

ONDE ELETTROMAGNETICHE

1. Introduzione

All'inizio del XIX secolo, Faraday, studiando le interazioni elettriche e magnetiche, scoprì che i campi elettrici variabili potevano essere indotti da campi magnetici a loro volta variabili. Pochi anni dopo, Maxwell, traducendo in forma matematica gli studi di Faraday, formulò le basi della moderna teoria dell'elettromagnetismo, sostenendo che le onde elettromagnetiche hanno una natura identica a quella delle radiazioni visibili (cioè della luce) e che si propagano con la stessa velocità, subendo i fenomeni della riflessione e della rifrazione, tipici dei segnali luminosi. In seguito Hertz realizzò il primo oscillatore in grado di irradiare un'onda elettromagnetica che poteva essere rilevata a breve distanza. I successi ottenuti destarono l'interesse di altri scienziati, che iniziarono a prendere in considerazione l'idea di trasmettere informazioni mediante onde elettromagnetiche.

2. Le equazioni di Maxwell

Lo studio delle onde elettromagnetiche venne affrontato per la prima volta dal fisico scozzese James Clerk Maxwell, al quale spetta il grande merito di aver fornito una descrizione rigorosa e completa delle proprietà del campo elettromagnetico.

Poiché una trattazione dettagliata ed approfondita dell'argomento richiederebbe strumenti e conoscenze matematiche che esulano dagli scopi del presente testo, verrà fatta una descrizione qualitativa dei fenomeni fisici che caratterizzano la propagazione elettromagnetica, fornendo direttamente i risultati derivanti dalla teoria di Maxwell.

La teoria di Maxwell è sintetizzata dalle quattro equazioni che portano il suo nome (equazioni di Maxwell), formulate dal fisico scozzese nel 1873, le quali

descrivono le mutue interazioni tra i campi elettrico e magnetico.

Le prime due descrivono i campi elettrico e magnetico e prevedono l'esistenza di "cariche" che li producono: in particolare, la prima descrive il campo elettrico generato da cariche ferme, secondo la legge di Coulomb, la seconda stabilisce che non esistono cariche magnetiche isolate, diversamente da quanto accade per quelle elettriche, cioè il polo nord di un magnete è sempre legato a un polo sud. La terza equazione esprime la legge dell'induzione elettromagnetica di Faraday-Neumann, secondo la quale un campo magnetico variabile nel tempo produce un campo elettrico.

La quarta, infine, afferma che un campo magnetico può essere generato sia da una corrente elettrica, sia da un campo elettrico variabile nel tempo, come si vedrà nel prossimo paragrafo.

Le equazioni di Maxwell per i fenomeni elettrici e magnetici possono essere considerate l'equivalente delle equazioni di Newton per la meccanica, perché consentono di conoscere, almeno in linea di principio, lo stato passato o futuro, conoscendo le condizioni iniziali.

Il risultato più importante della teoria elettromagnetica di Maxwell è la dimostrazione che le quattro equazioni del campo elettromagnetico implicano l'esistenza di onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio vuoto con una velocità pari a quella della luce (300000 Km/s), trasportando energia e quantità di moto di natura elettromagnetica: da questo risultato Maxwell fu indotto ad enunciare la natura elettromagnetica di tutti i fenomeni luminosi (teoria elettromagnetica della luce).

La sua geniale intuizione fu confermata verso la fine del XIX secolo dai brillanti esperimenti di Hertz sulle onde elettromagnetiche (onde hertziane).

Hertz riuscì a produrre con le onde elettromagnetiche fenomeni di riflessione, rifrazione, interferenza,

diffrazione e polarizzazione, analoghi a quelli relativi alle onde luminose.

3. Onde elettromagnetiche

Si consideri il fenomeno connesso alla scarica di un condensatore in un circuito elettrico, come mostrato in figura 1.

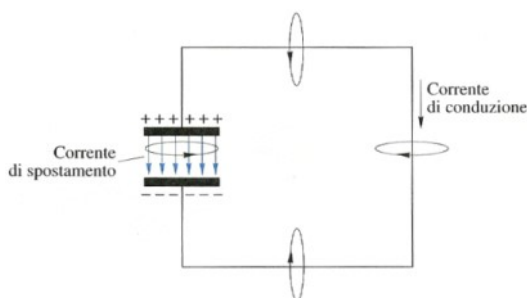


Figura 1 - Scarica di un condensatore in un circuito

La corrente che fluisce nel circuito (detta di **conduzione**) genera un campo magnetico avente linee di forza che si chiudono intorno ad esso, interrompendosi sulle armature del condensatore, nel cui dielettrico si instaura un campo elettrico variabile. Si può tuttavia osservare che nel dielettrico, oltre al campo elettrico, viene generato un campo magnetico identico a quello che si avrebbe se una corrente fittizia, uguale a quella di conduzione, circolasse nel dielettrico stesso. Tale corrente, denominata **corrente di spostamento**, può essere considerata un prolungamento nel dielettrico di quella di conduzione e pertanto genera un campo magnetico le cui linee d'induzione sono concatenate perpendicolarmente a quelle del campo elettrico presente: **si può quindi affermare che ad ogni campo elettrico variabile è associata una corrente di spostamento che genera un campo magnetico variabile.**

Considerando la legge dell'induzione elettromagnetica (di Neumann-Faraday), secondo la quale ad ogni variazione del flusso concatenato con una spira conduttrice si induce in essa una f.e.m., è naturale pensare ad un'interpretazione più generale del fenomeno dell'induzione, che non implichi l'esistenza di un circuito elettrico materiale.

Questa generalizzazione si può così enunciare:

ogni volta che in un punto dello spazio è presente un campo magnetico variabile, viene generato un campo elettrico variabile e viceversa, se è presente un campo elettrico variabile è generato un campo magnetico variabile; esistono cioè due fenomeni duali.

Pertanto, ogni volta che in una certa regione dello spazio si ha un campo elettrico (o magnetico) variabile, nei punti vicini si instaura un campo magnetico (o elettrico) che, risultando anch'esso variabile, genera a sua volta un campo elettrico (o magnetico) variabile e così via. In altre parole, ogni variazione nel tempo di uno dei due campi non rimane localizzata nel punto dove è stata prodotta, ma si trasmette nello spazio con un processo analogo a quello con cui avviene la propagazione delle onde elastiche: viene cioè generata una successione di campi elettrici e magnetici concatenati ed ortogonali tra loro.

In altre parole il campo elettrico e magnetico non possono mai sussistere isolati: essi formano pertanto un insieme inscindibile.

Nell'ipotesi che la variazione dei campi magnetico H ed elettrico E sia sinusoidale, la rappresentazione spaziale del fenomeno è del tipo indicato in figura 2.

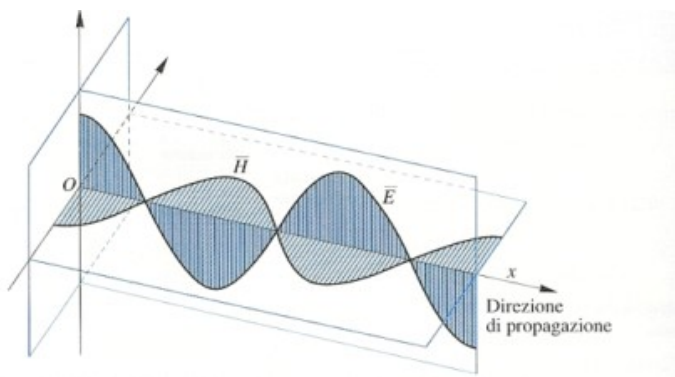


Figura 2 – Propagazione di un'onda nello spazio secondo la direzione x : i vettori che rappresentano E e H sono sempre perpendicolari tra loro

L'insieme di un campo elettrico e magnetico variabili nel tempo, che si propagano in modo libero nello spazio, o guidato nel dielettrico di due fili di una linea di trasmissione o all'interno di una guida d'onda o in una fibra ottica, è denominato **onda elettromagnetica** o **campo elettromagnetico**.

Tra il campo elettrico e magnetico si verifica pertanto un continuo scambio di energia, analogamente a quanto avviene in un circuito elettrico oscillante LC ad elementi concentrati, in cui si hanno continue trasformazioni dell'energia magnetica associata al campo magnetico generato dall'induttanza L , in energia elettrostatica associata al campo elettrico generato dal condensatore C .