



LA GABBIA DI FARADAY

Un involucro schermante che si oppone al passaggio dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici; inventato due secoli fa, trova ai nostri tempi numerosissime applicazioni, con molte delle quali veniamo a contatto, più o meno consapevolmente, ogni giorno.

Umberto Cosmai

DIMOSTRAZIONE SPERIMENTALE

Mi ricordo che, da studente, in gita al Deutsches Museum di Monaco di Baviera, il museo della scienza e della tecnica più grande del mondo, assistetti ad uno spettacolare esperimento. In un grande salone, un inserviente entrava dentro ad una gabbia metallica che veniva sollevata verso il soffitto fino a porsi tra due sfere spinterometriche distanti tra loro alcuni metri e collegate a un generatore elettrostatico. La tensione del generatore veniva aumentata gradatamente fino a provocare una scarica elettrica tra le sfere, che andava ad involgere la gabbia; questa, poi, veniva calata, l'inserviente usciva incolume e, come un artista circense dopo un numero acrobatico, si inchinava agli spettatori, per lo più rumorosi scolari, che applaudivano divertiti.

Ora, se è vero che un'immagine può valere più di mille parole, è anche vero che una dimostrazione pratica vale più di un trattato scientifico, per chi vuole semplicemente capire come funzionano le cose. E quella fu per me la dimostrazione, chiara e indelebile del funzionamento della cosiddetta Gabbia di Faraday.

UN PO' DI STORIA

Michael Faraday (1791-1867) fu uno dei più grandi scienziati dell'era moderna, scopritore, tra tante altre cose, dell'induzione elettromagnetica che è alla base delle moderne apparecchiature e macchine elettriche per la produzione e lo sfruttamento dell'energia elettrica su larga scala. Nel corso dei suoi esperimenti di elettricità statica rilevò che, quando un corpo conduttore viene elettrizzato, le cariche elettriche si dispongono, a regime, unicamente sulla superficie esterna e non hanno nessun effetto sulla sua parte interna, tanto che, se quest'ultima venisse rimossa, si formerebbe una cavità nella quale il campo elettrico si manterrebbe praticamente nullo.

A dire il vero, questo fenomeno era già stato rilevato, un secolo prima, dall'abate Nollet, che ne diede un resoconto scritto, e da Benjamin Franklin che osservò, senza peraltro saperne dare una spiegazione, come una pallina di sughero, calata all'interno di un barattolo metallico elettrizzato non subisse nessuna attrazione elettrostatica mentre veniva invece prontamente attratta se posta nelle vicinanze della superficie esterna del barattolo.

Faraday (Figura 2), nel 1836, si occupò del fenomeno, rivestendo, come scrisse lui stesso, una camera a foggia di cubo di 12 piedi con un intreccio di fili di rame collegati ad un rivestimento di fogli di stagno. L'involucro metallico venne poi caricato elettrostaticamente tanto da produrre all'esterno numerose scintille e scariche elettriche. Lo scienziato si pose

Figura 1 - Gabbia di Faraday per dimostrazioni didattiche.



Figura 2 - Michael Faraday effigiato in una banconota inglese.



all'interno della camera con un elettroscopio che non rilevò la presenza di alcun campo elettrico. Qualche anno dopo, Faraday andò a fondo alla questione con il famoso esperimento del secchiello di petro per il ghiaccio (ice pail experiment), che replicava con maggior precisione l'esperimento di Franklin, utilizzando una sferetta di ottone (Figura 3). Era il 1843 ed era stato individuato un efficace schermo ai campi elettrici, la cui struttura, nelle sue diverse forme, sarebbe stata utilizzata, nei secoli successivi, anche per la protezione di persone e cose dall'effetto dei campi magnetici ed elettromagnetici, di origine naturale o artificiale.

Si scoprì con l'esperienza, che il contenitore di Faraday, originariamente costituito da un involucro metallico continuo, poteva essere anche alleggerito sostituendo i fogli di metallo

Figura 3 - L'esperimento del secchiello di petro per il ghiaccio con il quale Faraday dimostrò l'assenza di campi elettrici all'interno di contenitori

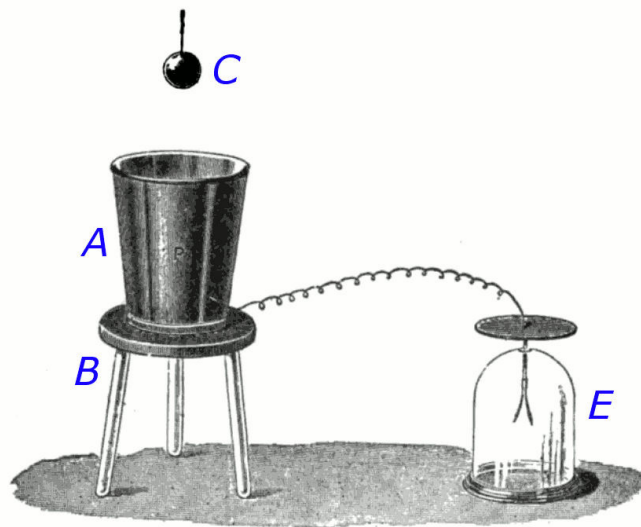
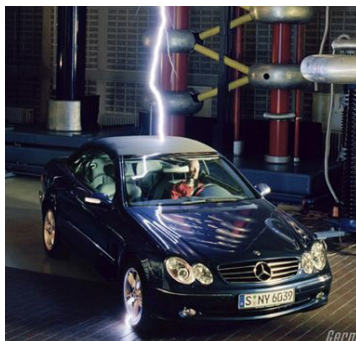


Figura 4 - Esperimento di laboratorio sulla tenuta ai fulmini di un'automobile.



con una rete, sempre metallica, a maglie di dimensioni opportune, che offra anche il vantaggio di una relativa trasparenza. Quindi, lamiere forate, tessuti metallici, griglie e reti di vari materiali conduttori, magnetici e non magnetici, secondo i casi, sono stati impiegati per la realizzazione di quella che viene comunemente chiamata Gabbia di Faraday, indipendentemente dalla sua forma e dalla sua struttura, in quanto il termine gabbia rende, meglio di altri termini meno usati, come per esempio schermo elettrico o schermo di Faraday, l'idea della segregazione che subiscono gli oggetti nel suo interno.

SCHERMI ELETTROSTATICI

La Gabbia di Faraday scherma i campi elettrostatici di qualunque intensità, quindi, è un efficace protezione contro i fulmini. Per questo motivo, se sorpresi da un temporale in aperta campagna e impossibilitati a raggiungere un riparo sicuro, si consiglia di rimanete all'interno di un'automobile che è un efficace Gabbia di Faraday, anche se le maglie rappresentate dai finestrini dal parabrezza e dal lunotto posteriore sono molto ampie. I casi di fulmini che colpendo un automezzo sono riusciti a penetrare al suo interno sono molto rari.

Gli alberi invece per la loro forma appuntita possono più facilmente attirare i fulmini.

Ovviamente, le auto scoperte offrono una protezione minore anche con il tettuccio alzato a meno che questo non sia metallico. Va inoltre considerato che le auto moderne hanno parti di carrozzeria in materia plastica o materiali compositi che non offrono alcuna schermatura.

Quando un automezzo viene colpito dal fulmine ci sono elevate probabilità che gli occupanti rimangano indenni sempreché abbiano l'accortezza di non toccare le parti metalliche scoperte

come, per esempio, le maniglie delle portiere. Potrebbero invece risultare danneggiati gli pneumatici che non essendo buoni conduttori sono soggetti a forti riscaldamenti e scariche superficiali quando vengono attraversati dalla corrente del fulmine che si scarica a terra.

La resistenza ai fulmini degli automezzi è stata abbondantemente provata in grandi laboratori di alta tensione (Figura 4) capaci di riprodurre i fulmini esattamente come avvengono in natura. Lo stesso principio si applica alla maggior parte dei mezzi di locomozione inclusi i vagoni ferroviari, le funivie e gli aerei in particolare.

Un aereo colpito da un fulmine è oggi in grado di proteggere i passeggeri, i quali generalmente se la cavano con un po' di paura dovuta al rumore e a qualche scossone. Nei casi più gravi (Figura 5) ci dovrebbe essere comunque la possibilità di un agevole atterraggio di emergenza.

Statisticamente, ogni aereo di linea viene colpito da un fulmine almeno una volta all'anno o comunque ogni mille ore di volo all'incirca.

In passato si verificarono alcuni gravi incidenti. Per esempio, il 26 giugno 1959 un Super Constellation della TWA diretto a Chicago, appena partito da Milano Malpensa, fu colpito da un

Figura 5 - Danneggiamento della fusoliera di un aereo causata da un fulmine.



fulmine che causò l'esplosione del carburante e conseguente cedimento strutturale dell'aereo. Il velivolo precipitò nei pressi di Olgiate Olona e tutti i 69 occupanti persero la vita.

L'8 dicembre 1962, un fulmine colpì un Boeing 707-121 della PanAm in volo da Porto Rico a Filadelfia, facendo, anche in questo caso, esplodere il deposito del carburante e causando la morte di 81 passeggeri.

Il 24 dicembre 1971, un aereo peruviano: il Lockheed L-188 Electra che operava il volo LANSA 508 precipitò per un cedimento strutturale a causa di un fulmine. Nello schianto, delle 92 persone a bordo, si salvò solo una ragazza diciassettenne. L'aereo aveva incontrato un'area di temporali con forti turbolenze il capitano decise di continuare il volo probabilmente spronato dalle imminenti vacanze natalizie. Subito dopo questo incidente, le autorità revocarono la "licenza di volo" alla compagnia LANSA che cessò l'attività il 4 gennaio 1972.

Oggi, gli aerei sono dotati di un sistema di protezione che previene gli incendi al serbatoio del carburante, inoltre i circuiti elettrici ed elettronici delle apparecchiature di bordo sono, a loro volta, protetti contro i fulmini da specifiche gabbie di Faraday. Di conseguenza, gli incidenti sono diventati estremamente rari e negli ultimi anni non se ne sono più verificati nonostante i fulmini continuino a colpire gli aerei con immutata frequenza. Nel 2017 un Boeing 777 della KLM, subito dopo essere partito dall'aeroporto di Amsterdam, diretto a Lima, in Perù, venne colpito in pieno da un fulmine che attraversò la parte anteriore del velivolo, il quale, comunque, continuò senza problemi il suo viaggio. Il 4 febbraio 2019, un aereo dell'Alitalia, in volo da Roma a Reggio Calabria, fu colpito da un fulmine ma atterrò senza danni e ripartì regolarmente il giorno successivo. Il 10 dicembre 2021, un aereo della Ryanair in fase di atterraggio a Palermo venne colpito da due fulmini ma uscì indenne dalla zona di maltempo andando ad atterrare a Catania. Il 6 agosto 2019 due aerei della compagnia Swiss in volo sono stati colpiti da fulmini e hanno fatto ritorno all'aeroporto di Zurigo ma solo a scopo precauzionale.

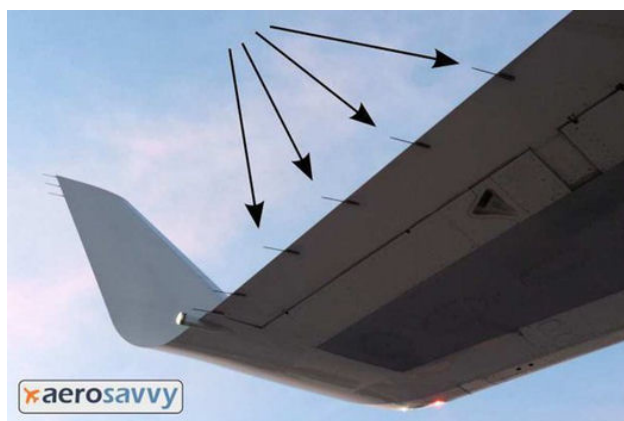
L'ultimo episodio risale a pochi giorni fa, allorché un aereo della compagnia EasyJet, in volo da Milano a Napoli con a bordo 90 passeggeri, è stato colpito da un fulmine rimanendo indenne e fatto atterrare prudenzialmente all'aeroporto di Bari a causa delle forti piogge che imperversavano sulla Campania. La carrozzeria di un veicolo e il rivestimento di un aereo in movimento sono soggetti a caricarsi elettrostaticamente per lo strofinio dell'aria. Per l'effetto gabbia di Faraday queste

Figura 6 - Banda di gomma conduttrice adottata, in passato, per disperdere le cariche statiche che si accumulavano per lo sfregamento dell'aria sulla carrozzeria delle automobili.



cariche tendono a localizzarsi sulla superficie esterna e non interessano l'interno, passeggeri compresi. Le cariche statiche di un automezzo tendono a disperdersi verso terra attraverso le ruote anche se queste non sono ottimi conduttori. In passato, quando gli pneumatici erano isolanti furono adottate bande antistatiche di gomma conduttrice (Figura 6) o catenelle metalliche per facilitare la dispersione a terra delle cariche elettriche accumulate sulla superficie esterna degli automezzi. Ciononostante, in alcuni casi, si possono ancora prendere scosse toccando la carrozzeria di un'automobile, ma stavolta sono i passeggeri a caricarsi staticamente per effetto dello strofinio contro il sedile dell'auto, specialmente quando indossano scarpe isolanti e indumenti sintetici. Ma questo è un altro discorso che mi ricorda un episodio di molti anni fa quando frequentavo l'istituto tecnico. Avevo, a quel tempo, un

Figura 7 - Dispersori di cariche statiche sull'ala di un aereo.



compagno che veniva a scuola in scooter indossando scarpe di gomma e uno di quegli impermeabili di nailon leggeri che si usavano allora. Con il clima secco, acquistava durante il tragitto una forte carica elettrostatica e una volta arrivato in classe, curando di evitare qualunque contatto lungo i corridoi, si divertiva a puntare il dito contro il primo malcapitato trafiggendolo con una fastidiosissima scarica elettrica da una distanza di una ventina di centimetri. Dopo alcune di queste esibizioni il giovane buontempone venne neutralizzato con un getto di acqua fredda e la cosa non ebbe seguito.

Gli aerei sono dotati di numerosi scaricatori statici che hanno la forma di piccole antenne (static discharge wicks), fissate alle ali e alla coda, che provvedono a disperdere le cariche statiche man mano che si accumulano sulla superficie esterna dell'aereo (Figura 7). Comunque, quando l'aereo viene rifornito a terra di carburante, la fusoliera viene collegata a

Figura 8 - Il dottor Megavolt.



Figura 9 - Operatore con tuta protettiva al lavoro su una linea a 500 kV in esercizio



terra con un robusto cavo per evitare che eventuali cariche residue inneschino scintille che potrebbero causare incendi a contatto con i vapori del carburante.

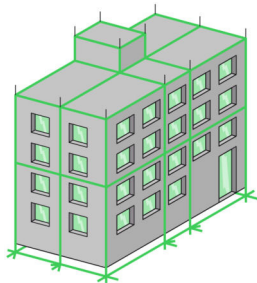
Le proprietà della gabbia di Faraday vengono spesso spettacolarizzate in alcuni musei della scienza e della tecnica del mondo, come riferito all'inizio di questo racconto, ma anche in manifestazioni pubbliche e private. Per esempio, il dottor Austin Richards, un fisico californiano, ha creato, nel 1997, una tuta metallica basata sul principio della gabbia di Faraday che lo protegge dai campi elettrici, e si esibisce in varie parti del mondo con il nome d'arte registrato di Doctor Megavolt. Lo spettacolo consiste nel farsi colpire da una scarica elettrica ad altissima tensione prodotta da una bobina di Tesla e rimanere indenni (Figura 8). Il dottor Megavolt è un frequentatore abituale del festival americano chiamato Burning Man dove ogni artista è libero di organizzarsi l'esibizione che vuole con proprie attrezzature. Il festival, si svolge ogni anno nel deserto Black Rock nello stato del Nevada, dura otto giorni ed è frequentato da oltre 60000 visitatori.

La costruzione di nuove linee aeree di trasmissione dell'energia elettrica, capaci di soddisfare la crescente domanda è fortemente ostacolata, nei paesi industrializzati, dalle difficoltà di reperire i necessari corridoi di asservimento. Le linee di trasmissione esistenti, anche quelle che un tempo erano predisposte come riserva, sono tutte in servizio continuo per far fronte all'espansione del carico e moderni conduttori sovraccaricabili sono utilizzati per aumentare la capacità di trasporto delle linee. In questo contesto, nasce anche la necessità di limitare le interruzioni del servizio dovute a guasti e anche alle normali operazioni di manutenzione. Questi

Figura 10 -Tetto in cemento armato le cui armature costituiscono di fatto una Gabbia di Faraday.



Figura 11 - Sistema parafulmine con Gabbia di Faraday, schema di principio. (credito Scienza Verde).



interventi si eseguono sempre più frequentemente senza interrompere la trasmissione di energia.

A questo scopo sono state messe a punto precise procedure e speciali indumenti che devono essere indossati dal personale che viene a contatto con le parti in tensione elettrica di queste linee (Figura 9). Questi indumenti sono realizzati con tessuti di fili d'acciaio e fibre sintetiche che unitamente a scarpe, guanti e cappuccio conduttivi costituiscono una vera e propria Gabbia di Faraday. Un equipaggiamento individuale di questo tipo, che lascia esposto solo la faccia dell'operatore, impedisce che l'elevatissimo campo elettrico fluisca al suo interno e non ha un limite teorico di tensione. Gli addetti hanno lavorato in modo sicuro su linee ad altissima tensione a 500 kV e a 800 kV, e recentemente persino sulla linea kazaka Ekibastuz-Kokshetau a 1150 kV.

Gli edifici realizzati con tetti e pareti esterne in cemento armato costituiscono di fatto una Gabbia di Faraday a maglie fitte (Figura 10) nella quale i fulmini hanno difficoltà a penetrare anche se porte e finestre riducono la tenuta del sistema ai campi elettrici. Alcuni edifici sono dotati di un sistema parafulmine a Gabbia di Faraday costituita da una rete di barre metalliche generalmente di rame o di ferro zincato a maglie saldate che avvolgono l'edificio dal quale sono opportunamente distanziate e sono collegate ai dispersori di terra (Figura 11).

SCHERMI MAGNETICI

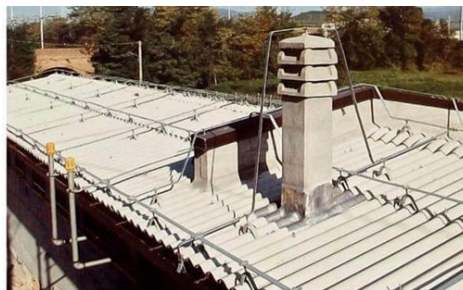
La Gabbia di Faraday si lascia attraversare dai campi magnetici costanti o che variano lentamente a meno che non sia realizzata in materiale ferromagnetico di elevata permeabilità, bassa saturazione e debole campo coercitivo (cioè debole campo magnetico residuo) come, per esempio, il ferro dolce e le leghe ferro-nichel come permalloy e mumetal.

Pertanto, il campo magnetico terrestre è presente anche all'interno di un contenitore metallico di materiale non magnetico (rame, alluminio, zinco, ecc.), come si può facilmente verificare introducendo una bussola in una pentola di alluminio o in un forno a microonde che, come sarà meglio spiegato nel prossimo articolo, è di fatto una efficiente Gabbia di Faraday.

I materiali ferromagnetici con cui è fatto un contenitore che scherma i campi magnetici a bassa frequenza "assorbono" le linee di campo magnetico, che trovano in essi una strada più facilmente percorribile e vanno ad interessare molto meno lo spazio interno al contenitore stesso. Va tenuto in conto che, la permeabilità dei materiali magnetici tende a diminuire sotto l'azione di campi elevati che tendono a saturare il materiale e quindi a rendere lo schermo meno efficace. Si definisce fattore di schermatura il rapporto tra il campo residuo misurato all'interno della contenitore e quello induttore presente all'esterno dello stesso. Il fattore di schermatura diminuisce con l'aumentare dello spessore e della permeabilità magnetica dell'involucro. Può anche risultare vantaggioso ricorrere a un contenitore a forma di scatola cinese con diversi involucri uno dentro l'altro separati da intercapedini, ognuno dei quali riduce ulteriormente la porzione di campo magnetico eventualmente sfuggita agli involucri più esterni.

Strumenti di misura analogici, equipaggiamenti elettrici ed elettronici, dispositivi di trasmissione e di elaborazione dati possono essere soggetti ad interferenze magnetiche tanto a bassa che ad alta frequenza che ne compromettono il funzionamento. Queste interferenze possono essere di origine interna se generate da uno dei componenti del sistema e d'origine esterna se prodotte da apparecchiature quali per esempio, trasformatori, Interruttori e altri dispositivi non fisicamente collegati al sistema disturbato. Come vedremo

Figura 12 - Sistema parafulmine con Gabbia di Faraday. Esempio di disposizione delle barre metalliche. (credito Scienza Verde).



più diffusamente nel prossimo articolo, gli schermi magnetici sono di due tipi. Quelli descritti sopra, basati sull'impiego di materiali ad alta permeabilità, sono efficaci per campi magnetici di frequenza inferiore a 100Hz (definiti come ELF: extremely low frequency) che quindi comprendono anche i campi magnetici generati dagli apparecchi elettrici collegati alla rete pubblica a frequenza di 50-60 Hz. Il secondo tipo di schermatura che è invece efficace solo per campi magnetici ad alta frequenza si basa sull'impiego di materiali a bassa resistività elettrica capaci di generare al loro interno correnti parassite il cui campo magnetico si oppone a quello induttore.

SCHERMI ELETTROMAGNETICI

Dopo la scoperta delle onde elettromagnetiche, preannunciate da Maxwell, scoperte e misurate da Hertz e poi utilizzate da Marconi con il beneplacito di Tesla, agli inizi del XX secolo, si scoprì che il principio della Gabbia di Faraday poteva essere utilizzato anche per realizzare efficaci schermi protettivi contro queste radiazioni. Ma qui il discorso è molto ampio, data la vastità del fenomeno, e verrà trattato in un articolo successivo.