

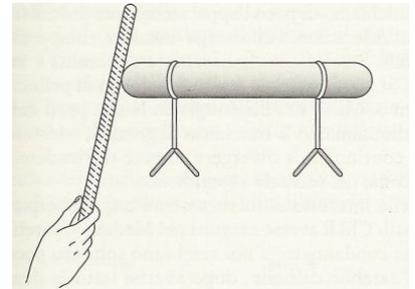
# L'elettromagnetismo

## L' Elettrostatica

Le pagine seguenti contengono il *resoconto* di esperimenti assai semplici utili a comprendere come e perché nasce una teoria: per trovare una spiegazione efficace di evidenze sperimentali (che ovviamente vengono effettuate sulla base di idee precedenti...).

Le parti in *corsivo* sono tratte da: EINSTEIN-INFELD, *L'EVOLUZIONE DELLA FISICA*, UNIVERSALE BOLLATI BORINGHIERI, 1965-2007, TORINO. Cominciamo da pag. 75:

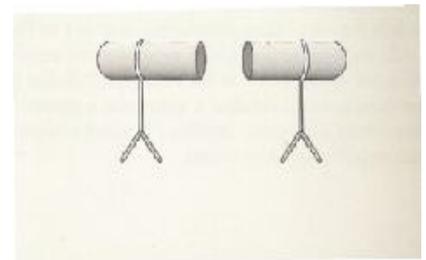
**I esperimento** *Una verga metallica [orizzontale], sostenuta da un piede di vetro [in figura non è riportato], porta [appese] a ognuna delle estremità due sottilissime foglioline d'oro pendenti da un'asticella metallica [elettroscopio].*



*Muniamoci di una bacchetta di gomma dura e di una pezza di flanella... Strofiniamo vigorosamente la bacchetta di gomma con la flanella e tocchiamo la verga. Vedremo allora le foglioline divergere immediatamente e continuare a rimaner divaricate anche dopo l'allontanamento della bacchetta di gomma.*

**II esperimento** *Serviamoci degli stessi mezzi avendo cura che le foglioline dell'elettroscopio non siano divaricate (per ottenere questo basterà toccare la verga di metallo con il nostro dito). Strofiniamo vigorosamente la bacchetta di gomma con la flanella e questa volta però **non** porteremo la bacchetta di gomma a **contatto** con la verga ma l'avvicineremo soltanto. Le foglioline divergeranno lo stesso ma, allorché allontaneremo la bacchetta, invece di continuare a divergere come nel caso precedente, ricadranno subito in posizione di riposo.*

**III esperimento** *Per quest'esperimento ci serve una verga metallica composta di due parti disgiungibili. Strofiniamo vigorosamente la bacchetta di gomma con la flanella e avviciniamola, come nel secondo esperimento, alla verga. Avremo lo stesso fenomeno di prima. Se ora disgiungiamo le due parti della verga (non toccandole con le mani ma mediante supporti isolanti) e se dopo allontaniamo la bacchetta di gomma, constateremo che le foglioline continueranno a rimanere divaricate, invece di rimettersi in posizione di riposo come nell'esperimento precedente.*



Come spiegare l'esito di tali esperimenti?

1. *Esistono due fluidi elettrici [oggi diciamo: tipi di carica], l'uno è denominato positivo (+), l'altro negativo (-).*
2. *Un corpo si dice **eletticamente neutro** se [utilizzo il linguaggio moderno]: le cariche elettriche, positive e negative, sono presenti al suo interno in ugual misura.*
3. *Cariche elettriche della stessa specie si **respingono** (è questo il motivo per cui le foglioline dell'elettroscopio si respingono, ma lo riprenderemo fra breve) e della specie opposta si **attragono**.*
4. *Esistono due specie di corpi: quelli nei quali le cariche elettriche possono muoversi liberamente e quelli nei quali non possono farlo. I primi vengono detti **conduttori** e i secondi **isolanti**.*

Nei solidi le cariche che "si muovono" sono gli **elettroni**, che sono i portatori di carica negativa, nei liquidi e nei gas possono muoversi sia **ioni** positivi che negativi.

*Come sempre in casi simili questa distinzione non va presa alla lettera: il conduttore o l'isolante ideale non esistono. I metalli, la Terra, il corpo umano, sono esempi di conduttori, benché non tutti ugualmente buoni. Il vetro, la gomma, la porcellana e simili, sono isolanti. L'aria, specialmente umida, è un cattivo isolante: la presenza di aria umida attorno agli oggetti utilizzati nei nostri esperimenti, avrebbe "disturbato" il buon esito degli stessi.*

Queste supposizioni teoriche sono sufficienti per spiegare i tre esperimenti descritti:

**I esperimento** La bacchetta di gomma, come tutti i corpi in condizioni normali, è elettricamente neutra: essa contiene le due cariche, positiva e negativa, in quantità uguali. Strofinandola con la flanella la bacchetta di gomma acquista dal panno cariche negative (elettroni) e quindi si carica negativamente<sup>1</sup> (se gli esperimenti fossero stati effettuati utilizzando una bacchetta di vetro, strofinata con pelle di gatto, la carica rimasta in eccesso sarebbe stato quello di tipo positivo, cioè la bacchetta avrebbe perso elettroni).

Toccando la verga con la gomma strofinata, poiché la verga è un conduttore metallico, vi è un trasferimento della carica negativa in eccesso sulla bacchetta alla verga (se avessimo toccato la verga con la bacchetta di vetro la carica negativa si sarebbe trasferita dalla verga alla bacchetta)<sup>2</sup>. Tale carica si distribuisce su tutta la superficie metallica, comprese le foglioline d'oro. Poiché la carica elettrica negativa respinge la carica elettrica negativa, le due foglioline si discostano il più possibile l'una dall'altra. Il sostegno isolante su cui posa la verga fa sì che il carica elettrica si disperda solo nell'aria, quindi in tempi lunghi.

Quando tocchiamo la verga la carica passa attraverso di noi [noi+verga= unico conduttore] e perciò le foglioline si "scaricano" e tornano vicine.

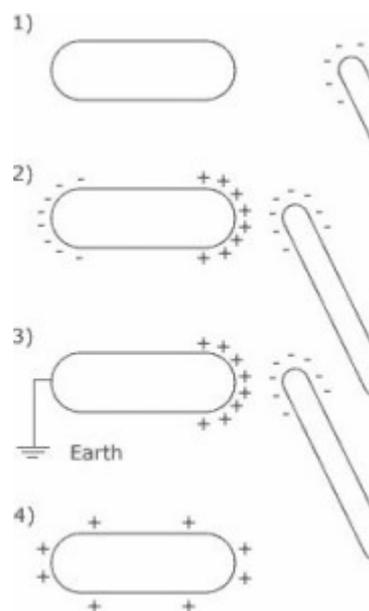
**II esperimento** Si comincia l'esperimento nello stesso modo del precedente, ma invece di portare la gomma strofinata a contatto con il metallo l'avviciniamo a breve distanza. In tal caso **non** c'è passaggio di carica elettrica dalla gomma al metallo ma le cariche **negative** in eccesso sulla bacchetta di gomma **respingono** le cariche **negative** presenti nella parte della verga di metallo vicina alla bacchetta, (ricorda che nel metallo gli elettroni possono muoversi liberamente), separandosi dalla positiva e così la parte di verga vicina alla bacchetta, rimasta con un difetto di carica negativa, si carica positivamente (comprese le foglioline, che perciò si respingono) e la parte più distante dalla bacchetta si carica negativamente (comprese le foglioline, che perciò si respingono).

Se invece avvicinassi una bacchetta carica positivamente alla verga, le **cariche positive** della bacchetta **attrarrebbero** le **cariche negative** nella verga.

Gli elettroni tornano nelle posizioni originarie quando allontaniamo la bacchetta perché cariche di specie opposta si attraggono mutuamente.

**N.B.** Se, prima di allontanare la bacchetta tocchiamo la verga nella zona in cui è presente la carica negativa in eccesso (nel disegno, al punto 3, il *toccare la bacchetta* è indicato con il simbolo di "messa a terra"), gli elettroni "rifugiati in quella zona" passano attraverso il nostro corpo e così, se interrompiamo il contatto prima che la bacchetta venga allontanata (sai spiegare il perché? Altrimenti vai alla nota<sup>3</sup>), la verga nel suo complesso si ritrova carica positivamente<sup>4</sup> (figura 4).

**III esperimento** Si comincia l'esperimento come il precedente solo che, quando le cariche si sono separate, la bacchetta viene divisa in due parti. Perciò, quando allontaniamo la bacchetta di gomma, le due cariche non possono mescolarsi di nuovo e le foglioline d'oro, conservando un eccesso di uno dei tipi di cariche elettriche [ciascuna coppia di foglioline di un tipo differente], continuano a divergere.



<sup>1</sup> DEF Elettrizzazione per **strofinio** <http://it.wikipedia.org/wiki/Elettrizzazione>

<sup>2</sup> DEF Elettrizzazione per **contatto** <http://it.wikipedia.org/wiki/Elettrizzazione>

<sup>3</sup> Se continuassimo a toccare la verga una volta che si trova in difetto di elettroni, la tendenza al ripristino dell'equilibrio caratterizzante i fenomeni elettrostatici - come moltissimi altri fenomeni fisici - farebbe sì che attraverso di noi fluirebbero elettroni dal suolo verso la verga, finché questa non risulti di nuovo neutra.

<sup>4</sup> DEF Elettrizzazione per **induzione** <http://it.wikipedia.org/wiki/Elettrizzazione>

Alla luce di questa teoria assai semplice tutti i fatti menzionati fin qui appaiono comprensibili. La teoria stessa ci permette inoltre d'intendere molti altri fatti nel dominio dell'elettrostatica.

Lo scopo di qualsiasi **teoria** è quello di orientarci verso fatti nuovi, di suggerire nuovi esperimenti e di condurre alla scoperta di nuovi fenomeni e nuove leggi...

Per accertare se il punto di vista meccanicistico possa venire applicato [fino in fondo] alla descrizione dei fenomeni elettrici dobbiamo considerare il problema seguente:

Siano date due **piccole** sfere elettricamente cariche, vale a dire che posseggano un eccesso di una delle due cariche elettriche. Sappiamo che le due sfere si attireranno o respingeranno.

Ma **la forza** con cui si attrarranno o respingeranno, da che dipende? La teoria meccanicistica vorrebbe che sia diretta secondo la retta congiungente le sfere e che dipenda unicamente dalla distanza. Di più: perché le cose funzionino proprio "per benino" tale forza dovrebbe dipendere dall'inverso del quadrato della distanza, com'era per la forza d'interazione gravitazionale...

E così è! Fra il 1777 e il 1785 gli esperimenti<sup>5</sup> di **Coulomb** (1736-1806) mostrarono che la legge d'interazione elettrostatica fra due cariche  $q_1$  e  $q_2$ , poste a distanza  $d$  nel vuoto è:

$$\vec{F}_{es} = k_0 \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \cdot \hat{d}.$$

Ricordate che la legge d'interazione gravitazionale è:  $\vec{F}_{grav} = -G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} \cdot \hat{d}$

Sono formalmente identiche! Le **differenze** sono minime:

1. l'interazione gravitazionale si attiva fra qualunque coppia di **masse** mentre l'interazione elettrostatica solo fra **corpi carichi elettricamente**,
2. la forza elettrostatica può essere o di tipo attrattivo o di tipo repulsivo, mentre quella gravitazionale è solo di tipo attrattivo,
3. ovviamente le unità di misura delle grandezze in gioco sono differenti e così il valore della costante di proporzionalità (l'unità di misura della forza è sempre il Newton!):

$$k_0 = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \text{ dove C sta per: } \mathbf{Coulomb}, \text{ l'unità di misura della carica elettrica.}$$

4. Il pedice 0 sta ad indicare un'altra differenza: la forza d'interazione elettrostatica non è la stessa se le cariche sono poste nel vuoto e o fra loro è presente una qualche mezzo. La costante d'interazione cambia. Il valore numerico fornito sopra è il valore nel vuoto.
5. L'ordine di grandezza (o.d.g.) delle intensità dei due tipi di forza è molto differente. Ciò si evince innanzitutto guardando all'o.d.g. delle costanti di proporzionalità (ti ricordo che è:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$ ). Molto carino l'esempio che riporta [qui](#) una mia collega, la

prof.ssa Francesca Russo. "Due sfere aventi la carica di un coulomb ciascuna ma di segno opposto, poste nel vuoto a un metro di distanza l'una dall'altra, si attraggono con una forza di intensità pari a  $9 \cdot 10^9$  N. Proviamo allora a renderci conto di quanto sia grande un Coulomb paragonando la forza di attrazione di cui sopra alla forza peso:

$$\frac{9 \cdot 10^9 \text{ N}}{9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} \approx 9,2 \cdot 10^8 \text{ kg} \text{ Sono circa } 900.000 \text{ tonnellate! Questo vuol dire che se dovessimo}$$

*contrastare* la forza di **attrazione** tra due cariche di + 1 coulomb e - 1 coulomb, ci vorrebbero le masse di circa dieci transatlantici (per un'illustrazione vedi il link)! D'altra parte, considerato che la carica elementare:  $e$ , vale circa  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C, questo significa che un Coulomb corrisponde a più di sei miliardi di miliardi di cariche elementari!"

---

<sup>5</sup> Ne trovi una riedizione moderna, in tre parti, su **youtube** digitando: "PSSC legge di Coulomb".

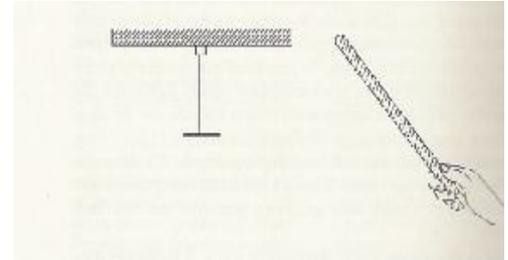
Dev'esser stata una grande emozione ottenere un tale risultato. Siamo nello stesso periodo storico in cui si registravano successi su successi con la *teoria del calorico*: un'apoteosi!

Tutto sembra andare a confermare le istanze del programma meccanicista... E non è finita:

## Il magnetismo

*Procederemo come abbiamo fatto sinora: partendo da fatti molto semplici e cercandone poi una spiegazione teorica.*

**I esperimento** Ci serviremo di due calamite di ferro a forma di sbarretta: una sospesa sul suo baricentro e quindi libera di ruotare e l'altra tenuta in mano. Avvicinando le estremità delle due calamite può avvenire o che si attraggano o che si respingano. Impugniamo la calamita che teniamo in mano in modo che le estremità più vicine fra le due si attraggano. Le estremità delle calamite le chiameremo **poli**.

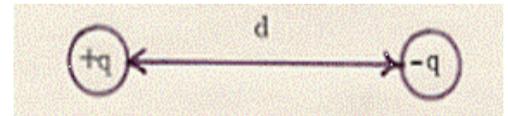


Spostiamo il polo della calamita che teniamo in mano lungo la calamita appesa. Possiamo constatare che l'attrazione va diminuendo fino a cessare completamente quando arriviamo in prossimità del centro dell'altra calamita. Se continuiamo nello stesso verso osserveremo una repulsione che raggiunge la sua maggior intensità all'altro polo della calamita sospesa.

**Il esperimento** Ogni calamita presenta dunque due poli. E' possibile isolarne uno? Viene subito un'idea molto semplice: basterà spezzare la calamita in due parti uguali. Abbiamo visto che nessuna forza si manifesta fra il polo di una calamita e il punto mediano dell'altra. MA quando si spezza una calamita il risultato è inatteso e sorprendente: ripetendo l'esperimento precedente con la metà della calamita sospesa i risultati sono esattamente gli stessi di prima: quello che era il punto mediano diventa un polo che si attrae con il polo della calamita che teniamo in mano!

Come possiamo spiegar questi fatti? Possiamo cercare di modellare una teoria del magnetismo su quella dei cariche elettriche. Ciò ci viene suggerito dalla circostanza che qui, come per le cariche elettrostatiche, abbiamo **attrazione** e **repulsione**.

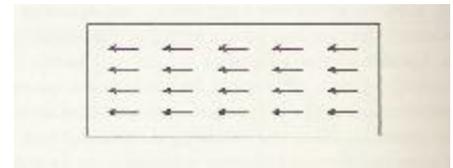
Costruiamo quindi un semplice apparecchio come quello illustrato in figura: un **dipolo elettrico**



Per spiegare il primo esperimento va benissimo, ma il secondo? Spezzando la bacchetta otteniamo **non** un nuovo dipolo ma due cariche isolate...

Dobbiamo escogitare dunque una teoria più sottile...

Possiamo immaginare che una calamita sia costituita da tanti piccoli **dipoli elementari** (puoi rappresentarli mediante freccette tutte parallele e dirette nello stesso verso) che non possono venir ulteriormente spezzati in due poli separati. In tal caso nella calamita, considerata come un tutto, regna l'ordine, poiché "punte e code" danno carica complessiva nulla e la somma di tutte le punte libere dà il polo positivo mentre la somma di tutte le code libere dà il polo negativo. E si capisce anche perché, spezzando una calamita, due nuovi poli appaiono alle nuove estremità: corrispondono rispettivamente alle code liberate ed alle punte liberate.



Questa teoria più raffinata spiega entrambi gli esperimenti.

Resta da valutare l'aspetto **quantitativo**. Prendendo due calamite sufficientemente lunghe (affinché l'effetto del secondo polo possa essere considerato trascurabile) e andando a misurare l'intensità della forza d'interazione delle due estremità che si vanno avvicinando, di nuovo si trova che la forza d'interazione va come l'inverso del quadrato della distanza come per la legge di Newton e per la legge di Coulomb!

**Facciamo il punto: le forze della gravitazione, le forze elettrostatiche e le forze magnetiche possono tutte essere rappresentate allo stesso modo.**

## La corrente elettrica

L'enorme sviluppo dell'elettricità, come ramo della scienza e della tecnica, ebbe inizio con la scoperta della **corrente**, cioè di cariche elettriche in moto (il nome *corrente* deriva precisamente della fluidodinamica e fa pensare al mare o a un torrente, no?).

Per poter trattare questo argomento ci servono delle nozioni tecniche che, per non spezzare il ritmo della storia, avevo precedentemente sorvolato: andiamo a ragionare un po' sulla **grandezza fisica responsabile di tale movimento di carica elettrica**.

Il solito Einstein propone un parallelo con argomenti già visti: *rammentate quanto fosse essenziale, per bene intendere i fenomeni calorifici, distinguere fra **calore** e **temperatura**? Nel caso presente è altrettanto importante distinguere fra: **potenziale elettrico** e **carica elettrica**. L'analogia che propone Einstein è la seguente (pag. 81):*

Potenziale elettrico	↔	Temperatura
Carica elettrica	↔	Calore

Il parallelo si realizzerebbe in questo: *come una differenza di temperature innesca un passaggio di calore così una differenza di potenziale innesca un passaggio di carica elettrica. Sì, ma cos'è il **potenziale elettrico**?*

Per spiegarlo un po' meglio Einstein escogita l'esempio seguente:

*Due conduttori, per esempio due sfere di grandezza differente, possono avere la stessa carica elettrica, vale a dire lo stesso eccesso d'una delle cariche elettriche, la carica elettrica possiederà maggior densità sulla sfera più piccola: su questa sarà perciò "più stipata". Si trovano così le particelle che lo compongono più vicine aumentando così la forza repulsiva, cioè la **tendenza della carica a sfuggire dal conduttore***

*Questa tendenza della carica a sfuggire da un conduttore fornisce una misura diretta del suo potenziale.*

Il potenziale è una grandezza legata alla *posizione* delle cariche e che rende conto della "velocità", più o meno alta con la quale è possibile metterle in moto. Si ricollega in questo senso, con dei distinguo che forse è meglio lasciar stare, all'**energia potenziale** che abbiamo visto all'opera in meccanica...

Resta da specificare qualche altro aspetto. Torniamo a servirci dell'**analogia**:

- Come due corpi aventi inizialmente temperature differenti finiscono per trovarsi alla stessa **temperatura di equilibrio** qualche tempo dopo l'essere stati messi in contatto, così due conduttori aventi inizialmente potenziali elettrici differenti, posti a contatto all'interno di un contenitore con pareti isolanti, si trovano rapidamente ad uno stesso **potenziale di equilibrio**, allorché sono messi in contatto.
- Come un **termometro** messo in contatto di un corpo indica -mediante l'altezza della colonna di mercurio- la propria temperatura e pertanto la temperatura del corpo, così un **elettroscopio graduato** (elettrometro), a contatto con un conduttore indica, con la divergenza delle foglioline d'oro- il proprio potenziale e pertanto quello del conduttore.
- Come il calore fluisce dai corpi a **temperatura maggiore** ai corpi a temperatura minore stabiliamo, per convenzione (vedremo che i modelli più moderni scardinano questa convenzione che funzionava però benissimo per la teoria dei fluidi elettrici) che la carica fluisca dai punti a potenziale maggiore ai punti a potenziale minore.

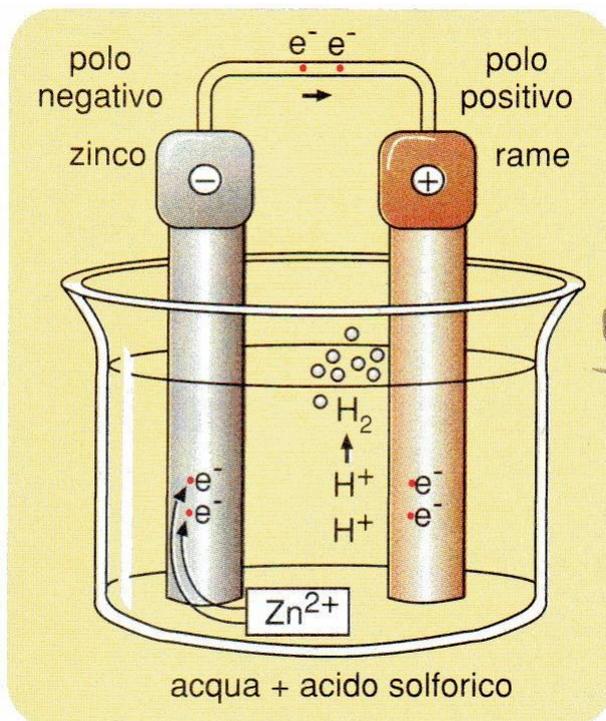
E torniamo alla nostra STORIA:

Verso la fine del XVIII secolo Alessandro **Volta** (1745 – 1827) costruì la prima **pila**. Il principio della sua costruzione è semplice. Puoi vedere una riproduzione di una pila, leggermente più recente di quella descritta da Volta, in questo filmato: [http://www.youtube.com/watch?v=-G\\_Moz5QkhA](http://www.youtube.com/watch?v=-G_Moz5QkhA) .

Una differenza di potenziale fra conduttori viene rapidamente annullata se li congiungiamo mediante un filo metallico, producendo così un flusso di carica elettrica da un conduttore all'altro. Si applica forse tutto ciò ad una pila voltaica? Nella sua relazione, Volta dichiarò:

LE PIASTRE SI COMPORTANO COME CONDUTTORI DEBOLMENTE CARICHI CHE AGISCONO **INCESSANTEMENTE**, OSSIA IN MODO CHE LA LORO CARICA SI RISTABILISCE DA SÉ DOPO OGNI SCARICA; CHE, IN UNA PAROLA, FORNISCONO UNA CARICA ILLIMITATA, OVVERO PROVOCANO UN'AZIONE O PROPULSIONE PERPETUA DELLA CARICA ELETTRICA

La differenza di potenziale perciò permane e perciò, in base alla teoria delle cariche, essa deve dar luogo ad un flusso permanente della carica elettrica dal livello di potenziale superiore (rame) a quello inferiore (zinco). Per salvare la teoria delle cariche potremmo ricorrere alla supposizione che qualche forza costante agisca in modo tale da rigenerare la differenza di potenziale e da mantenere così il flusso della carica elettrica.



Il fenomeno nel suo complesso appare assai sorprendente dal punto di vista energetico: una notevole quantità di **calore**<sup>6</sup> si manifesta nel filo conduttore della corrente, al punto da fonderlo se esso è sottile. Assistiamo dunque, apparentemente, alla creazione di energia nel filo, sotto forma di calore. Ma l'intera pila voltaica costituisce un **sistema isolato**, giacché non vi è nessun apporto di energia da fuori.

Se vogliamo attenerci alle leggi di conservazione dell'energia dobbiamo scoprire dove avviene la trasformazione e a spese di che cosa c'è [apparente] creazione di calore. Nella pila avvengono processi chimici complessi, processi ai quali il rame, lo zinco e il liquido nel quale sono immersi prendono parte attiva. Dal punto di vista energetico la catena delle trasformazioni che si verificano è la seguente:

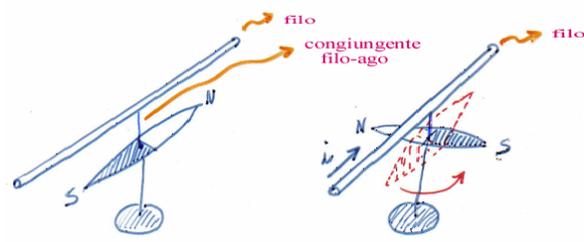
energia chimica → energia della corrente → calore

L'immagine è tratta da: [http://www.armillaweb.it/innovascuola/Volta/lacido\\_solforico.html](http://www.armillaweb.it/innovascuola/Volta/lacido_solforico.html)

Una pila voltaica **non** dura eternamente: esaurita l'energia chimica smette di funzionare.

### La prima grave difficoltà del programma meccanicista

Hans **Oersted** (1777-1851), fisico danese, circa nel 1820, effettuò il seguente esperimento (per il quale servono una pila voltaica, un filo conduttore, un ago magnetico): allacciò il filo alla piastra di rame della pila [non mostrata in figura], collocò l'ago magnetico come mostrato nella figura a sinistra, congiunse il filo alla piastra di zinco della pila [non mostrata in figura].



Osservò così un fatto inatteso: l'ago magnetico girò intorno al suo perno d'appoggio posizionandosi quasi ortogonalmente al filo (figura a destra)).

<sup>6</sup> Lo studio quantitativo della relazione fra sviluppo di calore si deve al già incontrato fisico **James Prescott Joule**, che la studiò attorno al 1855. La *potenza* dissipata attraverso un conduttore, e che provoca aumento di temperatura nel conduttore stesso, è direttamente proporzionale al quadrato dell'**intensità di corrente** che attraversa il conduttore (quantità di carica che attraversa una sezione del conduttore nell'unità di tempo:  $i=q/t$ ) in conduttori particolarmente semplici detti conduttori ohmici.

Nell'immagine non è rappresentata la pila perché il fatto notevole riguarda l'ago magnetico.

*Quest'esperimento è assai interessante; anzitutto perché rivela una relazione fra fenomeni apparentemente diversi: magnetismo e corrente elettrica. Ma l'interesse maggiore deriva da un'altra circostanza: la forza agente fra il polo magnetico e le piccole porzioni del filo attraverso cui passa la corrente non può giacere lungo linee congiungenti il filo e l'ago [perché queste linee, nella prima fase dell'esperimento, sono parallele!], ovvero fra le particelle della carica elettrica in moto nel filo e i dipoli elettrici elementari dell'ago. La **forza** è **perpendicolare** a queste **linee di congiunzione**! Per la prima volta ci troviamo in presenza di una forza completamente diversa da quella cui volevamo ricondurre tutte le azioni del mondo esterno, in base al programma meccanicistico.*

Sessant'anni dopo, Henry Augustus **Rowland** (1848 – 1901), fisico statunitense, realizzò un esperimento che diede un'altra spallata al programma meccanicista. Dice Einstein (trascurando di descrivere i dettagli tecnici di realizzazione dell'esperimento):

*Immaginiamo una piccola sferetta carica. Immaginiamo inoltre che si muova velocemente lungo una circonferenza, al cui centro si trova un ago magnetico. L'esperimento si basa sullo stesso principio di quello di Oersted e l'unica differenza consiste nel fatto che, in luogo di corrente elettrica, abbiamo una carica elettrica mossa meccanicamente. Rowland constatò lo stesso risultato di Oersted con in più la possibilità di valutare come la deflessione dell'ago fosse legata anche alla velocità della carica in movimento.*

Ne risultò che, maggiore è la velocità della carica, maggiore è la deflessione dell'ago dalla posizione originaria. Quindi: non soltanto la forza non giace sulla linea congiungente carica e magnete, ma **l'intensità della forza stessa dipende dalla velocità** e non quindi dalla distanza come voleva il programma meccanicista!

Certo la teoria sarebbe ancora salvabile: basterebbe cedere un po' sulle richieste di semplicità delle forze: non basta un piccolo ago magnetico a demolire una teoria che ha portato a tanti successi e che ha basi tanto solide. L'attacco definitivo arriverà ma da un *angolo visuale* del tutto diverso. Per il prosieguo della nostra storia dobbiamo perciò, momentaneamente, discostarci dall'elettromagnetismo e rispondere a una domanda:

### ***Che cos'è la luce?***

La maggior parte degli studenti che ho conosciuto mi ha risposto: "la luce è un'onda elettromagnetica".

- 1) cos'è un'onda?
- 2) che vuol dire elettromagnetica?
- 3) Come ci si è arrivati ad affermare che la luce è un'onda elettromagnetica?

Cominciamo da qualche informazione quantitativa: la luce, nel vuoto, viaggia a una velocità impressionante: circa 300.000 Km/s che corrisponde a 1.080.000.000 Km/h! Qui: [http://it.wikipedia.org/wiki/Velocit%C3%A0\\_della\\_luce](http://it.wikipedia.org/wiki/Velocit%C3%A0_della_luce) potete trovare un applet che mostra come un impulso luminoso viaggi dalla Terra alla Luna in circa 1,2 secondi!

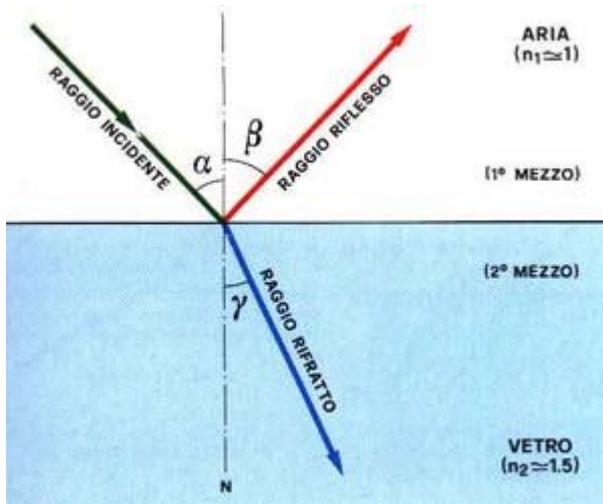
L'impostazione del problema di come misurare la **velocità della luce** risale a **Galilei** ma l'esperimento da lui progettato fu realizzato con successo circa 250 anni più tardi da **Fizeau**. Potete trovare facilmente il rendiconto di tale esperimento in rete.

I sostenitori del **programma meccanicista** consideravano la luce come *fasci di particelle o corpuscoli* che viaggiano in **linea retta**, per **raggi**, colpendo i nostri occhi e creando la visione e la *sensazione* di luce.

Questo modello di luce permetteva di spiegare tutti i fenomeni conosciuti sino ad allora:

- ◆ la **riflessione**: un raggio di luce che incide (raggio incidente) su uno *specchio piano* viene riflesso seguendo due semplici leggi:

1. raggio incidente, *normale* allo specchio nel punto d'incidenza e raggio riflesso stanno su di uno stesso piano (sono *complanari*).



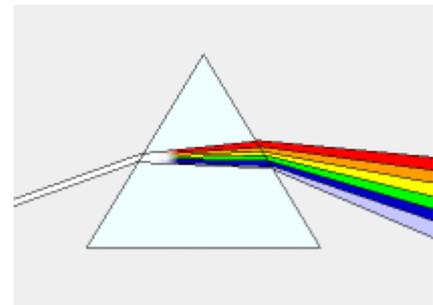
2. angolo d'incidenza (angolo formato da raggio incidente e normale) e angolo di riflessione (angolo formato da normale e raggio riflesso) sono **congruenti**.

- ◆ La **rifrazione** (il ben noto fenomeno per cui un remo immerso nell'acqua, sembra spezzato è una delle tante manifestazioni della rifrazione) è un fenomeno che si manifesta nel passaggio di un raggio di luce (o anche di un punto materiale che viaggia in linea retta) da un mezzo di propagazione all'altro: il raggio cambia velocità e quindi cambia anche direzione.

1. Raggio **incidente** e **raggio** rifratto sono complanari

2. la relazione fra l'angolo d'incidenza e l'angolo di rifrazione (legge di Snell), è dato da una legge matematica legata alla relazione fra le densità dei due mezzi.

- ◆ La **dispersione** (la divisione della luce solare nei suoi componenti o **colori**). Fu lo stesso Newton a risolvere l'enigma del colore mediante famosi esperimenti con i prismi ottici. L'immagine qui di fianco credo sia nota a tutt\*. L'interessante per la nostra storia è la spiegazione che diede Newton, in linea con la teoria corpuscolare della luce, di tale fenomeno (Einstein pag. 102): *Newton spiega questo fenomeno ammettendo che tutti i colori siano già presenti nella luce bianca, per cui questa consisterebbe in una miscela di altrettante specie diverse di **corpuscoli**, quanti sono i diversi colori. Essi traversano lo spazio interplanetario e l'atmosfera all'unisono producendo così l'effetto della luce bianca; ma si separano allorché **rifrangono**, passando per un prisma come quello di Newton perché, secondo la teoria meccanicistica, la rifrazione è dovuta a forze che risiedono nelle particelle vetrose e agiscono sui corpuscoli di luce. Queste forze devono presumersi differenti a seconda dei differenti corpuscoli, le più intense agendo sul violetto e le più deboli sul rosso. Perciò ogni colore viene rifratto con misura diversa ed esce dal prisma separato dagli altri. Nel caso dell'arcobaleno dopo la pioggia le gocce d'acqua presenti nell'aria assumono le funzioni del prisma.*



Il modello della **luce sostanza** funziona egregiamente in tutti i suddetti casi, ancorché la necessità di ammettere altrettante sostanze quanti sono i colori, ci lasci alquanto perplessi.

Per vedere come e perché lo si è abbandonata in virtù di un **modello ondulatorio** devi capire bene che cos'è un'onda e che caratteristiche peculiari ha, cioè quali **esperimenti** permettono di decretare se un certo fenomeno è o non è di tipo ondulatorio.

Per non appesantire troppo la trattazione, mi occuperò delle onde in un file dedicato.