

LE ONDE RADIO

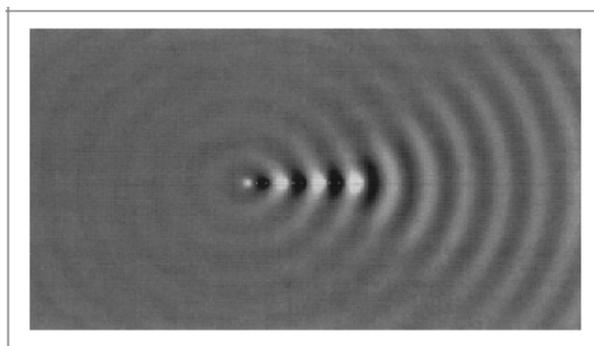
di Giovanni G. Turco, ik0ziz

Ogni perturbazione fisica, prodotta in una qualsiasi regione dello spazio, è definibile **onda**.

Lo spazio è il mezzo di propagazione attraverso il quale l'onda si diffonde in modo ondulatorio, producendo un effetto conseguente anche in altra regione.

Esistono diversi tipi di onda: quelle che si propagano in un mezzo materiale, nell'aria, ma anche nel vuoto assoluto.

Una immagine per descrivere il fenomeno dell'onda è quella in figura, dove nello specchio d'acqua è stato lanciato un sasso. A partire dal punto d'impatto hanno origine movimenti d'acqua ad onde circolari concentriche che si propagano sulla superficie, allargandosi.



Onde che si propagano in uno specchio d'acqua.

Altro esempio è quello di una fune, elastica e molto lunga, tesa, in posizione orizzontale. Se ad un suo estremo viene impresso un movimento veloce in senso verticale, ne deriva un effetto di onde lineari che si propagano per la sua lunghezza.



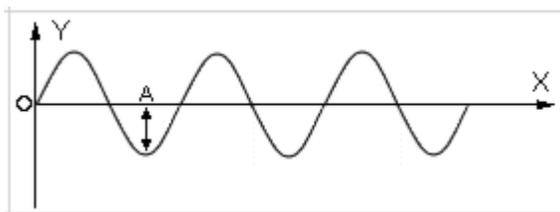
Moto oscillatorio di una fune eccitata verticalmente, lungo la quale si propagano onde lineari

Negli esempi citati, avvengono dei moti oscillatori che hanno origine nel punto di eccitazione.

Per effetto delle forze che legano le particelle che compongono i mezzi, e per la loro inerzia, l'oscillazione si trasmette nelle parti vicine che la diffondono a quelle a loro prossime e così via, fino a che la propagazione viene interessata lungo tutto il mezzo materiale sotto forma di **onda meccanica**.

L'onda è caratterizzata da alcuni parametri che sono:

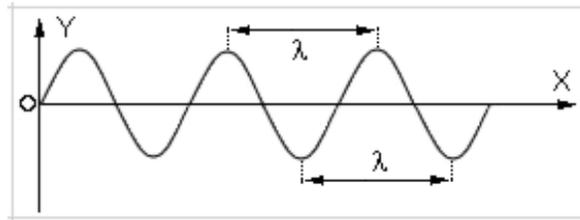
- A**, l'ampiezza, che è la massima variazione della grandezza oscillante; in altre parole è il massimo spostamento in ampiezza rispetto alla posizione di riposo;



Ampiezza dell'onda. Il tratto A è il massimo spostamento che un punto qualsiasi dell'onda subisce rispetto alla posizione di riposo. Si chiama "potenza istantanea" o "picco di potenza".

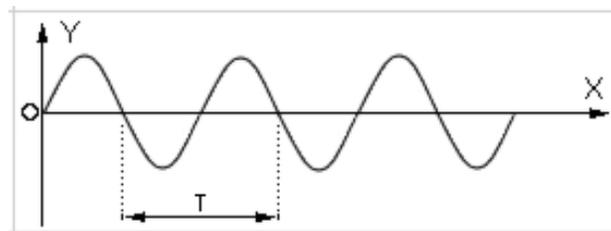
- b. λ , la lunghezza d'onda, che indica la distanza tra due punti successivi corrispondenti dell'onda, detti anche "creste", che si dicono in **concordanza di fase**.

La λ è legata alla relazione tra **C** ed **F** ($C : F = \lambda$), dove **C** è la velocità della luce ed **F** è la frequenza;



Lunghezza dell'onda. E' compresa tra un punto qualsiasi e quello successivo corrispondente

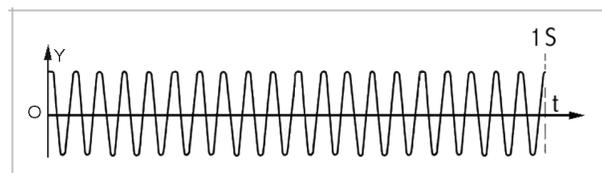
- c. **T**, il periodo, che indica il minimo intervallo di tempo impiegato per una oscillazione completa, cioè il minimo intervallo di tempo impiegato da un suo punto per riprendere le stesse caratteristiche di moto;



Il periodo "T". E' il tempo che un'onda impiega per una oscillazione completa.

- d. **F**, la frequenza, che indica il numero di oscillazioni al secondo compiute dall'onda. Rappresenta il numero di volte che, nell'unità di tempo, un suo punto riprende le stesse caratteristiche di moto.

La frequenza si misura in **Hz** (Hertz) ed è l'inverso del periodo **T**.



Oscillazioni per secondo che definiscono la frequenza.

- e. **C**, la velocità di propagazione che è la velocità di spostamento dell'oscillazione lungo la direzione di propagazione.

"**C**" è il prodotto tra la frequenza e al lunghezza d'onda ($C = \lambda \times F$)



I segnali radio percorrono, in un solo secondo, ben 7.5 giri intorno al nostro pianeta, alla velocità di 299.792,458 Kms.

Nello spazio libero, considerato come vuoto assoluto, la velocità di propagazione **V** è stabilita in 299.793,458 Kms (chilometri al secondo), di norma arrotondata a 300.000 Kms.

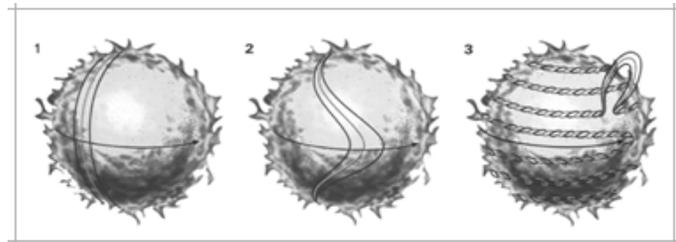
Quando l'onda percorre un mezzo diverso dallo spazio vuoto, anche se in misura trascurabile, la sua velocità viene attenuata in funzione della caratteristica di conducibilità del mezzo percorso, ed è definita dal fattore **K**.

Si può sostenere quindi, che l'onda è una perturbazione periodica, luminosa, sonora, di tensione ecc., continua o transitoria che si propaga in un mezzo, in modo tale che la variazione del suo valore medio dipende dal tempo e/o dalla posizione.

Tra i vari tipi d'onde conosciute, quelle che interessano le telecomunicazioni sono le **onde elettromagnetiche** dette **Hertziane**, nome derivato da quello dello scienziato che le scoprì, Heinrich Rudolf **Hertz**.

L'hertz è anche l'unità di misura della frequenza (**Hz**).

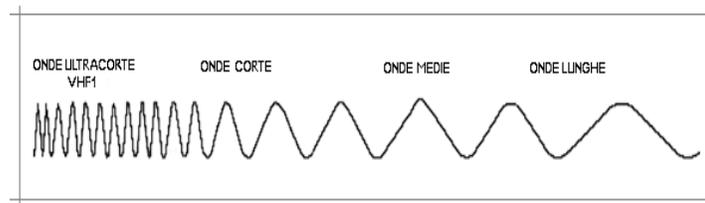
Le onde elettromagnetiche sono il prodotto di generatori naturali e/o artificiali. Il sole ad esempio, le cui radiazioni giungono sul nostro pianeta con una potenza di circa 1Kw per metro quadrato (dopo aver attraversato ben 150 milioni di chilometri nello spazio), è un generatore naturale di onde elettromagnetiche.



Formazione dei campi magnetici sul sole

Sul sole le linee del campo magnetico vengono modificate per effetto della velocità di rotazione dei gas, che è più evidente all'equatore rispetto ai poli, fino a che, avanzando ed allungandosi, si attorcigliano tanto che la pressione causa delle eruzioni.

Probabilmente è questa la causa della comparsa periodica delle macchie solari (ogni 11 anni circa), che tanto aiutano i collegamenti a lunga distanza per effetto della propagazione.



Spettro elettromagnetico

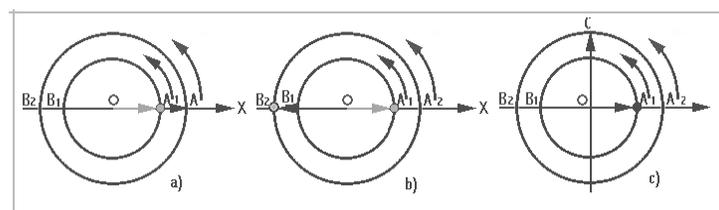
L'insieme delle varie lunghezze d'onda è definito **spettro elettromagnetico**, che è suddiviso in diverse regioni dai confini non definiti in modo preciso.

Lo spettro è compreso tra i **raggi gamma** (la lunghezza d'onda più piccola) e le **onde radio** (le lunghezze d'onda più ampie). suddivise, per convenzione, in diverse bande.

La fase

Nei moti oscillatori, concepire la **fase** è di assoluta importanza, quindi è necessario capire di cosa si tratta.

Supponiamo che due punti materiali si muovano nello stesso verso con uguale velocità angolare e costanti su due circonferenze complanari aventi lo stesso centro.



Consideriamo due diametri $A_1 B_1$ e $A_2 B_2$ appartenenti alle due circonferenze giacenti sulla stessa retta orientata OX ed immaginiamo che in un certo istante i due punti materiali si trovino nelle posizioni A_1 e A_2 (nel disegno in

a). Se assumiamo OX come retta sulla quale vengono proiettati i due moti circolari ed il punto O come punto di riferimento, gli spostamenti dei due moti armonici OA_1 e OA_2 hanno direzione, verso, velocità ed accelerazioni eguali. In questo caso quindi le caratteristiche vettoriali dei due moti armonici sono in **concordanza di fase** (in fase). Se invece un punto materiale si trova nella posizione A_1 mentre l'altro occupa la posizione B_2 (nel disegno, in b) lo spostamento OA_1 del primo moto armonico è massimo in un senso, come quello OB_2 del secondo moto armonico è massimo nel senso contrario.

La stessa cosa si può dire per le velocità ed accelerazioni. In tal caso le caratteristiche vettoriali dei due moti armonici sono opposte e si dice che esse sono in **opposizione di fase** (controfase).

Se poi un punto materiale si trova nella posizione A_1 mentre l'altro passa per la posizione C_2 appartenente alla retta di OC_2 perpendicolare ad OA_1 (nel disegno in c), lo spostamento OA_1 del primo moto armonico è massimo mentre quello del secondo è nullo. In questo caso si dice che i due moti armonici sono in **quadratura** o anche sfasati di 90° . Nei sistemi complessi di antenne, calcolare la fase è di primaria importanza, specie quando si debbano utilizzare dei cavi coassiali destinati ad unire insieme il funzionamento di due o più antenne che debbano avere lobi di irradiazione particolari, o quando si debba interporre un dispositivo in una linea che, calcolato senza tenere conto della fase, esso modificherebbe la lunghezza elettrica della linea (si allunga).

Linearità ed interferenze

Una caratteristica propria delle onde, di rilievo fondamentale, è la loro linearità, in quanto ognuna di esse possiede un proprio ciclo generazionale e viaggia indisturbata dalla presenza di eventuali altre onde con cicli diversi.

Un esempio, per comprendere questo comportamento, è quello di due sassi lanciati in uno specchio d'acqua, nello stesso punto e con intervallo di tempo brevissimo.

Le onde prodotte si allargano intorno al punto di impatto, ed ogni gruppo viaggia all'interno dell'altro senza interferirsi. Se invece, una o più onde aventi uguale frequenza si sovrappongono, vengono generati dei fenomeni detti d'interferenza.

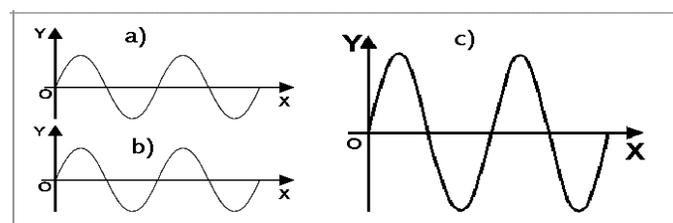
A seconda della differenza di fase di due onde sovrapposte viaggianti alla stessa frequenza, che si propagano nella stessa direzione con uguale verso, longitudinale o trasversale, avente uguale piano di polarizzazione, si verifica un indebolimento od un rafforzamento della perturbazione ondosa.

Le onde che si trovano nella zona fuori dell'interferenza (quelle del punto di origine), non subiscono alcuna alterazione e mantengono imperturbate le loro caratteristiche.



Quando si sovrappongono due onde, quella risultante è la somma delle due, in ogni istante e in ogni punto. Generalmente, l'onda che si ottiene non è più sinusoidale.

Due onde circolari, se generate contemporaneamente e con uguale frequenza da due sorgenti definite A e B sulla superficie di un liquido (in fase e di ampiezza uguale) producono, in tutti i punti superficiali dello stesso, una interferenza costruttiva, ossia un rafforzamento d'ampiezza pari alla somma delle loro singole ampiezze.

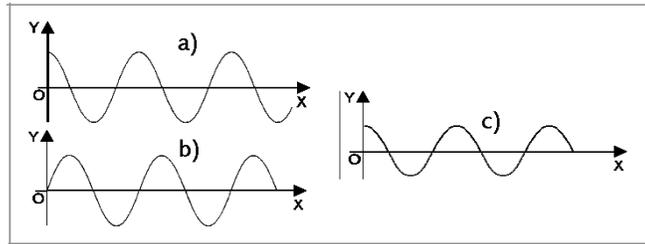


Interferenza di due onde. In a) e b) sono due onde in concordanza di fase. In c) l'onda risultante mantiene le stesse caratteristiche, tranne l'ampiezza A che risulta essere il doppio di ognuna di esse. Si tratta evidentemente di una interferenza costruttiva.

Tale condizione si verifica quando i percorsi delle due onde sono pari, o la loro differenza è pari ad una intera lunghezza d'onda. I punti in cui le onde si interferiscono costruttivamente sono definiti "ventri".

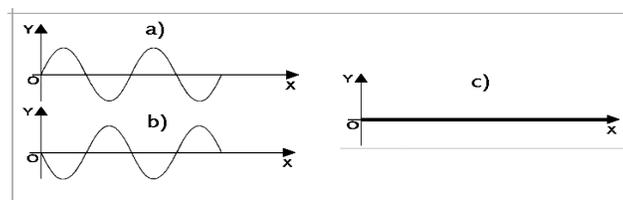
Le onde rafforzate per somma perdono la forma sinusoidale.

Se le onde non sono in fase ma in opposizione tra loro, si produce un'interferenza distruttiva e l'onda risultante ha una ampiezza nulla lì dove, naturalmente, le ampiezze delle onde componenti sono di uguale intensità.



In a) e b) due onde trasversali, aventi la stessa ampiezza A e lo stesso periodo T , ma con fase diversa tra loro, e si propagano nello stesso verso in due lunghi conduttori, disposti paralleli su uno stesso piano orizzontale. In c) la somma è minore per differenza di fase.

Tale condizione, si verifica quando i percorsi delle due onde sono diversi e pari ad un numero dispari di mezza lunghezza d'onda. I punti ove le onde si interferiscono distruttivamente sono definiti "nodi".



Interferenza distruttiva di tra due onde in opposizione di fase, con campo risultante nullo.

Battimenti ed interferenze di onde diverse

Altro caso di interferenza tra onde è quello, peraltro molto interessante, di due treni d'onda, aventi ampiezza uguale ma frequenza leggermente diversa, che si propagano contemporaneamente sullo stesso mezzo materiale.

In quel caso si verifica che l'onda risultante ha frequenza eguale alla semi somma delle frequenze delle componenti e ampiezza variabile con legge sinusoidale con frequenza eguale alla semi differenza delle frequenze delle componenti stesse.

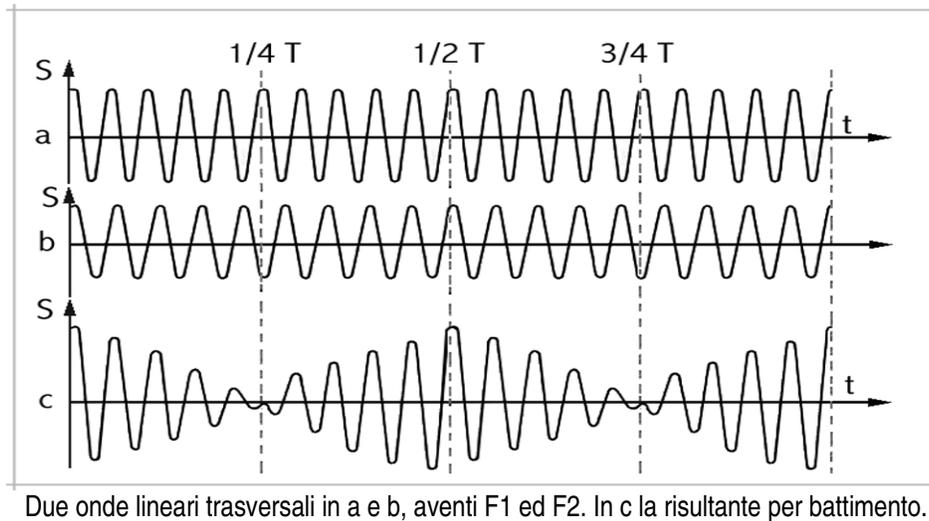
In questo tipo di interferenza, come detto, l'ampiezza varia in funzione del tempo con legge armonica e nel caso delle onde sonore, provoca delle variazioni dell'intensità del suono che si definiscono **battimenti**.

La frequenza dei battimenti è data dalla differenza delle frequenze delle onde componenti.

Se due onde radio hanno rispettivamente la frequenza di 700.000 Hz e 701.000 Hz, l'onda risultante ha una frequenza di 700.500 Hz, per cui a ogni secondo l'ampiezza assumerà 1.000 volte il valore massimo (positivo o negativo).

Tale frequenza, che è quella dei battimenti, rientra nella gamma delle frequenze acustiche ed il tipo di trasmissione è detto a modulazione di ampiezza.

I battimenti nel campo delle onde sonore possono essere prodotti eccitando simultaneamente due diapason eguali, dopo aver applicato ad un rebbio di uno dei due una piccola massa.



Alcuni tipi di onde

A seconda della dimensione del mezzo in cui si producono le onde si distinguono in **unidimensionali**, **bidimensionali**, **tridimensionali**.

Se, ad esempio, fissiamo un'estremità d'una fune elastica in un punto e dall'altra la facciamo oscillare in senso verticale, otteniamo un'onda unidimensionale.

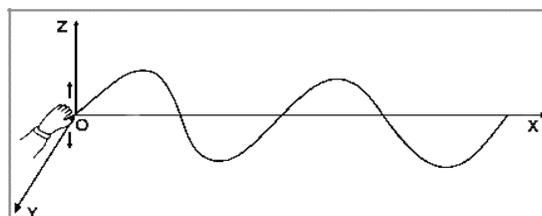
Sono dette bidimensionali, invece, quelle onde che si propagano attraverso un mezzo piano, come nell'esempio del sassolino fatto cadere nello specchio d'acqua.

Nello spazio infine, l'onda si propaga in modo tridimensionale, come avviene ad esempio per le onde sonore diffuse da un altoparlante.

Le onde piane e sferiche, ad esempio, sono del tipo a propagazione tridimensionale, dove nell'onda piana i raggi di propagazione sono paralleli e i fronti d'onda sono piani, mentre per l'onda sferica i raggi di propagazione sono semirette che escono dalla sorgente in tutte le direzioni; i fronti d'onda hanno caratteristica di superficie sferica. Inoltre, le onde si distinguono anche in trasversali e longitudinali.

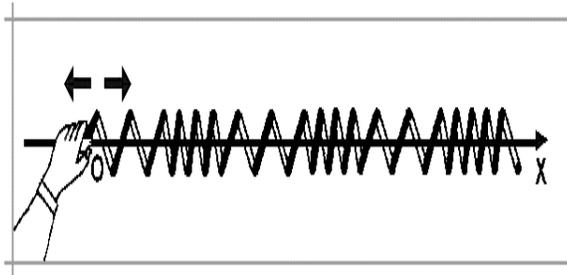
I tipi di onde descritte sono dette trasversali: "un'onda si dice trasversale se lo spostamento istantaneo di un suo qualsiasi punto risulta normale al suo raggio di propagazione.

Nell'esempio della fune, se l'estremo O viene eccitato con una forza variabile che gli imprime un moto oscillatorio semplice nella direzione dell'asse Z, perpendicolare ad X, lungo la stessa si propaga un'onda lineare detta trasversale.



Nella figura, l'onda che si propaga in una lunga fune elastica, disposta orizzontalmente direzione dell'asse X. Se l'estremo O della fune viene eccitato con una forza semplice in direzione dell'asse Z perpendicolare ad X, lungo la fune si propaga un'onda lineare trasversale. Se sostituiamo la fune con una molla e imprimiamo al suo estremo "O" un moto oscillatorio semplice lungo l'asse X (avanti/indietro), in essa si generano delle onde elastiche di compressione e rarefazione che si propagano in direzione della sua lunghezza.

Poiché tutti i punti materiali della molla vibrano lungo rette parallele al raggio di propagazione dell'onda, si definiscono quali onde longitudinali.



Una molla, disposta orizzontalmente in direzione dell'asse X. Imprimendo al suo estremo "O" un moto oscillatorio semplice lungo l'asse X, si generano delle onde elastiche di compressione e di rarefazione che si propagano in direzione della sua lunghezza.

Se il mezzo materiale è tridimensionale, come una grande massa d'acqua o d'aria, e la sorgente di oscillazione è piccola, le onde si propagano in tutte le direzioni e vengono dette longitudinali sferiche.

I tipi di onde alle quali i radioamatori sono particolarmente interessati, sono tra quelle definite "trasversali", categoria alla quale appartengono le onde elettromagnetiche.

I loro comportamenti in situazioni diverse, sono alla base d'ogni considerazione nello sviluppo di calcoli di antenne, soprattutto quando per esse si debbano concepire circuiti di accoppiamento, dove è necessario conoscere regole ben precise.

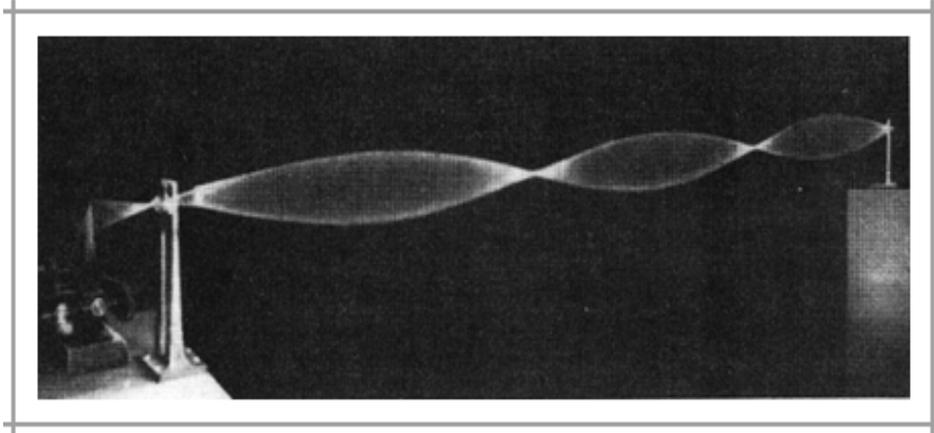
E' vero che oggi vengono commercializzati sistemi radianti "chiavi in mano", ma è ancora più vero che è importante almeno capire cosa si compra, a quale scopo si utilizza e ancor più interessante è comprendere il funzionamento di ciò che si è voluto acquistare.

Man mano, in questo testo, entreremo nei dettagli più interessanti, non proprio nel modo più approfondito, ma sufficiente per far nostra la materia, e magari potremo discutere con gli amici più edotti.

Ma torniamo al nostro discorso sui vari tipi di onde, e immaginiamo una corda elastica, tesa e fissa ad un estremo. Se con un vibratore imprimiamo all'altro estremo un moto armonico in direzione perpendicolare alla sua lunghezza, si producono una serie di onde dette linearitrasversali, aventi origine dall'estremo eccitato, le quali si propagano percorrendo tutta la sua lunghezza e, arrivate all'estremo fisso, si riflettono ribaltandosi, generando così un secondo gruppo di onde viaggianti (in senso inverso e sfasate di π radianti) che, sovrapponendosi al primo, provoca un moto generale parecchio confuso.

Regolando uno dei parametri di questa condizione, che sono la frequenza del moto vibratorio, la lunghezza della corda e la tensione della stessa, si può facilmente produrre il caratteristico fenomeno che ben conosciamo come formazione di onde stazionarie.

Mettendo in pratica questo esperimento, l'effetto visivo, per la persistenza delle immagini sulla retina dell'occhio, sarebbe quello di un moto d'insieme delle varie sinusoidi a forma di "fusi".



Effetto ottico di una corda eccitata ad un estremo. Ha origine, come si vede, un treno di onde lineari trasversali, che si propagano lungo di essa e arrivando all'altro estremo fisso si riflettono ribaltandosi. Si formano allora due treni di onde viaggianti nei due sensi sfasati di π radianti che, sovrapponendosi, danno luogo, in generale, ad un moto risultante molto confuso.

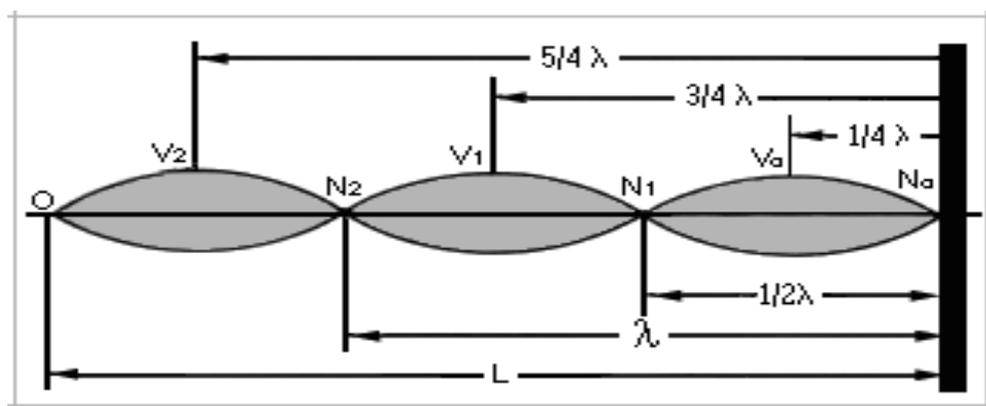
L'ampiezza delle onde stazionarie è massima, ovvero uguale al doppio della ampiezza di ciascuna componente nei punti della corda corrispondenti ad un quarto d'onda e multipli dispari (ventri, in figura nei punti V_0, V_1, V_2) nei quali, l'onda diretta proveniente dall'estremo O e l'onda riflessa proveniente dall'altro estremo, arrivano in concordanza di fase.

L'ampiezza è minima invece, nei punti corrispondenti alla mezza lunghezza d'onda e suoi multipli poiché le due onde s'incontrano in opposizione di fase tra loro (nodi, in figura nei punti N_0, N_1, N_2).

Quindi, possiamo dire che per generare onde stazionarie in una corda con gli estremi fissi, essa dovrà essere lunga pari a un numero intero di mezza lunghezze d'onda.

Se l'estremo O della corda è invece lasciato libero, in essa si ha un ventre e, per produrre onde stazionarie, la condizione per ottenerle è che la lunghezza della corda sia uguale ad un numero pari di un quarto d'onda.

Queste nozioni, sommarie e per ora senza accenno a formule, sono molto importanti per poter comprendere il comportamento delle onde stazionarie in generale, ed in particolare delle onde stazionarie con le quali abbiamo fin troppo familiarizzato coltivando il nostro hobby: quelle che sono generate da un'antenna non adattata e persistenti nelle linee coassiali che tutti noi utilizziamo per il collegamento tra il ricetrasmittitore ed il sistema radiante.



Ampiezza delle onde stazionarie nell'esempio di una corda.

L'onda diretta proveniente dall'estremo "O" e quella riflessa dall'altro estremo fisso "No" arrivano in concordanza di fase.

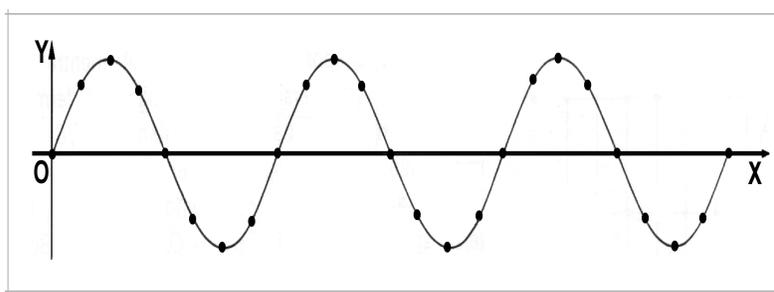
Onde radio (elettromagnetiche)

Non le vediamo, né le avvertiamo, ma l'effetto delle onde radio, che sono un prodotto dovuto ad oscillazioni a radiofrequenza, è quello più a diretto e costante contatto col nostro corpo.

Invisibili sì, ma riconoscibili, misurabili e quantificabili in potenza, attraverso strumentazione di misura o apparati riceventi, che sono meglio conosciuti col nome di ricevitori radio audio e video di tipo analogico e digitale.

Sono onde generate, come già visto, da una fonte naturale o artificiale ovvero, per quanto ci riguarda, da un generatore avente l'oscillatore funzionante ad una data frequenza e irradiate nello spazio attraverso un circuito risonante che è definito "aereo" ma più diffusamente viene indicato col nome di "antenna".

Le onde elettromagnetiche sono, in sintesi, anch'esse delle perturbazioni, connesse a cariche elettriche oscillanti che generano un campo elettrico ed uno magnetico, variabile nello spazio e nel tempo associati tra loro, e si propagano in etere sotto forma di onde (attraverso un elemento risonante rispetto alla stessa onda che si definisce antenna), in una successione di sfere concentriche di forze elettriche che, allargandosi sempre più durante il loro percorso a velocità costante, creano un campo elettrico, costituito da linee di forza la cui direzione indica quella della forza elettrica in ogni singola parte del suo campo.

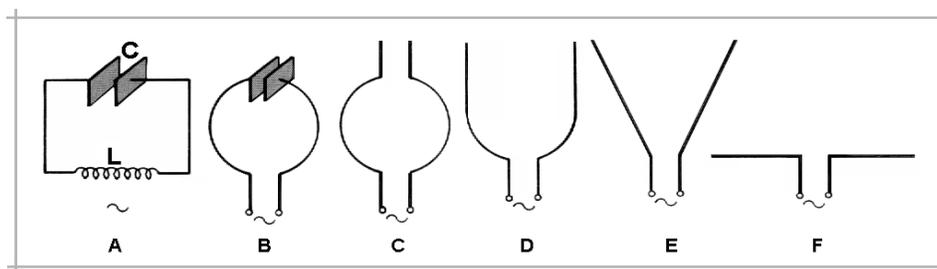


Treno di onde emesse nel vuoto in un secondo da una sorgente luminosa.
E' lungo 299.792,458 Km e contiene 600.000 miliardi di onde.

Ma vediamo l'antenna un po' più da vicino con l'ausilio della figura che segue.

Un circuito oscillante, formato come sapete, da un induttore "L" ed un condensatore "C" (a) posti in parallelo, è definito chiuso, oppure a costanti concentrate, in quanto i campi elettrico e magnetico, il primo esistente tra le armature del condensatore e il secondo all'interno dell'induttanza, hanno una estensione limitata, quindi non irradiano nello spazio.

Se però l'induttanza viene modificata ad anello (b), e poi deformiamo in modo da renderlo un conduttore rettilineo (c... f), succede che lo spazio relativo ai campi elettrico e magnetico si estende intorno a tutto il conduttore.

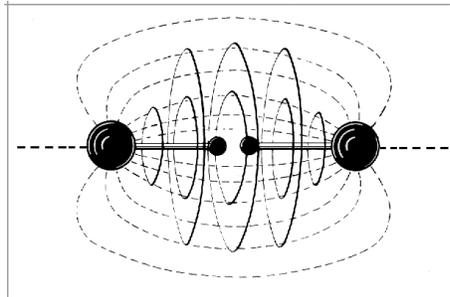


EVOLUZIONE DEL DIPOLO - DA CIRCUITO CHIUSO A RADIATORE

Pure le linee di forza mutano la propria configurazione, divenendo come quelle prodotte da un dipolo elettrico, per cui il sistema viene definito "dipolo oscillante".

Ora, siccome capacità e l'induttanza non sono più elementi ben definiti del sistema, lo si può definire circuito oscillante aperto o a costanti distribuite.

Così come nell'esempio della fune, che fissata ai suoi estremi ed eccitata in modo corretto ad uno di essi diviene sede di oscillazioni elastiche sotto forma di onde meccaniche, così un conduttore rettilineo, opportunamente alimentato da un trasmettitore a radiofrequenza, irradia nello spazio energia di onde definite elettromagnetiche.



Nel dipolo, le linee di forza assumono l'aspetto come in figura e viene detto dipolo oscillante.

Può anche definirsi circuito oscillante aperto a costanti distribuite in quanto capacità ed induttanze non costituiscono più elementi ben definiti del sistema. Questo tipo di oscillatore aperto costituisce un'antenna.

Questo tipo di conduttore aperto è un'antenna. Ma come si generano le onde elettromagnetiche?

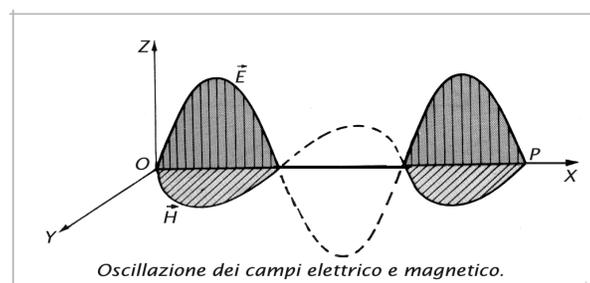
Immaginiamo un mezzo omogeneo, isotropo ed illimitato, in cui ad un certo momento, nel punto "O" agiscano un campo elettrico "E" nel verso dell'asse OZ ed un campo magnetico "H" nel verso dell'asse OY e che i due campi oscillino in fase con legge sinusoidale verso il punto X.

Supponiamo ora che i valori dei due campi siano zero nel punto d'origine dell'asse OZ-OY.

Ora, immaginate che l'intensità del campo elettrico E aumenti avanzando e crescendo nel verso OZ. Nel momento in cui quel campo comincia a crescere viene generato un secondo campo nel verso dell'asse OY, in fase con quello elettrico, ed è il campo magnetico.

Il campo magnetico H, generato con l'origine nello stesso punto in fase col campo E elettrico, aumenta di livello man mano, fino a raggiungere il suo massimo valore nel momento in cui il campo elettrico comincia a diminuire di intensità.

Analogamente, quando il campo magnetico comincia a decrescere nella sua intensità, il campo elettrico ricresce, sempre in fase con quello magnetico, e raggiunge la sua massima intensità quando quella del campo magnetico comincia di nuovo a decrescere.

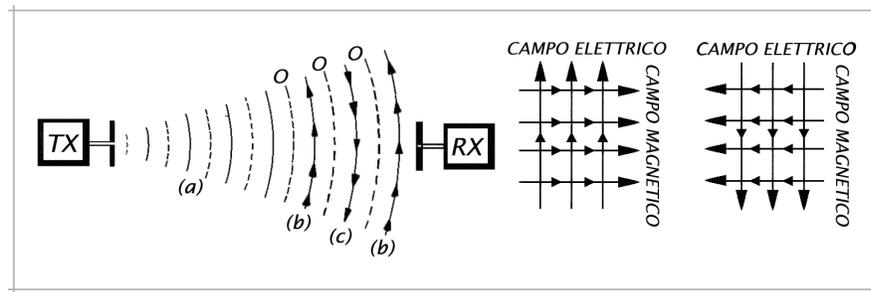


Finché la perturbazione resta attiva, i campi EM continueranno ad oscillare lungo assi paralleli a Z e Y, perpendicolari ed in fase tra loro ma non con i precedenti: si propagheranno con velocità costante attraverso lo spazio, sotto forma di "onda elettromagnetica", alla velocità di 299.792,458 Km/s, come stabilito dalla Conferenza Generale dei Pe-si e delle Misure (1983), tenuto conto della costante dielettrica e la permeabilità magnetica del vuoto che ha un coefficiente trascurabile.

L'onda elettromagnetica è di tipo "trasversale", in quanto le oscillazioni dei due campi sono perpendicolari all'asse di propagazione.

Le vibrazioni del campo elettrico si generano poi sempre sullo stesso piano, per cui si deduce che la propagazione dell'onda è polarizzata verticalmente od orizzontalmente.

Poiché l'irradiazione campo elettromagnetico risultante in un punto dello spazio varia nel tempo in modo tale che il suo vettore rappresentativo descriva un'ellisse nel piano YZ, si può dire che generalmente l'onda elettromagnetica è "polarizzata ellittica", ovvero che la fase e l'ampiezza del vettore, variando in modo regolare e continuo, fanno in modo che esso, all'antenna di ricezione, tracci una ellisse, il che significa che il fronte d'onda in arrivo all'antenna ricevente, pur essendo lineare e continuo, è di polarità variabile.



Campi di forza elettrico e magnetico, irradiati da un'antenna in modo di trasmissione.

Il ciclo completo di un'onda, rappresentato dalla distanza tra due successivi fronti d'onda separati da un intervallo di tempo pari al periodo dell'onda stessa, è definito lambda, (λ), e la sua unità di misura è il metro. Lambda è l'undicesima lettera dell'alfabeto greco e serve per significare la "lunghezza d'onda".

Intensità delle onde

Per il principio di conservazione, tutta l'energia fornita alla sorgente d'onda verrà trasferita nel mezzo da un fronte d'onda ad un altro senza alcuna perdita considerevole.

Conseguentemente, nelle onde circolari e sferiche, mano a mano che l'onda si propaga, l'energia si distribuisce su ampiezze maggiori.

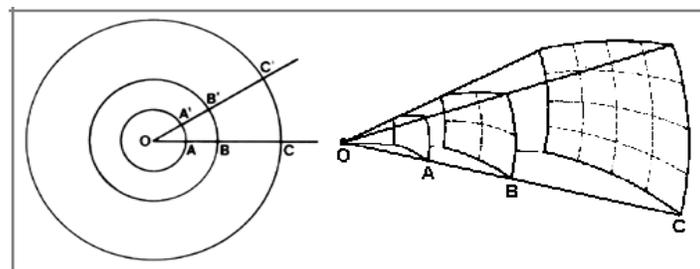
Per le onde circolari, l'intensità è definita come il rapporto tra la potenza W trasmessa sul fronte d'onda circolare di

raggio r e la lunghezza del fronte stesso : $I = \frac{W}{2 \pi r}$.

Dalla formula, si deduce che l'intensità di un'onda circolare in un punto del mezzo dove essa si propaga è inversamente proporzionale alla distanza di tale punto dalla sorgente.

Nel caso di un'onda sferica la sua intensità è data da : $I = \frac{W}{2 \pi r^2}$, dalla quale formula si deduce che l'intensità di

un'onda sferica in un punto del mezzo dove essa si propaga è inversamente proporzionale al quadrato della distanza di tale punto dalla sorgente.



Intensità di onde circolari (a sinistra della figura) e sferiche (a destra).