

FISICAST

per  
**SxT**

**Le onde elettromagnetiche**

di  
**Riccardo Faccini**



## Le onde elettromagnetiche

*Riccardo Faccini*

### Abstract:

**Cosa hanno in comune una radio, una candela ed una radiografia? Incredibile a dirsi, ma riguardano tutte l'utilizzo di onde elettromagnetiche. Per avere una spiegazione di cosa sono e una panoramica delle situazioni in cui si utilizzano, parliamo con Riccardo Faccini del dipartimento di Fisica della Università di Roma "La Sapienza".**

### INIZIO

**Per avere una spiegazione di cosa sono le onde elettromagnetiche ed avere una panoramica delle situazioni in cui si utilizzano, parliamo con Riccardo Faccini del dipartimento di Fisica della Università di Roma "La Sapienza".**

**Q: Allora Riccardo, nell'immaginario comune "onda elettromagnetica" fa pensare a qualcosa di complicatissimo... Nei ricordi delle superiori affiora come l'ultima e oscura parte del programma...**

A: In realtà le onde elettromagnetiche fanno parte in ogni istante della nostra esperienza quotidiana. La maggior parte delle nostre azioni vi sono in qualche modo legate. Per prima cosa guardare: la luce è una onda elettromagnetica e vedere vuol dire registrare con l'occhio l'onda elettromagnetica che proviene da un oggetto. Poi, ogni volta che ascoltiamo la radio o guardiamo la tv, la nostra antenna riceve un'onda elettromagnetica. Per non parlare dei telefonini: il segnale che trasporta la voce da un telefono all'altro è un'onda elettromagnetica. Infine, riscaldare con il forno a micro-onde comporta l'uso di una particolare onda elettromagnetica, appunto la "micro-onda".

**Q: Affascinante, ma intuitivamente questi fenomeni sono molto differenti tra loro, come possono essere tutti dovuti alla stessa causa?**

A: È perché le onde elettromagnetiche non sono tutte uguali. Anche gli esseri umani sono tutti uomini o donne, ma le loro caratteristiche (colore

della pelle, altezza, lineamenti ...) sono differenti. Così come le loro funzioni, cioè il loro mestiere...

**Q: OK però proprio non riesco a capire cosa possano avere in comune la luce e le micro-onde...**

A: Per capire in cosa differiscono le diverse onde elettromagnetiche procediamo per gradi e spieghiamo cosa sono. Prima però bisogna capire altri due concetti: il campo elettrico ed il campo magnetico. Cominciamo con una esperienza facile facile. Cosa succede se strofini una penna di plastica sulla manica di una sciarpa di lana e la avvicini al bordo di un foglio di carta?

**Q: L'angolo della carta si solleva, come se fosse attirato dalla penna.**

A: Esatto. Che spiegazione te ne hanno dato a scuola?

**Q: Ricordo che con lo strofinio si formano delle cariche elettriche sulla penna ...**

A: ... che chiameremo negative, per convenzione. In pratica la penna, strofinandosi, strappa via degli elettroni agli atomi della sciarpa. E quindi la penna si carica negativamente perché ha degli elettroni in eccesso rispetto a prima dello strofinio.

**Q: OK. A questo punto gli elettroni che sono negli atomi del foglio di carta avendo carica negativa, tendono ad allontanarsi dalla penna...**

A: ... perché cariche di stesso segno si respingono, giusto!  
E così alla fine le cariche positive saranno più vicine alla penna di quelle negative e quindi nel complesso il bordo del foglio sarà attirato dalle cariche negative della penna.

**Q: ... perché le cariche di segno opposto si attraggono.**

A: Giustissimo. Ora però per capire le onde elettromagnetiche bisogna andare un po' più a fondo: la presenza di cariche sulla penna modifica lo spazio circostante, il quale acquista un campo elettrico. Quest'ultimo è una proprietà dello spazio. Un fenomeno analogo avviene quando accendo un fuoco: la presenza del fuoco cambia la temperatura dell'aria circostante. Il campo elettrico è una proprietà dello spazio così come la temperatura lo è dell'aria. La presenza del campo elettrico nello spazio fa sì che le cariche di tipo opposto a quelle sulla penna ne vengano attratte, quelle dello stesso tipo respinte.

Portando avanti il parallelismo di prima, qualcosa di analogo avviene nell'esempio del fuoco: il fatto che l'aria sia stata riscaldata dal fuoco riscalda a sua volta gli oggetti in esso immersi, per esempio una persona che si avvicina per riscaldarsi.

**Q: Non riesco ad immaginare cosa c'entri con le onde elettromagnetiche, ma mi piace questa descrizione dell'elettricità. Mi dicevi che c'è anche un campo magnetico?**

A: Sì, il discorso fatto con le cariche elettriche si può ripetere con i magneti.

**Q: OK allora ci provo io: la presenza di un magnete altera lo spazio circostante generando in esso un campo magnetico.**

A: Giusto! E se un pezzo di ferro entra nella regione di spazio in cui è presente un campo magnetico, esso viene attirato dal magnete, come prima il foglio era attirato dalla penna. Se un altro magnete entra nel campo tende ad orientarsi in modo opposto al primo magnete, in modo cioè che il suo polo sud coincida con il nord del primo e viceversa (per esempio se avvicini due calamite vedrai che le puoi allineare solo in un verso, e se non lo fai si girano in quel verso da sole).

**Q: Bene, ed adesso possiamo capire le onde elettromagnetiche?**

A: Proviamoci. La cosa importante da capire è che elettricità e magnetismo sono molto legati tra loro. Se una carica elettrica si muove, per esempio lungo un filo elettrico, (movimento che chiamiamo corrente), essa fa variare il campo elettrico e questa variazione fa nascere anche un campo magnetico nello spazio circostante. Questo lo puoi vedere avvicinando ad un filo percorso da corrente un leggero ago magnetico (come quello della bussola, per capirci, ago che, nota bene, è lui stesso un magnete): l'ago si sposterà fino a posizionarsi come se al posto del filo elettrico ci fosse un altro magnete. Per contro, se una calamita si muove fa cambiare nel tempo il campo magnetico, e questo cambiamento crea un campo elettrico. Anche questo lo puoi vedere: se metti un anello fatto di filo elettrico dove c'è un campo magnetico che cambia nel tempo, nel filo comincerà a scorrere una corrente.

**Q: Cioè posso accendere una lampadina muovendo una calamita?**

A: Certo! Lo fai, o meglio lo facevi, per esempio quando utilizzavi una lampadina caricata tramite dinamo su una bicicletta. Il moto delle ruote faceva girare una calamita all'interno della dinamo e questo movimento generava corrente elettrica nel filo elettrico avvolto attorno alla calamita.

**Q: È vero! Non ci avevo pensato... ma a queste benedette onde elettromagnetiche ci arriviamo?**

A: Eccoci ... tieni a mente che variare un campo elettrico genera un campo magnetico e variare un campo magnetico genera un campo elettrico.

A questo punto, immagina che in un'antenna ci siano delle cariche che vanno su e giù. Il fatto che ci siano delle cariche in moto genera nelle vicinanze un campo magnetico. Per quel che abbiamo detto prima, se il moto delle cariche varia, prima vanno in su, poi in giù e così via, tutti questi cambiamenti fanno sì che anche il campo magnetico vari. Ma se varia, allora nell'intorno del campo magnetico si genera un campo

elettrico, anch'esso variabile. La variazione di campo elettrico genera quindi un campo magnetico ancora più in là e così via, interessando regioni di spazio sempre più estese. Alla fine, i campi elettrici e magnetici creati vicino all'antenna dal movimento delle cariche avranno generato campi elettrici e magnetici variabili nel tempo in punti distanti nello spazio. Come per un gigantesco passaparola, il fatto che le cariche si muovano in un punto dello spazio si sente ovunque e la presenza di campi elettrici e magnetici che cambiano nel tempo in modo collegato tra loro si chiama onda elettromagnetica.

Per capire meglio cosa succede immagina di gettare un sassolino nell'acqua. Cosa succede quando lo fai?

**Q: Si formano degli anelli sulla superficie dell'acqua.**

A: Esatto! Si formano delle onde che si propagano per tutta la superficie dell'acqua fintanto che non incontrano degli ostacoli. Ma a che cosa sono dovute queste onde?

**Q: Sono dovute al fatto che l'acqua sale e scende.**

A: Esatto: il moto del sassolino comporta che una caratteristica dell'acqua, la sua altezza rispetto al fondo, cambi anche lontano dal sasso. Il motivo per cui l'onda si propaga è che quando l'acqua si muove in un punto spinge a muoversi le zone di acqua adiacenti che, a loro volta, fanno la stessa cosa con quelle un po' oltre e così via...

Immagina ora di fare un filmato dell'onda provocata dal sassolino. Prima dell'arrivo del sasso immaginiamo che l'acqua sia perfettamente piatta. Nell'istante in cui il sasso tocca l'acqua vedresti la superficie dell'acqua scendere laddove è stata colpita dal sasso. Cosa succederebbe pochi istanti dopo?

**Q: Vedrei un primo anello attorno a dove è caduto il sasso.**

A: Esatto. E dopo un altro po'?

**Q: Sempre più anelli e sempre più larghi.**

A: Il fatto che l'acqua sale e scende in punti dello spazio distanti dal sasso si descrive dicendo che si è formata un'onda. Il fatto che la zona interessata dall'onda è sempre più grande al passare del tempo si descrive dicendo che l'onda viaggia con una determinata velocità data dalla distanza con cui si allarga l'effetto del sasso nell'unità di tempo.

Nel caso delle onde elettromagnetiche avviene la stessa cosa, con l'unica differenza che la variazione di campo elettrico in un punto non altera direttamente il campo elettrico nello spazio adiacente, ma genera un campo magnetico che a sua volta modifica il campo elettrico circostante e così  
via  
...

**Q: ... e quindi parliamo di onda elettro-magnetica perché cariche in movimento generano campi elettrici e magnetici in punti distanti dalle cariche stesse a tempi via via più lunghi man mano che ci si allontana dalla carica che ha iniziato il processo**

A: Esatto! E la velocità di questa onda è quella che si chiama velocità della luce.

**Q: Quindi per generare un'onda elettromagnetica devo mettere in moto delle cariche**

A: Semplificando molto, possiamo dire che il grosso delle onde elettromagnetiche si genera facendo muovere delle cariche avanti e indietro. Per contro se io metto un'antenna, per esempio quella della radio, dove si trova un'onda elettromagnetica, le cariche verranno indotte dal campo elettrico che costituisce l'onda stessa a muoversi avanti ed indietro.

**Q: E questo è quindi quello che avviene nell'antenna della radio o della TV.**

A: Esatto. Una trasmissione via radio avviene proprio così. In un certo punto dello spazio, dove c'è il trasmettitore, viene generata un'onda elettromagnetica, cioè un campo elettrico e magnetico che cambiano in tutto lo spazio. Il modo in cui cambiano i campi porta l'informazione che voglio trasmettere. La radiolina è connessa ad un'antenna nella quale l'onda crea un segnale elettrico che contiene l'informazione originaria. Questo segnale viene trasformato dall'apparecchio radiofonico in suono.

**Q: Bene, però tutto era partito dalla necessità di capire perché le onde elettromagnetiche possono assumere aspetti così disparati, dalla radio alla micro-onda alla luce ...**

A: Giusto. Riprendiamo l'analogia con la goccia nello stagno. Che informazioni quantitative mi sapresti dare riguardo a un'onda in uno stagno?

**Q: Beh, ti direi che l'onda ha una certa velocità, di cui abbiamo parlato prima**

A: Sì, ma non sarebbe sufficiente. Potrei immaginarmi che nello stagno si formano pochi cerchi oppure decine.

**Q: OK, ti dovrei dire anche il numero dei cerchi.**

A: Esatto. Ovvero, ad essere più rigorosi, mi dovrei dire la distanza tra due creste dell'onda, quella che si chiama la lunghezza d'onda. Infine, sebbene sia più difficile da misurare, se tu mi dessi anche l'altezza delle creste rispetto alle pance avrei tutto quello che identifica un'onda: intensità, velocità e lunghezza d'onda.

**Q: E dunque le onde elettromagnetiche differiscono per intensità, velocità e lunghezza d'onda.**

A: Sì però ai fini della discussione di oggi solo la lunghezza d'onda è rilevante. La luce visibile, le micro-onde e le onde radio differiscono per

lunghezza d'onda. Facendo riferimento ad un caso analogo ma più facile da intuire, un'onda sonora con una lunghezza d'onda più corta corrisponde ad un suono più acuto rispetto ad una lunghezza d'onda più lunga che corrisponde ad un suono più grave.

**Q: Bene, allora adesso mi dirai le lunghezze d'onda di tutte le onde elettromagnetiche più utilizzate!**

A: Intanto cominciamo con la terminologia: l'insieme di tutte le possibili forme in cui si manifestano le onde elettromagnetiche si chiama "Spettro Elettromagnetico". Inoltre, visto che le onde devono essere generate (e dunque "irradiate") da qualcuno, si usa per esse anche il termine "radiazione".

Non voglio però fare uno sterile elenco delle radiazioni che costituiscono lo spettro elettromagnetico. Ho l'ambizione di fare di meglio: farti capire qual è il collegamento tra la lunghezza d'onda di un'onda elettromagnetica ed il suo comportamento.

**Q: Oh, sarebbe bello, magari riuscirei pure a ricordare qualcosa così ...**

A: Ripartiamo dal nostro sassolino nell'acqua. Cosa succede alle onde generate se siamo in uno stagno e c'è una canna molto sottile che esce dall'acqua?

**Q: Bah ad occhio niente**

A: Esatto. Le onde nello stagno "aggirano" l'ostacolo come se non ci fosse. E cosa succede se c'è un grosso masso?

**Q: L'onda prende forme buffe.**

A: E se il masso è particolarmente grosso l'onda può pure tornare indietro. In particolare, quello che si vede è che un'onda viene deviata od ostacolata solo da oggetti che sono di dimensioni confrontabili con la lunghezza d'onda.

Analogamente un'onda elettromagnetica scavalca gli oggetti più piccoli della sua lunghezza d'onda, mentre viene ostacolata, deviata o riflessa da quelli più grandi.

**Q: Quindi la lunghezza d'onda di un'onda elettromagnetica determina da cosa può essere assorbita o deviata e dunque le sue proprietà.**

A: Esatto! Per esempio, a partire dagli oggetti con cui esse hanno a che fare, che lunghezze d'onda ti aspetti per le onde radio?

**Q: Beh, dovendo scavalcare palazzi sarà di alcuni metri**

A: Brava! in effetti è di metri. Ad essere precisi sono per lo più ostacoli metallici ad impensierire le onde radio, ma in ogni caso hai ragione, devono scavalcare ostacoli di metri.

Volendo verificare questa tua ipotesi, la lunghezza d'onda si può facilmente calcolare per ogni canale. Per esempio, qual è una frequenza tipica di un canale radio FM?

**Q: Direi 100 e rotti**

A: Esatto, sono 100 e rotti Megahertz, una misura di frequenza, cioè di rapidità con cui si succedono nel tempo le creste. La lunghezza d'onda si calcola dividendo la velocità della luce per la frequenza.

**Q: Non pretenderai che io lo sappia fare ...**

A: No no ... te lo dico io il risultato. 100 MHz corrispondono a 3 metri di lunghezza d'onda. Esattamente quello che avevi previsto.

**Q: Scusa però con questi numeri mi stai un po' confondendo. Mi hai detto che un'onda con lunghezza d'onda di tre metri scavalcherà solo ostacoli fino a tre metri. Quindi anche un palazzo a due piani la fermerà.**

A: La situazione non è così netta. Da un lato le mura non fermano le onde radio ma le attenuano soltanto per cui bisogna preoccuparsi solo delle parti metalliche degli edifici. Inoltre, per ostacoli confrontabili con la lunghezza d'onda la forma dell'onda viene distorta, ma non completamente fermata. In aggiunta ci sono fenomeni, quale la diffrazione, che intercorrono quando l'ostacolo è diciamo tra un decimo della lunghezza d'onda e dieci volte tante. Questo richiede una puntata a sé stante...

**Q: OK, ma mi diresti qualche altra lunghezza d'onda di interesse?**

A: Rimanendo nell'ambito delle onde radio i canali in AM hanno una lunghezza d'onda di circa 100 m, 1 km. I segnali della televisione e dei cellulari usano invece tipicamente lunghezze d'onda di un metro o poco meno.

**Q: OK e scendendo in lunghezza?**

A: Scendendo in lunghezza d'onda la successiva radiazione che incontriamo nel quotidiano è quella del forno a micro-onde. Essa è generata da una specie di antenna che si trova a lato del forno ed ha una lunghezza d'onda confrontabile con essa, cioè di qualche centimetro. Se guardate nel vano di un forno a micro-onde vedete su di un lato una finestrella di pochi cm di lato. Da lì passano le onde e la lunghezza d'onda è simile al lato della finestrella.

**Q: E poi?**

A: Dopo viene l'infrarosso, che ha una lunghezza d'onda compresa tra un millesimo di millimetro ed un millimetro. La rilevanza di questa radiazione è legata alla temperatura dei corpi, in quanto essa viene generata dal



movimento degli atomi del corpo stesso. Essi fanno sostanzialmente da antenna e la lunghezza d'onda della radiazione emessa varia, anche se poco, con la temperatura del corpo. È per questo che vedere onde infrarosse permette di distinguere oggetti più caldi di ciò che sta attorno a loro, anche in assenza di luce visibile, cioè di vedere di notte.

**Q: Va bene ... Dai miei ricordi dopo l'infrarosso viene la luce visibile!**

A: Esatto, ed in questo caso si parla di lunghezze d'onda comprese in un intervallo molto ristretto, tra quattro decimi di micrometro, il viola, e sette decimi di micrometro, il rosso.

**Q: Di micro ... che?**

A: OK scusa, un micrometro, spesso chiamato "micron", è un millesimo di millimetro.

**Q: Dunque, la luce che vediamo è un'onda elettromagnetica con una lunghezza d'onda compresa in un intervallo molto piccolo. Perché vediamo solo queste onde e le altre no?**

A: Il micron è la scala tipica delle cellule. Per questo i coni e i bastoncelli, che sono le cellule della retina presenti nei nostri occhi, sono sensibili a questo tipo di radiazione e questo fatto l'ha resa speciale per noi uomini. Nota però che altri animali "vedono" anche altri tipi di radiazione, in particolare l'ultravioletto, come gli insetti, o l'infrarosso, come gli animali notturni.

Passando poi all'ultravioletto siamo arrivati attorno al centesimo di millesimo di millimetro.

Scendendo ulteriormente in lunghezza d'onda abbiamo i raggi X.

Essi hanno lunghezze d'onda confrontabili con i singoli atomi, diciamo attorno al decimo di milionesimo di millimetro (altresì detto Angstrom), o con la distanza tra gli atomi nei materiali. Per questo i raggi X sono molto sensibili alla densità dei materiali, cioè alla densità a cui sono impacchettati gli atomi: se gli atomi sono distanti i raggi X passano indisturbati, mentre se sono disposti in modo molto fitto ne vengono riflessi; è un po' come avere davanti a sé una porta larga o una stretta ...

È per questo che passano attraverso i materiali con le densità più basse, come la pelle e i muscoli, ma si arrestano a più alte densità, come quelle delle ossa. Questo è il principio alla base della radiografia che è fatta, appunto, con i raggi X.

**Q: Abbiamo terminato?**

A: Veramente no, resta la radiazione con la quale siamo più familiari noi fisici delle particelle elementari, la radiazione gamma. È la radiazione tipicamente connessa a fenomeni legati ai nuclei atomici. Per esempio, vi si effettuano analisi di Medicina Nucleare quali la scintigrafia e la PET, si curano i tumori tramite radio-terapia, si sterilizzano i cibi ...

**Q: E come funzionano tutte queste tecniche?**

A: Direi che si è fatto tardi ed è un buon momento per lasciare in sospeso un argomento per le prossime puntate...

**FINE**