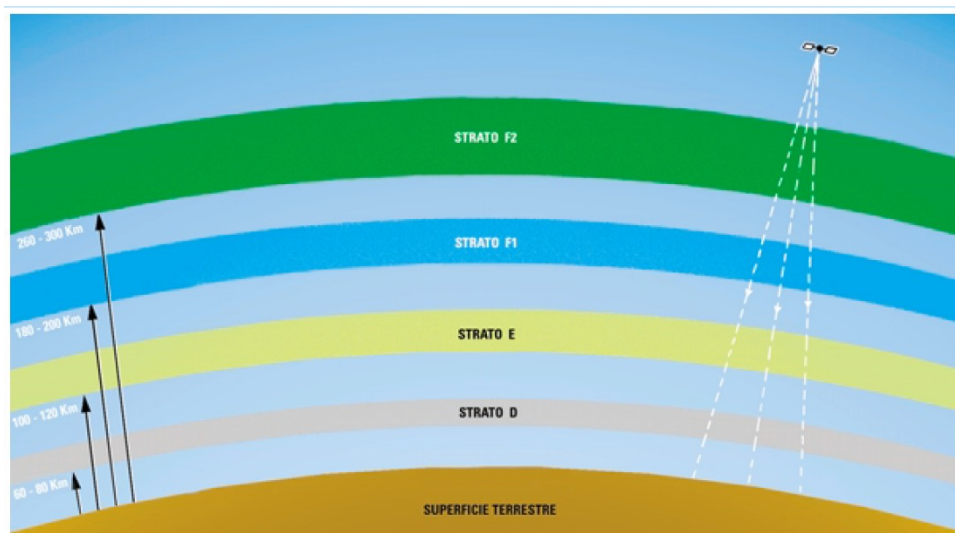


Fig.285 Durante le ore diurne sono presenti attorno al nostro globo 4 strati ionizzati collocati a diverse altezze chiamati D - E - F1 - F2. La fascia dello strato D, posta a 60 - 80 km, assorbe totalmente le Onde Medie - Corte - Cortissime che, non riuscendo a raggiungere gli strati riflettenti denominati E - F1 - F2, di giorno non vengono riflesse.

L'altezza degli **strati ionizzati** compresi in questa fascia, che da un **minimo di 60 km** può raggiungere un **massimo di 300 km**, non è costante, perché i diversi gas che compongono la ionosfera assorbono in modo diverso le **radiazioni solari**.

Come potete vedere in fig.285, durante le ore **diurne** i raggi ultravioletti emessi dal Sole formano attorno al nostro globo **4 fasce di strati ionizzati** denominati **D - E - F1 - F2**.

Lo **strato D**

è la fascia posizionata sui **60 - 80 km** circa.

Lo **strato E**

è la fascia posizionata sui **100 - 120 km** circa.

Lo **strato F1**

è la fascia posizionata sui **160 - 200 km** circa.

Lo **strato F2**

è la fascia posizionata sui **260 - 300 km** circa.

Durante le ore **notturne** lo strato **D** scompare e lo strato **F2** scende fino a congiungersi con lo strato inferiore **F1** (vedi fig.286).

Questo unico strato **notturno**, nato dalla fusione di **F1 + F2**, viene denominato strato **F**.

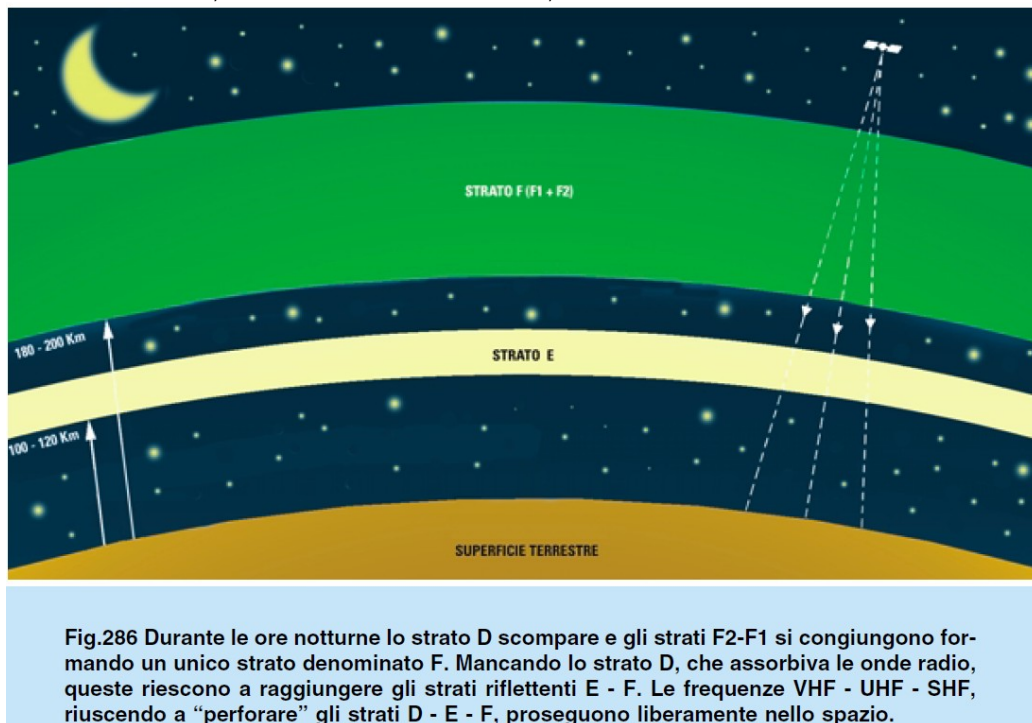


Fig.286 Durante le ore notturne lo strato D scompare e gli strati F2-F1 si congiungono formando un unico strato denominato F. Mancando lo strato D, che assorbiva le onde radio, queste riescono a raggiungere gli strati riflettenti E - F. Le frequenze VHF - UHF - SHF, riuscendo a "perforare" gli strati D - E - F, proseguono liberamente nello spazio.

Gli **strati ionizzati** in grado di riflettere le **onde radio** verso la superficie terrestre sono soltanto quelli denominati **E ed F**.

Lo strato più basso della ionosfera, cioè il **D** che è presente solo nelle ore **diurne**, assorbe totalmente tutte le frequenze delle **Onde Medie - Corte e Cortissime**.

Queste onde radio non potendo raggiungere gli strati riflettenti **E - F** non possono essere **riflesse**.

Per questo motivo la propagazione a lunga distanza di queste onde non avviene mai durante il **giorno**, ma inizia solo poche ore dopo il **tramonto** del **sole** quando lo strato **D** scompare.

Durante le ore **diurne** la propagazione delle **Onde Medie - Corte - Cortissime** avviene soltanto tramite le **onde di terra** che però non riescono a coprire grandi distanze (vedi fig.287).

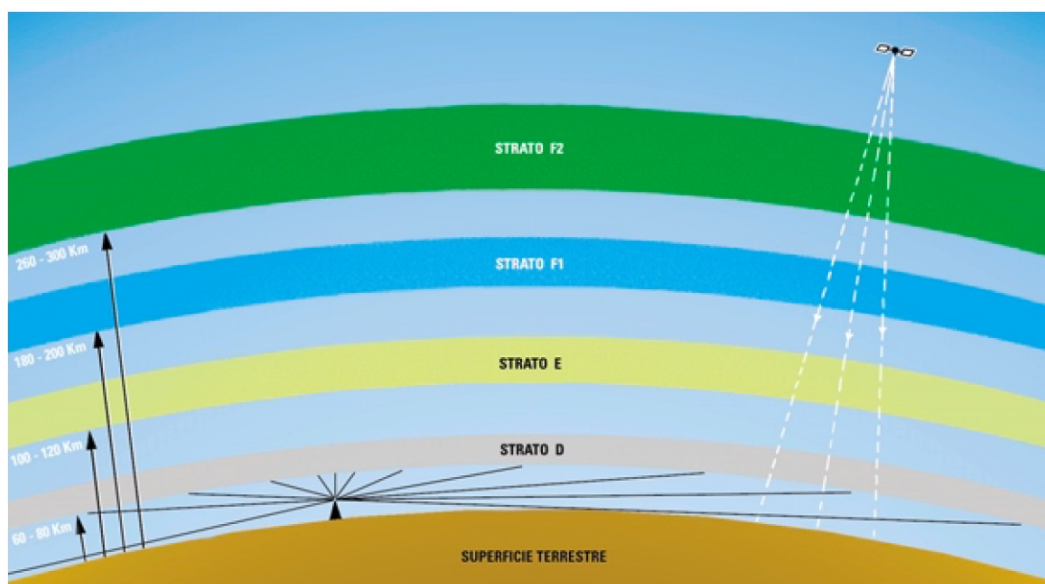


Fig.287 Nelle ore diurne le emittenti delle Onde Medie - Corte - Cortissime si riescono a captare solo tramite le "onde di terra". Riusciamo invece a ricevere anche di giorno senza nessuna attenuazione le emittenti dei Satelliti TV che utilizzano le frequenze VHF - UHF - SHF, perché queste riescono a "perforare" gli strati D - E - F1 - F2.

Nelle ore **notturne**, quando lo strato **D** scompare, queste **onde radio**, potendo raggiungere gli strati **E - F**, vengono nuovamente **riflesse** verso la superficie terrestre e possono così raggiungere distanze notevoli (vedi fig.288).

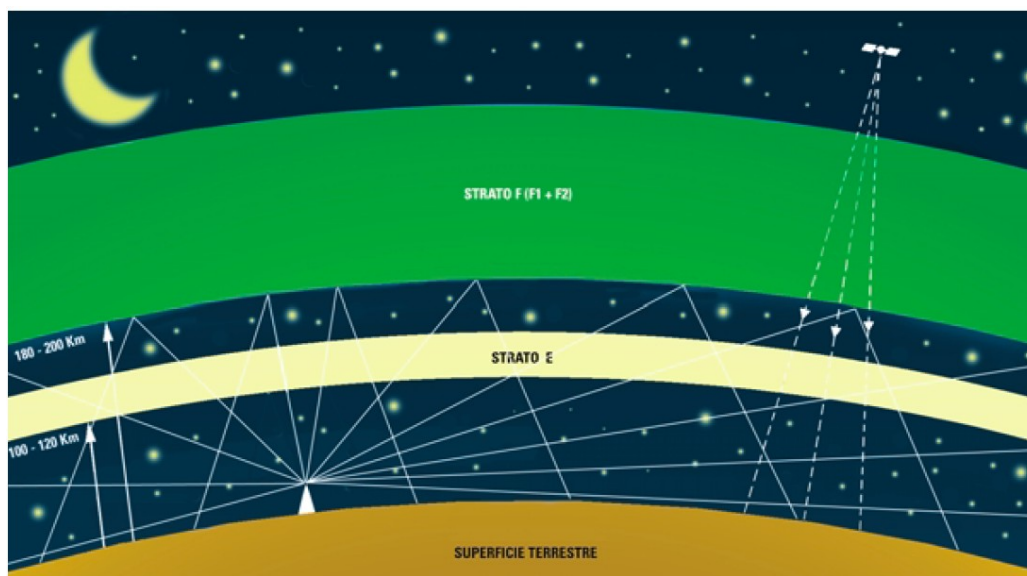


Fig.288 Quando nelle ore notturne lo strato D scompare, tutte le frequenze delle Onde Corte e Cortissime, riuscendo a raggiungere lo strato riflettente F, vengono nuovamente riflesse verso terra ed in questo modo riescono a raggiungere notevoli distanze. Le sole Onde Medie vengono riflesse dal primo strato E e raramente dallo strato F.

Le **onde riflesse** presentano però l'inconveniente di non essere **molto stabili** perché gli strati ionizzati variano continuamente la loro **altezza** provocando in tal modo il rapido e tipico fenomeno della **evanescenza** del segnale captato.

L'**evanescenza**, conosciuta anche con il nome di **fading**, si manifesta con una continua e lenta variazione d'**intensità** del segnale captato.

Quando si verifica questo fenomeno il segnale dell'emittente captata si **affievolisce** di continuo per ritornare dopo pochi secondi al **massimo** della sua intensità.

L'**evanescenza** avviene normalmente nelle prime ore serali e mattutine quando i raggi del **sole** iniziano

ad influenzare gli strati **D - E - F1 - F2** presenti nella **ionosfera**.

Tenete inoltre presente che gli **strati ionizzati** vengono pure influenzati dalle **macchie solari** e dalle **tempeste magnetiche**, cioè da quelle variazioni del campo magnetico terrestre che causano le cosiddette **aurore polari**.

Alcune frequenze della gamma delle **Onde Cortissime** e precisamente quelle comprese tra i **20 MHz** e i **40 MHz** si comportano in modo totalmente diverso dalle altre frequenze, infatti per via **terra** non riescono a superare i **30 chilometri**.

Queste frequenze possono poi riapparire, tramite le **onde riflesse**, ad una distanza di oltre **1.000 km**.

Supponendo quindi che esista una emittente a **Roma** che trasmetta su queste frequenze, chi si trova a **Latina - Viterbo - Rieti** non riuscirà a captarla, mentre riuscirà a captarla con estrema facilità chi si trova a **Londra** o a **New York**.

La zona in cui risulta praticamente impossibile ricevere questi segnali viene chiamata **zona di silenzio** o **zona d'ombra**.

Per la gamma delle sole **Onde Medie** non esiste nessuna **zona d'ombra** perché dove non arrivano le **onde di terra** arrivano le **onde riflesse**.

A differenza delle **Onde Corte** e **Cortissime** infatti, le **Onde Medie** vengono **riflesse** verso terra dal primo **strato ionizzato E**, che si trova ad un'altezza di soli **100 - 120 km**.

E' proprio perché si possono ricevere sia di **giorno** sia di **notte** che le **Onde Medie** sono state scelte per la diffusione dei programmi regionali.

Di **notte** queste onde vengono riflesse contemporaneamente dallo **strato E** e dallo **strato F**, quindi solo di notte riusciamo a captare le molte emittenti **estere** poste anche a migliaia di chilometri di distanza da noi.

Abbiamo spiegato come si propagano le **Onde Medie - Corte - Cortissime**, ma non abbiamo ancora accennato a come si comportano le frequenze superiori a **100 MHz** chiamate **VHF - UHF - SHF** o onde **metriche decimetriche** e **microonde**.

Quando queste frequenze incontrano gli **strati ionizzati D - E - F1 - F2** non vengono né assorbite né riflesse, ma proseguono liberamente verso lo spazio.

Se così non fosse non potremmo ricevere da terra i segnali irradiati dai **satelliti TV** posti nello spazio, né potremmo parlare con gli **astronauti** che viaggiano in una navicella spaziale.

Tutte le frequenze **VHF - UHF - SHF** irradiate da una trasmittente **terrestre** possono essere captate solo per via **diretta** e poiché la Terra è rotonda la loro portata diventa **ottica** (vedi fig.289).

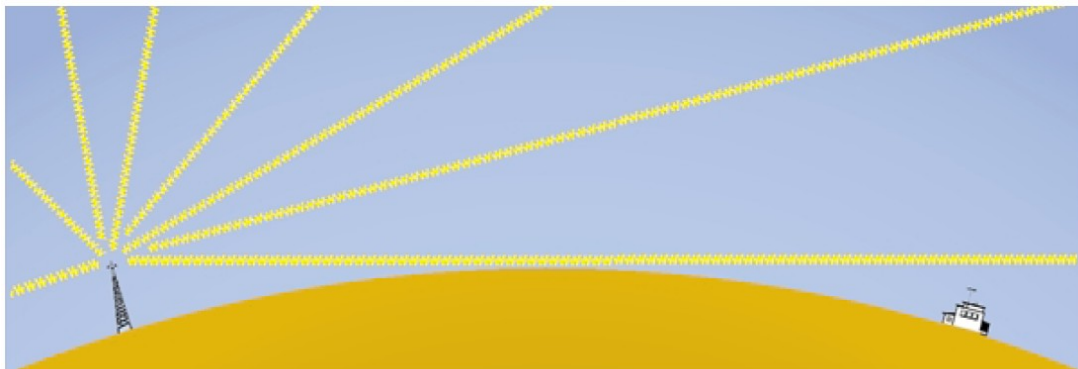


Fig.289 Tutte le frequenze VHF - UHF irradiate da una emittente TV terrestre possono essere captate solo tramite le "onde di terra" e poiché la Terra è rotonda la loro portata non riesce a superare quella "ottica". E' per questo motivo che le antenne trasmittenti vengono installate in cima ai monti così da poter raggiungere maggiori distanze.

Proprio per **aumentare** la loro portata **ottica**, tutte le **antenne trasmittenti TV** vengono installate in cima a montagne o comunque in punti molto elevati.

Anche le frequenze **VHF - SHF** irradiate dai **satelliti** posti nello **spazio** sono captate per via **diretta** direzionando la **parabola ricevente** verso i punti in cui questi satelliti risultano posizionati.

Le onde **UHF - VHF - SHF** che seguono la via terrestre presentano la caratteristica di poter essere facilmente **riflesse** o **rifratte** da una montagna o da un lago (vedi fig.291) e per questo motivo sono in grado di raggiungere zone in cui l'**onda diretta** non riuscirebbe mai ad arrivare.

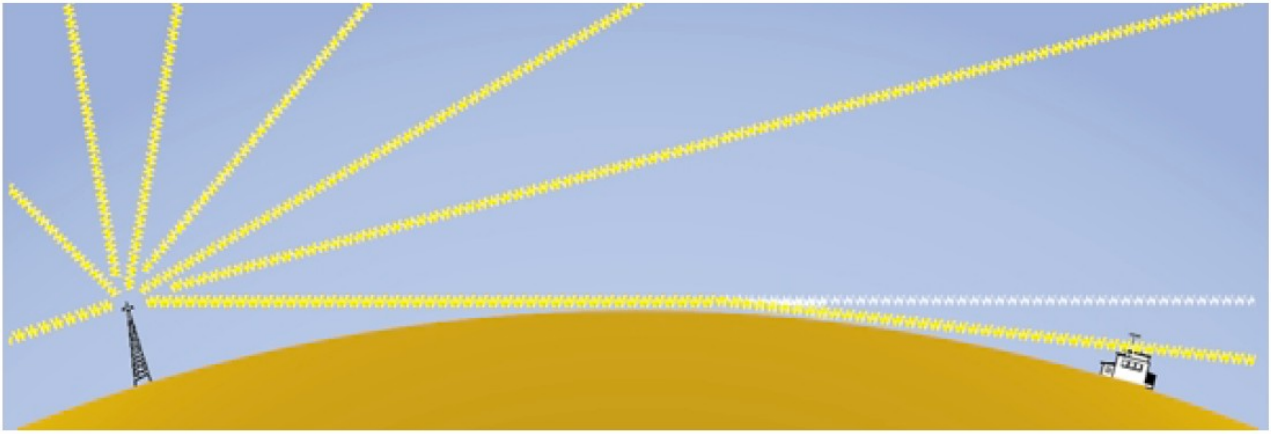


Fig.290 Le “onde di terra” non seguono mai una linea retta, perché attratte verso il suolo dal campo magnetico terrestre. Un’antenna emittente posta ad un’altezza di 300 metri dal livello del mare ha un “orizzonte ottico” di circa 60 km, ma per effetto dell’attrazione del campo magnetico terrestre queste onde radio riescono a raggiungere distanze maggiori.

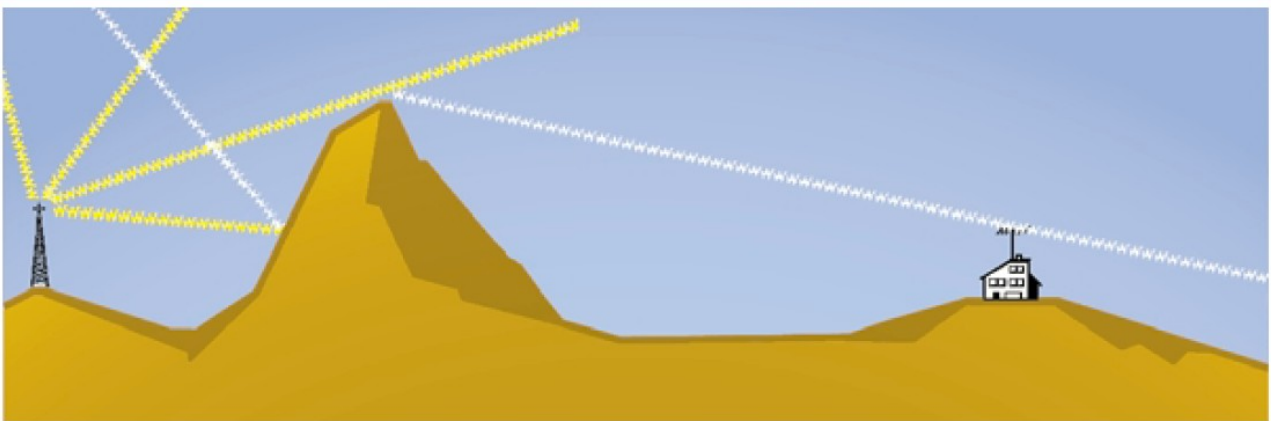


Fig.291 Le onde VHF - UHF presentano la caratteristica di poter essere riflesse - diffratte - rifratte se incontrano un ostacolo. In pratica si riflettono o si diffrangono come fa la luce con uno specchio e per questo motivo possono raggiungere zone in cui l’onda diretta non arriverebbe mai.

MODULAZIONE dei SEGNALI RF

segnali **RF** possono raggiungere distanze di centinaia e migliaia di chilometri ed essere captati tramite un’**antenna**, ma noi non riusciremo mai ad **udirli** perché il nostro **orecchio** non riesce a rilevare frequenze superiori a **20.000 Hertz**.

Eppure se accendiamo una radio noi riusciamo ad ascoltare **musica** e **parlato**, cioè tutti i segnali di **bassa frequenza** compresi nella gamma acustica dai **20 Hertz** ai **20.000 Hertz**.

A questo punto vi chiederete com’è possibile che un segnale di **alta frequenza** si trasformi in un segnale udibile di **bassa frequenza**.

La risposta è presto detta: i segnali di **RF** vengono usati nelle trasmissioni radio o televisive solo come **veicolo portante** per inviare ad una velocità di **300.000 km al secondo** un qualsiasi segnale di **bassa frequenza**.

Per spiegare meglio il concetto di **veicolo portante** vi portiamo questo esempio.

Se volessimo far arrivare a **New York** dall’Italia con i suoi mezzi una **tartaruga** (segnale di **BF**), impiegheremmo degli anni.

Per farla arrivare in poco tempo c’è un solo sistema:

caricarla su un veicolo molto veloce quale ad **esempio un aereo a reazione** (segnale di **RF**).

Allo stesso modo, per far giungere a notevole distanza e molto velocemente un qualsiasi segnale di **bassa frequenza** si è pensato di **caricarlo** sopra un segnale veloce come quello di **alta frequenza**, che è in grado di percorrere **300.000 km al secondo**.

Il segnale di **alta frequenza** che “trasporta” il segnale di **bassa frequenza** prende il nome di segnale **RF modulato**.

Un segnale di **alta frequenza** si può modulare in due diversi modi: in **ampiezza**, come si usa normalmente per le **Onde Medie - Corte**, oppure in **frequenza**, come si usa per le **gamme VHF – UHF**.

MODULAZIONE in AMPIEZZA

Per **modulare** un segnale in **ampiezza** si sovrappone il segnale di **bassa frequenza** (vedi fig.292) sul segnale di **alta frequenza** ottenendo così un segnale **RF** variabile in **ampiezza** che riproduce fedelmente la sinusoide del segnale di **bassa frequenza**.

Come potete notare nelle figg.292, il segnale **BF** risulta presente su entrambe le estremità del **segnale di alta frequenza**.

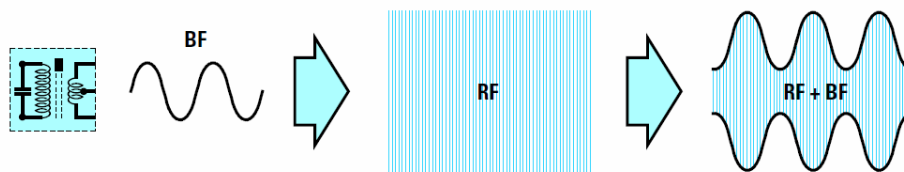


Fig.292 Per modulare in AM un segnale di Alta Frequenza occorre sovrapporre alla sua portante il segnale sinusoidale di Bassa Frequenza. Come potete notare, la sinusoide di BF si sovrappone automaticamente su entrambe le estremità del segnale di Alta Frequenza aumentando così l'ampiezza (vedi disegno a destra).

MODULAZIONE in FREQUENZA

La **modulazione in frequenza**, indicata con la sigla **FM** (Frequency Modulation), viene così chiamata perché il segnale di **bassa frequenza** viene utilizzato per variare la **frequenza** del segnale **RF** e non la sua **ampiezza**, come avveniva nel caso precedente (vedi fig.298).

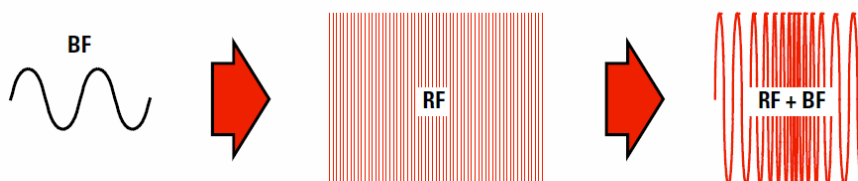


Fig.298 Per modulare in FM un segnale di Alta Frequenza le onde sinusoidali di Bassa Frequenza vengono sommate e sottratte alla “frequenza portante”. In questo modo varia la frequenza, ma non la ampiezza. Una frequenza di 90 MHz modulata in FM si sposta da un minimo di 89,98 MHz fino a un massimo di 90,02 MHz.

Rispetto alla modulazione **AM**, la modulazione **FM** presenta il vantaggio di essere immune ai **disturbi** perché il ricevitore **FM** rileva solo le **variazioni di frequenza** e qualsiasi disturbo che farebbe variare l'**ampiezza** del segnale **RF** viene automaticamente ignorato.

Un segnale in **FM** si può modulare in **frequenza** partendo da una frequenza minima di **20 Hz** fino a raggiungere un massimo di **20.000 Hz**.

Solo questo tipo di **modulazione** è in grado di riprodurre fedelmente tutta la banda **audio** e per questo motivo si utilizza per le trasmissioni **Hi-Fi** e in campo radiamatoriale per le gamme **VHF** e **UHF**.

MODULAZIONE in AMPIEZZA A PORTANTE SOPPRESSA (SSB)

Per capire la differenza che esiste tra un segnale modulato in AM e uno modulato in SSB basta osservare come si presentano i due segnali sullo schermo di un Analizzatore di Spettro.

Se la moduliamo con una frequenza più alta, ad esempio sui 3.000 Hz (vedi fig.5), vediamo apparire sulla banda inferiore un segnale di: $3.500.000 - 3.000 = 3.497.000$ Hz e sulla banda superiore un segnale di: $3.500.000 + 3.000 = 3.503.000$ Hz

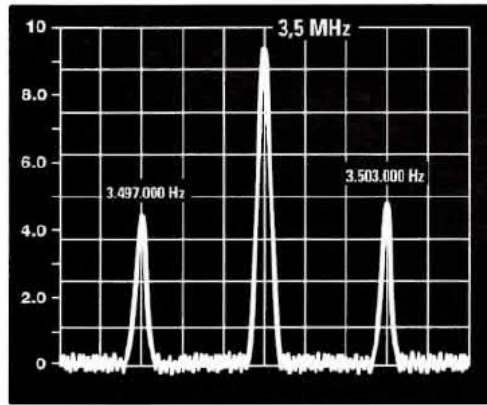


Fig.5 Modulandola con una nota fissa di 3.000 Hz appaiono nuovamente due portanti, una sulla frequenza di 3.497.000 Hz e l'altra sui 3.503.000 Hz.

Questi esempi ci sono serviti per dimostrarvi che le due frequenze laterali di modulazione si avvicinano e si allontanano dalla portante centrale in funzione della frequenza del segnale BF. Con un trasmettitore in SSB che trasmette sulla frequenza di 3,5 MHz pari a 3.500.000 Hz, notiamo che in assenza di modulazione non appare più, come per la trasmissione in AM (vedi fig.1), la frequenza portante RF perché soppressa (vedi fig.2).

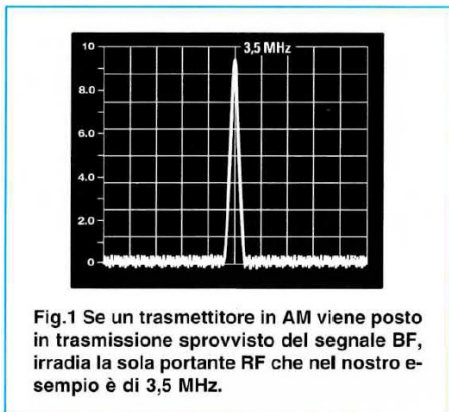


Fig.1 Se un trasmettitore in AM viene posto in trasmissione sprovvisto del segnale BF, irradia la sola portante RF che nel nostro esempio è di 3,5 MHz.

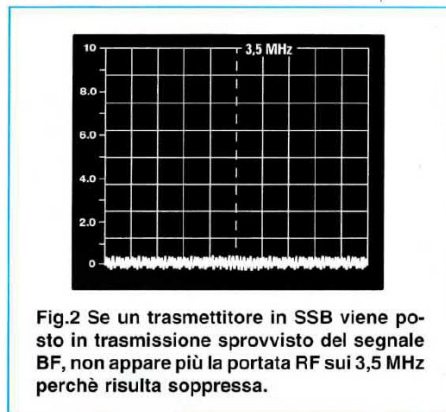


Fig.2 Se un trasmettitore in SSB viene posto in trasmissione sprovvisto del segnale BF, non appare più la portante RF sui 3,5 MHz perché risulta soppressa.

Se abbiamo predisposto l'eccitatore per la **LSB** e abbiamo scelto per la trasmissione sempre la frequenza dei 3.500.000 Hz, modulandola con un segnale BF di 200Hz noi vedremo apparire sullo schermo un solo segnale RF a: $3.500.000 - 200 = 3.499.800$ (vedi fig.6)

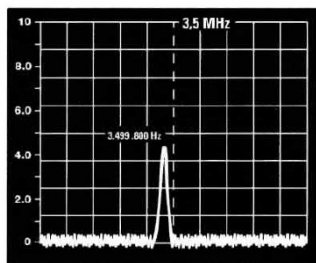


Fig.6 Modulando un eccitatore LSB che trasmette sui 3,5 MHz con una nota di 200 Hz, si ottiene una sola portante RF sulla frequenza di 3.499.800 Hz.

Se abbiamo predisposto l'eccitatore per la **USB** e abbiamo scelto per la trasmissione sempre la frequenza dei 3.500.000 Hz, modulandola con un segnale BF di 200Hz noi vedremo apparire sullo schermo un solo segnale RF a: $3,500,000 + 200 = 3,500,200$ (vedi fig.9)

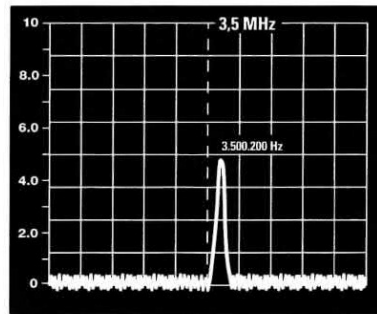


Fig.9 Modulando un eccitatore USB che trasmette sui 3,5 MHz con una nota di 200 Hz, si ottiene una sola portante RF sulla frequenza di 3.500.200 Hz.

BASSA FREQUENZA ed ALTA FREQUENZA

Una tensione alternata può partire da una frequenza di **pochi hertz** e raggiungere anche una frequenza di qualche **miliardo di hertz**.

In funzione della loro **frequenza** le tensioni alternate si comportano in modo totalmente diverso le une dalle altre. Le frequenze **inferiori a 30.000 Hz** si possono trasferire a distanza solo utilizzando **due fili**, come ad esempio la tensione alternata dei **220 volt** utilizzata per l'impianto elettrico di casa, che ha una frequenza di **50 Hz**, oppure le tensioni utilizzate per far funzionare i telefoni analogici, che hanno una frequenza variabile da **100 a 3.000 Hz**, oppure quelle utilizzate per far funzionare le Casse Acustiche di un amplificatore **Hi-Fi**, che hanno una frequenza variabile da **20 a 20.000 Hz**.

Le frequenze **superiori a 30.000 Hz** si riescono a trasferire a notevole distanza senza utilizzare **nessun filo**, come scoprì **Marconi** nel lontano **1895** quando riuscì a trasmettere il **primo** segnale **radio** ad una distanza di circa **2 km** utilizzando una rudimentale antenna ricavata da una latta di petrolio.

Per irradiare un segnale di **alta frequenza** nello spazio occorre applicarlo ad un'**antenna irradiante** costituita da un comune filo di rame accordato sulla **frequenza** da trasmettere.

Da questa antenna il segnale di **alta frequenza** riesce a propagarsi in tutte le direzioni alla stessa velocità della luce, cioè a **300.000.000 metri al secondo** pari a **300.000 km al secondo**.

FREQUENZA e LUNGHEZZA D'ONDA

Spesso si legge che per ricevere l'**emittente X** è necessario sintonizzare il ricevitore sulla frequenza di **1.000 kilohertz** oppure sulla **lunghezza d'onda** di **300 metri**.

In queste righe vi spieghiamo che relazione c'è tra **frequenza** e **lunghezza d'onda**.

La **frequenza** è il **numero** di onde presenti nel tempo di **1 secondo** espresse in **hertz - kilohertz - Megahertz - Gigahertz** (vedi figg.335-336).

La **lunghezza d'onda** è la distanza che intercorre tra l'inizio e la fine di **una sola** onda sinusoidale espressa in **metri** o in **centimetri** (vedi fig.337). Dire **10 kilohertz** equivale a dire che in **1 secondo** vengono irradiate **10.000 sinusoidi** e dicendo **80 Megahertz** che in **1 secondo** vengono irradiate **80.000.000 sinusoidi**.

FORMULE per CONVERTIRE la FREQUENZA in LUNGHEZZA D'ONDA

Esempio: sapendo che le emittenti **FM** coprono una banda di frequenze che va da **88 MHz** a **108 MHz**, vogliamo conoscere la **lunghezza d'onda** utilizzata per questa gamma.

Soluzione: poiché la frequenza è espressa in **MHz** dobbiamo utilizzare la formula:

- $300.000.000 / 88.000.000 = 3,40$ metri
- $300.000.000 / 108.000.000 = 2,77$ metri

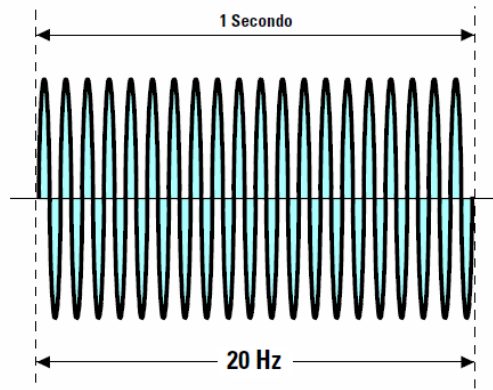


Fig.335 La "frequenza" indica il numero di onde sinusoidali presenti in un tempo di "1 secondo". L'hertz è l'unità di misura ed i KHz - MHz -GHz i suoi multipli.

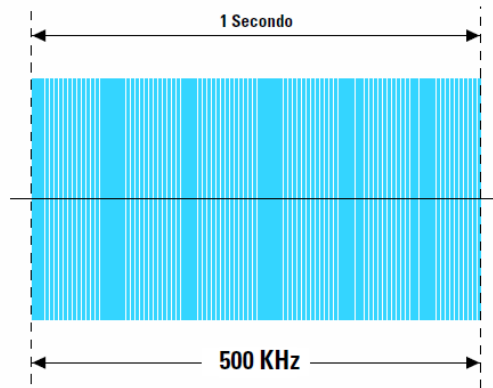


Fig.336 Più aumenta il valore in Hz - KHz - MHz più aumenta il numero di sinusoidi in "1 secondo". Una frequenza di 500 kHz irradia 500.000 sinusoidi in 1 secondo.

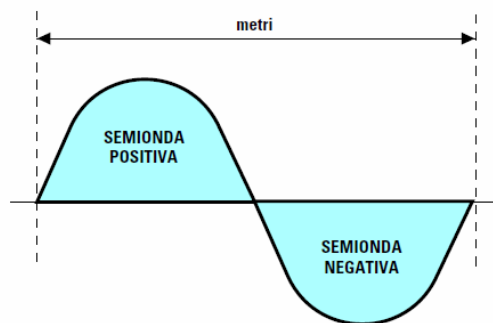


Fig.337 La "lunghezza d'onda" è la distanza in chilometri - metri o centimetri che intercorre tra l'inizio e la fine di una SOLA e completa sinusoide alternata.

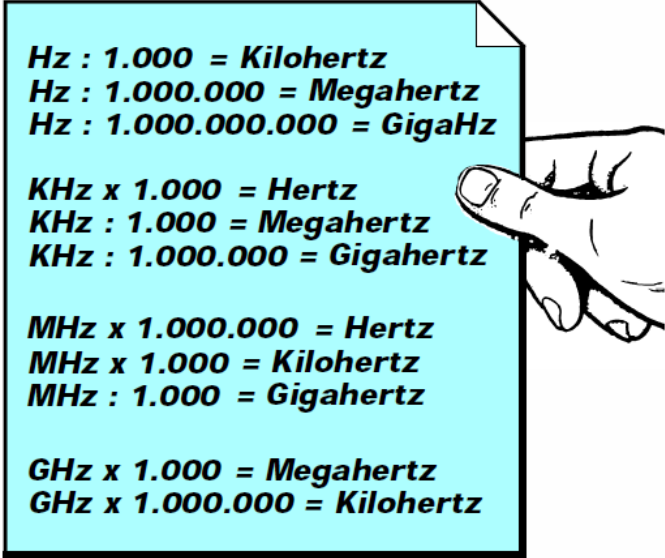
UNITÀ di MISURA

Tutti i segnali di **bassa frequenza** scorrono in un filo alla stessa velocità di un segnale di **alta frequenza**, cioè a **300.000 km al secondo**.

Quando questo segnale viene trasformato in **suono acustico** tramite un **altoparlante** le vibrazioni sonore si propagano nell'aria ad una velocità di soli 340 metri al secondo.

Le **vibrazioni sonore** non riescono mai a percorrere elevate distanze perché più ci si allontana dalla sorgente più queste vibrazioni si **attenuano**. I segnali di **alta frequenza** vengono normalmente indicati in **kilohertz - Megahertz - Gigahertz**.

Per convertire gli **hertz** in **kHz - MHz - GHz** o viceversa possiamo usare queste formule:



Hz : 1.000 = Kilohertz
Hz : 1.000.000 = Megahertz
Hz : 1.000.000.000 = GigaHz

KHz x 1.000 = Hertz
KHz : 1.000 = Megahertz
KHz : 1.000.000 = Gigahertz

MHz x 1.000.000 = Hertz
MHz x 1.000 = Kilohertz
MHz : 1.000 = Gigahertz

GHz x 1.000 = Megahertz
GHz x 1.000.000 = Kilohertz

SUDDIVISIONE delle FREQUENZE RADIO

Frequenze	Lunghezza d'onda	Sigla	Inglese	Italiano
30 kHz - 300 kHz	10 km - 1 km	LF	Low Frequency	Onde Lunghe
300 kHz - 3 MHz	1 km - 100 m	MF	Medium Frequency	Onde Medie
3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m	HF	High Frequency	Onde Corte
30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m	VHF	Very High Freq.	Onde metriche
300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm	UHF	Ultra High Freq.	Onde decimetriche
3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm	SHF	Super High Freq.	Microonde
30 GHz - 300 GHz	1 cm - 0,1 cm	EHF	Extremely High	Microonde

LE SIGLE AF - RF - BF

I segnali con frequenza inferiore a **30.000 Hz** vengono chiamati di **Bassa Frequenza** ed indicati con la sigla **BF**.
I segnali superiori a **30.000 Hz** vengono chiamati di **Alta Frequenza** e indicati con la sigla **AF**.

Nel linguaggio **internazionale** anziché usare le sigle **BF** o **AF** si utilizzano quelle derivate dalla lingua anglosassone, cioè:

- **AF** (Audio Frequency) per i segnali di **BF (bassa frequenza)**
- **RF** (Radio Frequency) per i segnali di **AF (alta frequenza)**