

## L'interazione elettromagnetica I (18/01/2006)

Cominciamo il discorso sull'unificazione dalla prima e, forse, meglio conosciuta delle forze di natura: quella elettromagnetica. Meglio conosciuta nel senso che non solo abbiamo una *buona teoria* che la descrive (sia pure con i problemi che abbiamo già cominciato ad accennare e che vedremo meglio in seguito), ma si tratta pure dell'interazione con la quale la civiltà tecnologica dei nostri giorni ha maggiore confidenza, poiché la stragrande maggioranza delle apparecchiature industriali e domestiche funziona su basi elettromagnetiche.

La parola "elettricità" deriva, come tutti sanno, da ELECTRON che, in Greco, significa "ambra", poiché questa sostanza, strofinata sulla lana, riusciva ad attrarre oggetti leggerissimi. Il termine "magnetismo", invece, deriva dalle miniere di magnetite che si trovavano, per l'appunto, vicino alla città di Magnesia, in Asia Minore.

Dunque, i più elementari fenomeni elettrici e magnetici erano conosciuti fin dall'antichità classica ma, a parte la bussola che fu scoperta dai cinesi attorno al 300 d.C. (data ipotetica) e portata in Europa quasi mille anni dopo, fino al XVIII secolo tutto rimase nel dimenticatoio, a parte il trattato "De Magnete" di William Gilbert (circa 1600), dove si dimostra che la Terra è un'enorme calamita. Sono dell'inizio del '700 le prime *macchine a strofinio* con le quali era possibile ottenere altissime tensioni, di alcune migliaia di Volt, in grado di far scoccare una scintilla tra due elettrodi distanti pochi millimetri. Ma per lo più si utilizzavano nei salotti (non come il nostro...) poiché, anche se le tensioni raggiungibili erano piuttosto alte, le correnti elettriche erano microscopiche, e per evidenziare la maggior parte dei fenomeni elettromagnetici si richiedono invece correnti piuttosto elevate. Ricordiamo qui la differenza fondamentale tra tensione e corrente: la *tensione* fornisce una misura dell'*energia potenziale* posseduta dagli elettroni. Bastano pochi elettroni per avere grosse *differenze di potenziale* (misurate in Volt), purché questi elettroni siano stati *separati a forza* dagli atomi a cui appartenevano. Ma il *lavoro* che si può ottenere dall'elettricità non dipende solo dalla differenza di potenziale: è proporzionale anche al numero di elettroni che sono messi in moto, e cioè va con la *corrente* (carica elettrica totale che transita in un secondo, misurata in Ampère). Le cose cambiarono solo con l'invenzione della *pila elettrica* che, sebbene fornisca una tensione di circa un Volt (e quindi impercettibile per i nostri sensi), può generare correnti di diversi Ampère. Poiché Volta inventò la pila nel 1799, dall'inizio dell'800 questo strumento entrò in tutti i laboratori scientifici e cominciò il vero e proprio lavoro di ricerca sull'elettricità. Ma bisognò arrivare al 1819 perché Oersted si accorgesse che un ago magnetico subisce l'influenza di una corrente elettrica, e che c'è dunque una relazione tra elettricità e magnetismo.

Dopo la prima fase di esperimenti da parte di Ampère, Coulomb, Biot e Savart e altri, Faraday iniziò uno studio sistematico dei fenomeni elettromagnetici sempre su base sperimentale, migliorando molto la precisione delle misure e giungendo perciò a rendere *quantitativo* l'elettromagnetismo, pur senza mai scrivere una formula poiché la sua religione glielo proibiva. Finalmente, nel 1876, utilizzando i quaderni di Faraday, Maxwell riuscì a fornire una trattazione teorica completa dell'elettromagnetismo. Le sue quattro equazioni sono molto popolari tra i fisici, poiché rappresentano il primo esempio di una teoria *elegante* sulla carta, dotata di diverse *simmetrie*, che *unifica* tanti aspetti della natura che in precedenza sembravano separati (elettricità, magnetismo, luce), e che non ha mai fallito sebbene sia dovuta transitare attraverso una revisione quantistica non indifferente. Invece, stranamente, le *Equazioni di Maxwell* non hanno mai avuto bisogno di revisione relativistica, poiché *sono già relativistiche* in quanto contengono la velocità della luce come costante assoluta e, anzi, hanno innescato la problematica teorica e sperimentale che ha infine condotto alla Relatività Speciale.

Per motivi che vedremo la prossima volta, nel nostro Salotto parleremo anzitutto di ciò che avviene con cariche elettriche *ferme*, e metteremo assieme magnetismo e moto delle cariche elettriche. Cominciamo perciò dalla discussione del significato della carica elettrica in sé.

Cos'è, in fisica, una "carica", che questa sia elettrica, nucleare ecc.? Si tratta di una *caratteristica*, posseduta da un qualsiasi corpo materiale (solo più avanti vedremo che i *portatori* sono tipicamente particelle elementari, pur se con eccezioni e specifiche) che causa *accelerazioni* su altri corpi materiali che possiedono la stessa caratteristica. L'esempio che ci viene in mente è quello della Terra che attira

verso di sé una mela; ebbene: sia la Terra che la mela sono portatrici dello stesso tipo di carica che prende il nome di “carica gravitazionale”. Ma, per la gravità, tutte le “cariche” sono dello stesso tipo, e quindi si sommano sempre. Nel caso della forza elettrica, invece, abbiamo due tipi diversi di carica a cui assegniamo i nomi: *carica positiva* e *carica negativa* o, più semplicemente, i simboli + e -. Come vedremo meglio tra un po’ di settimane, non è che questa scelta di simbologie sia stata felicissima, poiché sembra porre le cariche elettriche in termini *dialettici*, dove non è tanto l’aspetto filosofico che importa quanto quello scientifico, poiché si sospetta una dicotomia tra le cariche in generale: vanno a coppie come i carabinieri. Questo è vero nel caso elettrico, ma non in altri casi, come per esempio quello gravitazionale. Con questa precisazione da ricordare, andiamo avanti.

Abbiamo parlato di *interazione* e di *accelerazione*, ma non di *forza*. Come mai, visto che se un oggetto dotato di massa è soggetto a una qualsiasi accelerazione dobbiamo dedurre, in conformità al Secondo Principio della Dinamica, che c’è una forza che lo spinge ( $F = m \times a$ )? Il motivo dovrebbe essere chiaro a chi si rilassa nei nostri Salotti, poiché il concetto di *forza a distanza* disturba un po’ i fisici, e sia la RG che la MQ lo esorcizzano in modi diversi. Dunque utilizziamo il concetto di *interazione* che è comunque corretto. Ma vediamo queste cariche elettriche. Più o meno a cavallo del 1970 i fisici si convinsero che la schematizzazione che ne avevano dato in precedenza non era corretta, ma per il momento restiamo sul vecchio schema. Se prendiamo un atomo, ci accorgiamo che esso è composto da una parte centrale, circa 100.000 volte più piccola dell’atomo stesso, in cui è concentrata quasi tutta la massa come in un *nocciolo duro* chiamato *nucleo*, mentre la parte più esterne è come una *nube* molto più *tenue* in cui s’incontrano gli elettroni. I concetti di *duro* o *tenue* sono relativi: riusciamo a modificare la nube di elettroni con interventi a energia *bassa*, come quella di piccole apparecchiature meccaniche messe in azione dalla forza umana, mentre per modificare il nucleo servono energie *un milione di volte superiori*. Ebbene: gli elettroni nell’atomo vengono tenuti assieme dall’interazione elettrica, poiché essi possiedono una carica elettrica pari a  $-1$  mentre, nel nucleo, ci sono tanti protoni quanti sono gli elettroni nell’atomo, e ciascun protone è dotato di una carica elettrica pari a  $+1$ . Dunque, cariche elettriche di uguale segno si respingono, cariche di segno opposto si attraggono. Ma ricordiamo che questo vale solo per il caso elettrico (e, come vedremo la prossima volta, per quello magnetico) e non necessariamente in altri casi (abbiamo visto che *cariche gravitazionali* di uguale segno si attraggono). Non ne facciamo quindi un principio generale.

Se volessimo trovare una legge di tipo Newtoniano, in cui l’interazione è scritta sotto forma di una *forza*, l’attrazione elettrica tra due cariche  $q_1$  e  $q_2$  nel vuoto si può scrivere:  $F = - e_0 q_1 q_2 / r^2$  dove  $r$  è la distanza tra le due cariche ed  $e_0$  ha il ruolo giocato, nella legge di gravità, dalla costante di gravitazione. Il segno negativi ci ricorda che cariche di segno uguale si respingono ecc. A questo punto, possiamo chiederci quanto è *forte* l’interazione elettrica rispetto a quella gravitazionale. A conti fatti, troviamo che nel più semplice atomo di tutti, quello dell’idrogeno, il singolo protone attrae il singolo elettrone con una forza elettrica che è circa  $10^{40}$  volte maggiore rispetto alla forza gravitazionale. Ma la scelta di protone ed elettrone è arbitraria; se per esempio calcolassimo la repulsione tra due protoni, la forza elettrica sarebbe la stessa mentre quella gravitazionale sarebbe 2000 volte maggiore; ci chiediamo allora se esiste qualche genere di *unità di misura naturale* che possa mettere in relazione *assoluta* tra loro le forze di natura. Si può fare: nel caso elettrico bisogna cercare la più semplice combinazione di costanti di natura anche elettriche che fornisca un numero puro:  $e^2/2 e_0 h c = 1/137 = 0.0073$  dove  $e$  è la carica elementare, ovvero quella dell’elettrone. Dunque, l’interazione elettrica possiede una *forza intrinseca* pari a circa  $0,0073$ . Che dire di quella gravitazionale? Non è altrettanto semplice poiché non esiste una *carica gravitazionale elementare di riferimento*, ma l’ordine di grandezza viene comunque  $10^{-39}$ .

Per il momento, fermiamoci qui.