

# Elettricità e magnetismo



Stefano Marcellini, INFN Sezione di Bologna



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- Perché corpi strofinati a volte si attraggono e a volte si respingono?
- E' possibile deviare un getto d'acqua senza toccarlo?
- Cos'è la corrente elettrica?
- Cos'è una calamita?
- E che cos'è un campo magnetico?
- E poi alcune domande apparentemente banali, ma solo apparentemente...

Osservazione → interpretazione

# Elettrizzazione dei corpi



- Strofina una penna di plastica e tienila sospesa con un elastico.
- Strofina un'altra penna di plastica e avvicinala: **i due corpi si respingono**
- La stessa cosa si può fare con due palloncini gonfiati
- Strofina il collo di una bottiglia di vetro, e avvicinala alla penna sospesa: **i due corpi si attraggono**
- Proviamo con due oggetti metallici: succede qualcosa?

# Elettrizzazione dei corpi

Che cosa può fare l'azione di strofinare un corpo?

E perché in alcuni casi causa attrazione, e in altri repulsione?

**In quali materiali lo strofinio non produce effetti?**

Abbiamo incontrato, in precedenti occasioni, materiali che avevano comportamenti diversi? (propagazione del calore!)

**Quale era la causa delle differenze di comportamento?**

# Elettrizzazione dei corpi

- La materia è composta di atomi, con un nucleo con carica positiva, e elettroni con carica negativa.
- **Cariche di segno uguale si respingono, cariche di segno opposto si attraggono.**
- **Normalmente la materia è elettricamente neutra:** il numero di cariche positive e negative si compensa perfettamente.
- **Con lo strofinio tolgo alcuni elettroni dagli atomi dello straccio, oppure dell'oggetto.**
- A questo punto posso avere **attrazione o repulsione**, a seconda che abbia **aggiunto**, o **tolto** elettroni

## Elettizzazione dei corpi



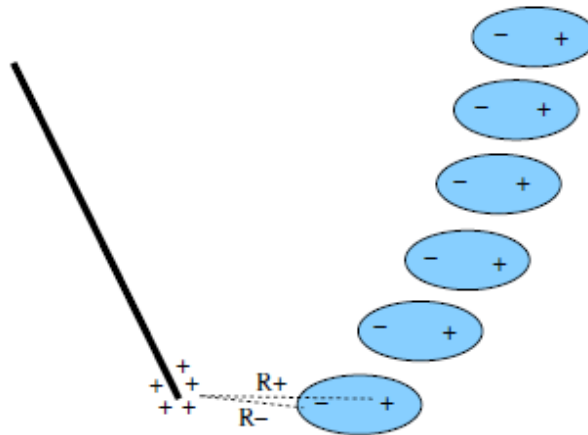
- Elettizza una bacchetta (di vetro o di plastica), o un palloncino, strofinandoli.
- strofinandola, avvicinala al getto di un rubinetto: **la bacchetta attrae l'acqua**
- Avvicinala a dei pezzetti di carta: la bacchetta li attrae

**Eppure l'acqua e i pezzetti di carta sono elettricamente neutri: cosa succede?**

# Elettrizzazione dei corpi

**Le molecole d'acqua sono elettricamente neutre.**

**Tuttavia**, avvicinando un oggetto carico (la bacchetta) **le molecole si orientano polarizzandosi**: le cariche dello stesso tipo si trovano mediamente più distanti a quelle di tipo opposto sulla bacchetta, e questo sposta il getto d'acqua (la stessa cosa succede con i fogli di carta).



**Riflessione: come fa il palloncino a sapere che vicino a lui c'è un altro palloncino carico elettricamente?** O una bottiglia? O un getto d'acqua?

Questo fenomeno avverrebbe anche nel vuoto: **come si comunicano questa informazione i due palloncini?**



**Altra riflessione:** come sarebbe il mondo se gli atomi non fossero perfettamente neutri?

Come sarebbe il mondo se gli atomi non fossero perfettamente neutri?

**La materia non potrebbe aggregarsi:** le forze elettriche, su un numero grande di molecole, diventerebbero dominanti.

In un atomo di idrogeno, la forza di attrazione gravitazionale fra protone (nucleo) e elettrone è  $10^{40}$  volte più debole dell'attrazione elettrica!

**Quindi la forza di gravità è in realtà debolissima**, ma regola il moto dei pianeti e delle galassie su grande scala solo perché le cariche elettriche positive e negative degli atomi si compensano perfettamente!

## Perché non sprofondiamo nel pavimento? Cosa ci sostiene?

### E' la forza elettrica!

- Gli atomi delle nostre scarpe sono a contatto con quelli del pavimento.
- A questo punto gli elettroni degli atomi delle scarpe e del pavimento si avvicinano tanto da respingersi.
- Questa forza ci impedisce di sprofondare nel pavimento (è la «*mitica*» reazione vincolare dei problemi di fisica)



## Misurare l'ettrizzazione dei corpi: costruire un elettroscopio

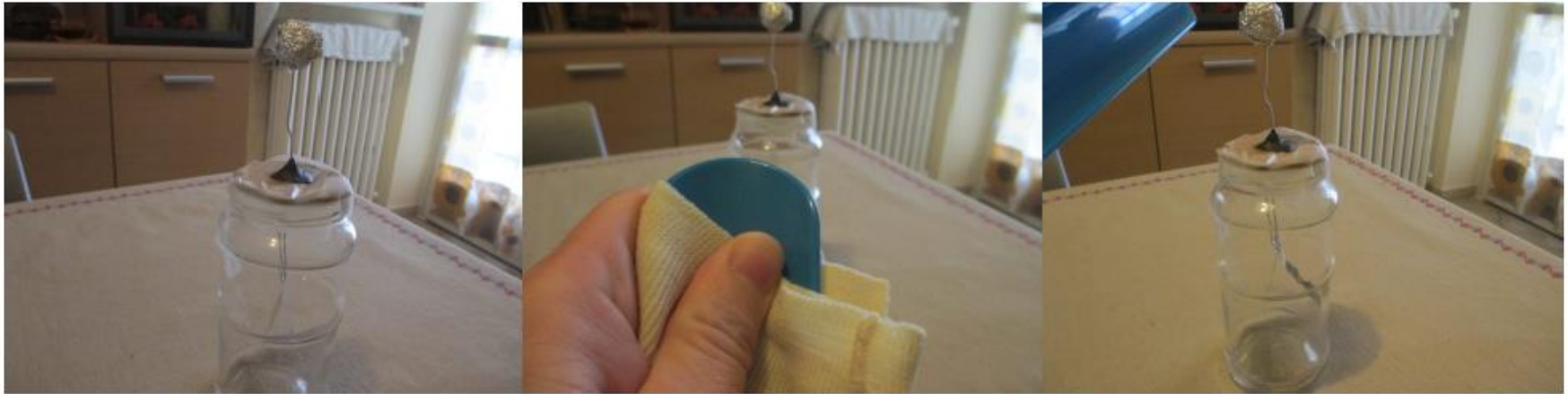


La carica di un corpo può essere evidenziata con un **elettroscopio**.

**Costruiamolo:** un barattolo di vetro, del fil di ferro, un tappo di plastica o cartone, una pallina di carta stagnola, una clip, e una striscia di carta stagnola appoggiata su di essa.

- Avvicinando un corpo carico negativamente, gli elettroni (negativi) sulla sferetta sono respinti, e tendono ad allontanarsi, migrando verso le alette (nei metalli gli elettroni sono liberi di muoversi).
- Le alette quindi si caricano entrambe dello stesso segno, e quindi si respingono.
- **L'angolo che formano è tanto maggiore, tanto più grande è la carica del corpo avvicinato.**

## Misurare l'ettrizzazione dei corpi: costruire un elettroscopio



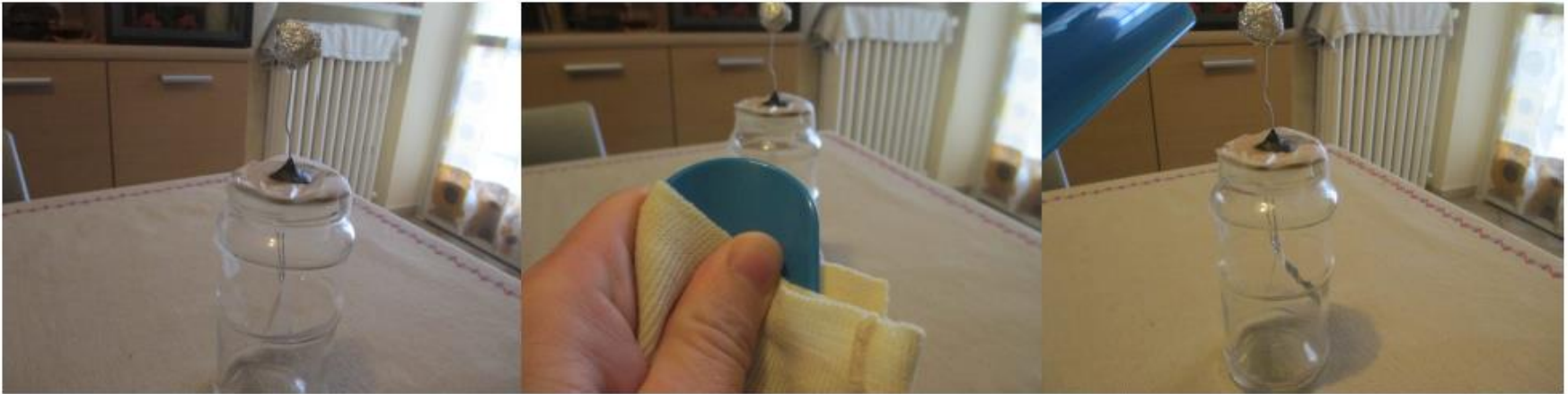
**Quando tolgo l'oggetto carico dalla sferetta**, gli elettroni defluiscono riequilibrandosi, e le alette si riportano nella posizione iniziale.

**Domanda:** Perché, se tengo l'oggetto carico vicino alla sferetta, dopo un po', l'elettroscopio si scarica comunque?

**Vuol dire che l'aria non è un perfetto isolante**, ma contiene particelle cariche (ioni positivi e elettroni), che neutralizzano la carica in eccesso sull'elettroscopio.

**Da dove vengono queste «cariche vaganti» nell'aria?**

## Misurare l'ettrizzazione dei corpi: costruire un elettroscopio



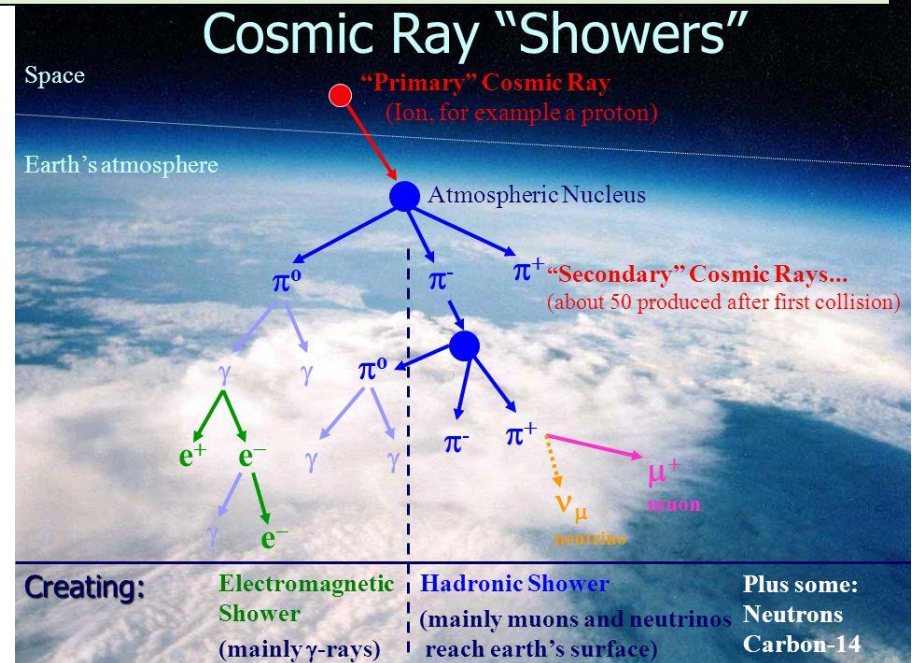
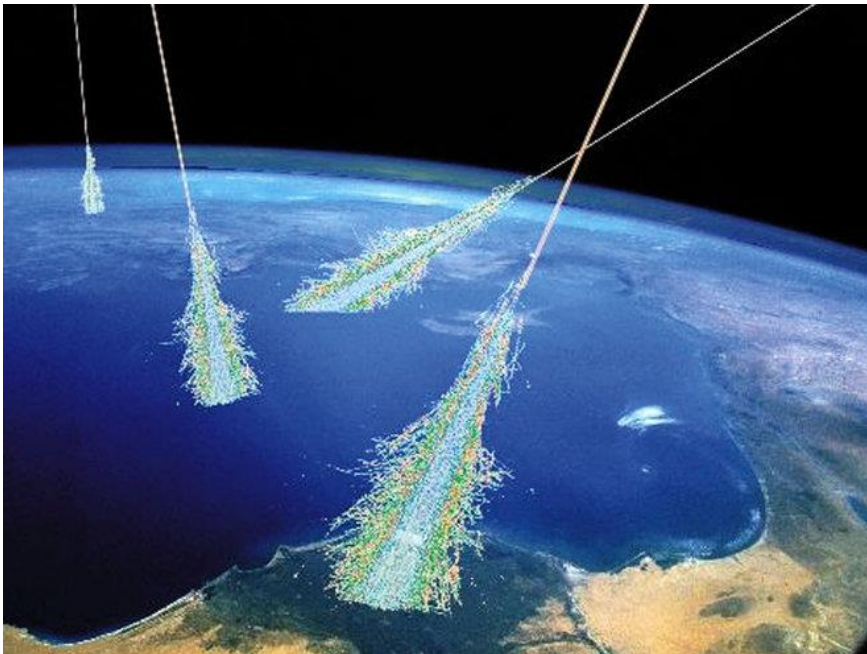
## Dai raggi cosmici, particelle provenienti dallo spazio.

Lo spazio è pieno di particelle che viaggiano a velocità prossime a quelle della luce, spesso aventi grande energia, prodotte in stelle e galassie anche molto distanti.

La terra le intercetta nel suo moto nello spazio

# I raggi cosmici

- **Provengono dallo spazio**, anche fuori della nostra galassia
- Sono principalmente protoni. Alcuni di energia altissima.
- Quando intercettano la nostra atmosfera interagiscono con i nuclei degli atomi che la compongono, e danno origine a **sciami di particelle, che arrivano anche sulla superficie terrestre.**
- Sulla superficie terrestre, ne arrivano circa 10000 ogni m<sup>2</sup> ogni secondo.
- Per gli astronauti sono un'importante sorgente di radioattività (e anche per i piloti e il personale di volo degli aerei)



## Conduttori e isolanti



Prendi una pila e una lampadina, e prova a chiudere il circuito attraverso un oggetto di metallo oppure di legno o plastica, o un altro materiale. In quali casi si accende la lampadina?



## Conduttori e isolanti



**Plastica, vetro e legno non conducono corrente. Si chiamano isolanti. I metalli invece sono conduttori.**

**Nei metalli** gli elettroni degli atomi non appartengono strettamente agli atomi, ma sono liberi di muoversi. Se sottoposti a una differenza di potenziale (tensione di una pila), si muovono facendo circolare corrente

## Conduttori e isolanti

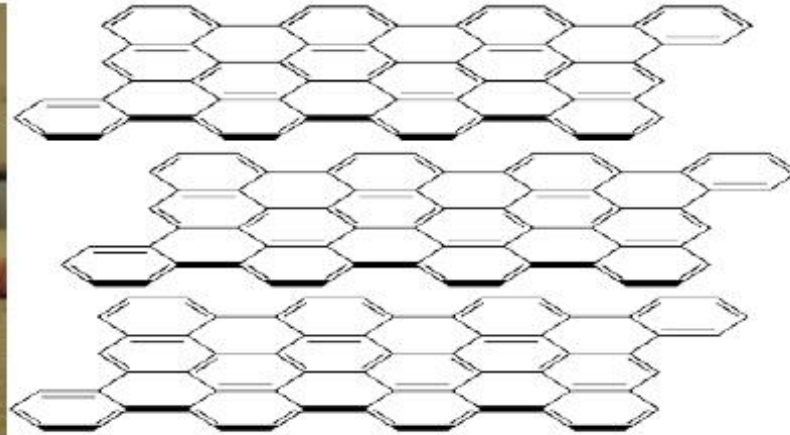


**Plastica, vetro e legno non conducono corrente. Si chiamano isolanti. I metalli invece sono conduttori.**

**Negli isolanti** invece gli elettroni restano confinati negli atomi, e la corrente (che è un moto di elettroni) non può circolare.

**E' lo stesso motivo per cui gli isolanti sono anche cattivi conduttori di calore, al contrario dei metalli.**

## Conduttori e isolanti

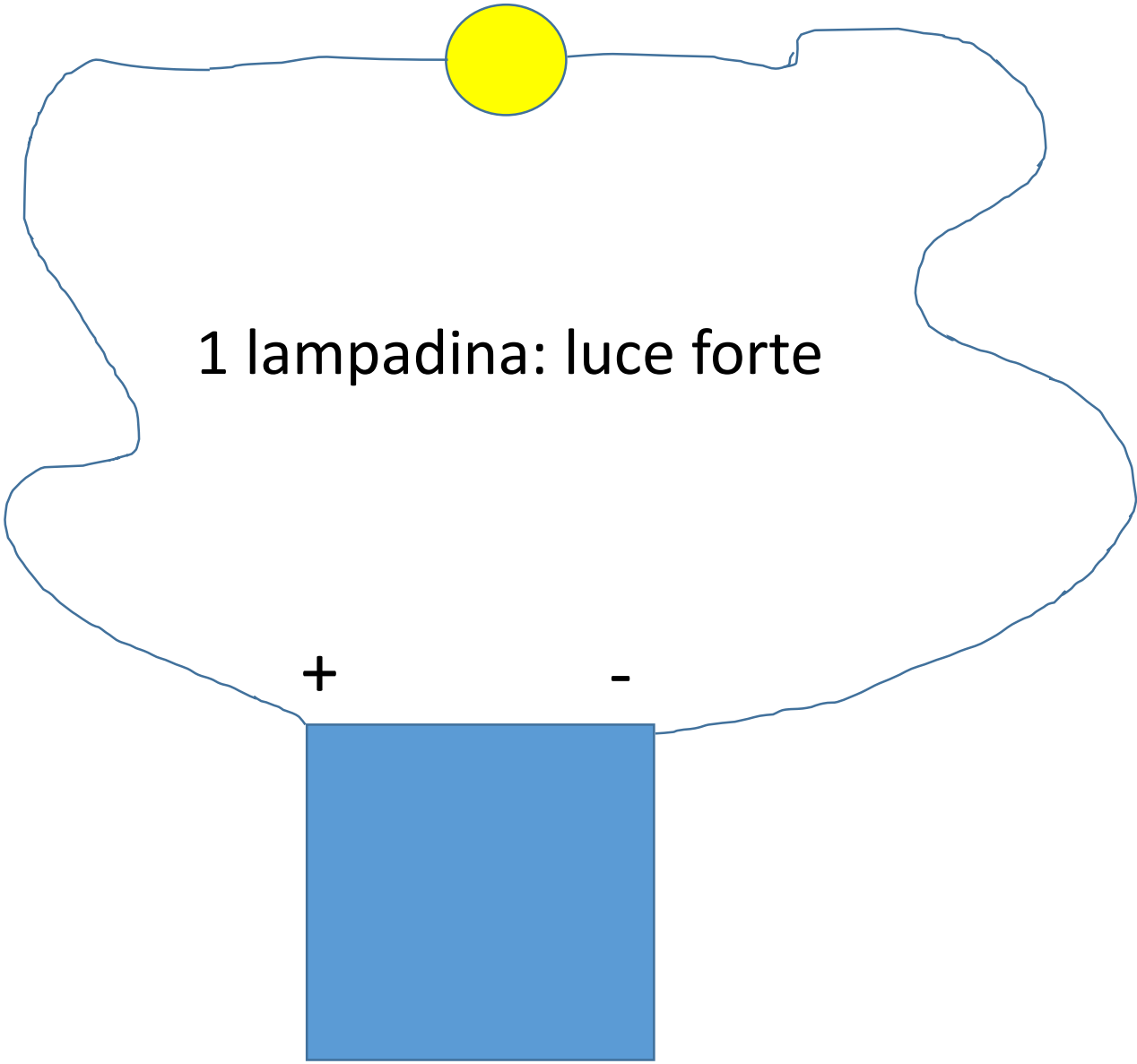


- **Anche la mina di una matita** (Grafite = Carbonio) **può far circolare corrente, pur non essendo un metallo.**
- Il motivo è nella sua struttura atomica, fatta di tanti atomi di Carbonio disposti in strati paralleli, in cui gli atomi si dispongono ai vertici di esagoni regolari.
- Ogni atomo è legato a altri tre atomi. Siccome il carbonio ha valenza 4, resta sempre un elettrone spaiato, delocalizzato, che può circolare liberamente.
- **Se provassimo con un diamante?** E' sempre Carbonio, ma...

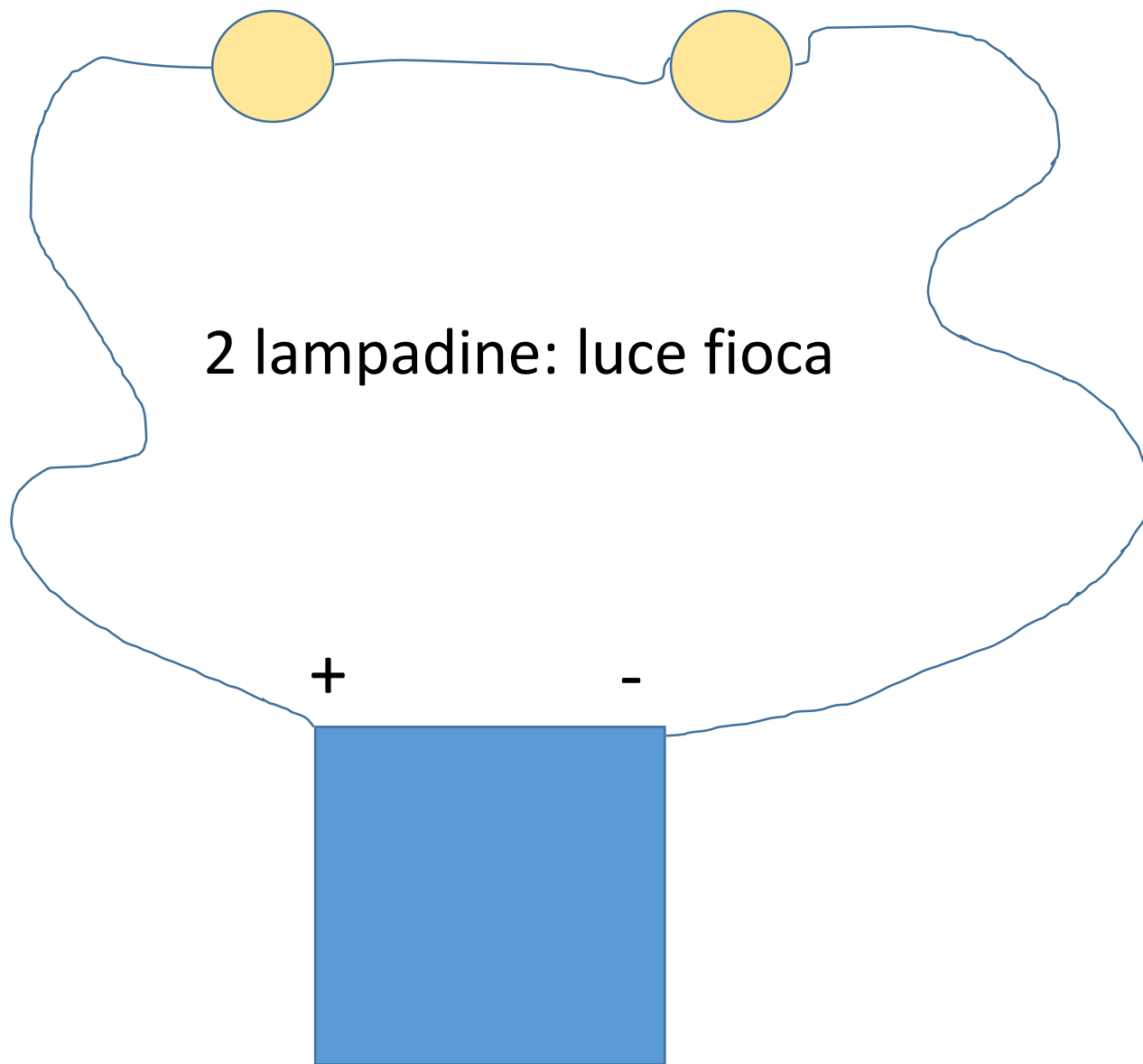
## Moto degli elettroni nei conduttori

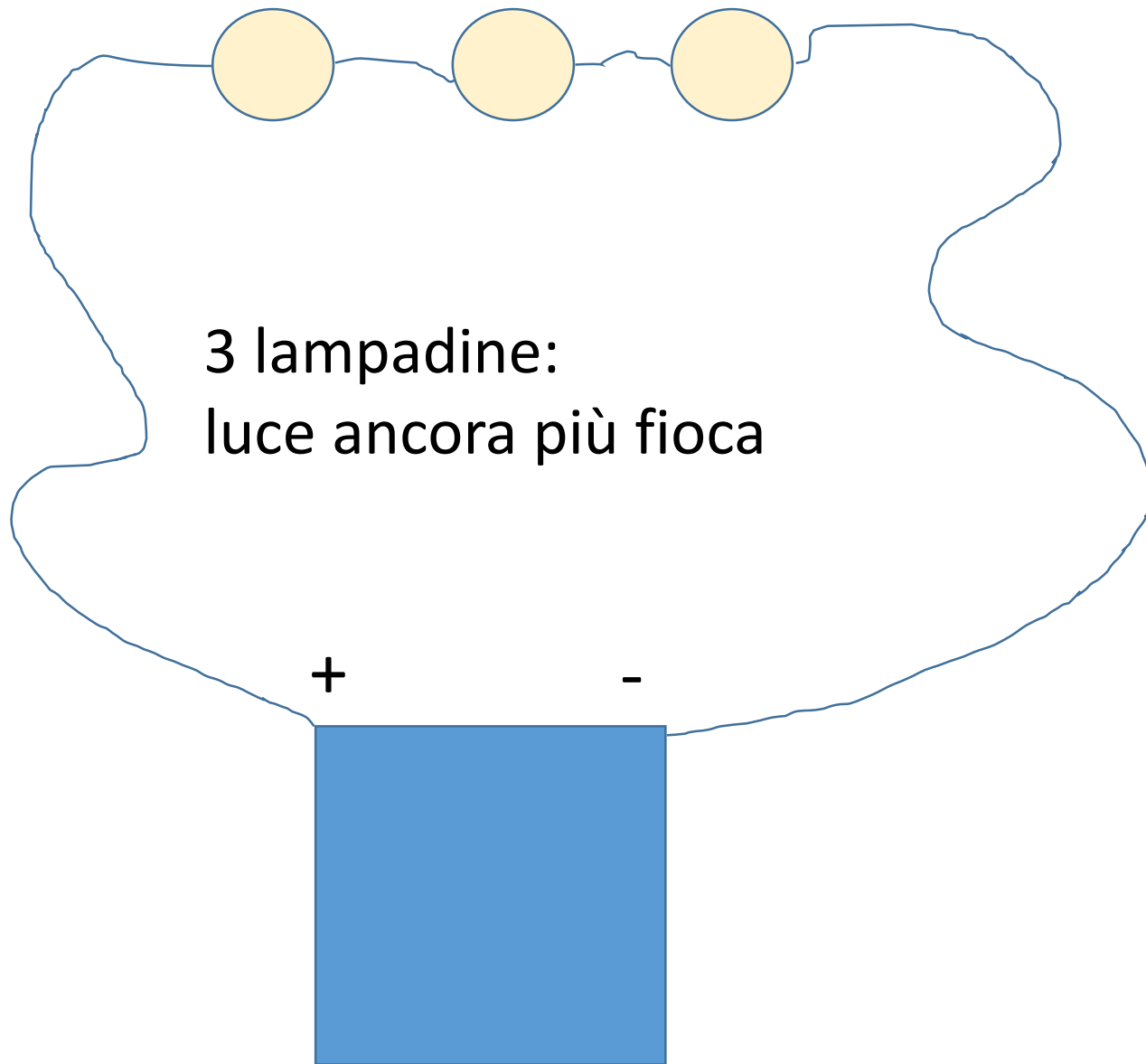
- Gli elettroni si muovono in un conduttore a causa del campo elettrico (differenza di potenziale) prodotto dalla batteria.
- Però, muovendosi nel materiale conduttore, «**sbattono**» **continuamente fra loro**. Questo rappresenta la «**resistenza**» del materiale.
- La **velocità media** tipica degli elettroni nei conduttori è di **0.1 – 0.01 mm/s**, a causa dei continui urti. **Molto piccola!!!**
- La lampadina si accende «istantaneamente» perché il campo elettrico si propaga alla velocità della luce nel conduttore.
- **Il risultato di questi continui urti è il calore: il conduttore si scalda!** La **resistenza** dei materiali è dovuta a questo.
- Esistono materiali che, in particolari condizioni, azzerano la loro resistenza. Si chiamano «**superconduttori**». In questo caso una corrente elettrica circola al loro interno all'infinito.

Visualizziamo la resistenza di un circuito



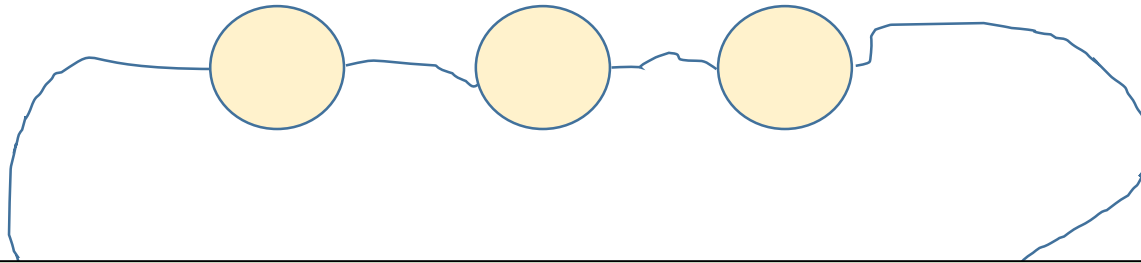
1 lampadina: luce forte





3 lampadine:  
luce ancora più fioca

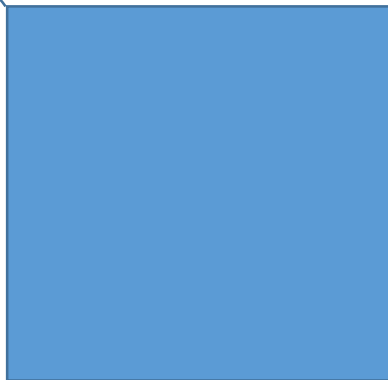




Sto aumentando la resistenza del circuito:  $V= Ri$  ( $V$  = tensione della pila,  $R$ =resistenza totale del circuito,  $i$ = corrente che circola nel circuito, **legge di Ohm**).

Se aumento  $R$ , la corrente  $i$  diminuisce, e le lampadine fanno meno luce.

I fili offrono una resistenza trascurabile rispetto alla lampadina.



**Analogia:** una strada con strettoie: il flusso di auto viene ostacolato e diminuisce (nel circuito diminuisce la corrente)

# Il campo magnetico



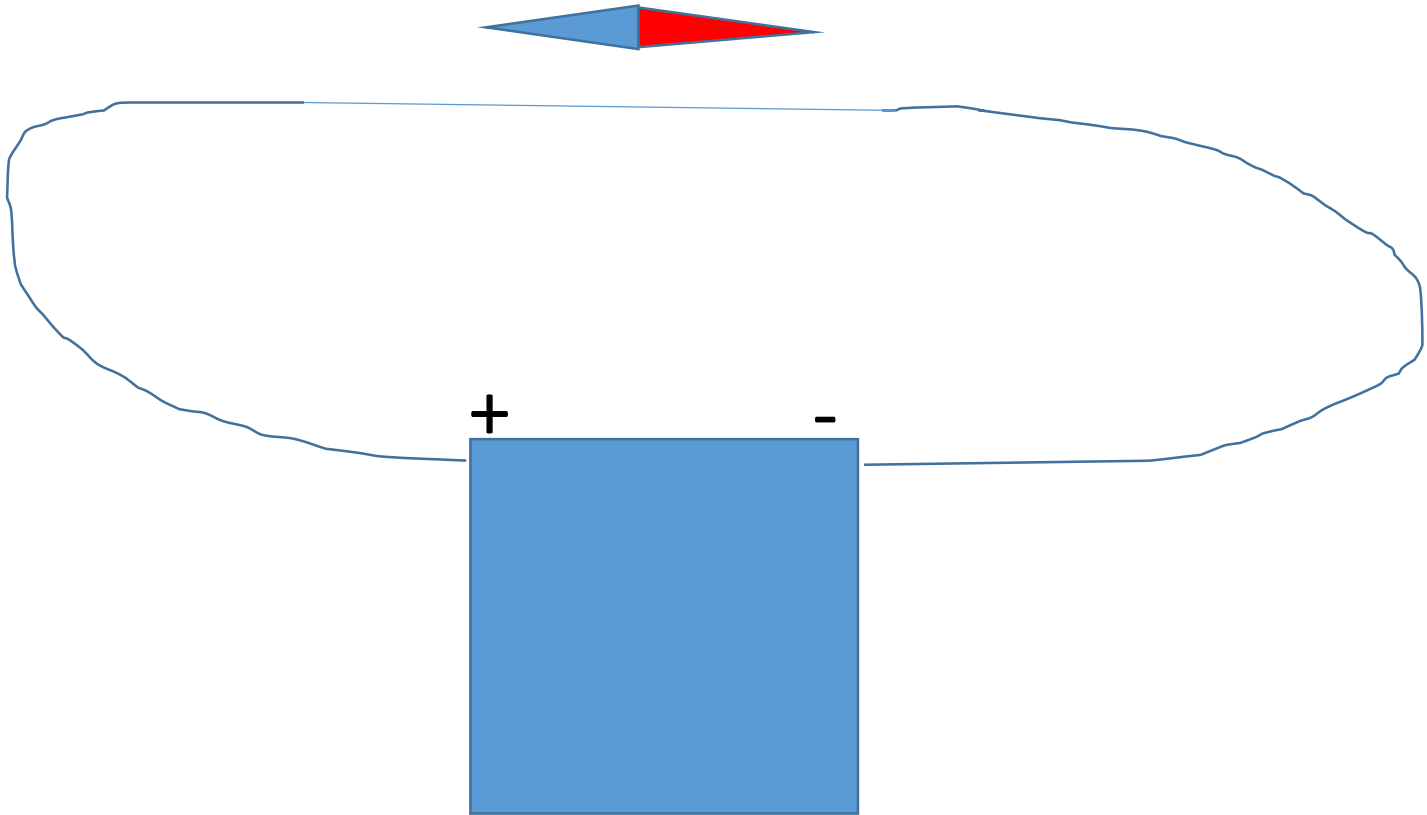
- **La bussola sente il campo magnetico terrestre**, e si orienta verso il nord (poi capiremo meglio cosa significa)
- Se mettiamo una calamita vicino alla bussola, questa si sposta.
- Vuol dire che il campo magnetico terrestre e quello prodotto da una calamita hanno proprietà simili.

**Ma da cosa ha origine il campo magnetico?**

## Per avere un utile indizio, effettuiamo l'Esperimento di Ørsted

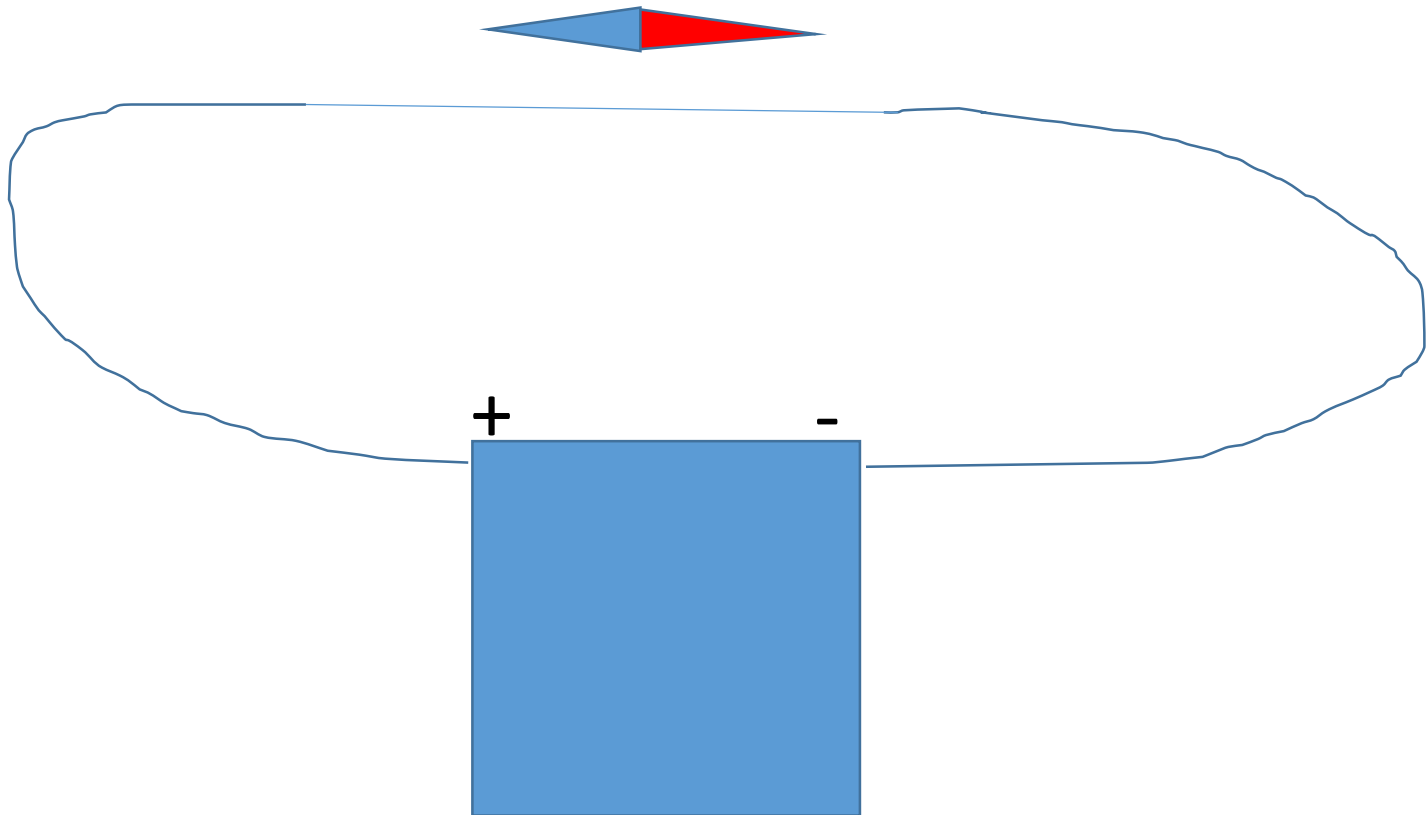
Realizzato **per caso** nel 1820 da William Ørsted (in realtà era già stato effettuato 20 anni prima da un italiano, Giandomenico Romagnosi, un giurista di Salsomaggiore, ma era stato ignorato dalla comunità scientifica).

- Prendi una batteria, una bussola, e un filo di rame.
- Metti il filo di rame accanto alla bussola, e collegalo per un momento alla batteria.



- Prendi una batteria, una bussola, e un filo di rame.
- Metti il filo di rame accanto alla bussola, e collegalo [per un momento](#) alla batteria.
- **L'ago si sposta.**
- Ha percepito un campo magnetico, evidentemente prodotto dal passaggio della corrente nel filo.

**L'origine del campo magnetico è la corrente elettrica!**



- **N.B.: fare questo esperimento solo con una batteria «casalinga»**, che non è in grado di erogare una corrente elevata (se mettiamo la lingua fra i due poli al massimo sentiamo del pizzicore!)
- **Non farlo**, ad esempio, con la batteria dell'auto, che eroga una corrente molto alta!!!

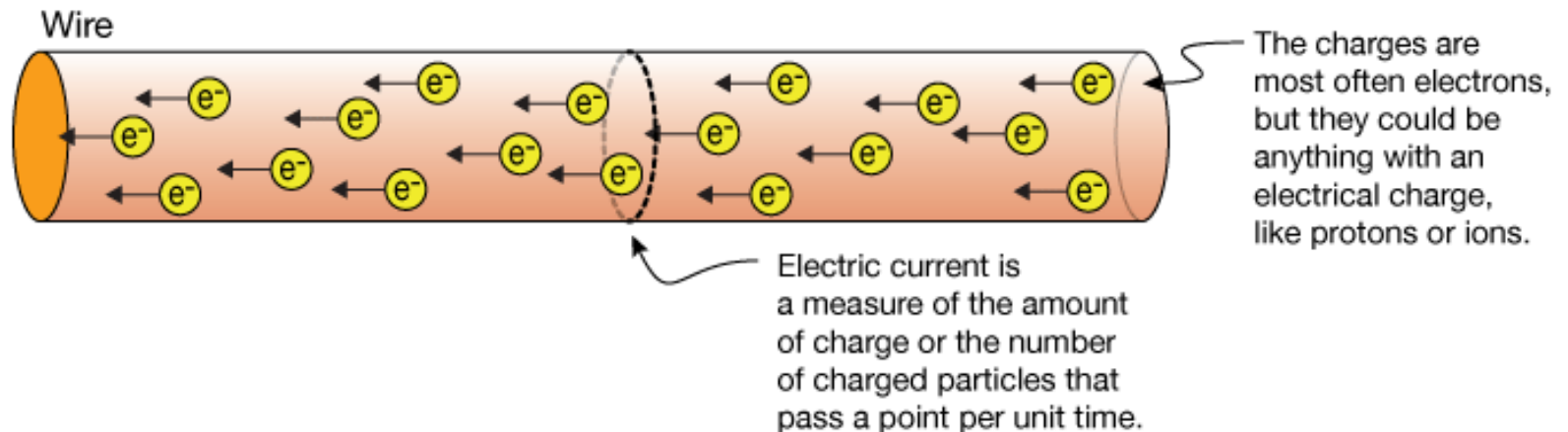


Breve digressione, apparentemente innocua, ma di importanza **enorme**.

La corrente elettrica è un moto (molto lento!) di elettroni.

Quando la corrente non circola, la bussola vede gli elettroni fermi, e non percepisce campo magnetico.

Quando circola corrente, la bussola «vede» gli elettroni muoversi, e questo movimento produce il campo magnetico.



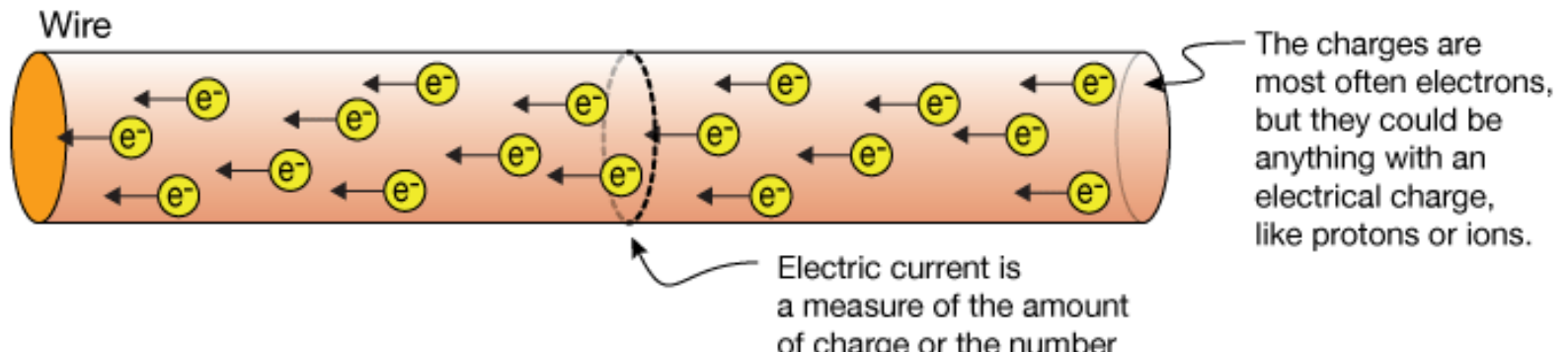
Breve digressione, apparentemente innocua, ma di importanza **enorme**.

La corrente elettrica è un moto (molto lento!) di elettroni.

Quando la corrente non circola, la bussola vede gli elettroni fermi, e non percepisce campo magnetico.

Quando circola corrente, la bussola vede gli elettroni muoversi, e questo movimento produce il campo magnetico.

Adesso immaginiamo di poter muovere la bussola alla stessa velocità degli elettroni. Cosa succederebbe?



Breve digressione, apparentemente innocua, ma di importanza **enorme**.

La corrente elettrica è un moto (molto lento!) di elettroni.

Quando la corrente non circola, la bussola vede gli elettroni fermi, e non percepisce campo magnetico.

Quando circola corrente, la bussola vede gli elettroni muoversi, e questo movimento produce il campo magnetico.

Adesso immaginiamo di poter muovere la bussola alla stessa velocità degli elettroni. Cosa succederebbe?

**La bussola vedrebbe gli elettroni fermi, e quindi non percepirebbe il campo magnetico** (come quando non circola corrente)!

Breve digressione, apparentemente innocua, ma di importanza **enorme**.

La corrente elettrica è un moto (molto lento!) di elettroni.

Quando la corrente non circola, la bussola vede gli elettroni fermi, e non percepisce campo magnetico.

Quando circola corrente, la bussola vede gli elettroni muoversi, e questo movimento produce il campo magnetico.

Adesso immaginiamo di poter muovere la bussola alla stessa velocità degli elettroni. Cosa succederebbe?

**La bussola vedrebbe gli elettroni fermi, e quindi non percepirebbe il campo magnetico** (come quando non circola corrente)!

**Quindi, che cos'è realmente il campo magnetico?**

Il campo magnetico è un campo elettrico in movimento.

La sua origine è spiegata dalla teoria della relatività!

**In questo caso l'importanza non è nella spiegazione, ma nella domanda iniziale.**

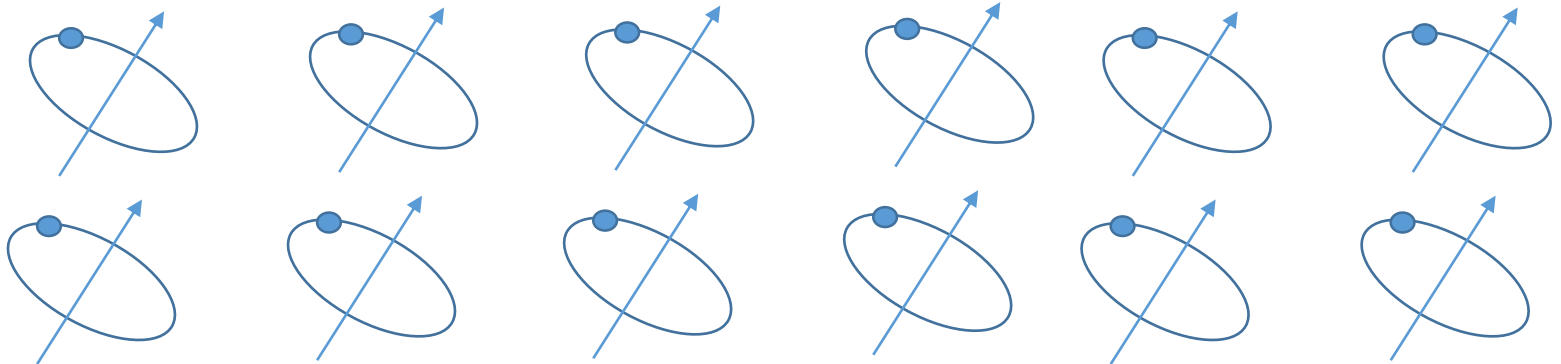
Avviciniamo una calamita a vari tipi di materiale, sia di plastica che di metallo: cosa si osserva?

- La calamita **NON attira** oggetti che non sono di metallo
- La calamita **NON SEMPRE attira** oggetti di metallo.

**Perché?** Deve esserci qualcosa nelle caratteristiche del materiale a fare la differenza.

# La calamita

- **Perché la calamita attira certi materiali e non altri? Cosa hanno di speciale?**
- Il magnetismo nasce dal fatto che, in certi materiali, gli elettroni degli atomi si comportano come se «ruotassero» attorno al nucleo tutti allo stesso modo, posizionandosi allineati.
- E' come se, all'interno della calamità, (e dentro i materiali che dalla calamita sono attirati) **ci fossero tante piccole spire di corrente.** **Corrente → campo magnetico**



Esiste la carica elettrica (positiva o negativa)  
**ma non esiste la carica magnetica.**

**PERCHE'?**

**Perché il campo magnetico è originato dalle  
cariche elettriche stesse**, quando queste sono  
in movimento



## La bussola

- Metti una calamita vicino a una bussola: cosa succede?
- L'ago della bussola si sposta seguendo la direzione del campo magnetico.
- L'ago della bussola è costituito di un materiale in cui gli elettroni si «allineano» tutti quanti secondo il campo magnetico.
- Quindi l'ago si posiziona secondo la direzione del campo magnetico.

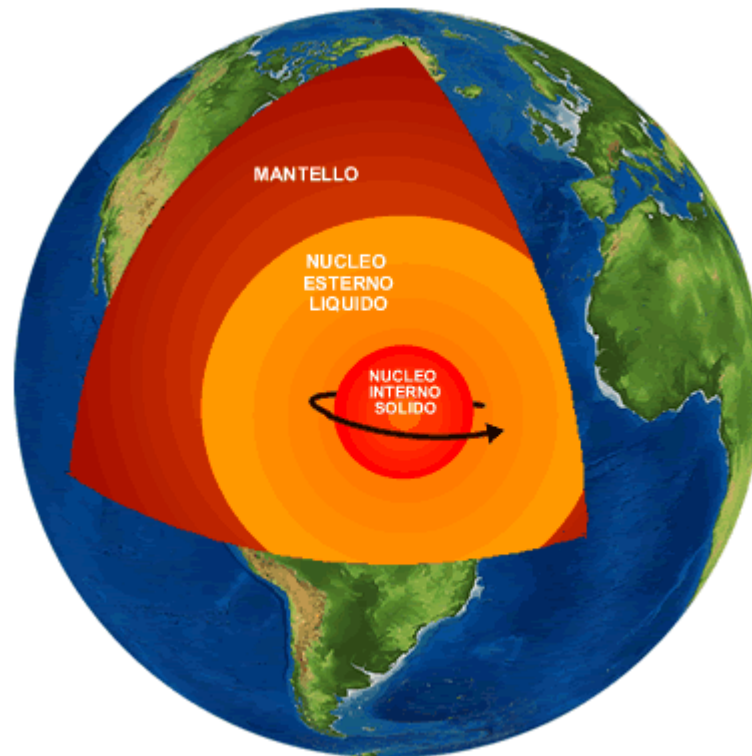
## La bussola

- Metti una calamita vicino a una bussola: cosa succede?
- L'ago della bussola si sposta seguendo la direzione del campo magnetico.
- L'ago della bussola è costituito di un materiale in cui gli elettroni si «allineano» tutti quanti secondo il campo magnetico.
- Quindi l'ago si posiziona secondo la direzione del campo magnetico.

**Perché la bussola segna «il nord?»**

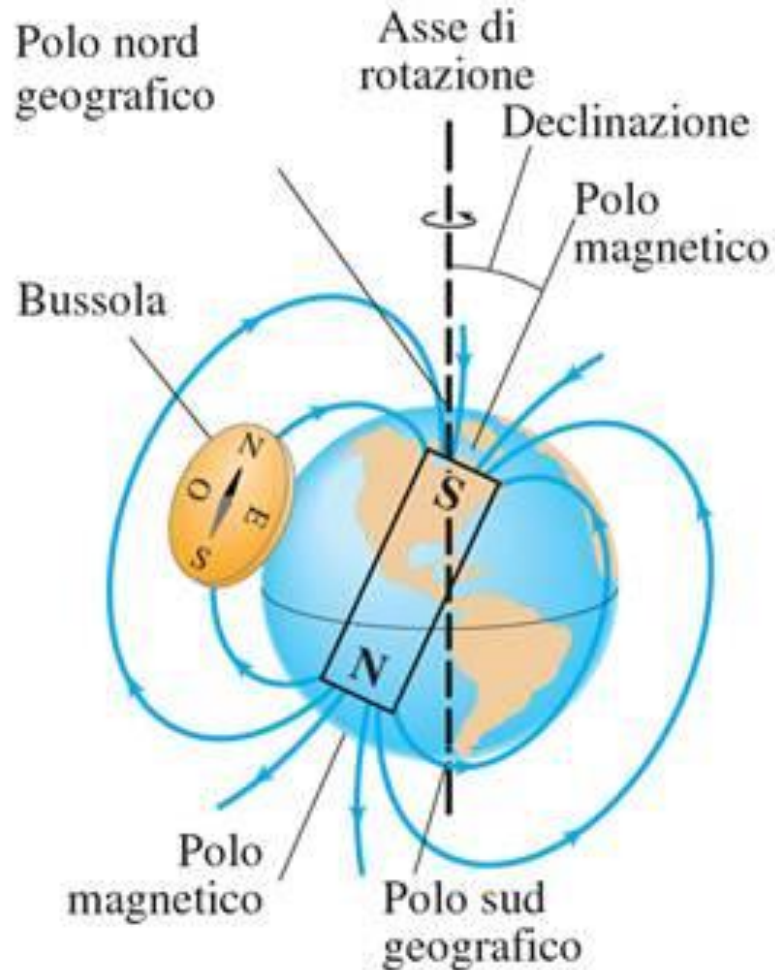
**C'è una calamita dentro la terra?**

- All'interno della terra, il nucleo è composto da materiale fuso, dentro il quale circolano correnti elettriche, indotte dalla rotazione della terra.
- Queste correnti producono un campo magnetico, come nell'esperimento di Oersted.
- Il campo magnetico è percepito dall'ago della bussola.



La bussola in realtà non segna esattamente il nord.

Il nord magnetico è spostato rispetto al nord geografico di una decina di gradi.



# La posizione del polo nord magnetico varia nel tempo

Browser tabs: Come fare l'esperimento di Oer..., Google Maps, Historical Declination Viewer

URL: [https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical\\_declination/](https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/)

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION  
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

Historical Magnetic Declination

formerly NGDC > Maps > Geomagnetism

Privacy Policy

Map Title: Magnetic Declination

Map Content: A world map showing the historical path of the magnetic north pole. Yellow squares mark the pole's position for the years 1904, 1962, 1984, 1994, 2001, and 2007. The path shows a clear northward and westward drift over time. A timeline at the bottom of the map ranges from 1590 to 2020, with the current year set to 2015. A position box at the bottom left shows coordinates: 156.691°, 76.944°.

Map Controls: Basemap, Options, Mercator, Arctic, Antarctic

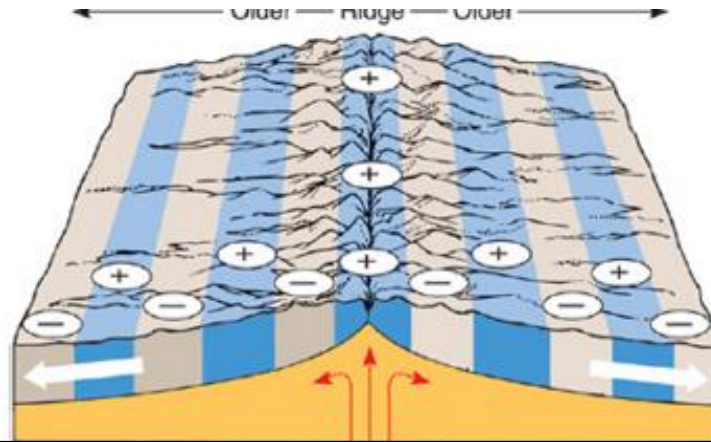
Left Panel: Information about magnetic declination, including the agonic line, magnetic force, and the direction of force relative to geographic north.

Bottom Taskbar: Windows taskbar with icons for Firefox, Calculator, File Explorer, Outlook, OneDrive, Skype, and PowerPoint.

System Tray: Date and time: 09/11/2018, 12:29.

## Paleomagnetismo:

il campo magnetico terrestre si è invertito più volte nelle ere passate



- Misure di paleomagnetismo su rocce basaltiche dei fondali marini, hanno messo in luce delle bande, parallele alle dorsali atlantiche, con magnetizzazione alternata.
- Bande distanti dalle dorsali sono su fondali più antichi, e quindi è possibile risalire al tempo trascorso quando il materiale emesso era fuso, e quindi orientabile secondo il campo magnetico.
- Il campo magnetico terrestre **si inverte a intervalli (tutt'altro che regolari) di centinaia di migliaia di anni o più.**

La calamita ha due poli.

Avvicinando due calamite, queste possono attirarsi o respingersi.

**PERCHE'?**

**La risposta è tutt'altro che ovvia.**

- Prendiamo un rotolo di filo elettrico, e colleghiamo i due capi a un amperometro (un misuratore di corrente)
- Prendiamo una calamita, e muoviamola velocemente attorno al rotolo di filo elettrico.

## **L'AMPEROMETRO SEGNA UN PASSAGGIO DI CORRENTE**

**Un campo magnetico variabile produce una corrente elettrica, e quindi un campo elettrico** (una differenza di potenziale). La dinamo funziona in questo modo

**Ma una corrente elettrica produce a sua volta un campo magnetico!**



## Un esperimento curioso (la legge di Lenz)

- Prendi un rotolo di domopak di alluminio (nuovo, con molti avvolgimenti)
- Prendi una calamita (con un forte campo magnetico)
- La calamita non attira l'alluminio
- Metti il rotolo di domopak in posizione verticale, e fai cadere la calamita dentro il rotolo

### **NOTI NIENTE?**

La calamita cade molto lentamente, come se qualcosa la frenasse. Come quando cerchiamo di spingerla contro un'altra calamita, dalla parte del polo sbagliato.

### **PERCHE' ACCADE?**

## Un esperimento curioso (la legge di Lenz)

- La stessa cosa si nota muovendo velocemente una forte calamita vicino, o dentro una superficie metallica.
- Si percepisce con la mano che c'è qualcosa di strano, come se la calamita che abbiamo in mano fosse frenata da qualcosa

## Un esperimento curioso (la legge di Lenz)

- La calamita, cadendo dentro il cilindro di alluminio, **fa variare il flusso di campo magnetico dentro il cilindro.**
- Questo fa sì che si sviluppi nel cilindro stesso una **corrente elettrica** che produce a sua volta **un campo magnetico**, che però è rivolto in **direzione opposta a quello della calamita.**
- Il risultato è che la calamita, cadendo, è frenata da questo campo magnetico indotto, come se cercassimo di avvicinare due calamite con la stessa polarità.
- **Se il campo magnetico indotto fosse di segno concorde a quello della calamita che cade**, potremmo produrre energia «gratis» in modo molto economico e semplice.  
**Ma la natura rema contro...**

# Un esperimento curioso (la legge di Lenz)

**Abbiamo visto che:**

- **Correnti elettriche producono campi magnetici** (filo attaccato ai poli di una batteria fa spostare la bussola)
- **Campi magnetici che variano producono correnti elettriche**
- Esiste quindi una **interconnessione** tra **campi elettrici e campi magnetici**.

IL RISULTATO SONO LE **ONDE ELETTROMAGNETICHE**

(la luce!)

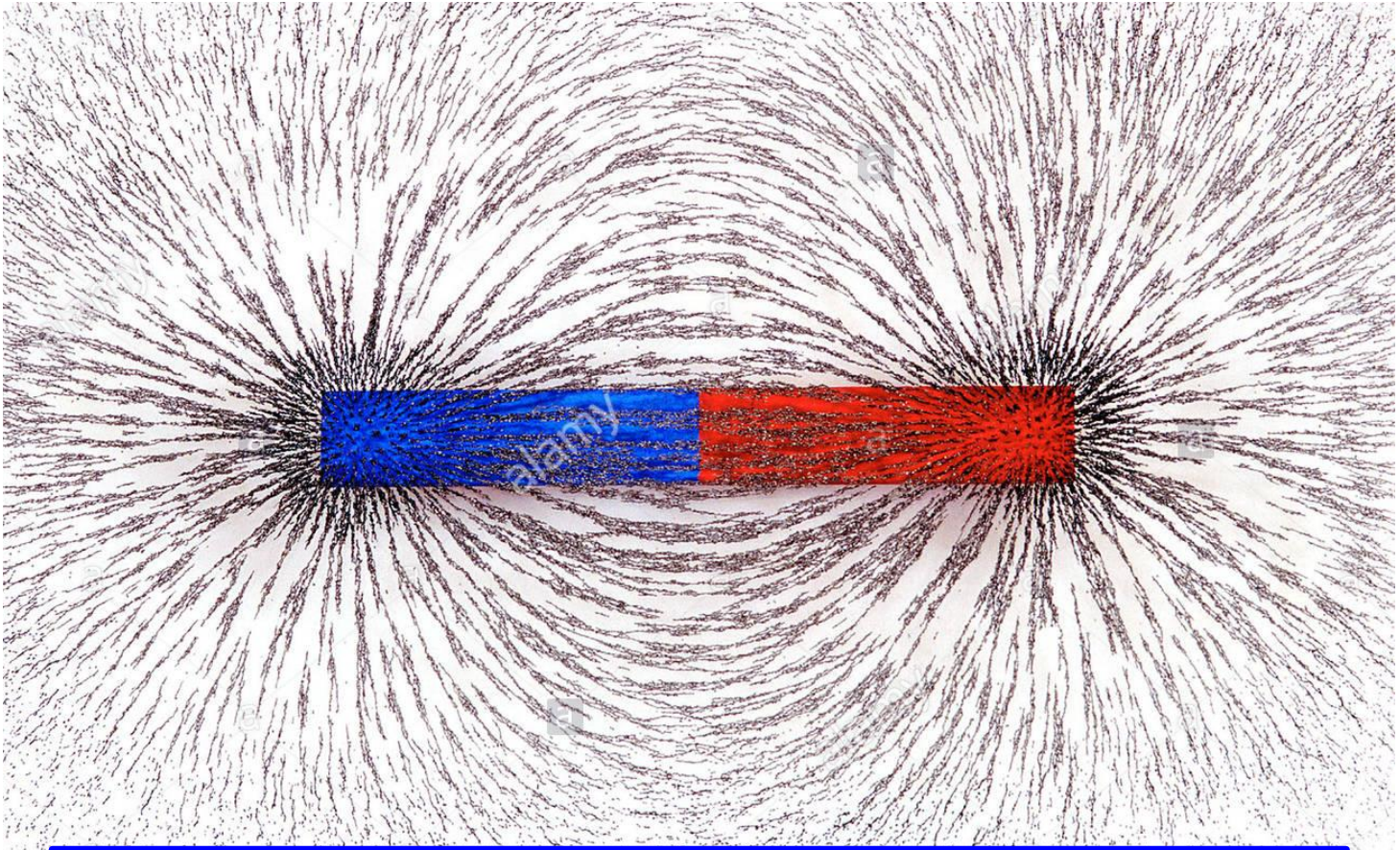
Un'onda elettromagnetica è il risultato di un campo elettrico variabile, che genera un campo magnetico variabile, che genera un campo elettrico variabile, etc..

## Domande da un milione di dollari:

- Come fa una moneta, o una bussola, a sapere che da qualche parte c'è una calamita che la attrae?
- E i pezzetti di carta come fanno a sapere che li vicino c'è una penna di plastica elettrizzata?
- E il vaso di porcellana, come fa a sapere che, se lo lascio, deve cadere?
- E la terra come fa sapere che deve girare attorno al sole?

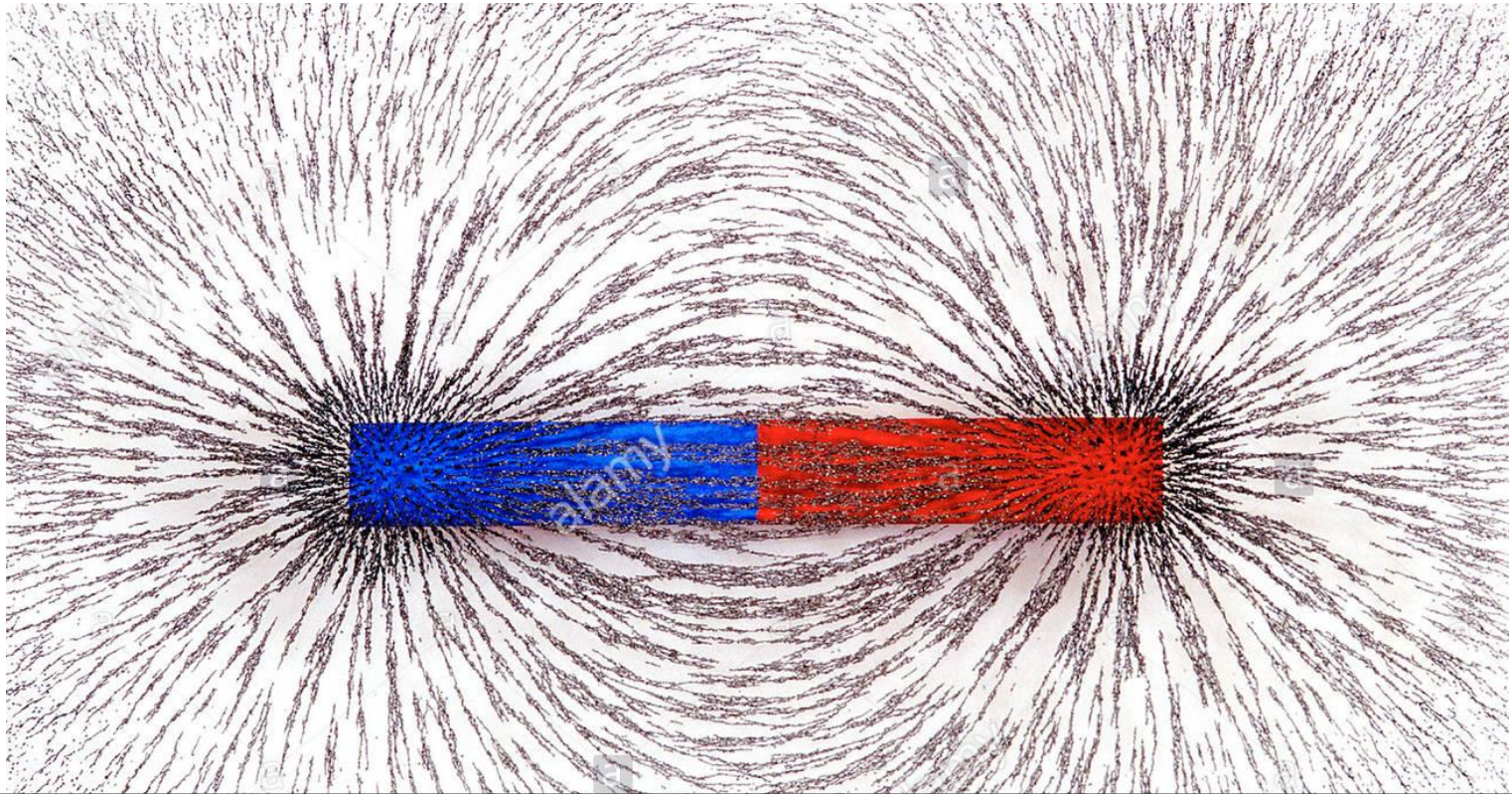
- Sono fenomeni che avvengono anche nel vuoto.
- In generale, se vogliamo spostare un oggetto, dobbiamo agire direttamente sull'oggetto, o direttamente, o interponendo un mezzo (ad esempio soffiando, o aspirando).
- Qui invece, apparentemente, fra calamita e moneta, sole e terra, etc, **non c'è niente che trasmetta la forza**.
- Apparentemente sono esempi (gli unici che conosciamo) di «azione a distanza».
- Cosa succederebbe alla terra se potessi togliere il sole? E nel caso, dopo quanto tempo, succederebbe?
- Questo è stato un problema concettuale enorme, fin dai tempi di Newton.

Per «spiegare» questo fatto, i fisici hanno inventato il concetto di **«campo»**. Il campo è uno «spazio informato», tale per cui in ogni punto dello spazio si hanno le informazioni che permettono alla terra, o alla moneta, etc, di comportarsi di conseguenza, a causa della presenza della sorgente del campo.



Metto della limatura di ferro:  
**Chiaramente attorno alla calamita succede qualcosa!**

Però la definizione di campo non spiega nulla!



E quindi come fanno, calamita e moneta, pezzetto di carta e bacchetta elettrizzata, etc, a comunicarsi la loro reciproca presenza nello spazio?

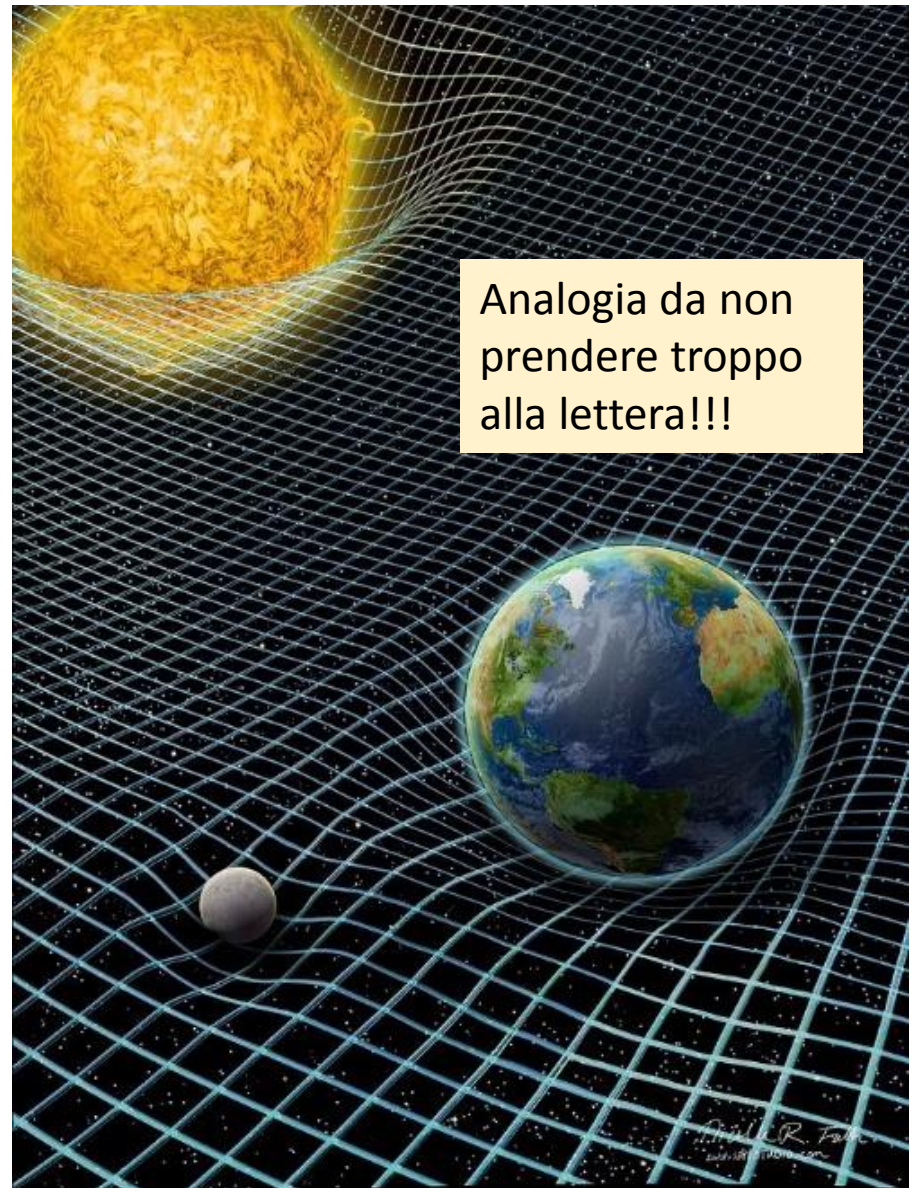


- **Il mistero è restato tale per circa 3 secoli.**
- La fisica quantistica offre una spiegazione diversa: **esistono i mediatori della forza**
- Calamita e moneta si informano reciprocamente della loro presenza scambiandosi «**fotoni**», che rappresentano i mediatori del campo elettromagnetico.
- **Due particelle con carica elettrica si comunicano una forza scambiandosi fotoni**, così come due persone su due barche diverse **si respingerebbero a vicenda semplicemente scambiandosi un pallone** (è solo un'analogia!)



**La forza di gravità** sembra comportarsi diversamente:

Secondo la **teoria della relatività generale**, i corpi si muovono nello spazio (la terra attorno al sole, la teiera di porcellana quando cade, etc...) perché le masse del sole, della terra, etc, modificano la struttura dello spazio-tempo, in modo tale che il percorso scelto dai corpi è quello «naturale» che essi possono compiere.



**Porsi le domande giuste** è il punto  
fondamentale per iniziare a  
comprendere il funzionamento della  
natura.