

LE ROTAZIONI ELETTROMAGNETICHE

Abstract

Two easy experiments devised to help undergraduate students understanding the concept of non-conservative fields are suggested. The idea follows the early work by Faraday about the interactions between magnets and current carrying elements. In the first experiment two magnets are made rotating around a linear current conductor while in the second one it is a portion of the conductor that rotates around the magnet.

Uno dei temi più delicati e forse non sempre adeguatamente affrontati nei programmi di Fisica della Scuola Secondaria Superiore, è quello del concetto di campo conservativo.

Gli studenti sanno che il campo gravitazionale e il campo elettrostatico sono esempi di campi conservativi e che il campo magnetico è invece un campo non conservativo ma non sempre riescono a coglierne la sostanziale differenza dal punto di vista fisico.

Chi scrive non intende affrontare a livello teorico il concetto di campo conservativo e non conservativo, ma semplicemente suggerire una serie di esperienze facilmente eseguibili in laboratorio, che possano favorire la conoscenza degli studenti su tale argomento. A questo scopo risulta interessante una rivisitazione degli esperimenti eseguiti da M. Faraday (1791-1867) sulle rotazioni elettromagnetiche.

Già nell'estate del 1820 era nota nell'ambiente scientifico la scoperta del fisico danese Oersted dell'interazione esistente tra un conduttore percorso da corrente e l'ago magnetico di una bussola. Inviando corrente in un filo conduttore disposto lungo la direzione nord-sud si può osservare che un ago magnetico che lo sovrasta, libero di ruotare attorno al suo asse verticale di simmetria, cambia orientamento rispetto a quello iniziale. L'esperimento, facilmente riproducibile in laboratorio utilizzando come conduttore, ad esempio, un'asta metallica nella quale viene fatta scorrere una corrente continua di alcuni ampere, permette di individuare con facilità la dipendenza della deviazione di un ago magnetico dall'intensità di corrente e dalla distanza tra questo e l'asta conduttrice.

Quel che può essere interessante sottolineare è che, per la prima volta, invece di un'attrazione o di una repulsione di carattere newtoniano, l'esperimento evidenzia una rotazione dell'oggetto sollecitato. A quell'epoca si usava dire che l'azione tra "reoforo", conduttore percorso da corrente, e l'ago magnetico era di tipo "trasversale".

Faraday ha iniziato ad occuparsi della scoperta di Oersted solo nel settembre del 1821 in seguito alle sollecitazioni di R. Phillips, editore della rivista scientifica *Philosophical Magazine*, che gli richiedeva una pubblicazione nella quale si facesse chiarezza sull'argomento. Poco propenso alle congetture ed alle astrazioni dei suoi contemporanei, da buon sperimentatore qual era, si pose al lavoro con entusiasmo ripetendo ed analizzando l'esperimento con il suo raffinato senso critico.

Durante le sue osservazioni ebbe la brillante idea di apportare una modifica significativa all'esperimento di Oersted, disponendo il conduttore in posizione verticale. Nel laboratorio di Fisica "Carlo Succi" del Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Milano si è proposto agli studenti dell'indirizzo didattico la realizzazione di questa modifica. Inviando in un'asta conduttrice verticale lunga 1 m una corrente di intensità di circa 6-7 A, fornita da un alimentatore di corrente continua, e facendo scorrere quest'ultima lungo una sbarretta magnetizzata orizzontale lunga 20 cm, a partire dal suo centro, si osserva chiaramente che prima la sbarretta è respinta dal conduttore (*figura 1*) poi, oltrepassata una posizione prossima all'estremità della sbarretta, questa è attirata (*figura 2*).

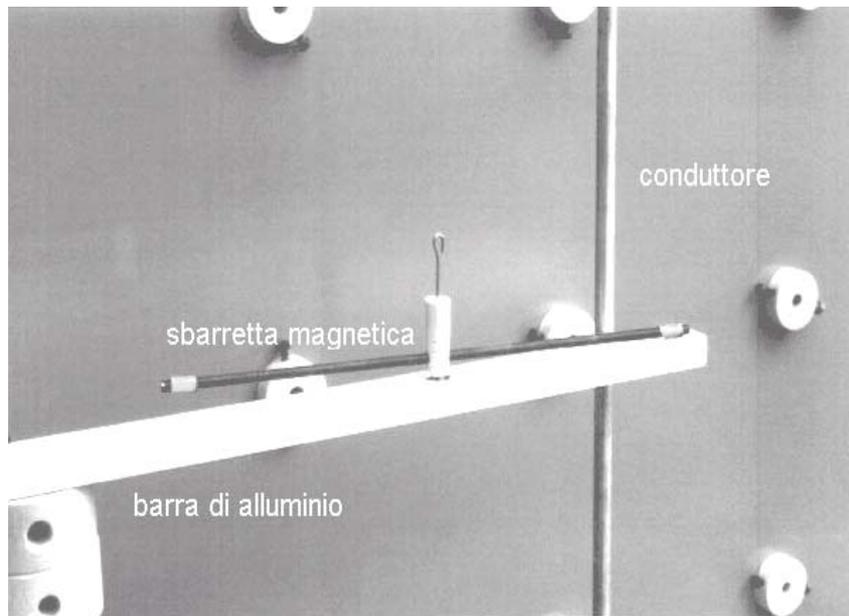


Fig. 1 *Posizione della sbarretta magnetica con l'asta portatrice di corrente prima del polo*

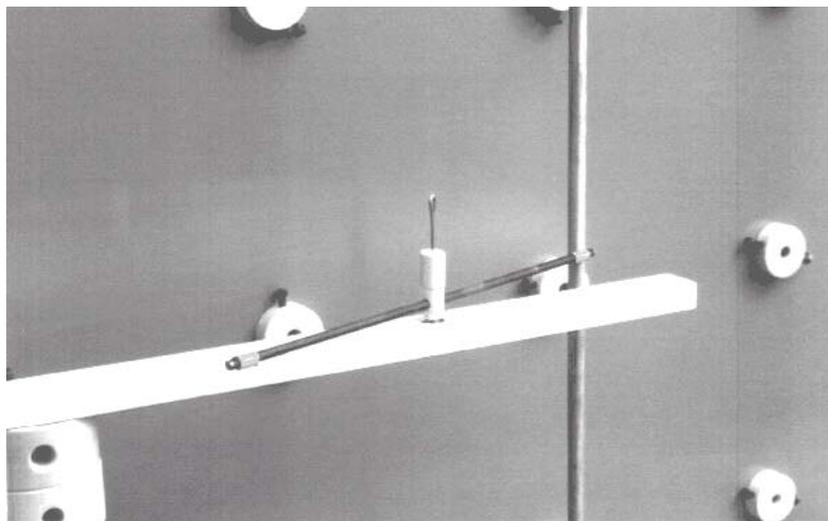


Fig. 2 *Posizione della sbarretta magnetica con l'asta portatrice di corrente dopo il polo*

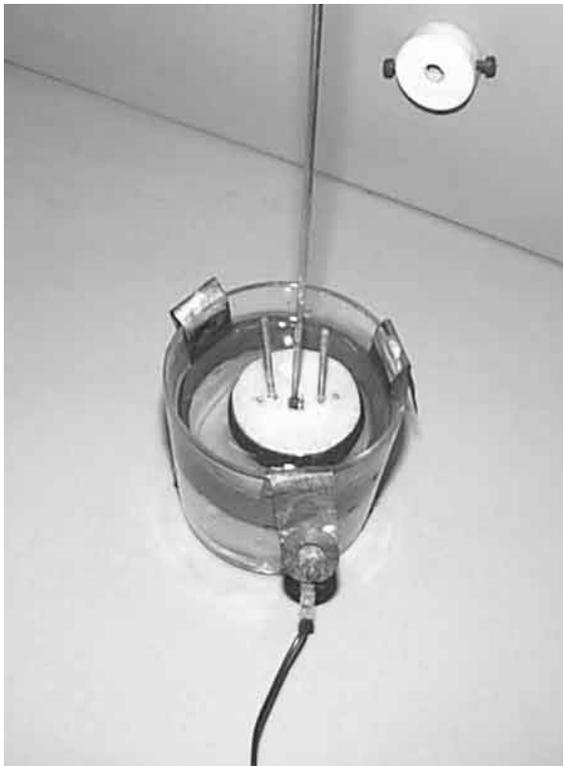
Aggirata la sua estremità e procedendo ora verso il centro della sbarretta lambendola dalla parte opposta, si osserva che inizialmente questa è vivacemente respinta dal conduttore, ma poi, oltrepassata la posizione in cui precedentemente si era verificata l'inversione della forza, la sbarretta torna ad essere attirata. Invertendo il verso della corrente, si osserva un comportamento simmetrico. Si tenga presente, durante l'esecuzione di questo esperimento, che i fili conduttori che collegano l'asta metallica all'alimentatore di corrente devono essere molto lunghi in modo da non neutralizzare, con la loro vicinanza, l'efficacia dell'asta sull'ago.

Ciò che rende estremamente interessante questo esperimento è il manifestarsi quindi di una forza capace di cambiare in modo repentino il proprio verso d'azione.

Per giustificare il comportamento della sbarretta magnetica occorre tenere conto che il polo magnetico viene a trovarsi nel campo di induzione magnetica generato dalla corrente

Un utile accorgimento per la realizzazione di questo esperimento è che, essendo le forze in gioco estremamente deboli, occorre ridurre al minimo l'inerzia dell'equipaggio mobile e gli attriti dovuti alla pellicola che si forma sulla superficie libera della soluzione.

Per ridurre l'inerzia è sufficiente minimizzare le dimensioni del disco di sughero, mentre per quel che riguarda la pellicola, questa può essere asportata utilizzando della carta assorbente.



Faraday attribuisce la rotazione dell'equipaggio mobile al fatto che solo i poli esterni alla soluzione sono "appoggiati" sulle linee di forza (concentriche e chiuse) del campo magnetico generato dal tratto di conduttore rettilineo percorso da corrente. I poli immersi della soluzione "vedono" invece una corrente quasi radiale, che dall'astina, attraverso la soluzione elettrolitica, raggiunge l'anello di rame alla periferia del bicchiere. Questa particolare asimmetria nella distribuzione della corrente fa sì che l'equipaggio si metta così sorprendentemente a ruotare (se ci fosse stata una simmetria nella corrente, le due polarità dei magneti ne avrebbero, stando all'interpretazione di Faraday, annullato l'effetto).

Se nell'esperimento si cambia il verso della corrente, o si invertono le polarità dei magneti, si ottiene, evidentemente, un'inversione del senso di rotazione dell'equipaggio mobile.

Fig. 4 *Apparato utilizzato per riprodurre la rotazione dei magneti attorno a un conduttore*

A questo punto, forse, lo studente può essere accompagnato a comprendere che cosa significhi che il campo magnetico non è un campo conservativo o, equivalentemente, il significato di campo rotazionale. Il campo magnetico stesso, come appare nell'esperimento, è in grado di far percorrere, da solo, una traiettoria chiusa al polo di un magnete.

Senza addentrarci nell'evidenziare i limiti dell'interpretazione che Faraday diede a questo fenomeno, appare significativa l'esperienza "quasi simmetrica" alla precedente, in cui un tratto di circuito percorso da corrente ruota attorno al polo di un magnete fisso.

In questo caso si può disporre nel solito bicchiere una sbarretta magnetica fissa M, come mostrato nelle figure 5,6 e 7, in modo che i due estremi inferiori di un conduttore C a forma di "Y rovesciata" peschino nella soluzione lambendo un polo del magnete stesso.

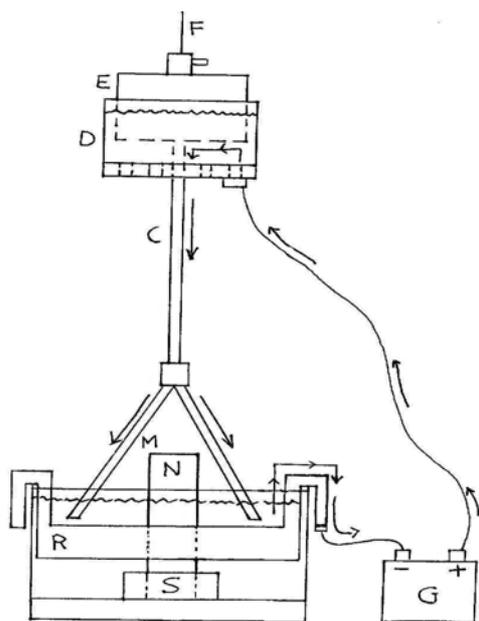


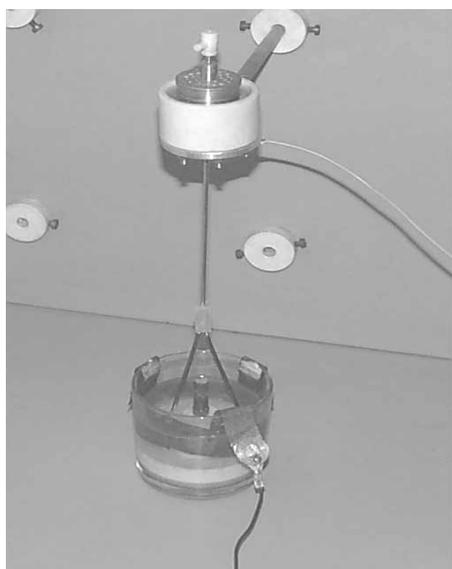
Fig. 5 Schema dell'apparato per lo studio della rotazione di un tratto di conduttore attorno a un magnete

Quel che rende difficoltosa la realizzazione di questa esperienza, è la necessità di organizzare i contatti di chiusura del circuito preservando al conduttore la possibilità di ruotare. A questo scopo abbiamo utilizzato una gronda anulare D in PVC riempita della soluzione elettrolitica, sul fondo della quale sono state inserite sei astine di acciaio che terminano su un anello metallico disposto sulla parte inferiore della gronda. All'interno di quest'ultima, che è fissata ad una certa quota grazie ad un'asta collegata ad un banco da

lavoro, pesca un cilindretto cavo di rame E solidale al conduttore a forma di Y. L'equipaggio ottenuto, sospeso mediante un filo di nylon F, può così ruotare permettendo il collegamento elettrico tra le soluzioni contenute all'interno della canalina e nel bicchiere sottostante

La corrente, quindi, dall'alimentatore G va al disco conduttore e attraverso le sei astine d'acciaio va alla soluzione contenuta nella gronda; da qui, attraverso il cilindretto e il conduttore a forma di Y, alla soluzione contenuta nel bicchiere in cui è posto il magnete. Il solito anello di rame R immerso nella soluzione permette il collegamento al generatore per la chiusura del circuito. Al passaggio della corrente l'equipaggio si mette a ruotare!

La rotazione avviene fino a quando il momento torcente del filo di nylon non riesce a bilanciare le forze che provocano la rotazione del conduttore. Occorre quindi che il filo scelto sia sufficientemente resistente per mantenere sospeso l'equipaggio e che abbia una costante di torsione trascurabile.



Può essere didatticamente utile insistere sul carattere della solo apparente simmetria dei due esperimenti. Mentre nel primo si ottiene infatti la rotazione dell'intero magnete attorno al conduttore, nel secondo è solo un tratto di circuito che ruota attorno al magnete. Nella prima esperienza, inoltre, il polo della sbarretta magnetica segue le linee di forza del campo magnetico generato dalla corrente, mentre nella seconda la corrente tende a muoversi trasversalmente rispetto alle linee di forza del campo generato dal magnete, o, come si dice spesso, a "tagliarle".

Fig 6 Apparato utilizzato per riprodurre la rotazione di un tratto di conduttore attorno a un magnete

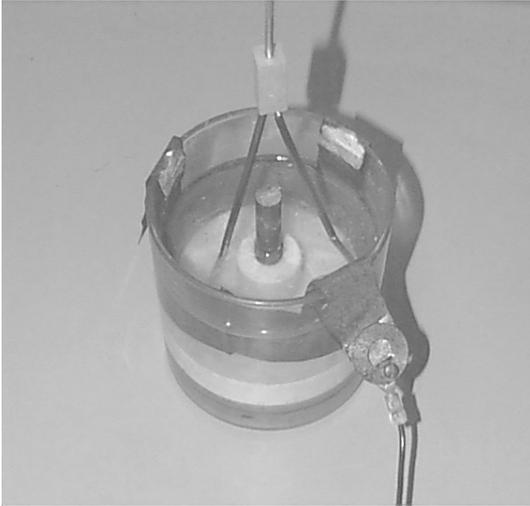


Fig 7 Particolare del tratto di circuito mobile attorno al magnete.

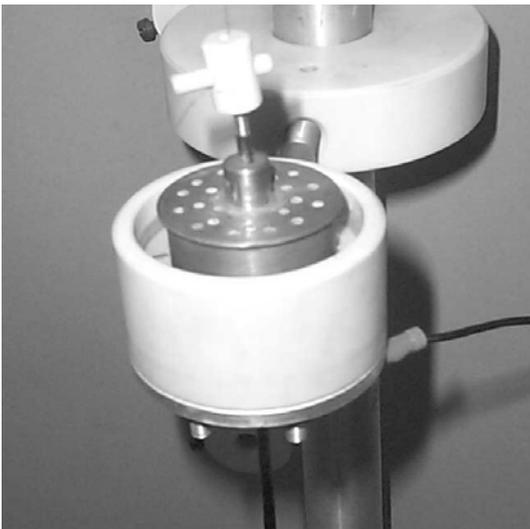


Fig.8 Particolare della gronda anulare e del cilindretto cavo di rame.

Valter Giuliani, Massimo Valisa

giulianivalter@hotmail.com

m.valisa@yahoo.com

Dipartimento di Matematica
Università degli Studi di Milano

BIBLIOGRAFIA:

E. Bauer. *L'elettromagnetismo hier et aujourd'hui*, Albin Michel, Paris (1949)

M. Faraday. *Experimental Researches in Electricity*, Vol. 2, Londra (1844)

M. La Forgia. *Michael Faraday, La teoria del campo*, ed Teknos, Roma (1995)

L.P. Williams, *Michael Faraday*, Chapman & Hall, Londra (1965).

R. Renzetti, "La nascita e la prima affermazione della teoria di campo", *LFNS*, XXXIII, 4, 192-203 (2000).