

## L'ENERGIA ELETTROMAGNETICA

GIANLUCA CHIARELLI

Vorremmo, in questo nostro viaggio tra le energie, dare enfasi ad una particolare forma di energia che a partire dal 18° secolo, fino ai giorni nostri, ha cambiato senza alcun dubbio, l'evoluzione della nostra società: l'energia elettromagnetica.

L'origine di questa conoscenza si fa risalire ad un fisico scozzese, James Clark Maxwell (1831 – 1879), che ne predispose analiticamente l'esistenza basandosi anche sugli studi di Faraday (1791 – 1867). Fu poi il fisico tedesco Heinrich Hertz (1857 – 1894) che con i suoi esperimenti di interferenza ne provò l'esistenza al di là di ogni ragionevole dubbio. E' importante sapere che questi esperimenti furono condotti nella porzione di spettro elettromagnetico relativo alle onde radio: questo fatto, grazie all'indiscusso genio di Guglielmo Marconi, dette inizio allo sviluppo delle radiocomunicazioni. Tornando agli esperimenti di Hertz, in essi vennero messe in evidenza alcune proprietà delle onde radio come la riflessione, rifrazione e polarizzazione analoghe a quelle rivelate dalla luce. Se ne concluse un fatto strabiliante: la luce non è nient'altro che un'onda elettromagnetica.

### 1 CARATTERISTICHE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Un'onda elettromagnetica è costituita da un campo elettrico (E) e un campo magnetico (H) perpendicolari tra loro e che oscillano in fase perpendicolarmente alla direzione di propagazione. Un'onda di questo tipo è detta onda polarizzata piana, e il piano di polarizzazione è il piano in cui oscilla il campo elettrico. In termini energetici, l'onda elettromagnetica è associabile ad un flusso di energia che, nel vuoto, si propaga alla velocità della luce. In un mezzo omogeneo la propagazione avviene in linea retta.

#### 1.1 Velocità

La velocità delle onde elettromagnetiche è diversa in dipendenza del mezzo nel quale si propaga. Nel vuoto la velocità è stata misurata in 299.792.458 metri/sec. Questo valore viene normalmente arrotondato a 300.000 Km/sec e si indica con la lettera "c". In un mezzo materiale non conduttore la velocità delle onde elettromagnetiche è minore di quella del vuoto, e può essere calcolata con la relazione:

$$c_m = \frac{c}{n}$$

dove  $n$  rappresenta l'indice di rifrazione del mezzo. Questo valore è normalmente maggiore di 1. Ne consegue che la velocità di propagazione delle onde radio in un mezzo diverso dal vuoto è minore di 300.000 Km/ sec.

### 1.2 Lunghezza d'onda

La lunghezza d'onda rappresenta la distanza tra due punti corrispondenti tra un ciclo e il successivo. Ad esempio la distanza tra due punti massimi di due creste successive.

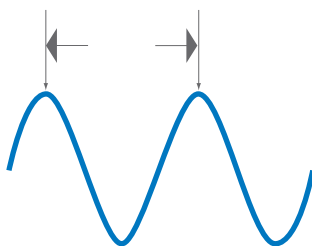


Fig. 1.1

La lunghezza d'onda viene misurata in metri ed indicata con la lettera greca  $\lambda$  (lambda). Nel caso delle onde radio tali lunghezze vanno da pochi millimetri (microonde) a diversi Km (onde lunghissime).

### 1.3 Frequenza

La frequenza delle onde elettromagnetiche è intesa come il numero di lunghezze d'onda che passano nell'unità di tempo. La frequenza viene indicata con la lettera "f" e si misura in Hertz (Hz). Frequenza e lunghezza d'onda sono in relazione secondo la formula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

### 1.4 Ampiezza

Per ampiezza di un'onda elettromagnetica si intende il valore massimo che viene raggiunto dal campo elettrico.

### 1.5 Intensità

L'intensità di un'onda elettromagnetica è l'energia che transita attraverso un'area unitaria nell'unità di tempo, ed è espressa in  $\text{Watt/m}^2$ .

In sintesi, è l'energia che attraversa un metro quadro ogni secondo.

In questa ottica, il campo elettrico e quello magnetico sono messi in relazione come dimostra la formula:

$$P_d = E \times H$$

$P_d$  = Densità di potenza [  $\text{W/m}^2$  ]  
 $E$  = Vettore campo elettrico [  $\text{V/m}$  ]  
 $H$  = Vettore campo magnetico [  $\text{A/m}$  ]

Le onde elettromagnetiche si estendono in un vasto intervallo di frequenze e corrispondenti lunghezze d'onda. Queste ultime variano da decine di Km, fino a dimensioni paragonabili alle grandezze atomiche (circa  $10^{-13}$  m).

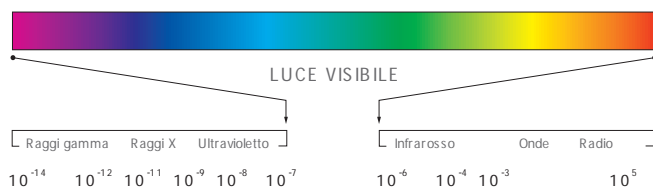


Fig.2.1

In base alla lunghezza d'onda (frequenza) lo spettro elettromagnetico è diviso secondo la seguente classificazione.

- Onde radio

Dalle frequenze più basse (qualche KHz) fino alle microonde (300 GHz). Le onde radio vengono usate principalmente nei sistemi di comunicazione, ma anche per terapie mediche, diagnosi e sistemi di localizzazione radar.

- Infrarosso

Questa parte dello spettro elettromagnetico è legata al calore. Ogni corpo che possiede una propria temperatura emette energia elettromagnetica contenuta in spazio di lunghezze d'onda che va da  $10^{-12}$  m a  $10^{-14}$  m.

- Luce visibile

La luce visibile rappresenta una porzione molto stretta di lunghezze d'onda.

Esse vanno da 380 nm a 780 nm. Queste lunghezze d'onda corrispondono rispettivamente al violetto e al rosso.

- Ultravioletto

L'ultravioletto è al di sopra dello spettro visibile, e tali onde sono il risultato di atomi e molecole sottoposti a scariche elettriche. Il nostro sole genera enormi quantità di raggi ultravioletti. Questo fatto è molto importante nello studio della propagazione delle onde radio. Infatti i raggi ultravioletti interagendo con gli atomi presenti nella parte alta dell'atmosfera, li ionizzano dando luogo ad un particolare strato chiamato "ionosfera". Questo strato ha la particolarità di riflettere una certa porzione dello spettro relativo alle onde radio, rendendo possibili collegamenti fino a migliaia di km.

I raggi ultravioletti hanno applicazioni anche in campo medico, soprattutto nelle sterilizzazioni.

- Raggi X

Scoperti nel 1895 dal tedesco Roentgen, sono utilizzati principalmente in applicazioni mediche.

La loro lunghezza d'onda è tale da interagire fortemente con le molecole costituenti il corpo umano.

- Raggi Gamma

In questa parte dello spettro elettromagnetico l'energia associata ai fotoni è talmente forte da distruggere le molecole che incontrano.

Stiamo parlando dell'energia nucleare. Va comunque precisato che tali onde esistono anche in natura, ad esempio nella radiazione cosmica di fondo.

3 ONDE RADIO

Come accennato in precedenza, questa porzione di onde elettromagnetiche è dedicata quasi esclusivamente alle comunicazioni così dette "senza filo". La porzione di spettro si estende da 3 KHz fino a 300 GHz. Tale porzione è a sua volta divisa in bande di frequenza e ad ognuna di loro è assegnato un utilizzo diverso secondo normative internazionali.

ONDE RADIO		
FREQUENZA	ONDE RADIO	DENOMINAZIONE
3 KHz ÷ 30 KHz	100 Km ÷ 10 Km	Very Low Frequency (VLF)
30 KHz ÷ 300 KHz	10 Km ÷ 1 Km	Low Frequency (LF)
300 KHz ÷ 3 MHz	1 Km ÷ 100 m	Medium Frequency (MF)
3 MHz ÷ 30 MHz	100 m ÷ 10 m	High Frequency (HF)
30 MHz ÷ 300 MHz	10 m ÷ 1 m	Very High Frequency (VHF)
300 MHz ÷ 3 GHz	1 m ÷ 10 cm	Ultra High Frequency (UHF)
3 GHz ÷ 30 GHz	10 m ÷ 1 cm	Super High Frequency (SHF)
30 GHz ÷ 300 GHz	1 cm ÷ 1 mm	Extra High Frequency (EHF)

Fig. 3.1

Questa suddivisione in bande è legata al fatto che ogni una di loro ha caratteristiche di propagazione diverse. I primi esperimenti con le onde radio risalgono all'epoca di Hertz ma, come già accennato, il primo utilizzo per le comunicazioni fu fatto da Guglielmo Marconi.

3.1 Trasmissione dell'informazione

Di per sé un'onda elettromagnetica non trasporta alcuna informazione. Se si vuole inviare un messaggio a distanza è necessario trasformare questo messaggio in un segnale elettrico equivalente, poi sovrimporlo all'onda elettromagnetica. Questo processo si chiama "Modulazione" e, più in dettaglio, consiste nel variare una delle tre caratteristiche fondamentali di un'onda elettromagnetica:

- Ampiezza, dando luogo alla modulazione di ampiezza (AM).
- Frequenza, dando luogo alla modulazione di frequenza (FM).
- Fase, dando luogo alla modulazione di fase (PM).

Oggigiorno si usano forme di modulazione digitali molto complesse con lo scopo di sfruttare al meglio lo spettro delle onde radio, risorsa non infinita.

3.2 Propagazione delle onde radio

Le onde elettromagnetiche, e quindi anche quelle radio, si propagano in linea retta. Questo è vero nel vuoto, ma non in un meccanismo di propagazione terrestre, dove l'interazione delle onde radio con gli strati più alti dell'atmosfera rende possibili fenomeni di riflessione. Sulla base di questo concetto elementare si possono classificare tre meccanismi di propagazione delle onde radio:

- Onda diretta

In una porzione di spazio in cui l'antenna trasmittente e quella ricevente sono liberi da ostacoli, la propagazione avviene in linea retta.

Dalle frequenze più basse (qualche KHz) fino alle microonde (300 GHz). Le onde radio vengono usate principalmente nei sistemi di comunicazione, ma anche per terapie mediche, diagnosi e sistemi di localizzazione radar.

- Onda riflessa

Questo tipo di onda può essere di due tipi.

Onda riflessa terrestre:

viene riflessa dalla superficie terrestre.

Onda riflessa spaziale:

viene riflessa dalla ionosfera.

- Onda superficiale

Questo modo di propagazione sfrutta il fenomeno della diffrazione, per cui quando un'onda terrestre incontra un ostacolo di dimensioni paragonabili alla propria lunghezza d'onda, essa tende a seguire il profilo dell'oggetto.

Precedentemente si è parlato di onde radio riflesse dalla ionosfera e di riflessioni che consentono collegamenti a migliaia di km. Va detto che non tutte le onde radio possono usufruire di questo fenomeno. Solo quelle la cui frequenza è compresa tra 3 e 30 MHz. Sono le onde corte.

Onde a frequenza più bassa si propagano attraverso onde di terra, mentre onde a frequenza più alta attraverso onde dirette.

La ionosfera è composta da diversi strati posti ad altezze diverse che presentano caratteristiche di riflessione differenti:

- Strato D

Si trova ad un'altezza compresa tra i 50 e i 90 Km. Il suo livello di ionizzazione è massimo a mezzogiorno e scompare al tramonto.

- Strato E

Si trova ad un'altezza compresa tra i 100 e i 150 Km. Il suo livello di ionizzazione è massimo a mezzogiorno e minimo a mezzanotte, e ha un incremento all'alba.

- Strato E sporadico

Si trova ad un'altezza compresa tra i 100 e i 120 Km. Come indica il suo nome si forma in maniera sporadica solo con particolari condizioni di ionizzazioni e meteorologiche.

Si crea e svanisce in poco tempo e consente riflessioni di onde radio a frequenza più alta dei 30 MHz.

- Strato F1

Si trova ad un'altezza compresa tra i 150 e i 250 Km. Durante la notte esiste un solo strato F.

- Strato F2

Si trova ad un'altezza compresa tra i 250 e i 500 Km. Il suo livello di ionizzazione è massimo a mezzogiorno, con un lento decremento fino all'alba.

CONCLUSIONI

Concludiamo questo breve viaggio tra le onde elettromagnetiche con un quadro normativo sulle esposizioni del corpo umano ai campi elettromagnetici, in vigore nei diversi paesi del mondo.

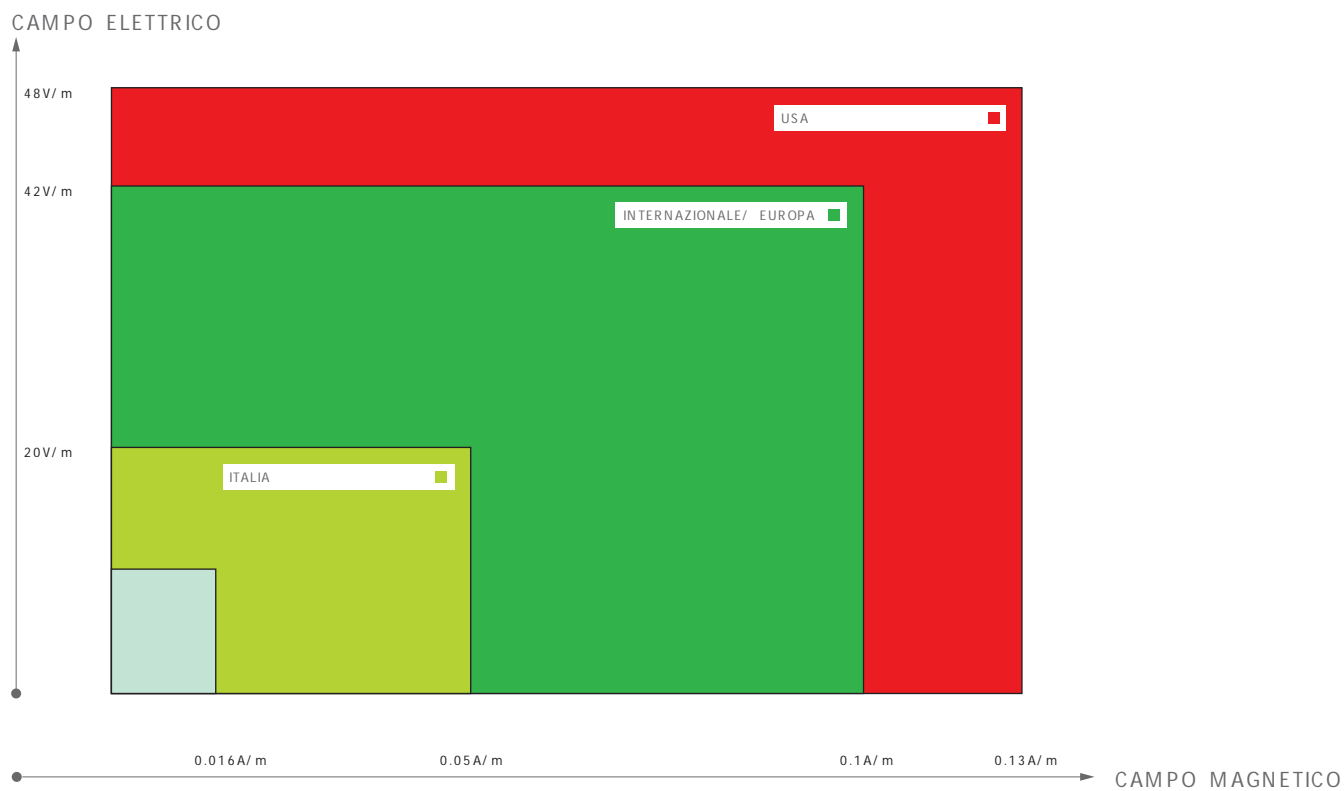


Fig.4