

## CLASSIFICAZIONI DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Tutte le varie frequenze interessanti le trasmissioni radio-televisive sono state classificate in un'assemblea internazionale delle Radio e Telecomunicazioni tenutasi ad Atlantic City nel **1947**.

Nella tabella che segue è riportata la suddivisione delle onde radio nelle varie bande di frequenza, con le relative denominazioni secondo lo standard **IEEE** (Institute of Electrical and Electronic Engineers-Organizzazione professionale USA).

Lo spettro è suddiviso in **11 bande di frequenza**, designate da numeri interi consecutivi.

Numero di banda	Simbolo (Sigla)	Gamma di frequenza	Gamma di lunghezza d'onda	Definizione (onde ...)
1	<b>ELF</b> (Extremely Low Frequencies)	da 3 Hz a 30 Hz	Da 100.000 Km a 10.000 Km	
2	<b>SLF</b> ( Super Low Frequencies)	da 30 Hz a 300 Hz	Da 10.000 Km a 1.000 Km	
3	<b>ULF</b> (Ultra Low Frequencies)	da 300 Hz a 3 KHz	Da 1.000 Km a 100 Km	<b>megametriche</b>
4	<b>VLF</b> (Very Low Frequencies)	da 3 KHz a 30 KHz	da 100 Km a 10 Km	<b>miriametriche</b>
5	<b>LF</b> (Low Frequencies)	da 30 KHz a 300 KHz	da 10 Km a 1 Km	<b>chilometriche</b>
6	<b>MF</b> (Medium Frequencies)	da 300 KHz a 3000 KHz	da 1 Km a 0,1 Km	<b>ettometriche</b>
7	<b>HF</b> (High Frequencies)	da 3 MHz a 30 MHz	da 100 m a 10 m	<b>decametriche</b>
8	<b>VHF</b> (Very High Frequencies)	da 30 MHz a 300 MHz	da 10 m a 1 m	<b>metriche</b>
9	<b>UHF</b> (Ultra High Frequencies)	da 300 MHz a 3000 MHz	da 100 cm a 10 cm	<b>decimetriche</b>
10	<b>SHF</b> (Super High Frequencies)	da 3 GHz a 30 GHz	da 10 cm a 1 cm	<b>centimetriche</b>
11	<b>EHF</b> (Extra High Frequencies)	da 30 GHz a 300 GHz	da 10 mm a 1 mm	<b>millimetriche</b>

E' d'uso comune distinguere anche tra:






- **radio-frequenze** ( le frequenze fino a **220 [Mhz ]** )
- **microonde** ( le frequenze al di sopra di **220 [ Mhz]** - parte alta dello spettro elm )

Nella pratica le radio-onde vengono suddivise in:

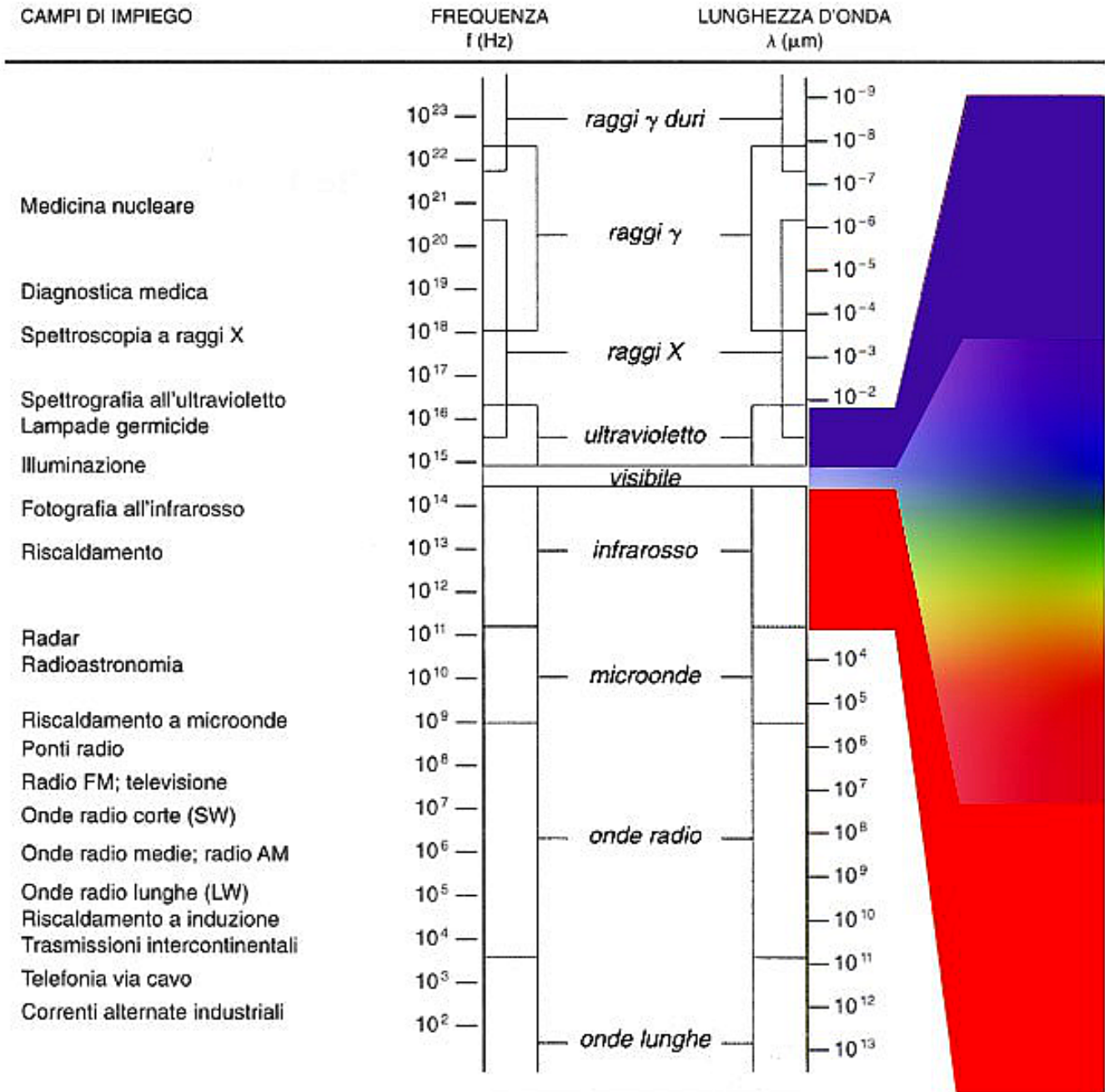
- **onde lunghe** , comprendendo le **ELF, SLF, ULF, VLF, LF**
- **onde medie** , corrispondenti alle **MF**
- **onde corte** , corrispondenti alle **HF**
- **onde ultracorte / microonde** , **VHF, UHF, SHF, EHF**

**Lo spettro delle microonde** viene ulteriormente suddiviso in bande che vengono contraddistinte da una lettera dell'alfabeto.

## Bande di frequenza– lunghezza d'onda – applicazioni tecnologiche

nome	$f$ in Hz	$\lambda$ in m	indicazione	esempi
	$10^{-1}$			
		$10^9$		Oscillazioni di terremoti, maree, ponti, torri, grattacieli, pendoli di orologio
	$10^0$			
		$10^8$		telescriventi
<b>Extremely Low Frequencies ELF</b>	3 Hz			infrasuoni
		$10^7$		25 Hz   16 $\frac{2}{3}$ Hz   50 Hz   16 Hz
<b>Super Low Frequencies SLF</b>	30 Hz			frequenze industriali 
		$10^6$		(frequenze acustiche BF)
<b>Ultra Low Frequencies ULF</b>	300 Hz			300 Hz telefono 
		$10^5$		(orecchio umano)
<b>Very Low Frequencies VLF</b>	3 kHz		onde miriametriche	3,4 kHz
		$10^4$		suoni percepibili
<b>Low Frequencies LF</b>	30 kHz		onde chilometriche	20 kHz ultrasuoni
		$10^3$		
<b>Medium Frequencies MF</b>	300 kHz		onde ettometriche	150 kHz onde lunghe
		$10^2$		285 kHz onde medie
<b>High Frequencies HF</b>	3 MHz		onde decametriche	1605 kHz radio 
		$10^1$		3,95 MHz onde corte
<b>Very High Frequencies VHF</b>	30 MHz		onde metriche	26,1 MHz   40 MHz   47 MHz televisione 
		$10^0$		onde ultracorte
<b>Ultra High Frequencies UHF</b>	300 MHz		onde decimetriche	223 MHz   790 MHz
		$10^{-1}$		30 MHz
<b>Super High Frequencies SHF</b>	3 GHz		onde centimetriche	ipersuoni- 
		$10^{-2}$		gamma
<b>Extremely High Frequencies EHF</b>	30 GHz		onde millimetriche	infrarossi, luce e raggi x
		$10^{-3}$		40 GHz ponti radio, radar
	300 GHz			

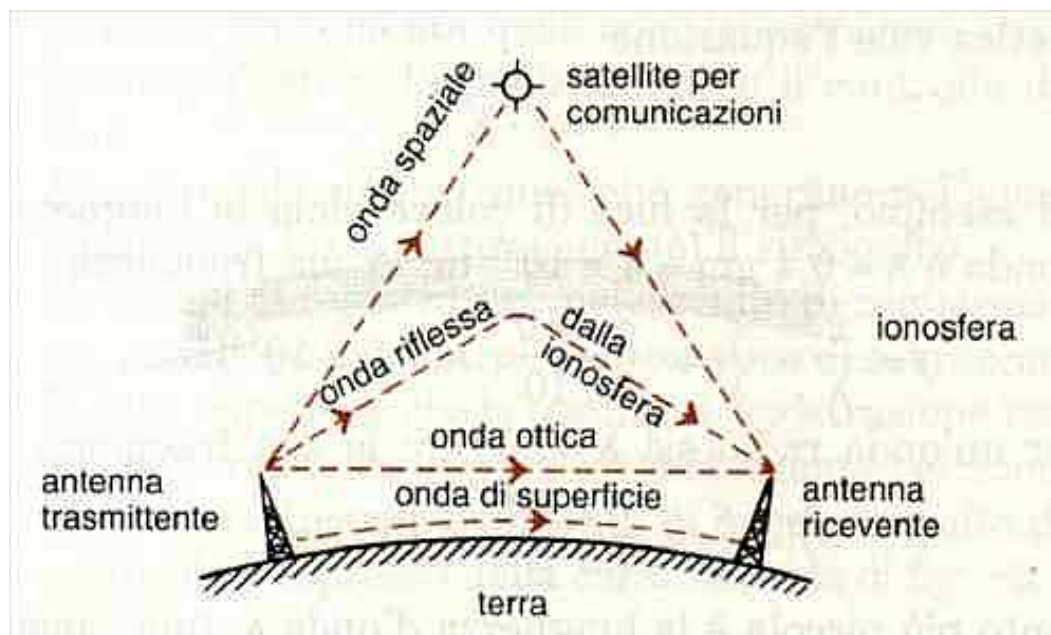
## SPETTRO DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE



## SISTEMI DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Le onde elettromagnetiche, una volta irradiate dall'antenna trasmittente, possono raggiungere l'antenna ricevente in quattro modi, come:

- **onda terrestre o onda di superficie**
- **onda spaziale diretta**
- **onda spaziale riflessa dalla ionosfera**
- **onda spaziale riflessa dai satelliti**



### Onda terrestre o onda di superficie

L'onda terrestre si ha quando le antenne Tx e Rx si trovano vicino al suolo, ad altezza relativamente piccola nei confronti della lunghezza d'onda della frequenza emittente ed entrambe le antenne sono polarizzate verticalmente.

Questo tipo di onde si propaga rasente al suolo, seguendo la curvatura della superficie terrestre.

Il percorso che esse possono compiere è essenzialmente limitato dall'**assorbimento** di energia esercitato dal suolo.

Il suolo in parte assorbe ed in parte riflette le onde che si propagano lungo di esso. L'attenuazione subita da queste onde è tanto maggiore quanto più è elevata la frequenza del segnale e pertanto l'onda terrestre viene impiegata per la radiodiffusione ad onde lunghe e medie.

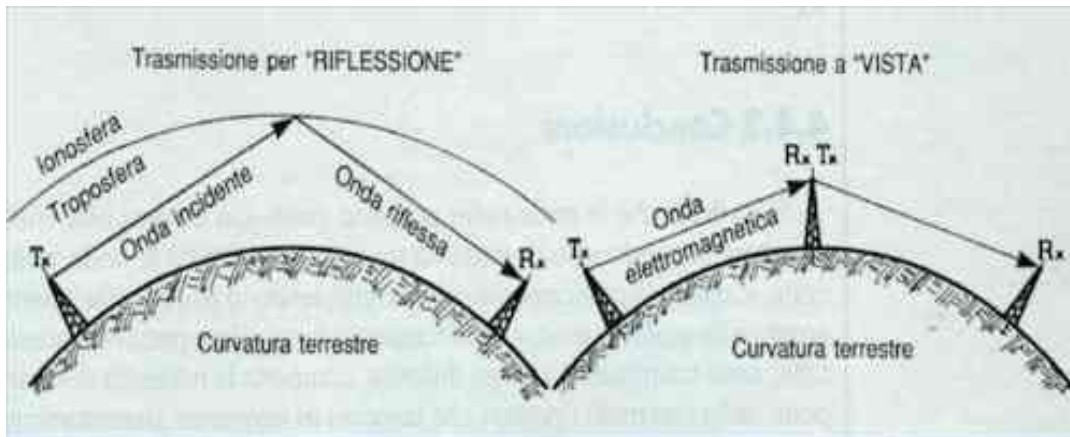
Le onde lunghe (a bassa frequenza) possono compiere percorsi anche di 1500 **Km**.

## Onda spaziale diretta

L'onda spaziale diretta si ha quando le antenne Tx e Rx si trovano ad una altezza **superiore** rispetto alla lunghezza d'onda del segnale trasmesso.

L'altezza sarà tale che le antenne si potranno considerare a "**distanza ottica**", nel senso che quella TX vede quella RX.

Le onde dirette vengono di solito impiegate per frequenze superiori ai 30 **MHz**, detta **frequenza critica**, cioè con lunghezza d'onda inferiore a 10m e quindi nelle trasmissioni TV e radio **FM**.



## Onda spaziale riflessa dalla ionosfera

Le onde ionosferiche non raggiungono direttamente l'antenna Rx, ma provengono dall'alto dopo essere state riflesse dalla ionosfera.

La riflessione avviene perchè queste onde hanno **frequenza inferiore alla frequenza critica di 30 MHz**.

La terra non è circondata completamente dal vuoto, ma da un grande involucro d'aria detto **atmosfera**, che a sua volta si distingue in:

### **troposfera :**

dalla crosta terrestre fino a circa 16 **Km** di altezza con temperature da +15 fino a - 55 [°C ]

### **stratosfera :**

da 16 a 60 **Km**, con temperature da - 55 a 0, poi a +50 ed infine di nuovo a -75 [°C ]

### **ionosfera :**

oltre i 60 **Km** con temperature da - 75 a +1000 [°C ]

### **esosfera :**

oltre i 480 **Km**

Nella ionosfera si individuano poi gli strati:

- D da 60 a 80 **Km** presente solo di giorno
- E da 90 a 130 **Km**
- F1 da 180 a 220 **Km**
- F2 da 220 a 500 **Km**

Durante la notte gli strati F1 ed F2 si uniscono in un unico strato F localizzato tra 250 e 350 **Km**.

La ionosfera viene così chiamata perché, quando quella zona di atmosfera viene ad essere colpita dalle radiazioni ultraviolette emesse dal Sole, diviene ionizzata.

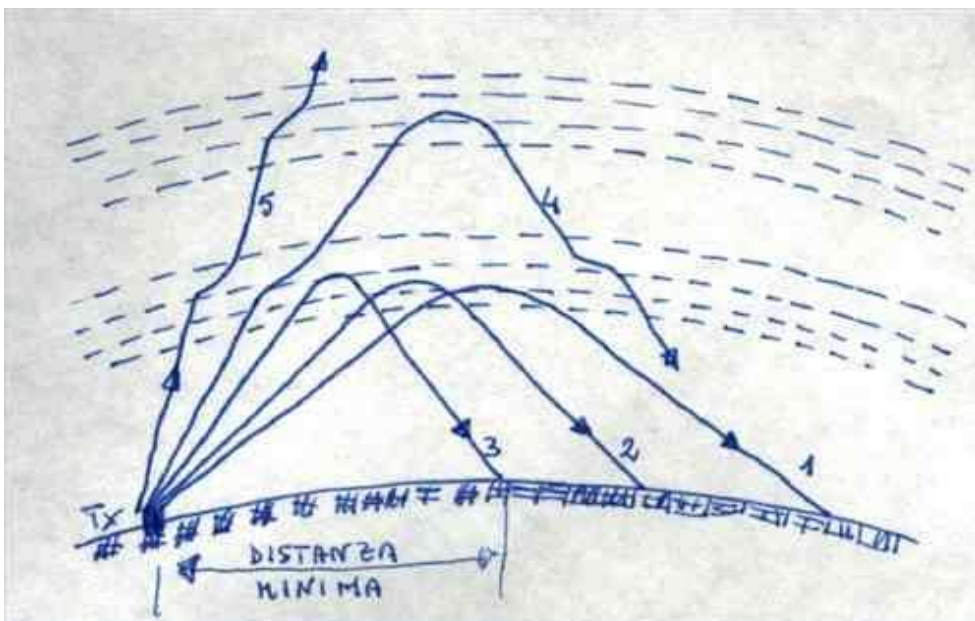
La ionizzazione varia nell'arco della giornata (è massima a mezzogiorno) e nell'arco delle stagioni (è massima d'inverno).

Gli strati prima citati sono caratterizzati da un diverso grado di ionizzazione e tra quelli più bassi vi sono fasce di separazione a bassa ionizzazione che modificano l'angolo di **rifrazione** dell'onda.

Quando l'onda elettromagnetica emessa dal Tx penetra in zone successivamente più ionizzate, subisce spostamenti rispetto alla sua traiettoria normale **tanto più rilevanti quanto più intensa è la ionizzazione**.

Quando la deviazione subita dall'onda incidente raggiunge e supera i  $90^\circ$ , essa non può più penetrare nello strato ionizzato e viene da questo **totalmente riflessa**.

L'onda riflessa, attraversando, nel suo ritorno alla terra, strati successivamente meno ionizzati, modifica la direzione, rendendola a poco a poco rettilinea, in modo da uscire dallo strato riflettente **con un angolo pari** a quello incidente.



La riflessione totale di un'onda a radiofrequenza, da parte dello strato ionizzato, dipende oltre che dalla frequenza del segnale, dalla densità di ionizzazione degli strati atmosferici e dall'angolo di incidenza nella ionosfera.

La figura sopra mostra vari casi, per angoli di incidenza diversi.

La **curva 1** si riferisce ad un'onda con angolo molto grande, per cui essa subisce la riflessione già dal primo strato ionizzato.

Le **curve 2 e 3** con angolo di incidenza più piccolo, debbono penetrare di più lo strato ionizzato per essere riflesse.

La **curva 4** ci mostra il caso in cui l'onda attraversa il primo strato per essere riflesso dal secondo che si ipotizza più ionizzato del primo. Si nota che man mano che l'angolo di incidenza diminuisce, diminuisce anche la distanza dell'onda riflessa dal trasmettitore, fino a raggiungere una distanza minima per un certo angolo di incidenza.

Questa distanza minima viene chiamata "**zona di silenzio**".

La **curva 5** rappresenta un'onda che incide lo strato ionizzato con un angolo molto piccolo. Essa non subisce la giusta rifrazione dagli strati ionizzati e prosegue il cammino senza ritornare sulla Terra.

## Onda spaziale riflessa dai satelliti

L'onda spaziale riflessa dai satelliti si ha quando (come nel caso della curva 5 ma, questa volta, volutamente) un segnale viene inviato nello spazio con un angolo incidente molto piccolo ed indirizzato in punto preciso dello spazio in cui è allocato un "**satellite geostazionario**".

Il satellite, mantenendo rigorosamente costante la posizione nei confronti della terra, si comporta come se fosse un'antenna di enorme altezza (circa **36.000 Km** ) capace di "riflettere" il segnale verso la Terra.

Il satellite si comporta in effetti come antenna ricevente RX per i segnali che giungono da Terra e da antenna trasmittente Tx per i segnali che da essa vengono poi irradiati verso Terra.

La ricezione a terra dei segnali radiotelevisivi irradiati da satelliti da parte di impianti fissi è possibile solo se i satelliti appaiono immobili nello spazio.

Ciò accade quando essi descrivono orbite di rivoluzione circolari e caratterizzate da una **velocità angolare** corrispondente a quella Terrestre.

Una tale orbita, detta geostazionaria (vedere figura sotto), è caratterizzata da un raggio di circa **42.106 Km** dal centro della terra, vale a dire circa **35.800 Km** dalla superficie Terrestre.

Su quest'orbita, la forza di attrazione esercitata dalla Terra sul satellite è perfettamente bilanciata dalla forza centrifuga conseguente alla velocità angolare di 1 **giro/giorno**, la velocità di spostamento del satellite sull'orbita geostazionaria è pari a circa **11.000 Km/h**.

Infatti :  $1 \text{ giro} = 2\pi r = 2\pi * 42.106 = 264.560 \text{ Km}$

$264.560 / 24 = 11.023 \text{ Km/h}$

La posizione del satellite sull'orbita geostazionaria, detta "**fascia di Clark**"

(dal nome dello scienziato che per primo, nel 1945, ipotizzò la possibilità di un servizio radiotelevisivo "mondiale" tramite tre satelliti distanti **120°**), è misurata in gradi rispetto al meridiano di Greenwich, con segno negativo a Ovest e positivo a Est di questo.

