

La Gabbia di Faraday



Gabbia di Faraday: lo scudo che ci protegge dall'elettricità e non solo

Lo strumento nel quale si può sentire al sicuro da campi elettrici e magnetici è detto gabbia di Faraday. Credere che ci sia un modo per proteggersi da qualsiasi scarica elettrica può sembrare assurdo, invece questa speciale gabbia permette di schermare i campi elettromagnetici, sia dall'esterno verso l'interno sia nel caso opposto. Cercheremo di capire insieme qual è la particolarità della gabbia di Faraday, quali sono i suoi principi di funzionamento e le condizioni necessarie per renderla efficace.

IN BREVE

L'**elettricità** è un termine con cui si indicano quei fenomeni fisici che coinvolgono la **forza elettromagnetica**, che è riconosciuta come una manifestazione delle **interazioni fondamentali**. Il campo elettrico e il campo magnetico sono strettamente legati da leggi fisiche: il passaggio di corrente elettrica in un conduttore può creare un campo magnetico e viceversa.

Se mai dovessi trovarti in un ambiente ostile in cui si verificano continue scariche elettriche, ad esempio all'interno di una tempesta magnetica, sapresti dove ripararti? Se invece volessi isolare la tua abitazione da qualsiasi impulso elettromagnetico cosa faresti? Una soluzione a questi due problemi potrebbe essere costruire una **gabbia di Faraday**! Una costruzione di questo tipo è un guscio metallico che funge da schermo per la cavità interna e la isola da qualsiasi campo elettromagnetico.



Tra due corpi con elevata differenza di potenziale elettrico si può osservare una scarica elettrica. È il caso dei fulmini che spesso vediamo in cielo e che possono anche toccare il suolo. Per proteggere edifici e persone dai fulmini può essere utile adoperare una gabbia di Faraday.

Gabbia di Faraday: lo scudo che ci protegge dall'elettricità e non solo

In cosa consiste una gabbia di Faraday?

Mediante la legge di Coulomb espressa dalla relazione $F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ e le sue conseguenze, era già noto che le cariche si distribuiscono soltanto sulla superficie dei conduttori. Nel 1836 **Michel Faraday** condusse degli esperimenti in un corpo **conduttore cavo** isolato, scoprendo che la carica si dispone sulla sua superficie esterna e non influenza lo stato elettrico dei corpi all'interno del contenitore. Per verificare ciò, Faraday, rivestì un contenitore con un **foglio metallico** e dispose un generatore elettrostatico in modo che producesse una scarica ad alta tensione verso la superficie esterna del contenitore. Cosa trovò lo scienziato e cosa trovereste voi usando un elettroscopio nella medesima situazione? All'interno del volume rivestito dal foglio metallico la carica elettrica è assente! Un risultato analogo si ottiene se il generatore elettrostatico è posto all'interno del contenitore collegato a terra, all'esterno non si misura alcuna carica.

Il termine **gabbia** viene utilizzato per sottolineare la caratteristica del guscio metallico che può essere composto anche ad una rete o una serie di strisce metalliche opportunamente distanziate. Tuttavia il contenitore può essere composto semplicemente da un foglio di metallo continuo e sottile. L'uso di una gabbia invece che del foglio è molto utile nella pratica: immaginate di voler osservare ciò che accade al suo interno, oppure di voler garantire il passaggio di aria tra l'interno e l'esterno. Come spiegheremo anche più avanti, questa variante di gabbia è usata nei **microonde** per riuscire a vedere la pietanza al suo interno, ma riuscendo lo stesso a schermare le onde elettromagnetiche che si generano.

Una gabbia di Faraday quindi è un qualunque contenitore fatto di **materiale capace di condurre l'elettricità** (conduttore) che costituisce un sistema isolante per un qualunque **campo elettrico** a prescindere dalla sua intensità.



Per costruire una gabbia di Faraday è sufficiente utilizzare un materiale conduttore. Qualsiasi involucro cavo, che sia un foglio continuo o un insieme di sbarre, può essere utile per schermare il campo elettrico.

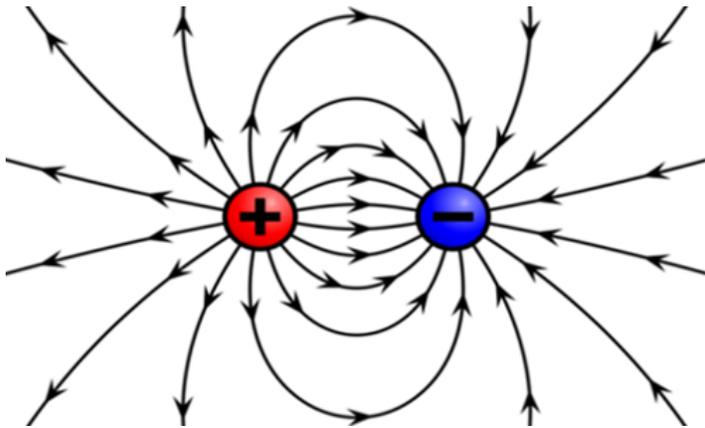
Cos'è il campo elettrico?

Prima di capire cosa succede in una gabbia di Faraday è utile chiarirsi le idee sul campo elettrico. Attraverso una procedura semplificata si può definire cosa sia il campo elettrico, concetto introdotto dallo stesso **Faraday**, che in fisica si indica con la lettera **E**. Come sappiamo se si inserisce una carica di prova in uno spazio dove ci sono altre cariche elettriche fissate, si può notare che la carica di prova è sottoposta ad una forza (**F**). Il rapporto tra la forza e il valore della carica di prova si definisce come campo elettrico ed è **una grandezza vettoriale che si misura in N/C** (Newton diviso Coulomb):

$$E = \frac{F}{q}$$

Gabbia di Faraday: lo scudo che ci protegge dall'elettricità e non solo

Le **linee di forza del campo** elettrico sono uscenti da una carica positiva e entranti per una carica negativa. Queste linee che però sono usate per descrivere il campo non esistono nella realtà, ma sono solo una rappresentazione per visualizzare il campo.



Le linee di forza del campo elettrico per cariche puntiformi isolate sono entranti per quelle negative e uscenti per quelle positive. Per comprendere la gabbia di Faraday è essenziale il procedimento che potrebbe bilanciare le cariche rendendo nulla la carica totale.

La "quantità" di campo presente attraverso una superficie è misurabile attraverso il **flusso di campo elettrico**. Il flusso è una grandezza definibile per molte situazioni fisiche, come il flusso di un liquido attraverso una sezione che è conosciuto come portata del tubo. La caratteristica principale del flusso del campo elettrico prende il nome di **teorema di Gauss**: il flusso attraverso una superficie chiusa è direttamente proporzionale alla carica totale all'interno della superficie. In formule:

$$\Phi_{\Omega}(\vec{E}) = -Q_{\text{tot}}/\epsilon_0$$

dove ϵ_0 è la **costante dielettrica del mezzo**.

Ora che abbiamo rinfrescato queste nozioni possiamo procedere con la spiegazione su cosa consiste una gabbia di Faraday.

Il principio fisico di funzionamento della gabbia

Immaginiamo di avere un conduttore cavo immerso in un campo elettrico, che rappresenta proprio il nostro caso della gabbia. Se si applica il teorema di Gauss alla superficie S , essendo all'interno del conduttore, si trova che **il campo e il suo relativo flusso sono nulli**. Questo vuol dire che la carica totale racchiusa è nulla e indipendentemente dal campo esterno. Non basta però a dire che non vi sono cariche al suo interno, in particolare sulla superficie interna del guscio. Infatti si potrebbe ipotizzare che sulla superficie interna della cavità vi siano distribuzioni di carica tali che la loro somma complessiva sia zero; condizione che sarebbe ancora compatibile con il teorema di Gauss.

Fortunatamente questa possibilità è esclusa da un procedimento matematico-fisico condotto per assurdo. Poste alcune condizioni dell'ipotesi "assurda", che potrete trovare tra le fonti citate alla fine dell'articolo, si arriva a tale equazione finale:

$$\int_B \vec{A} \cdot d\vec{l} = 0$$

Gabbia di Faraday: lo scudo che ci protegge dall'elettricità e non solo

Questa formula è stata ottenuta scegliendo un percorso di una linea di forza che congiunge cariche positive e negative: se ci sono cariche l'integrale non può essere nullo, poiché E (campo elettrico) non può cambiare di segno lungo tale percorso. Quindi il **campo è pari a zero e non può indurre cariche all'interno del guscio**.



Il campo elettrico non è solo la saetta visibile all'occhio umano o qualsiasi altra sua manifestazione. Il campo può esistere senza apparire evidente alla nostra vista. Questo gioca un ruolo fondamentale nel caso della gabbia di Faraday, al cui interno il campo è realmente nullo.

La gabbia di Faraday si comprende meglio se la si approssima ad un conduttore cavo ideale. Campi elettromagnetici applicati esternamente, come la scarica di un fulmine, o internamente, producono delle forze sui portatori di carica. Questi portatori di carica, in genere, non sono altro che gli elettroni all'interno del conduttore. Le cariche si ridistribuiscono generando correnti elettriche momentanee di breve durata. Le correnti terminano una volta ricollocate le cariche in modo da annullare il campo elettrico presente all'interno.

Se invece una carica viene posta all'interno della gabbia senza messa a terra, la sua faccia interna si carica a sua volta. La faccia interna e la carica immessa si annullano a vicenda, così la diffusione di cariche sulla superficie esterna non è influenzata dalla posizione della carica all'interno dell'involucro. La gabbia genera il medesimo campo elettrico che genererebbe se fosse semplicemente influenzata dalla carica posta all'interno. Analogamente accade per una carica posta all'esterno. Ovviamente, se la gabbia ha un **collegamento a terra**, tutte queste cariche accumulate che non interagiscono con l'interno sono scaricate a terra, lasciando la gabbia al suo **stato neutro**. Questo rappresenta il **punto fondamentale per il sistema di protezione** dai fulmini e altre scariche elettriche.

E per le onde elettromagnetiche? Nel caso di un **campo elettromagnetico che incide sull'involucro** questo induce a sua volta un campo elettrico nel conduttore, generando un campo magnetico tale da opporsi a quello incidente. Questa contrapposizione di campi fa sì che il campo elettromagnetico in entrata venga respinto e non penetri all'interno. Analogamente si può ragionare per un'onda elettromagnetica che va dall'interno verso l'esterno.

Gabbia di Faraday: lo scudo che ci protegge dall'elettricità e non solo

L'induzione elettromagnetica

Come fa un campo magnetico a creare una corrente? Ciò che sappiamo è che una corrente elettrica genera un campo magnetico, ma come abbiamo preannunciato per le onde elettromagnetiche vale anche il contrario. Mettiamo il caso di disporre di una **bobina**, cioè un insieme di spire composte da un materiale conduttore, e di far passare una **calamita** al suo interno. Collegando il circuito ad un **amperometro** ciò che si osserva sperimentalmente è che si crea una corrente. Se si arresta il movimento della calamita, anche lasciandola all'interno delle spire, la corrente rilevata è pari a zero. Questo vuol dire che solo un **campo magnetico variabile genera una corrente indotta!** In particolare la corrente si crea se varia il flusso del campo magnetico e ciò comporta un notevole vantaggio, poiché si può creare corrente non solo facendo variare il campo, ma anche la superficie di passaggio. L'espressione che regola l'induzione elettromagnetica è conosciuta come **legge di Faraday-Neumann:**

$$e_m = -\Delta\Phi(B) / \Delta t .$$

Questa relazione esprime la forza elettromotrice come il rapporto tra la variazione di flusso del campo magnetico ($\Delta \Phi(B)$) e il tempo trascorso. Può essere utile per calcolare il valore della corrente indotta, se si conosce la resistenza del circuito, mediante la formula:

$$i = - e_m / R .$$

Applicazioni pratiche

Principalmente un sistema come quello della gabbia di Faraday è usato sugli **aerei** per proteggere i passeggeri mentre questo oltrepassa tempeste dove si verificano scariche di **fulmini**. Come abbiamo visto l'interno non viene attraversato dalla corrente elettrica e questo è il motivo per cui le persone possono viaggiare serenamente.

Anche nei complessi che costituiscono i **parafulmini** sugli edifici e nelle città si usa la combinazione tra: un guscio conduttore e il principio di attrazione elettrostatica sulla sua punta. Le cariche infatti tendono a raggrupparsi sulle **punte aguzze** dei materiali conduttori, attirando sulla loro sommità la scarica del fulmine molto più di qualsiasi altra zona neutra. Una volta posto il parafulmine ad una certa altezza questo funge da prima zona di scarico del fulmine che poi viene convogliato in una gabbia di Faraday per non arrecare danni alle strutture o alla popolazione.

Numerose altre applicazioni si hanno in generiche situazioni in cui si vogliono "fermare" onde elettromagnetiche. È il caso dei **microonde** che sfruttano questo principio per schermare le onde che si generano al loro interno, in modo da non danneggiare le persone e da convogliare tutta l'energia sulla pietanza. Durante la seconda guerra mondiale molti edifici venivano ricoperti o incorporati a strutture come quelle della gabbia. In questo modo si evitava che la gente al suo interno potesse comunicare in modo efficace con l'esterno mediante onde elettromagnetiche. Ancora oggi questo principio può essere utilizzato per **limitare la comunicazione tramite cellulari** che funzionano appunto mediante onde della stessa tipologia.

Gabbia di Faraday: lo scudo che ci protegge dall'elettricità e non solo



Il microonde non è altro che una gabbia di Faraday al cui interno sono generate onde elettromagnetiche. Generalmente le microonde sviluppate sono tra 1 e 40 GHz. Se lo sportello di questo strumento risulta difettoso si causa il mal funzionamento della gabbia con relativa fuoriuscita di queste onde. Contro le microonde però, a differenza dei raggi solari, risulta inefficace l'utilizzo di occhiali da sole a protezione degli occhi.

Nel settore medico la gabbia di Faraday è usata per schermare la strumentazione della **risonanza magnetica**. Senza questo accorgimento la risonanza sarebbe colpita da molte altre onde e radiazioni che modificano quelle di interesse per la risonanza. La qualità delle immagini sarebbe compromessa e risulterebbero poco affidabili.

Uno strumento non del tutto infallibile

Il modello della gabbia di Faraday può essere applicato solo ai campi statici, infatti quando è attraversata da corrente elettrica non si verificano più le **condizioni di elettrostaticità**. In questo caso nel conduttore si genera una differenza di potenziale non nulla, siccome vale la legge di Ohm, parte della corrente potrebbe attraversare un corpo posto al suo interno. Ciò rappresenta un limite non indifferente per il suo utilizzo.

Anche nei sistemi di schermo dalle onde elettromagnetiche ci sono importanti valutazioni che rendono il sistema non efficace al massimo. Molto dipende dal conduttore utilizzato che può avere una resistenza maggiore e quindi portare a dispersione di energia **per effetto Joule**. Oltre al corrispondente e pericoloso rilascio di calore, questo limita la forza del campo elettromagnetico che non riesce ad opporsi completamente a quello in entrata. Nel caso dell'utilizzo di una vera e propria gabbia, la distanza tra le maglie del conduttore deve essere proporzionale entro certi valori alla lunghezza d'onda dell'onda elettromagnetica prodotta. Tutti questi fattori, ad esempio, fanno sì che se un cellulare fosse inserito all'interno di un microonde questo riuscirebbe a comunicare ancora con l'esterno. Si può verificare semplicemente, ma fate attenzione: non accendete il microonde per fare questa tipologia di test!