

## ELEMENTI DI FISICA DELLA RADIO (parte prima)

Le comunicazioni senza fili (più comunemente chiamate al giorno d'oggi 'wireless') utilizzano le onde elettromagnetiche per inviare segnali su lunghe distanze.

Dal punto di vista dell'utente, le connessioni wireless non sono particolarmente diverse da qualsiasi altra connessione di rete: ad esempio i web browsers, le e-mails e altre applicazioni funzionano tutte come ci si aspetterebbe.

Ma le onde radio hanno alcune proprietà inaspettate rispetto, per esempio, al cavo Ethernet.

È molto facile infatti seguire il percorso che un cavo Ethernet: basta individuare lo spinotto che è inserito nel nostro computer, seguire il cavo fino all'altra estremità, e l'hai trovato! È anche facile rendersi conto che l'impiego di molti cavi Ethernet uno accanto all'altro non causi problemi, in quanto i cavi trattengono i segnali all'interno del filo stesso.

Ma, stando in un dato punto, come si fa a sapere di primo acchito da dove provengono le onde radio e da quale dispositivo sono trasmesse?

Che cosa succede quando queste onde rimbalzano fra oggetti contenuti in una stanza o altri ostacoli (edifici, colline, montagne, etc.) in un link esterno?

Come possono diversi sistemi wireless convivere nella stessa area senza interferirsi l'uno con l'altro?

Per allestire collegamenti wireless stabili ad alta velocità, è importante capire come le onde radio si comportano nel mondo reale.

### Che cos'è un'onda?

Abbiamo tutti familiarità con vibrazioni o oscillazioni di varie forme: un pendolo, un albero che ondeggia nel vento, la corda di una chitarra - sono tutti esempi di oscillazioni.

Leonardo da Vinci è stato colui che per primo ha dato una definizione precisa ed universale sulle onde osservando ciò che produce “*l'impeto del vento*” su un campo di grano, e della perturbazione che produce da un sasso lasciato cadere in uno stagno.

Dagli assunti del grande scienziato possiamo dare anche la nostra definizione: “Dicesi onda (wave) la propagazione di una perturbazione con trasporto di energia ma non di materia”.

Ciò che le onde possono avere in comune, in un dato mezzo o oggetto, è quello di oscillare in modo periodico, con un certo numero di cicli per unità di tempo.

Alcuni tipi di onda sono talvolta chiamati '**onda meccanica**', poiché sono definiti dal movimento di un oggetto o dal suo mezzo di propagazione.

Quando tali oscillazioni si propagano (cioè, quando l'oscillazione non rimane legata ad un luogo), allora parliamo di onde che si propagano nello spazio.

Per esempio, un cantante che canta una canzone crea oscillazioni periodiche nelle sue corde vocali.

Queste oscillazioni comprimono e decomprimono periodicamente l'aria e, una volta uscite dalla bocca del cantante viaggiano alla '**velocità del suono**'.

Anche una pietra immersa in un lago provoca un disturbo, che poi viaggia attraverso il lago come '**onda**'.

Un'onda è caratterizzata dalla sua **velocità**, **frequenza** e **lunghezza**.

Queste sono legate da una semplice relazione:

$$\text{Velocità} = \text{Frequenza} * \text{Lunghezza d'onda}$$

La lunghezza d'onda [W] (a volte indicata come **lambda**,  $\lambda$ ) è la distanza misurata da un dato punto di un'onda fino al prossimo punto equivalente (o, in modo più tecnico, al punto successivo che si

trova nella stessa fase), per esempio dalla sommità di una cresta all'altra.

La *frequenza* è il numero di *onde intere* che passano, in riferimento ad un punto fisso, in un dato *periodo di tempo*.

La *velocità* viene espressa in **metri/secondo**, la *frequenza* viene misurata in **cicli al secondo** (o **Hertz**, e rappresentata dal simbolo **Hz**), e la *lunghezza d'onda* ( $\lambda$ ) viene misurata in **metri**.

Ad esempio, se un'onda si viaggia su uno specchio di acqua alla velocità di un metro al secondo, e oscilla cinque volte al secondo, allora ogni onda sarà lunga 20 centimetri:

$$1 \text{ metro/secondo} = 5 \text{ cicli/secondo} * W$$

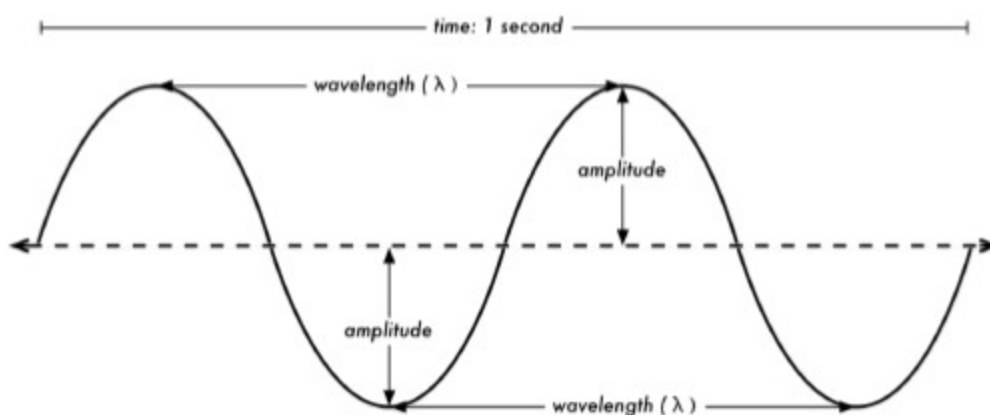
$$W = 1/5 \text{ metri}$$

$$W = 0,2 \text{ metri} = 20 \text{ centimetri}$$

Le onde hanno anche una proprietà chiamata **ampiezza**.

Questa è la distanza dal centro dell'onda all'estremo di uno dei suoi picchi, e può essere pensato come l'*altezza* di un'onda acqua.

Frequenza (frequency), lunghezza d'onda (wavelength), e ampiezza (amplitude) sono mostrati in Figura 1.

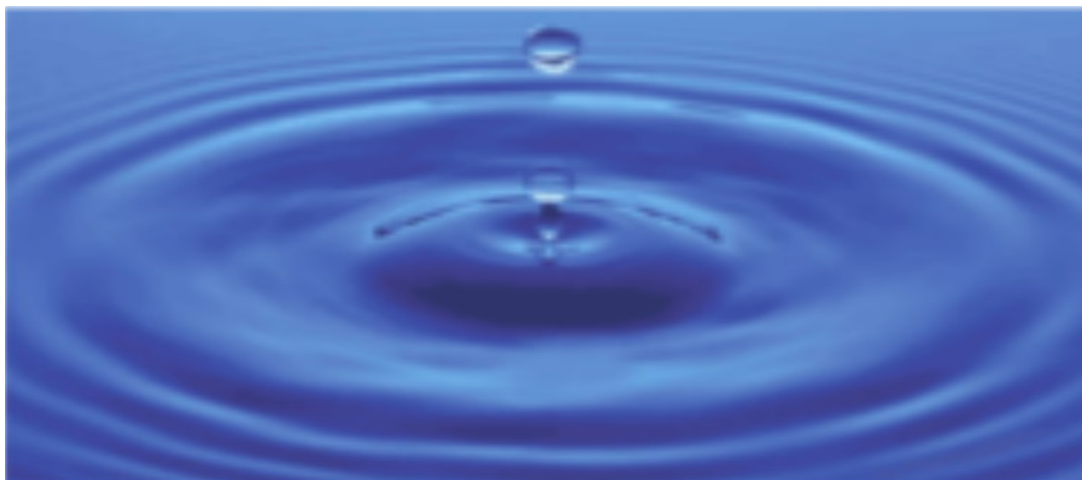


**Figura 1:** lunghezza d'onda, ampiezza e frequenza.

In questa onda la frequenza è di 2 cicli al secondo, o 2 Hz, mentre la velocità è di 1 m/s

Le onde che si formano nell'acqua sono facili da visualizzare.

Se lasciamo cadere un sasso nello stagno si possono vedere le onde che si muovono attraverso l'acqua nel tempo.



Nel caso che si tratti di onde elettromagnetiche, la parte che potrebbe essere più difficile da capire è: "*cos'è che oscilla?*"

Per capire questo, è necessario comprendere le *forze elettromagnetiche*.

### **Le forze elettromagnetiche**

Le forze elettromagnetiche sono le forze che si esercitano fra *cariche elettriche* e *correnti*. La nostra percezione più diretta la constatiamo, per esempio, quando la nostra mano tocca una porta metallica dopo aver camminato su un tappeto sintetico.

Un altro esempio più eclatante di forze elettromagnetiche è il lampo che vediamo durante i temporali.

La **forza elettrica** è la forza che si esercita fra *cariche elettriche*.

La **forza magnetica** è la forza che si esercita fra *correnti elettriche*.

Gli *elettroni* sono particelle che trasportano una *carica elettrica* negativa. Esistono anche altri tipi di particelle cariche, ma sono gli elettroni che sono interessati, in modo speciale, per capire di più il comportamento delle onde radio.

Consideriamo ora ciò che accade in un pezzo di filo verticale dritto, nel quale spingiamo gli elettroni da un capo all'altro e viceversa, periodicamente.

Ad un certo momento, la parte superiore del filo è caricata negativamente – tutti gli elettroni negativi si trovano raggruppati lì. Questo fatto darà luogo alla creazione un campo elettrico (lungo il filo) fra il lato opposto del filo che avrà assunto la carica positiva e il lato avente carica negativa.

Nel momento successivo, gli elettroni si troveranno raggruppati nell'altro lato del conduttore, e quindi il campo elettrico si posizionerà nel verso contrario al precedente.

Siccome nel caso pratico, questo andirivieni avviene in modo continuo, i vettori campo elettrico (rappresentati da frecce dal più al meno) lasciano il filo, per così dire, e sono irradiati fuori nello spazio intorno al filo.

Quanto appena descritto è noto come *dipolo* (a causa dei due *poli* caricati in modo diverso, positivo e negativo, che vengono creati nel filo verticale), o più comunemente come **antenna dipolo**.

Questa è la forma più semplice di antenna omnidirezionale. Il movimento del campo elettrico viene comunemente indicato come un'onda elettromagnetica perché c'è anche un campo magnetico associato.

Un campo elettrico in movimento, come ad esempio un'onda, arriva sempre con un campo magnetico - non troveremo mai l'uno senza l'altro.

Un campo elettrico è originato da oggetti che possiedono una carica elettrica.

Un campo elettrico in movimento è prodotto da oggetti in movimento elettricamente carichi, come abbiamo appena descritto sopra per un'antenna dipolo.

Ogni volta che le cariche elettriche si muovono, inducono anche un campo magnetico.

Matematicamente, questo è formulato nelle equazioni di Maxwell:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_field#Mathematical\\_description](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_field#Mathematical_description)

Poiché le componenti, *elettrica* e *magnetica*, sono sempre legate insieme, si parlerà di *campo elettromagnetico*.

Anche se in pratica in una rete wireless ci si concentra sulla componente elettrica, non bisogna dimenticare che vi è sempre associata anche una componente magnetica.

Torniamo alla relazione:

$$\text{Velocità} = \text{Frequenza} * \text{Lunghezza d'onda}$$

Nel caso di *onde elettromagnetiche*, la velocità è *c*, cioè la *velocità della luce*.

$$c = 300,000 \text{ km/s} = 300.000.000 \text{ m/s} = 3 * 10^8 \text{ m/s}$$

$$c = f * \lambda$$

Le onde elettromagnetiche differiscono dalle onde meccaniche in quanto non richiedono nessun mezzo fisico per propagarsi. Le onde elettromagnetiche hanno inoltre la caratteristica di propagarsi attraverso il *vuoto perfetto*.

La luce delle stelle è un buon esempio: essa giunge fino a noi attraversando il vuoto dello spazio.

## Simboli del sistema internazionale (SI)

In fisica, matematica e ingegneria, spesso ci esprimiamo con numeri aventi la potenza di dieci. Ci impareremo sempre con questi termini, e con i simboli utilizzati per rappresentarli, ad esempio gigahertz (GHz), centimetri (cm), millisecondi (ms), e così via.

Questi simboli fanno parte del *sistema internazionale di misura SI* ([http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si\\_brochure\\_8\\_en.pdf](http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf)), non sono quindi abbreviazioni ma simboli e, come tali, non possono e né devono essere cambiati.

**SI symbols**

|       |            |                       |       |
|-------|------------|-----------------------|-------|
| atto  | $10^{-18}$ | 1/1000000000000000000 | a     |
| femto | $10^{-15}$ | 1/1000000000000000    | f     |
| pico  | $10^{-12}$ | 1/1000000000000       | p     |
| nano  | $10^{-9}$  | 1/1000000000          | n     |
| micro | $10^{-6}$  | 1/1000000             | $\mu$ |
| milli | $10^{-3}$  | 1/1000                | m     |
| centi | $10^{-2}$  | 1/100                 | c     |
| kilo  | $10^3$     | 1000                  | k     |
| mega  | $10^6$     | 1000000               | M     |
| giga  | $10^9$     | 1000000000            | G     |
| tera  | $10^{12}$  | 1000000000000         | T     |
| peta  | $10^{15}$  | 1000000000000000      | P     |
| exa   | $10^{18}$  | 1000000000000000000   | E     |

Conoscendo la *velocità della luce*, si può calcolare la lunghezza d'onda per una data frequenza.

Prendiamo come esempio la frequenza di una rete wireless 802.11b, che è:

$$f = 2.4 \text{ GHz} = 2,4 \text{ miliardi di cicli/secondo}$$

$$\text{lunghezza d'onda } (\lambda) = c/f = 3 * 10^8 / 2,4 * 10^9 = 1,25 * 10^{-1} \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$$

La frequenza (e quindi la lunghezza d'onda) determina anche diversi altri parametri fisici. Essa disciplina le dimensioni delle antenne che costruiamo nonché l'effetto delle interazioni con oggetti che si trovano lungo il percorso di propagazione, compresi gli effetti biologici sugli esseri viventi.

Gli standard wireless naturalmente si distinguono per più della semplice frequenza sulla quale lavorano - per esempio, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.16 possono tutti funzionare a 2,4 GHz - , eppure sono molto diversi da tra loro.

Se di interesse, in un articolo a parte, potremo discutere sulle '*tecniche di modulazione*', '*tecniche di accesso dei media*', e altre caratteristiche pertinenti allo standard di comunicazione wireless.

Tuttavia, le funzionalità di base delle onde elettromagnetiche come quella di penetrare oggetti, percorrere lunghe distanze, e così via - sono determinate soltanto dalla fisica.

Un'onda elettromagnetica "*non conosce e né gliene importa*" di quale modulazione o standard o tecnologia che essa trasporta.

Così, mentre standards o protocolli diversi possono essere implementati insieme a tecnologie avanzate per affrontare problematiche che hanno a che fare con *NLOS* (Non Line of Sight), *multipath* e così via - ancora non possiamo creare un'onda che attraversi un muro, se quel muro assorbe quella data frequenza.

Perciò, una comprensione di base sulla frequenza e sulla lunghezza d'onda aiuta molto nel lavoro pratico in campo wireless.

## Fase

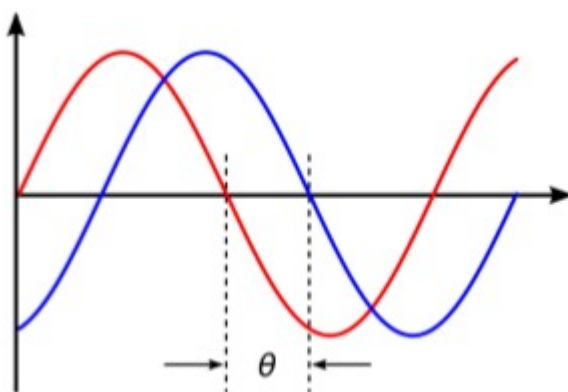
In un altro articolo, parleremo di concetti come *interferenze*, *multipath* e *Fresnel zone*. Per capire questi concetti, avremo bisogno di conoscere ciò che riguarda la *fase* di un'onda, o meglio, la *differenza di fase* tra onde.

Ritorniamo all'onda sinusoidale mostrata in Fig. 1 ed immaginiamo di avere due di tali onde in movimento. Queste possono trovarsi esattamente nella stessa posizione, e cioè sono sovrapposte l'un l'altra, e in questo caso diremo che sono in fase fra loro, oppure, che la loro differenza di fase è pari a zero.

Ma le onde possono anche avere una posizione differente e quindi spostate l'una rispetto all'altra, per esempio si potrebbe avere che il picco di una corrisponda al valore zero dell'altra. In questo caso, abbiamo una differenza di fase.

Questa differenza di fase può essere espressa sia in *frazioni di lunghezza d'onda*, ad esempio  $\lambda/4$ , oppure in *gradi*, ad esempio 90 gradi – essendo il ciclo completo dell'onda pari a 360 gradi.

Una differenza di fase di 360 gradi è uguale ad una di 0 gradi: cioè che non c'è nessuna differenza di fase.



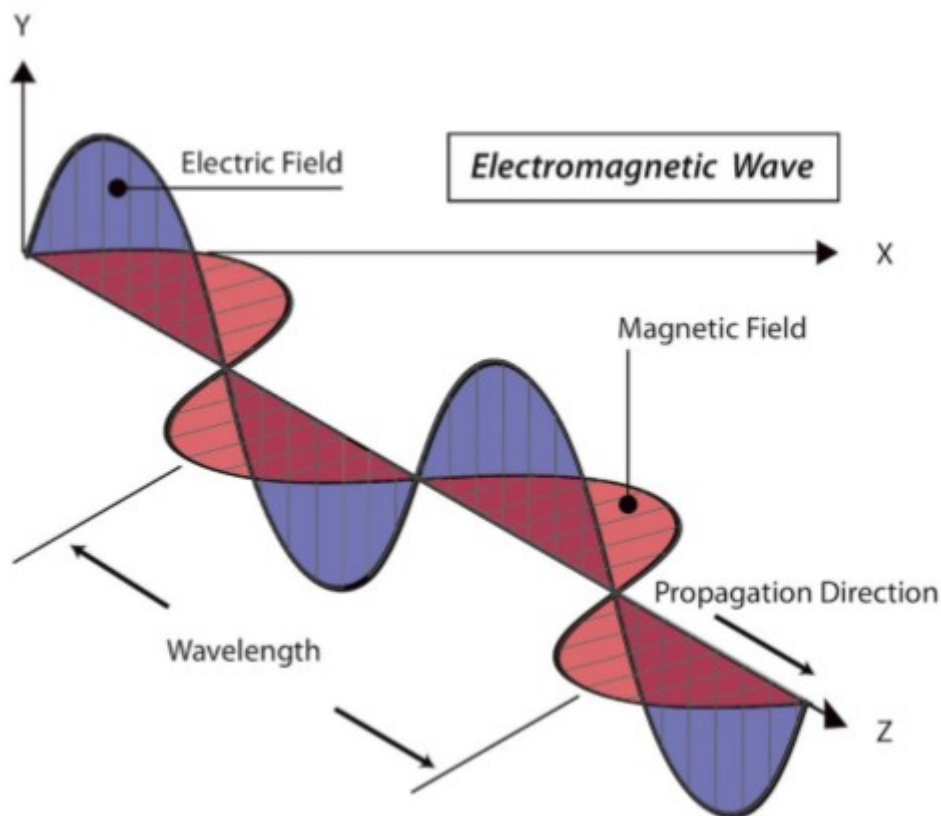
**Figura 2** – Differenza di fase fra due onde

## Polarizzazione

Un'altra caratteristica importante delle onde elettromagnetiche è la *polarizzazione*. La polarizzazione rappresenta la *direzione del vettore del campo elettrico*.

Se consideriamo un'antenna a dipolo allineata verticalmente, gli elettroni possono muoversi soltanto su e giù, e non lateralmente (perché non ci sarebbe lo spazio per muoversi), quindi i campi elettrici possono sempre e soltanto puntare verso l'alto o verso il basso, verticalmente.

Il campo che abbandona il filo e viaggia come onda ha rigorosamente una *polarizzazione lineare* (in questo caso, *verticale*). Se posizioniamo invece la medesima antenna sullo stesso piano del terreno, si avrà una *polarizzazione lineare orizzontale*.



**Figura 3** – Onda elettromagnetica polarizzata verticalmente

La polarizzazione lineare è solo un caso speciale, e non è mai del tutto così perfetta: in generale, si avrà sempre qualche componente del campo che punterà anche in altre direzioni.

Se uniamo due dipoli uguali alimentati con lo stesso segnale, possiamo generare un'onda a polarizzazione circolare, in cui il campo elettrico vettoriale continua a ruotare perpendicolarmente alla traiettoria dell'onda.

Nel caso più generale avremo sempre una *polarizzazione ellittica*, in cui il valore massimo del vettore campo elettrico non giace mai nella stessa direzione verticale o orizzontale.

Come si può immaginare, la polarizzazione diventa importante quando si allineano le antenne.

Se si ignora la polarizzazione, il segnale risulterà molto degradato anche se si usano le migliori antenne. In questo caso parliamo di *mismatch* (mancata corrispondenza).

La polarizzazione può essere utilizzata in modo intelligente, per mantenere due collegamenti wireless indipendenti e senza interferenze anche utilizzando gli stessi *end points* (o anche avere in comune il medesimo riflettore) e quindi la stessa traiettoria: per il fatto che se un link ha polarizzazione verticale e l'altro orizzontale, essi non si "vedono" l'un l'altro.

È un modo conveniente per raddoppiare il *rate* di dati su un link mediante *l'uso* di un'unica frequenza.

gus i0ojj

28 marzo 2014