

L'elettromagnetismo e la fusione nucleare

Tutors

Giuliana Fogaccia mail: giuliana.fogaccia@enea.it

Ocleto D'Arcangelo mail: ocleto.darcangelo@enea.it

Introduzione all'argomento

La fusione termonucleare è il processo che avviene all'interno del sole e delle altre stelle e che fornisce loro energia. Nelle reazioni di fusione, i nuclei di elementi leggeri si fondono formando nuclei di elementi più pesanti e rilasciando quantità enormi di energia. Fin dagli anni '60 l'attività di studio e di ricerca sulla fusione termonucleare si è adoperata per cercare di riprodurre sulla Terra ciò che avviene nelle stelle e realizzare in laboratorio dei sistemi in grado di generare e sfruttare in modo sicuro e vantaggioso l'energia rilasciata dalle reazioni di fusione. Affinché tali reazioni avvengano, è necessario portare a temperature molto elevate il combustibile, che quindi non si presenta più allo stato di gas ma allo stato di plasma (miscela di particelle cariche, ioni ed elettroni). A temperature così elevate il problema principale diventa quello di confinare il plasma all'interno di un recipiente, evitando il contatto con le pareti. Uno dei metodi adottati è quello di utilizzare intensi campi magnetici (fusione termonucleare a confinamento magnetico). Nelle configurazioni a confinamento magnetico di tipo Tokamak, il recipiente è di forma toroidale a ciambella e i campi magnetici sono generati da correnti esterne e/o da correnti circolanti nel plasma stesso. Nei laboratori di Fisica del Plasma del centro ENEA di Frascati, dalla fine degli anni '70, sono entrati in funzione i Tokamak FT (Frascati Tokamak) e FTU (Frascati Tokamak Upgrade) caratterizzati dall'alto valore del campo magnetico.

Essendo la fusione termonucleare a confinamento magnetico fortemente caratterizzata da fenomeni elettrici e magnetici, in occasione dell' Open Day della Ricerca che si terrà il 28 settembre 2018, verrà allestito un percorso didattico guidato sull'elettromagnetismo, in cui il visitatore potrà osservare da vicino, comprendere e sperimentare fenomeni di elettricità e magnetismo, dai più semplici, presenti anche nella vita quotidiana, ai più complessi, presenti in un impianto per lo studio della fusione termonucleare. In particolare gli esperimenti saranno distribuiti su tre tavoli: sul primo saranno mostrati esperimenti di elettrostatica (elettrizzazione per contatto e induzione, generatore elettrostatico, ...), sul secondo di magnetostatica (visualizzatori di campo magnetico, campo magnetico generato da una bobina percorsa da corrente, rotaia di Laplace, pistola di Gauss, ...) e sul terzo di elettromagnetismo (induzione elettromagnetica, lancia anelli elettromagnetico, fascio di elettroni in un campo magnetico,...)

Descrizione attività da svolgere il 28/9

L'attività che dovrà svolgere ciascuno studente, coadiuvato da un ricercatore, sarà quella di presidiare uno dei tavoli, mostrando e spiegando ai visitatori due esperimenti tra quelli presenti.

Nelle prossime pagine saranno mostrati a titolo esemplificativo solo alcuni esperimenti.

Una descrizione completa degli esperimenti che potranno essere presenti sui tavoli si può trovare nel file "[schede esperimenti-2018.pdf](#)" alla pagina web ENEA dell'Open Day 2018

Nel file scaricato gli esperimenti riguardanti l'elettrostatica vanno da pg.1 a pg.6, quelli di magnetostatica da pg.7 a pg.14, quelli di elettromagnetismo da pg.15 a pg.26.



Esempio di spiegazione da fare ai visitatori relativa a tre esperimenti di elettrostatica presenti sul tavolo 1

Una breve introduzione.....

Tutta la materia che ci circonda e di cui siamo composti è costituita da atomi.

L'atomo è formato da un nucleo, che racchiude particelle con carica elettrica positiva (protoni) e particelle neutre (neutroni), attorno al quale orbitano delle particelle con carica negativa (gli elettroni). Particelle cariche dello stesso segno si respingono, mentre particelle cariche di segno opposto si attraggono.

Generalmente in un atomo il numero di protoni è uguale al numero di elettroni e quindi l'atomo risulta elettricamente neutro. A volte, per fenomeni sia naturali che artificiali si può creare uno sbilanciamento di cariche. In questo caso il corpo si dice elettrizzato e si parla di fenomeni di **elettrostatica**.

Si chiamano **isolanti** quei materiali i cui elettroni restano fortemente legati ai nuclei degli atomi, **conduttori** quei materiali in cui alcuni elettroni possono muoversi liberamente.

Un corpo può essere elettrizzato:

1. per **strofinio**: il corpo viene strofinato con un altro corpo (per esempio un panno di lana) e acquista cariche elettriche. Uno dei due corpi perde elettroni diventando così carico positivamente, e l'altro corpo li acquista, diventando carico negativamente. In questo modo si possono caricare sia materiali isolanti che conduttori, purché questi ultimi siano mantenuti isolati durante il processo;
2. per **contatto**: un corpo conduttore isolato può essere caricato mettendolo a contatto con un secondo corpo che possiede un eccesso di cariche elettriche.
3. per **induzione**: quando un corpo conduttore neutro si pone vicino, ma non a contatto, ad un corpo carico, gli elettroni del conduttore neutro si muovono liberamente sotto l'effetto della forza elettrica esercitata dal corpo carico, allontanandosi o avvicinandosi al corpo carico e creando quindi una separazione delle cariche all'interno del corpo neutro. Se il corpo inizialmente neutro è un isolante, la ridistribuzione della carica avviene ancora, ma su una scala spaziale molto più piccola: quella atomica. Gli elettroni non sono più liberi di muoversi da un atomo all'altro, ma riescono solo ad orientarsi all'interno degli stessi atomi, senza mai abbandonarli. Se la carica del corpo che si avvicina all'isolante è positiva, allora gli elettroni si orientano verso l'oggetto, mentre se è negativa, gli elettroni si orientano dalla parte opposta. Questo ri-orientamento degli atomi negli isolanti è chiamato **polarizzazione**.

continua.....

Esempio di spiegazione da fare ai visitatori relativa a tre esperimenti di elettrostatica presenti sul tavolo 1

Esperimenti

Elettrizzazione per contatto

- generatore di Van de Graaff
- vaschette di alluminio
- sgabello di plastica

Mettendo a contatto con la sfera del generatore un conduttore isolato da terra (una persona posta su uno sgabello di plastica, delle vaschette di alluminio poste sopra la sfera...), il conduttore si caricherà con cariche dello stesso tipo di quelle presenti sulla sfera. Queste si distribuiranno il più lontano possibile dalla sfera e si respingeranno fra loro (capelli che si sollevano-vaschette che volano via...)



Elettrizzazione per induzione e contatto

- generatore di Van de Graaff
- un palloncino conduttivo riempito di elio

Avviciniamo il palloncino alla sfera del generatore. Sul lato del palloncino più vicino al generatore vengono indotte delle cariche opposte a quelle presenti sulla sfera. Il palloncino è quindi attratto. Quando il palloncino tocca la sfera, per contatto acquista una carica dello stesso segno della carica del generatore e viene respinto. Urtando contro qualsiasi corpo che gli permetta di scaricare a terra l'eccesso di cariche (ad esempio lo sperimentatore), il palloncino si scarica. E' quindi nuovamente attratto dalla sfera carica per effetto delle cariche indotte e così via..

La scarica elettrostatica

- generatore di Van de Graaff
- sfera conduttiva collegata a terra

Avvicinando alla sfera di Van De Graaf un'altra sfera conduttrice collegata a terra, si possono generare scariche elettrostatiche analoghe ai fulmini. Il forte campo elettrico prodotto dal generatore ionizza l'aria circostante, aumentandone la conducibilità. Le cariche poste sulla sfera del generatore si "scaricano" sull'altra sfera.



Esempio di spiegazione da fare ai visitatori relativa a due esperimenti di magnetostatica presenti sul tavolo 2

Si vuol mostrare che una corrente elettrica genera un campo magnetico

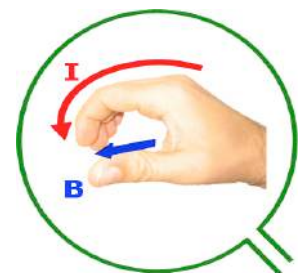


Esperimento 1

- Bobina conduttrice collegata ad un generatore di corrente continua
- Bussola 3D

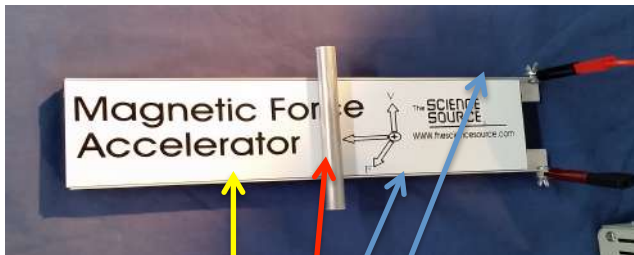
Inseriamo la bussola all'interno della bobina con il generatore di corrente spento. L'ago della bussola si orienterà nella direzione Nord-Sud dei campi magnetici presenti nelle vicinanze o in assenza di essi nella direzione del campo magnetico terrestre. Accendiamo il generatore, la bobina è percorsa da corrente, l'ago della bussola si muove, orientandosi nella direzione di un nuovo campo magnetico, quello generato dalla bobina percorsa da corrente. Muovendo la bussola attorno alla bobina, e' possibile rilevare la direzione del campo magnetico generato.

Il campo magnetico generato dalla bobina al centro è quasi rettilineo e il verso, dipende dal verso della corrente, secondo la regola del pugno chiuso.



continua.....

Esempio di spiegazione da fare ai visitatori relativa a due esperimenti di magnetostatica presenti sul tavolo 2



Rotaia di Laplace

Mostra l'effetto di un campo magnetico uniforme su un conduttore percorso da corrente.

E' formata da:

- una coppia di rotaie di alluminio collegate ad un alimentatore
- un cilindro di alluminio che puo' scorrere liberamente sulle rotaie e che completa il contatto elettrico fra di esse
- un forte magnete che genera un campo magnetico uniforme, perpendicolare al cilindro

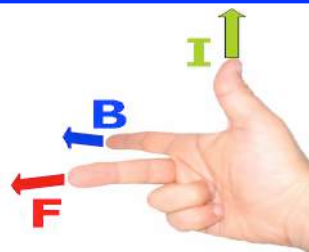
Esperimento 2

Appoggiando il cilindro di alluminio sulle rotaie e accendendo l'alimentatore, il circuito (rotaie-cilindro) e' chiuso e percorso da un flusso ordinato di cariche elettriche (corrente elettrica).

Il cilindro di alluminio, libero di muoversi, si sposterà lungo la rotaia verso destra o verso sinistra (a seconda del verso della corrente), per effetto della forza che le particelle cariche in moto sentono in presenza di un campo magnetico (forza di Lorentz).

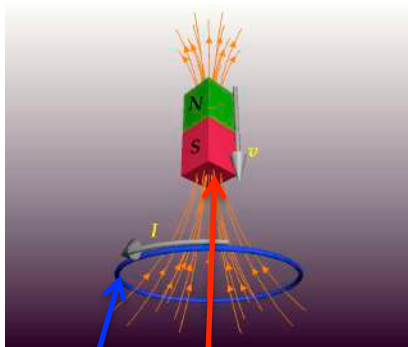
La forza che ne risulta sul cilindro e' proporzionale all'intensità del campo magnetico, della corrente e alla distanza fra le rotaie ed è perpendicolare alla direzione del campo magnetico e della corrente (seconda legge di **Laplace**). Il verso della forza e' stabilito dalla regola della mano destra.

Quindi, se la corrente circola in senso antiorario e il campo magnetico è entrante, la forza che agisce sul cilindro lo fa spostare verso destra.



Esempio di spiegazione da fare ai visitatori relativa a due esperimenti di elettromagnetismo presenti sul tavolo 3

L'induzione elettromagnetica

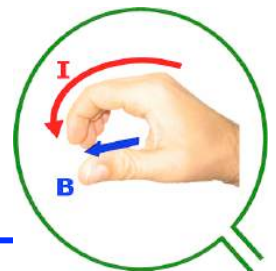


Si vuole mostrare che un campo magnetico che sta variando attraverso una spira conduttrice, genera una corrente indotta (**legge dell'induzione elettromagnetica o legge di Faraday**).

Il verso della corrente indotta, dato dalla regola del pugno chiuso, è tale da generare un campo magnetico che si oppone alla variazione del campo magnetico che l'ha generata (**legge di Lenz**).

In figura la variazione di flusso magnetico viene prodotta muovendo il magnete verso la spira

Esperimento 1



- Spira conduttrice
- Oscilloscopio per rilevare il passaggio di corrente nella spira
- Magnete a barra

L'oscilloscopio è collegato alla spira e inizialmente la spira e il magnete sono fermi; l'oscilloscopio non rileva alcun passaggio di corrente nella spira.

Prendiamo il magnete e muoviamolo rispetto alla spira, avanti e indietro;

l'oscilloscopio rileva il passaggio di corrente che cessa immediatamente non appena si ferma il moto relativo fra spira e magnete.

Il verso della corrente indotta dipende dal verso del moto relativo: spira e magnete che si allontanano fra loro o spira e magnete che si avvicinano. Nel caso riportato in figura in cui il flusso del campo magnetico che attraversa la spira sta aumentando, la corrente indotta deve generare un campo magnetico che si oppone a questo aumento, ovvero un campo magnetico con il polo sud verso l'alto e il polo nord verso il basso, in modo tale da respingere il magnete. Secondo la regola del pugno chiuso, tale campo magnetico è generato da una corrente che circola in senso antiorario.

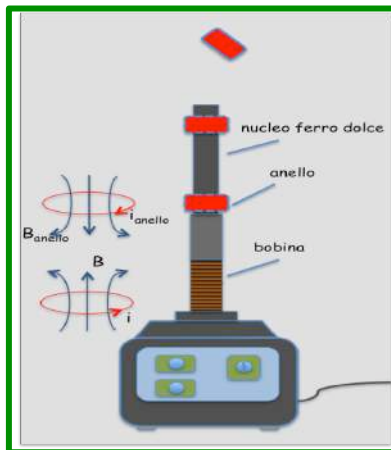
Si noti che per generare una corrente indotta in un circuito ciò che conta è la variazione del flusso del campo magnetico che attraversa il circuito. Quindi, anche lasciando fermo il magnete, ma variando l'orientazione della spira rispetto ad esso, si genera una corrente indotta.

continua.....

Esempio di spiegazione da fare ai visitatori relativa a due esperimenti di elettromagnetismo presenti sul tavolo 3

LANCIA ANELLI ELETTROMAGNETICO

Si vuole mostrare l'effetto dell'induzione elettromagnetica (legge di Lenz di pagina precedente) su un anello conduttore posizionato su un elettromagnete.



Il lancio anelli elettromagnetico è un nucleo di ferro dolce attorno al quale è avvolta una bobina, alimentata in corrente alternata, (elettromagnete). Quando non scorre corrente nella bobina, l'elettromagnete non è magnetizzato.

Esperimento2

- Lancia anelli elettromagnetico
- Accessori: anello in alluminio chiuso e aperto, bobina con una lampadina, anello in rame, anello in alluminio più basso

Posizioniamo l'anello in alluminio chiuso sul nucleo di ferro, accendiamo l'elettromagnete, la corrente scorre nella bobina e l'anello vola in aria.

Il campo magnetico variabile generato dalla bobina alimentata in corrente alternata causa una variazione del flusso magnetico attraverso l'anello. Tale variazione, a sua volta, induce una corrente nell'anello, il cui verso è tale da generare un campo magnetico che si oppone a quello generato dalla bobina (**legge di Lenz**). La repulsione magnetica fa volare l'anello.

Qualche variante...

- Un anello aperto rimane fermo perché, non essendo attraversato da corrente, non può generare alcun campo magnetico.
- Posizionando la bobina con la lampadina, la corrente indotta nella bobina accende la lampadina.