AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

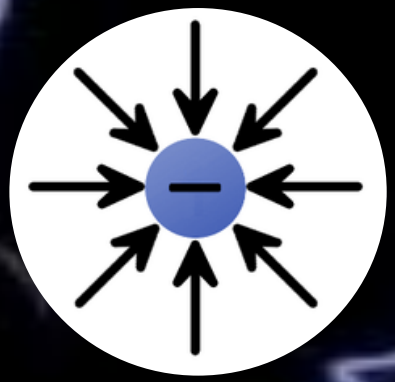
Laboratori didattico-scientifici per le scuole

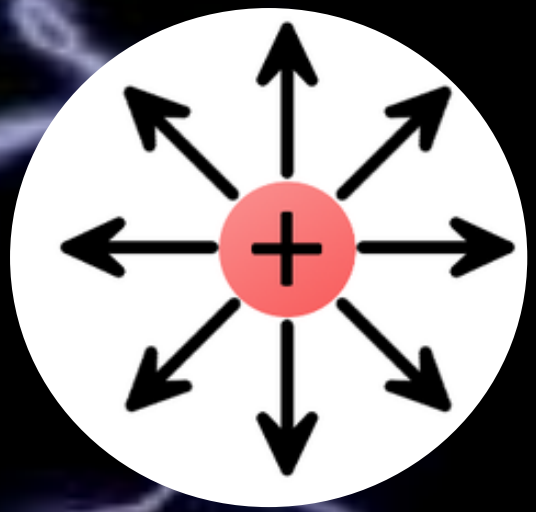
Un misterioso campo di forze

1

Elektron

carica elettrica potente e dispettosa





Elektron e … Positron?

Elektron

ambra

sostantivo femminile

ἤλεκτρον [-ου, τὸ]

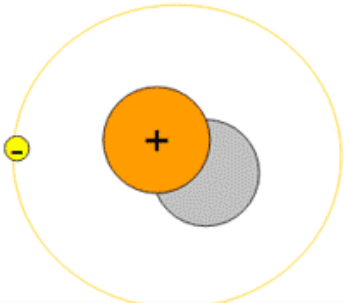
- Il nome elettrone deriva dal greco elektron che significa ambra.
- La struttura dell'ambra presenta caratteristiche favorevoli a fenomeni di elettrizzazione per strofinio.
- L'ambra fu la protagonista dei primi esperimenti fatti da Talete (V° secolo a.C.) che condussero alla scoperta della materia costituita da cariche elettriche di segno opposto: positiva e negativa.

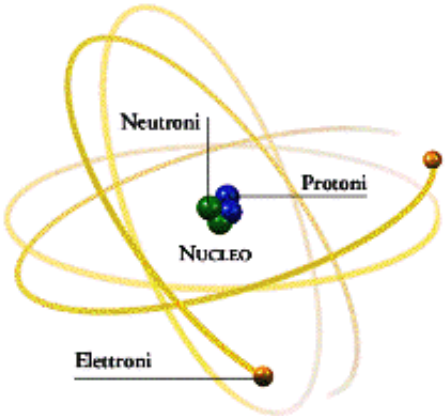
La massa dell'elettrone è circa 10^{-30} kg

Oggi si sa che l'atomo è formato dalle seguenti particelle:

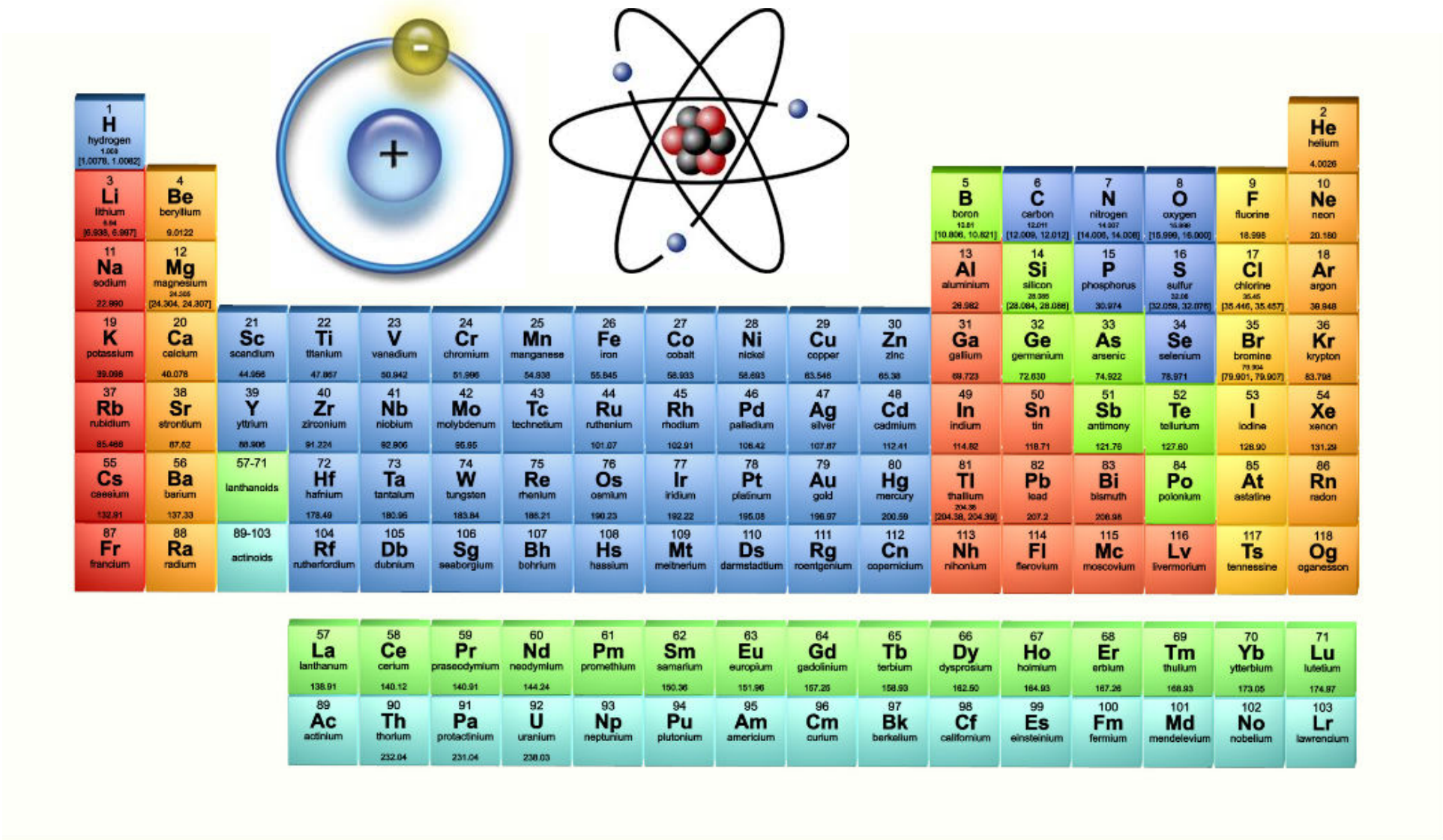
- **Protoni** (particelle relativamente grosse che hanno carica elettrica positiva) — p+
- **Elettroni** (particelle molto 2000 volte più piccole dei protoni; hanno carica elettrica negativa) — e-
- **Neutroni** (particelle grosse come i protoni; ma che non hanno nessuna carica elettrica) — n

I Protoni ed i neutroni si trovano nel nucleo dell'atomo mentre gli elettroni vi girano attorno





Ogni atomo, avendo lo stesso numero di protoni e di elettroni, è neutro



L'atomo più semplice della materia è l'idrogeno con 1 elettrone e 1 protone, fino ad arrivare agli atomi all'estremo opposto della tavola periodica degli elementi, con un numero atomico pari e oltre 100.

2

elektron

Come una bacchetta magica

Il potere delle cariche elettriche

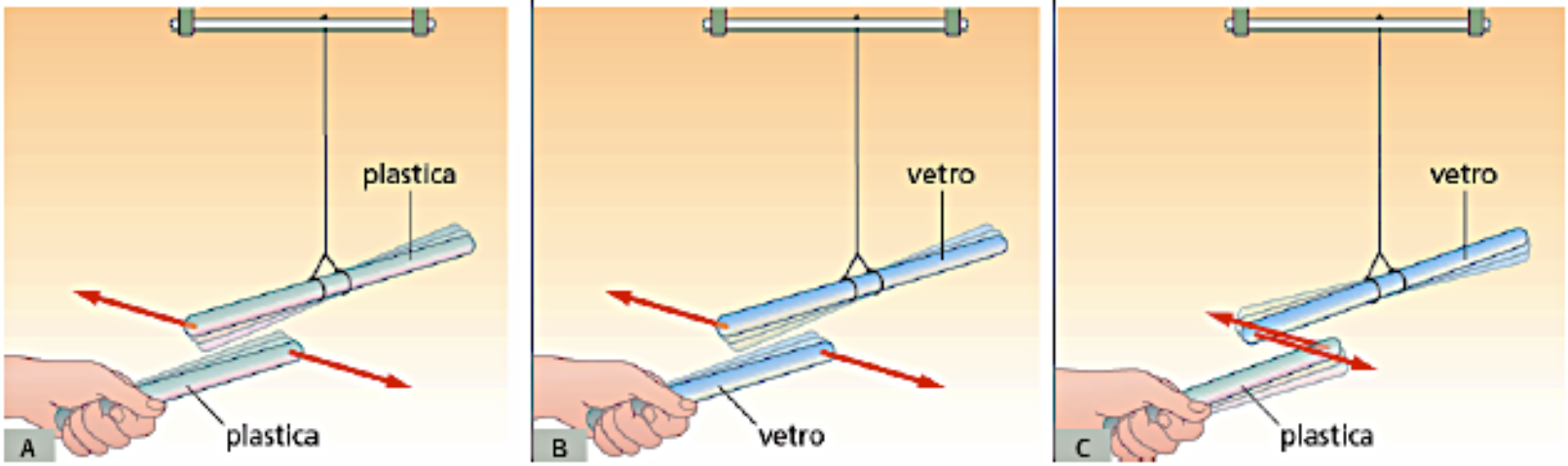
ELETTRIZZAZIONE PER STROFINIO

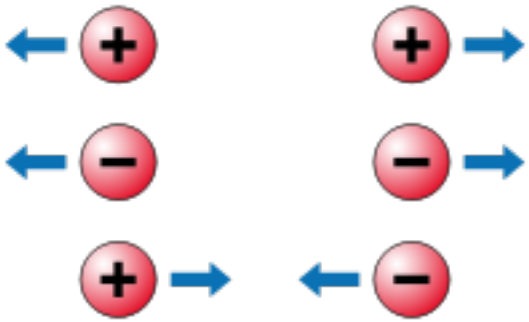
Due oggetti, entrambi strofinati, possono attrarsi o respingersi

▶ Due bacchette di plastica elettrizzate si respingono reciprocamente.

▶ Anche due bacchette di vetro elettrizzate si respingono l'una con l'altra.

▶ Però una bacchetta di vetro e una penna, entrambe elettrizzate, si attirano.



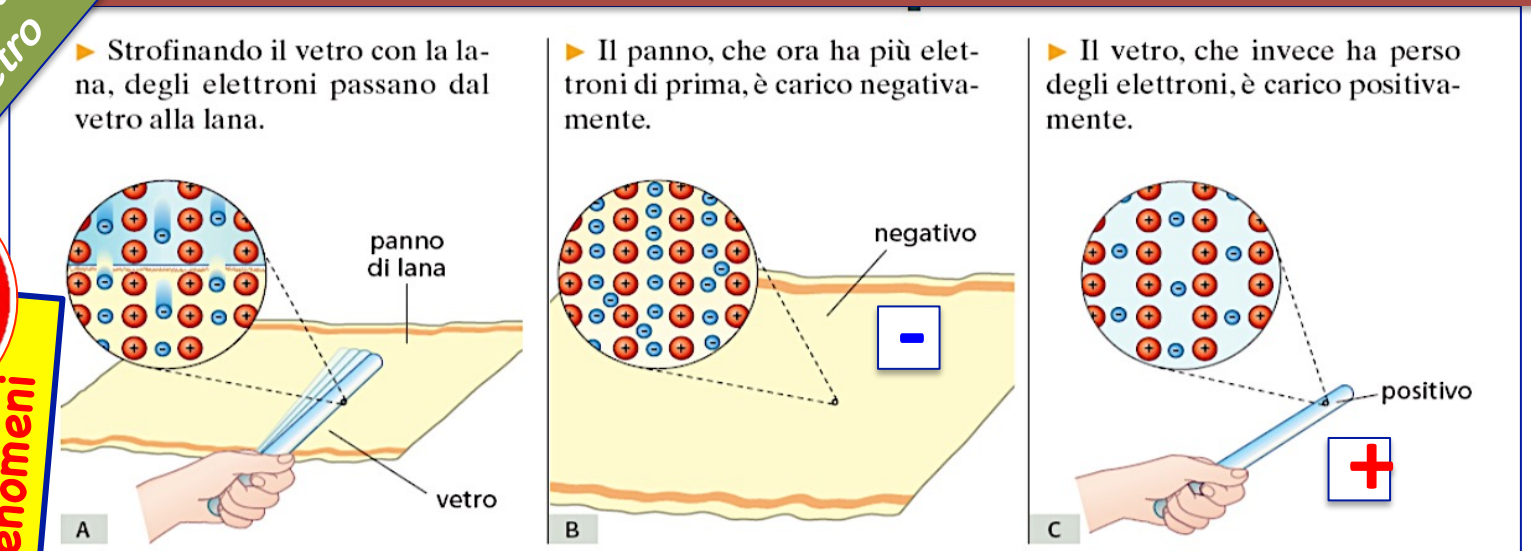


- Il comportamento dei corpi elettrizzati può spiegarsi con l'ipotesi di due tipi di cariche elettriche; per convenzione, chiamiamo:
- carica positiva, quella dei corpi che si comportano come il vetro;
- carica negativa, quella dei corpi che si comportano come la plastica.

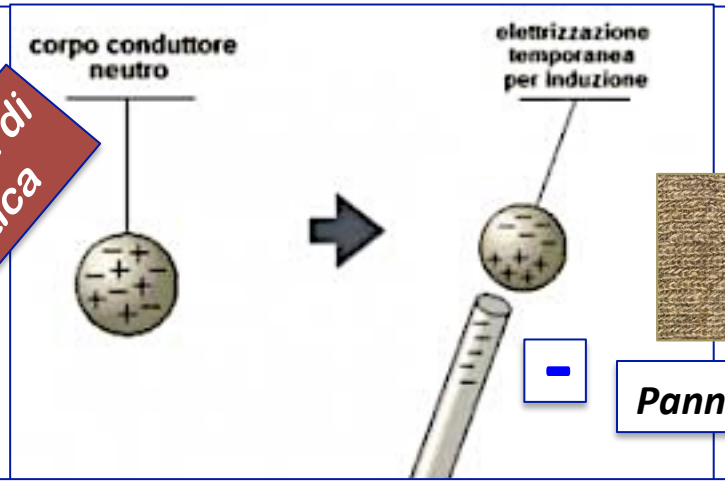
Un corpo si può elettrizzare per: STROFINIO

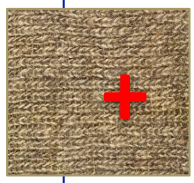
bacchetta di vetro

Gli effetti dell'elettrostatica sono deboli. L'umidità dell'aria può condizionare l'evidenza dei fenomeni



bacchetta di plastica





Panno di lana

I panni in microfibra perdono e acquistano facilmente elettroni, proprio come la lana

- La bacchetta di plastica, invece, strappa elettroni dal panno di lana
- La bacchetta si carica negativamente

I conduttori e gli isolanti

- Un pezzo di metallo si può caricare per strofinìo?

▶ Prendiamo in mano un cucchiaio di metallo e lo strofiniamo con un panno di lana. Osserviamo che il cucchiaio non attrae i pezzettini di carta.

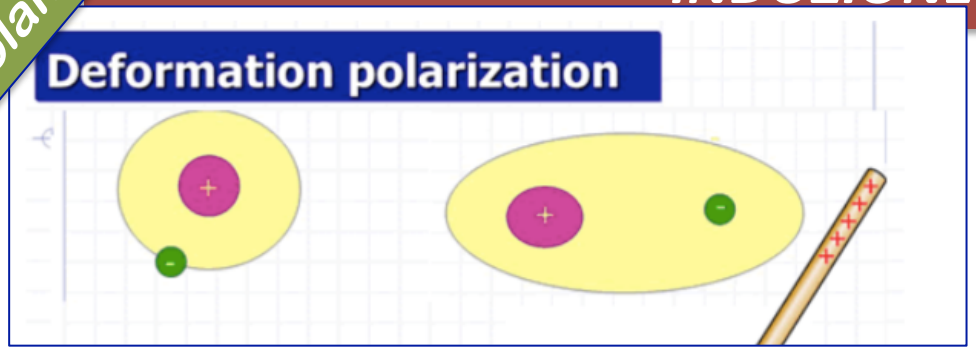
▶ Ora impugniamo il cucchiaio con dei guanti di plastica. Dopo averlo di nuovo strofinato, osserviamo che il cucchiaio si elettrizza e attrae i pezzi di carta.

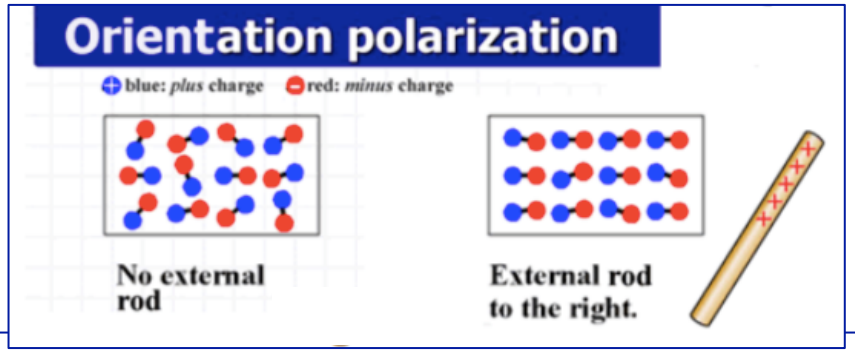
- ***Isolanti***: possono sempre essere caricati per strofinio (plastica, vetro);
- ***Conduttori***: si comportano diversamente (corpo umano, metalli).

- Negli ***isolanti*** tutte le cariche occupano posizioni fisse e non possono spostarsi
- Nei ***conduttori*** vi sono cariche elettriche che i possono muovere liberamente

Un corpo si può elettrizzare per: INDUZIONE

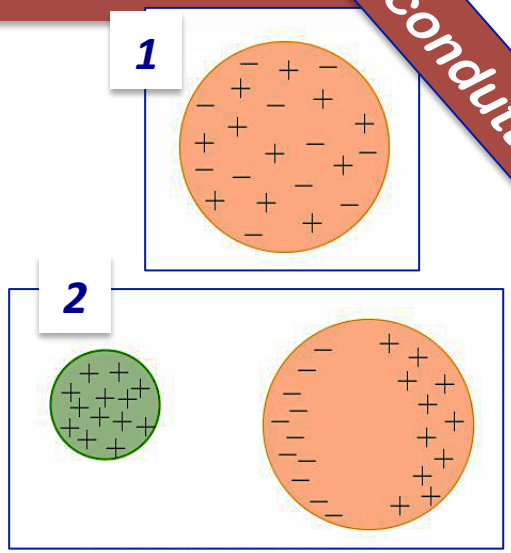
isolante





- 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 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**.

conduttore

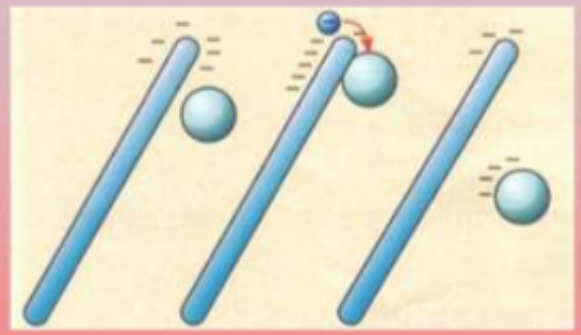


1. Se il corpo inizialmente neutro è un ***conduttore***
2. Avvicinando un corpo carico, il conduttore ridistribuisce la propria carica

Un corpo si può elettrizzare per:
CONTATTO

- *L'elettrizzazione per contatto avviene quando un corpo neutro e uno carico vengono messi a contatto*
- *La carica si divide in due parti uguali aventi entrambe lo stesso segno*
- *Quindi i due corpi si respingono*

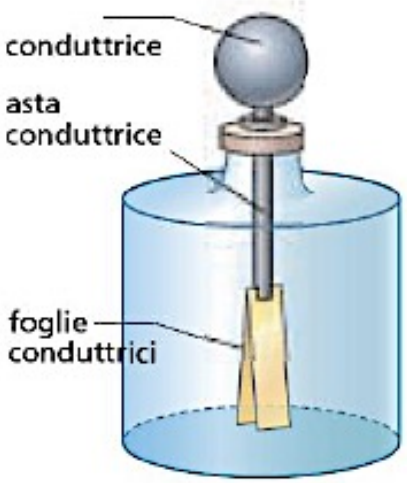
La bacchetta cede metà dei suoi elettroni alla pallina, poi la respinge perché la pallina è anch'essa carica negativamente



La definizione operativa della carica elettrica

- Per determinare se un corpo è carico si usa l'***elettroscopio***.
- È uno strumento formato da un'asta verticale con una sfera conduttrice in alto e due foglioline metalliche, contenute in un recipiente di vetro, in basso.
- un oggetto è carico se, messo a contatto con la sfera,

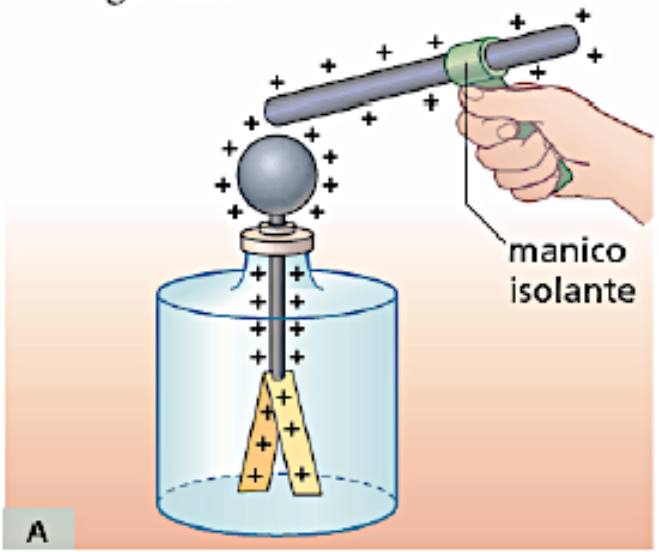
fa divaricare le foglie.



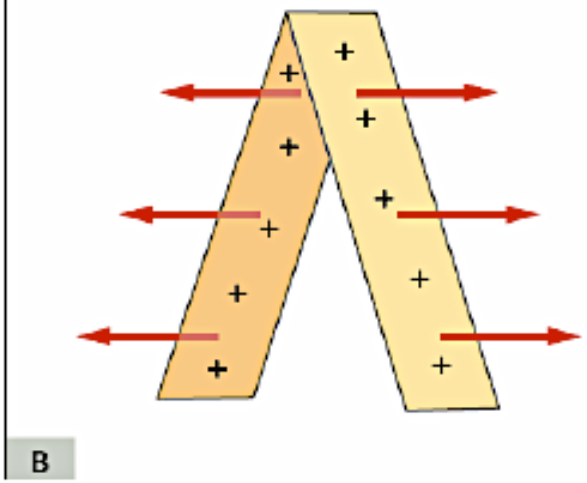
La definizione operativa della carica elettrica

- Se un oggetto neutro tocca la sfera, le foglie restano ferme.

▶ Invece, se si tocca la sferetta con un oggetto elettrizzato, parte della carica passa all'asta e, così, si distribuisce in tutto il dispositivo fino alle foglioline.



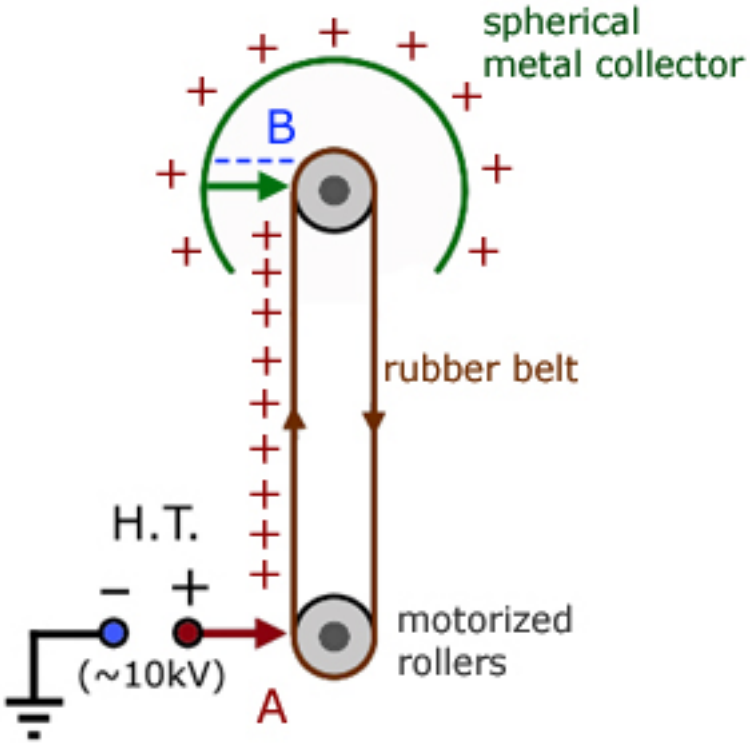
▶ Le foglioline risultano cariche dello stesso segno e si respingono. Così, la loro divaricazione attesta che l'oggetto in esame è elettricamente carico.



Grandi e potenti macchine elettrostatiche: Van deer Graaf

- Un generatore di Van de Graaff è un generatore elettrostatico
- utilizza una cintura mobile per accumulare carica elettrica su un globo metallico cavo sulla sommità di una colonna isolata
- Si creano potenziali elettrici molto elevati
- Produce elettricità a corrente continua (CC) ad altissima tensione a bassi livelli di corrente
- Fu inventato dal fisico americano Robert J. Van de Graaff nel 1929
- La differenza di potenziale raggiunta dai moderni generatori Van de Graaff può arrivare a 5 megavolt
- Una versione da tavolo può produrre nell'ordine di 100.000 volt e può immagazzinare abbastanza energia per produrre una scintilla visibile

- Si presenta come un tubo all'interno del quale scorre una cinghia che si muove grazie a due rulli
- Sulla sommità del tubo si trova una sfera metallica che è l'oggetto su cui viene accumulata la carica
- Nel dispositivo giocattolo le cariche si accumulano su un tubo di cartone
- ***Il cartone è uno scarso conduttore e le cariche migrano quindi lentamente***
- ***Questo ne garantisce la sicurezza***



- Il rullo inferiore è azionato da una batteria che alimenta un piccolo motore elettrico
- La cinghia si carica per strofinio con il rullo inferiore
- La carica viene trasportata verso il pettine superiore che si carica per induzione
- ***Il pettine è a contatto con il tubo di cartone che così acquisisce carica***

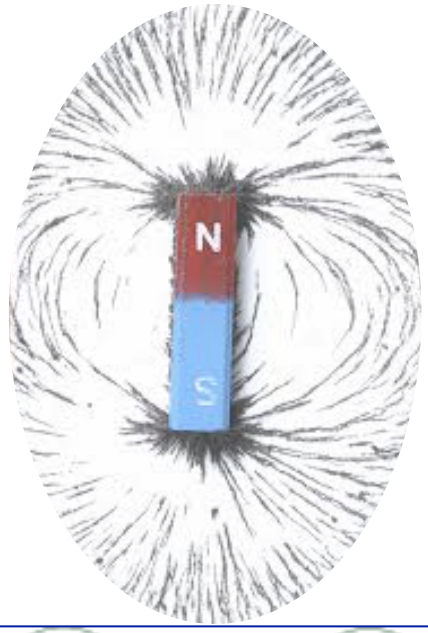
Van deer Graaf giocattolo

- Il tubo carico viene avvinato al sottile oggetto di mylar alluminato
- ***Questo si carica per induzione e ne viene attratto***
- ***Avvicinandosi ne viene a contatto e ne condivide le cariche in eccesso***

- Il mylar alluminato adesso ha la stessa carica del tubo di cartone
- ***Ne viene respinto fluttuando verso l'alto***
- ***La sagoma di mylar si espande perché, avendo la stessa carica, le varie parti si respingono***

- Se si mettono a contatto con il tubo vari oggetti di alluminio
- Una volta acceso il Van Deer Graaf, questi si caricano per contatto e ne vengono respinti

3
magnetes
Campo di forze invisibile
N
S
Elektron invincibile e sempre in movimento: si organizza in squadra

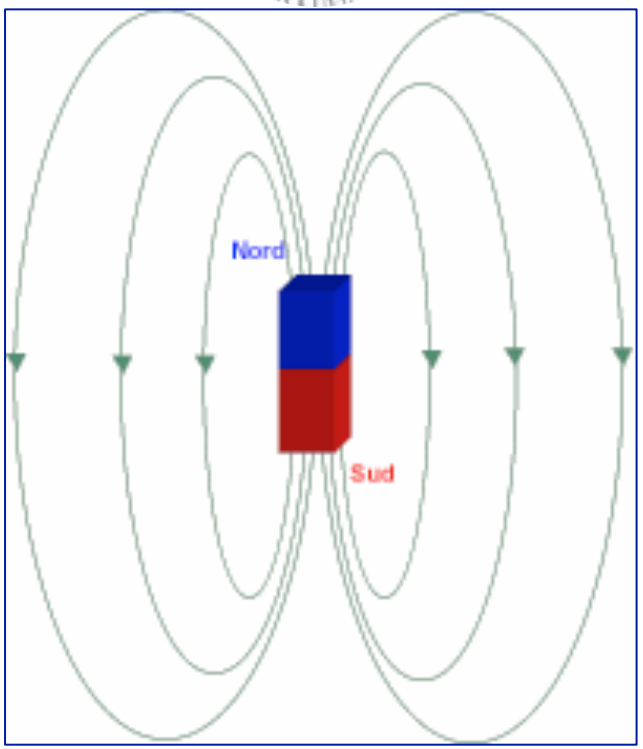


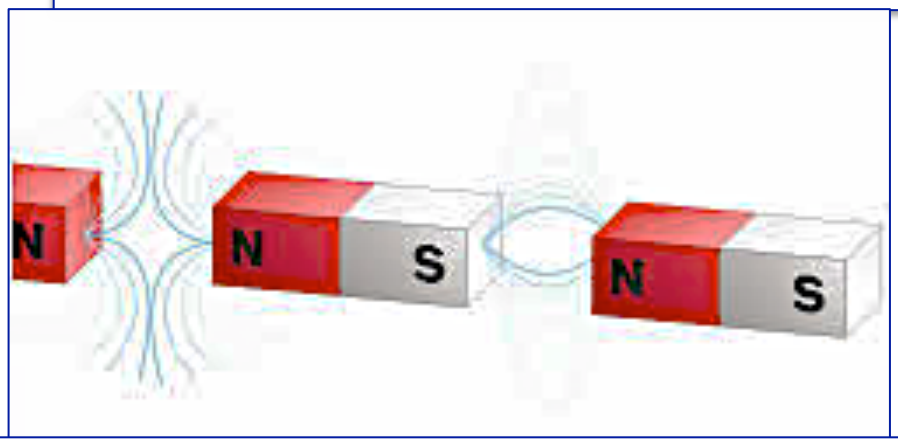
calamita

sostantivo femminile

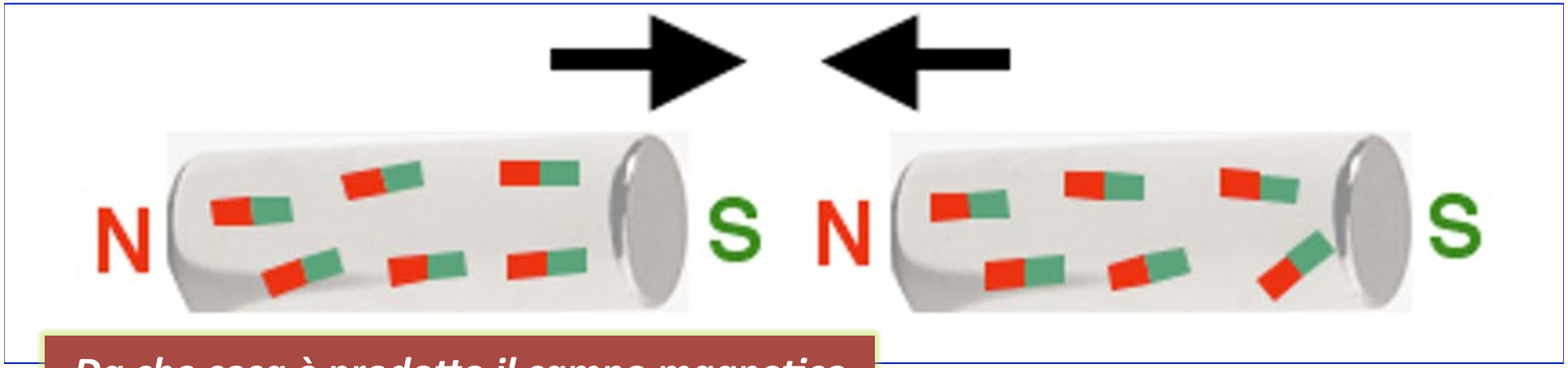
1 μαγνήτης [-ου, ό]
2 μαγνήτις [-ιδος, ή]

- Il nome magnete e magnetismo deriva dal greco calamita
- È proprio studiando il comportamento dei magneti permanenti esistenti in natura che gli antichi greci hanno iniziato lo studio del fenomeno del magnetismo



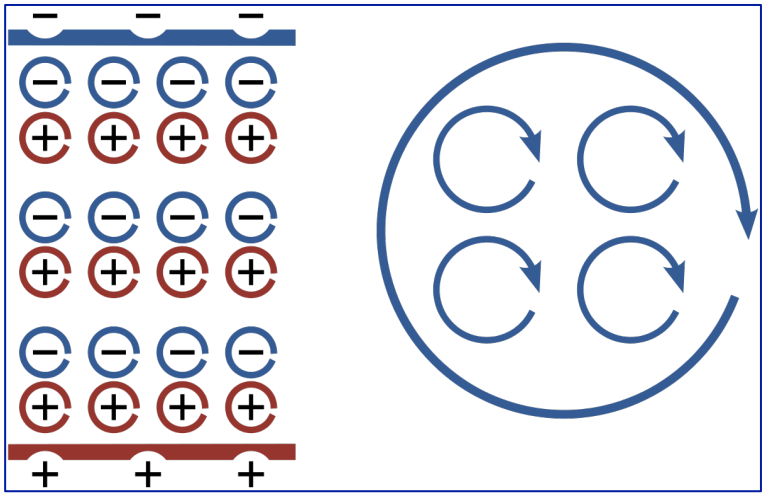


La forza magnetica agisce lungo linee di forza nell'area circostante il magnete



Da che cosa è prodotto il campo magnetico dei magneti naturali?

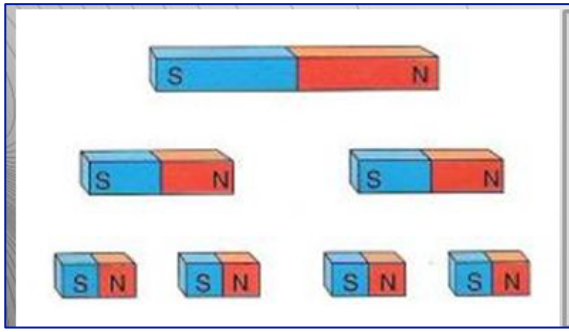
- Qualsiasi sostanza è costantemente attraversata da numerosissime correnti elettriche: quelle generate dagli elettroni nel loro inarrestabile moto di rivoluzione intorno ai nuclei atomici
- In generale però tale movimento è troppo *disordinato*, e i campi magnetici generati dai diversi atomi finiscono per compensarsi l'uno con l'altro, dando un risultato netto nullo
- Nei magneti permanenti, invece, a causa delle specifiche proprietà degli elementi che li costituiscono, il moto degli elettroni intorno al nucleo di ogni atomo è più ordinato e complessivamente può essere assimilato alla corrente prodotta da una spira
- Tali spire, interagendo le une con le altre, tendono ad allinearsi in configurazioni ben specifiche



Questo effetto si annulla all'interno del materiale ma produce un effetto di scompenso di carica alla periferia estrema del materiale

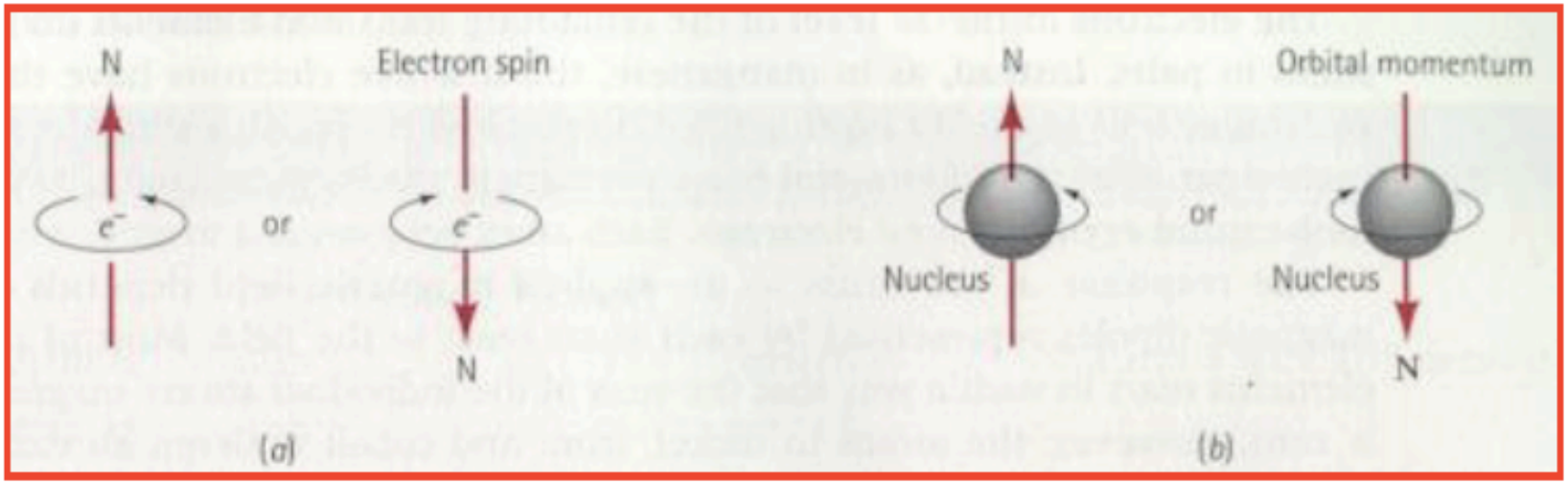
- ***Nel magnetismo non esiste niente di analogo alla carica elettrica***
- ***Anche gli antichi greci furono preda di questo inganno, infatti quando il campo magnetico fu scoperto si provò ad isolare una carica magnetica e a studiarne i fenomeni in analogia con quanto si era osservato con il campo elettrico prodotto da una carica elettrica***

Nel campo magnetico non potendo isolare una data polarità magnetica si può studiare il campo usando un ago magnetico libero di ruotare attorno al suo baricentro.



Se si spezza un magnete si riformano i due poli.

- ***Origine del magnetismo a livello atomico:*** ***i momenti magnetici connessi al movimento degli elettroni***
- ***Ogni atomo è come una minuscola calamita***



Come si comportano i materiali che non sono magneti permanenti di fronte a un campo magnetico?

diamagnetici

- Gli atomi non possiedono un momento magnetico proprio
- Un piccolo momento magnetico si "manifesta" quando essa viene immersa in un campo magnetico, diretto in opposizione al c.m.

paramagnetici

- Materiali i cui atomi e le cui molecole sono naturalmente dotati di un momento magnetico proprio
- In presenza di un campo magnetico esterno, i singoli momenti magnetici atomici tendono ad allinearsi lungo la direzione del campo applicato, rinforzandolo

ferromagnetici

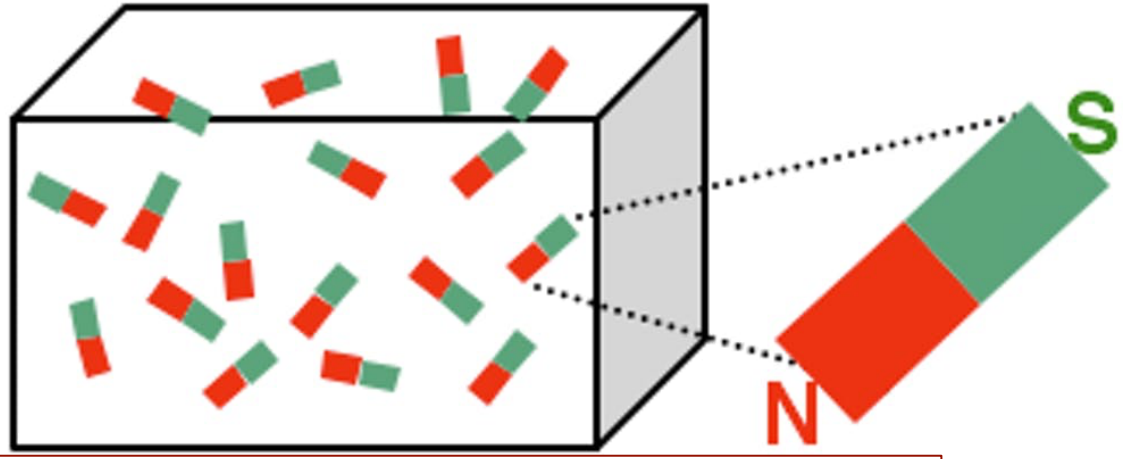
- Materiali i cui atomi e le cui molecole sono naturalmente dotati di un momento magnetico proprio
- In presenza di un campo magnetico esterno, i singoli momenti magnetici atomici reagiscono con una fortissima magnetizzazione concorde

Nota di approfondimento

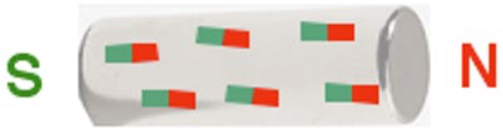
Il ferromagnetismo di Fe, Co e Ni è legato agli elettroni spaiati sul livello 3*d*: 4 per il ferro, 3 per il cobalto e 2 per il Ni.

Elettroni 3*d* spaiati	Atomi	Numero di elettroni	Configurazione elettronica orbitali 3*d*					Elettroni 4*s*
3	V	23	↑	↑	↑			2
5	Cr	24	↑	↑	↑	↑	↑	1
5	Mn	25	↑	↑	↑	↑	↑	2
4	Fe	26	↑↓	↑	↑	↑	↑	2
3	Co	27	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	2
2	Ni	28	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	2
0	Cu	29	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	1

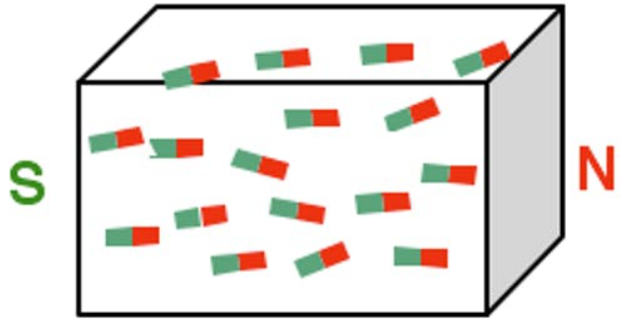
Materiali ferromagnetici



Materiale ferromagnetico lontano dalla calamita

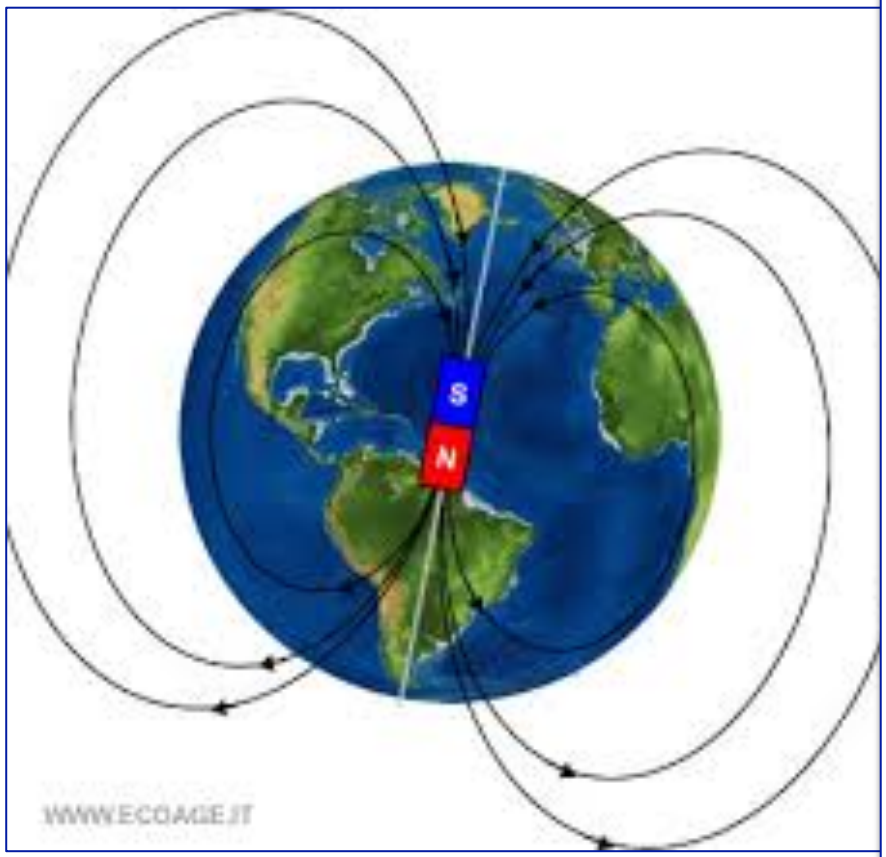


calamita



Materiale ferromagnetico vicino alla calamita

Curiosità: l'origine del campo magnetico terrestre



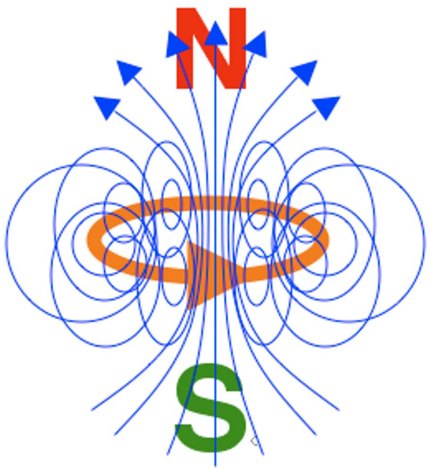
- *l'ipotesi più accreditata è che la parte fluida del nucleo terrestre si muova a causa della convezione (spostamenti di materia dovuti a differenze di temperature)*
- *oppure a causa della rotazione del pianeta*
- *ciò formerebbe un circuito elettrico profondo in corrispondenza dell'equatore*
- *che a sua volta creerebbe un campo magnetico quasi allineato con l'asse di rotazione, a somiglianza di una barra calamitata, con i poli in corrispondenza del polo nord e del polo sud magnetici.*
- *i poli magnetici si possono anche invertire, come già accaduto in passato*
- *un simile rovesciamento potrebbe essere in corso proprio adesso, perché da vari secoli si misura un progressivo indebolimento del campo magnetico principale*

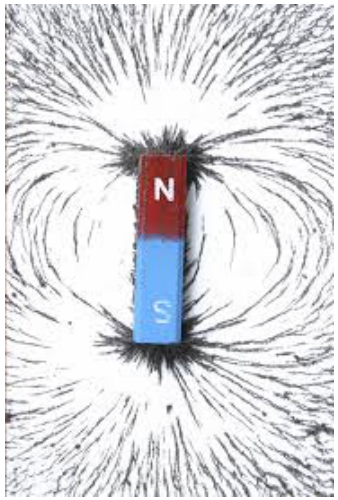
4
Elektron gran velocità
+
-
si trasforma in un campo di forze

L'induzione

Un filo percorso da corrente genera un campo magnetico

Il campo magnetico generato nello spazio dal moto di una carica elettrica appare del tutto simile a quello di una calamita





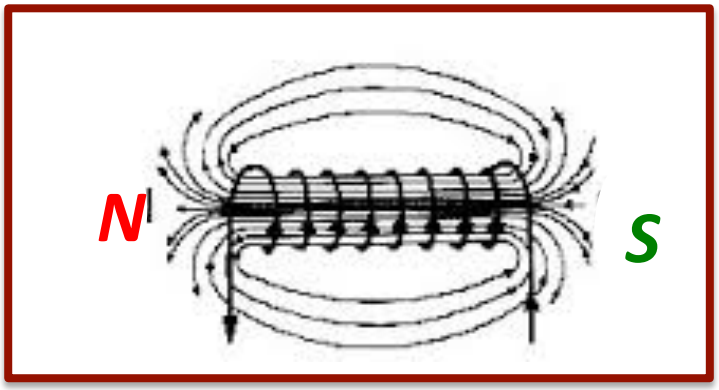
IL SOLENOIDE: un induttore

Dal greco **σωλην (solen), ovvero "tubo, condotto, canale"**, deriva la parola solenoide che è a tutti gli effetti una sorta di cilindro fatto con una bobina che a sua volta è composta da **una serie di spire circolari** poste molto vicine fra loro per formare una superficie che sembra continua, e tutte realizzate con **un unico filo di materiale, conduttore.**

- Se il solenoide è composto da N spire, la misura della sua lunghezza è L ed è percorso da una corrente elettrica di intensità I, il **modulo** di $\vec{B}$, B, è dato dalla seguente **formula**:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{L}$$

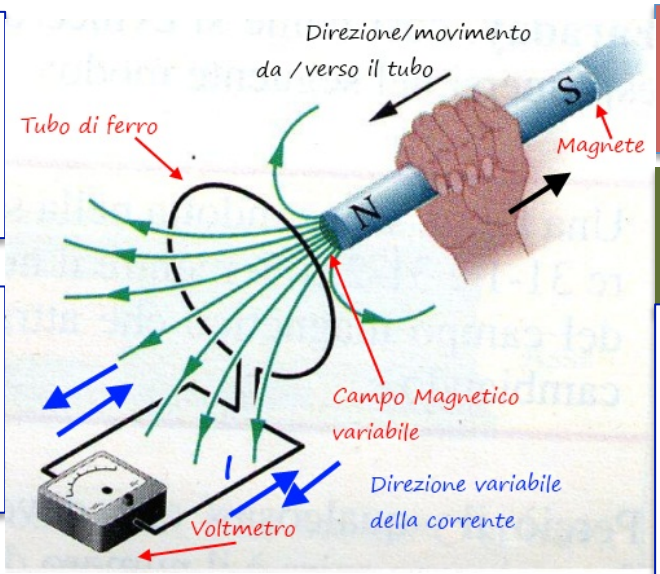
Il simbolo μ_0, letto "*mu zero*", è la cosiddetta **permeabilità magnetica del vuoto**, una costante che in unità del sistema internazionale vale $4\pi \cdot 10^{-7} = 1.25663706144 \cdots \cdot 10^{-6} \mathrm{V\ s\ A^{-1}}$



L'induzione

La variazione del flusso del campo magnetico attraverso una spira conduttrice genera una corrente **(Legge di Faraday)**

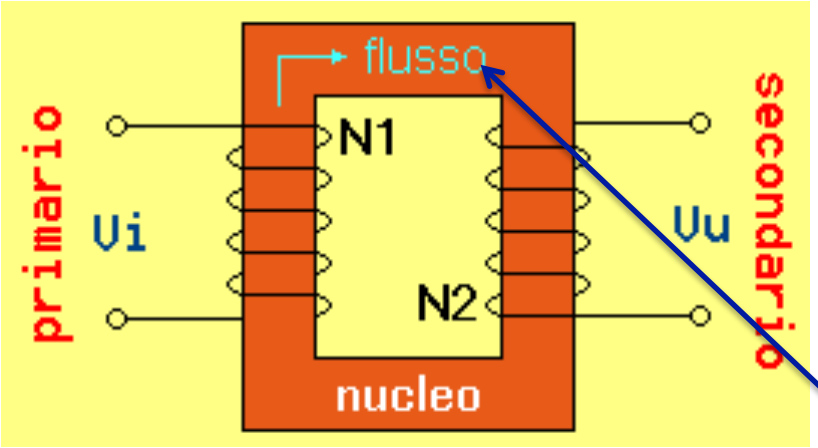
In figura, la variazione di flusso magnetico viene prodotta muovendo un magnete verso la spira



Dove usiamo un trasformatore

- ***per ricaricare le batterie di un telefono cellulare serve un valore di tensione compreso tra 3 e 9 Volt***
- ***il monitor di un computer richiede circa 15 000 V per accelerare il fascio di elettroni***

- L'induzione costituisce la base di funzionamento dei trasformatori
- Il primario è collegato a un generatore di corrente alternata che stabilisce un campo magnetico variabile nel nucleo di ferro
- Il ferro, essendo facilmente magnetizzabile, aumenta notevolmente il campo magnetico rispetto a quello esistente in un nucleo d'aria e guida le linee del campo magnetico verso il secondario
- La variazione di flusso di c.m. induce nel secondario una f.e.m.

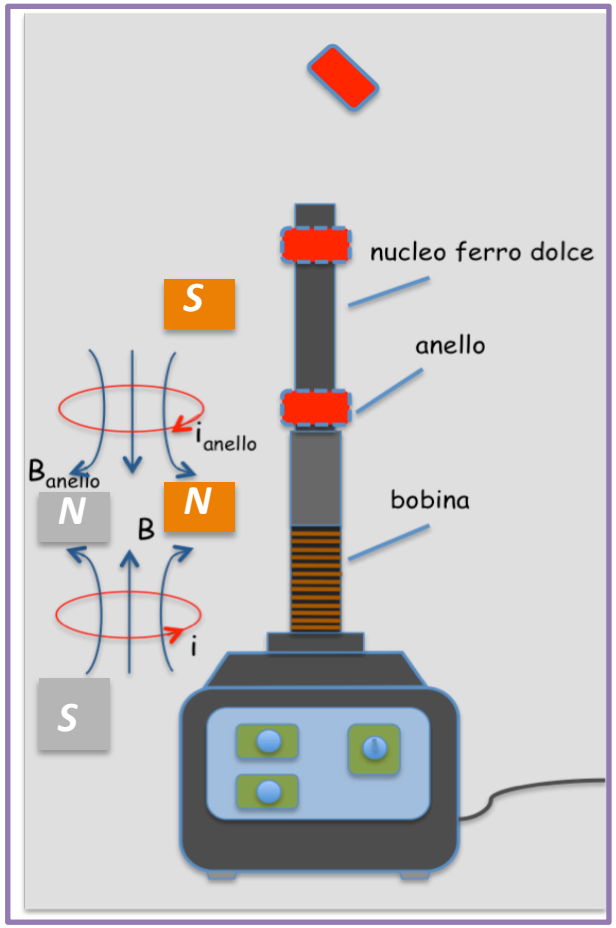


E' da tener ben presente che un trasformatore funziona con corrente alternata e non con corrente continua poiché una corrente continua nel primario produrrebbe un flusso magnetico che non varia e, perciò, nel secondario non verrebbe indotta una f.e.m.

Flusso di campo magnetico

5
Campo di forze: Spettacolo UNO
Il lancia anelli impazzito
-
+
Il potere di elektron gran velocità

E' un elettromagnete alimentato in corrente alternata con un nucleo di ferro dolce che si estende verticalmente nella bobina



- Quando un anello conduttore (alluminio, rame) è posizionato sul nucleo di ferro dolce e si fa passare corrente nella bobina, l'anello vola in aria
- Facendo passare corrente nella bobina si genera una variazione di flusso magnetico nell'anello che induce una corrente (Legge di Faraday)
- Il verso della corrente indotta è tale da opporsi alla variazione di flusso (Legge di Lenz): si genera un campo magnetico il cui verso è opposto a quello generato dalla bobina
- La repulsione magnetica fa volare l'anello

- Un anello aperto rimane fermo alla base della bobina perché non essendo attraversato da corrente non si induce alcun campo magnetico
- Una bobina in rame collegata ad una lampadina viene posizionata sul nucleo di ferro, la corrente indotta accende la lampadina

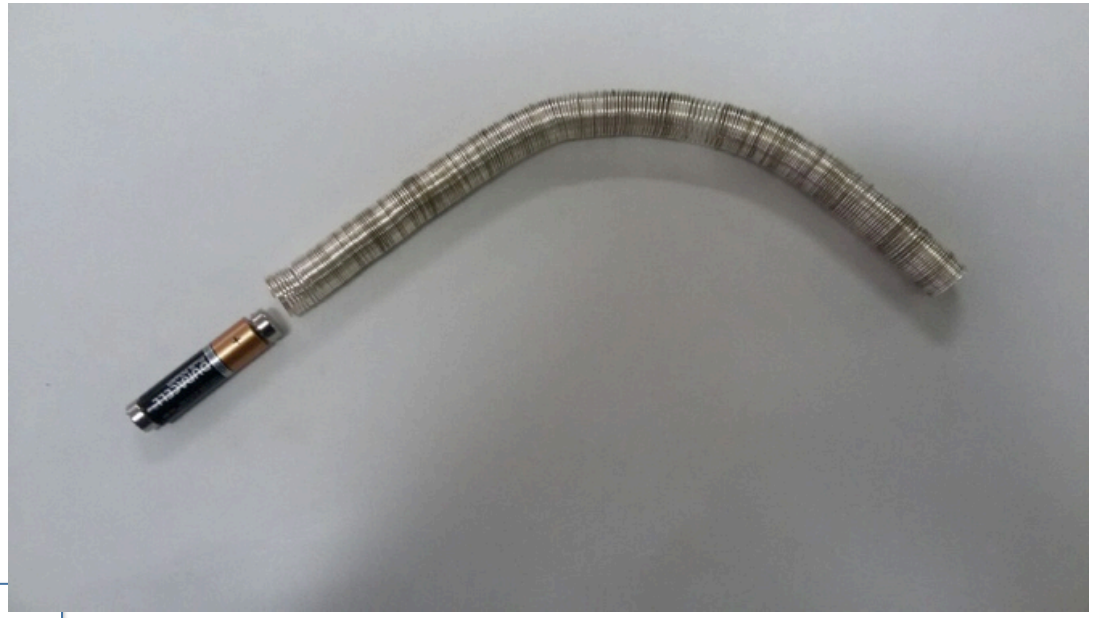
6

Campo di forze: Spettacolo DUE

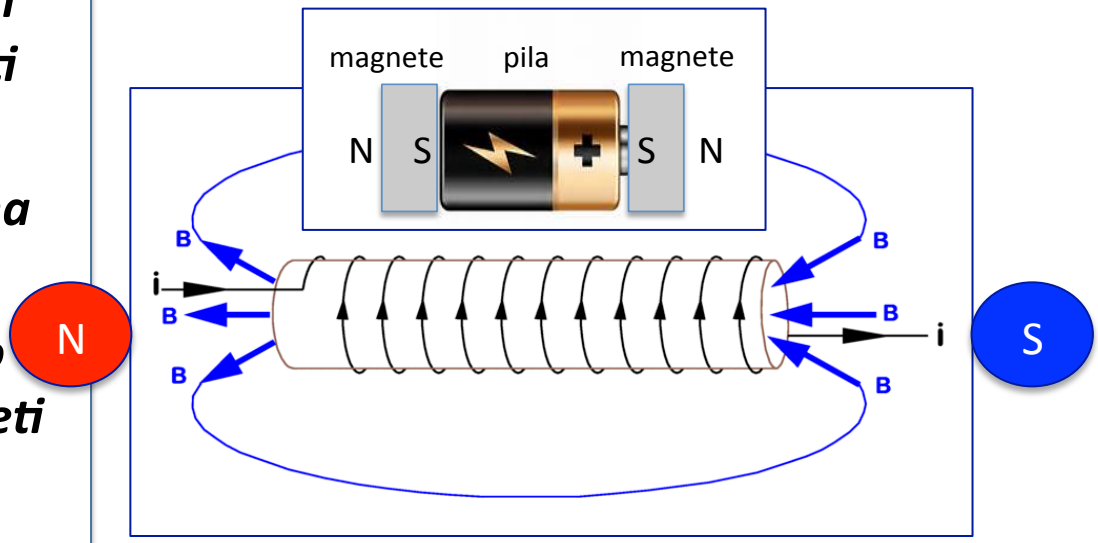
Super-pila e super-treno

TRENO A PROPULSIONE MAGNETICA

- Un filo conduttore è avvolto a formare delle spire (solenoide)
- Due magneti vengono posti ai capi di una pila elettrica in modo tale che i due poli esterni siano uguali (Sud-Sud oppure Nord-Nord)



- ***I morsetti della batteria sono in contatto elettrico con i magneti***
- ***Quando i magneti e la pila si trovano dentro al solenoide una corrente passa nelle spire***
- ***Si genera un campo magnetico che attrae (o respinge) i magneti provocando l'avanzamento dentro il solenoide***



Campo di forze: Spettacolo TRE

7

Uno strano pendolo

I freni magnetici

Come si potrebbe usare questo potere?

Pendolo di WALTENHOFEN: Smorzamento magnetico

- Posizionare la paletta di alluminio e lasciarla oscillare liberamente.
- Posizionare il magnete in modo che la paletta possa passare tra i poli del magnete
- ***Si osserva che le oscillazioni si smorzano rapidamente e con forza***

Si noti che l'alluminio non è una sostanza ferromagnetica e quindi non è attratto dai magneti

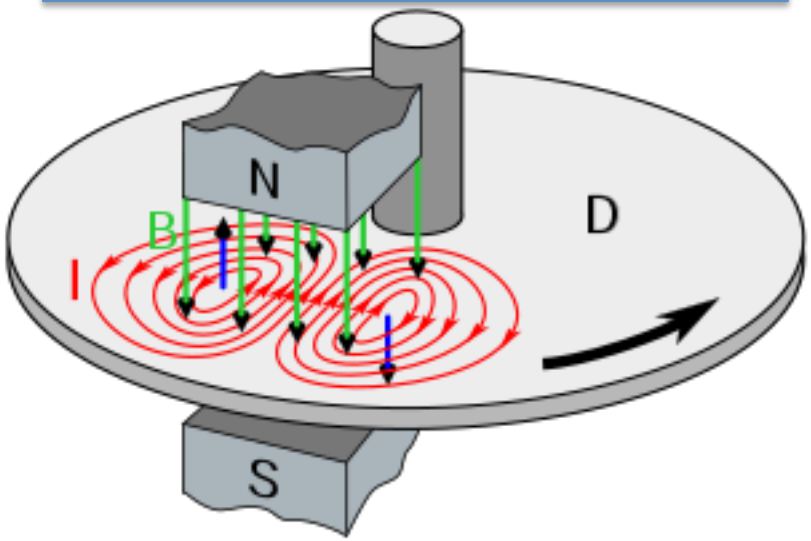
- Ciò è dovuto alle correnti di vortice indotte sulla paletta (***correnti di Focault***)
- Queste correnti creano un campo magnetico che si oppone alla variazione di flusso che le ha generate (***Legge di Lenz***) inducendo una forza di smorzamento
- ***L'effetto è più evidente aumentando il movimento relativo fra il magnete e la paletta***

- Cambiando il tipo di paletta, le correnti di vortice indotte sono inferiori
- Si osserva uno smorzamento più lieve
- L'effetto è quasi nullo quando si utilizza il pettine ***dove il circuito di corrente non si chiude sull'intera superficie***

IL KINGDA KA, LE MONTAGNE RUSSE PIÙ ALTE DEL MONDO

Le montagne russe note con il nome di Kingda Ka sono le più alte del mondo. Situate nel parco di divertimenti Six Flags Great Adventure a Jackson, nello Stato americano del New Jersey, sono state costruite dalla Intamin AG ed inaugurate nel 2005; la velocità di punta è pari a 206 km/h e la torre principale è alta 139 m. Il movimento dei convogli è attuato mediante un motore idraulico.

I convogli sono dotati di freni magnetici



Campo di forze: Spettacolo QUATTRO

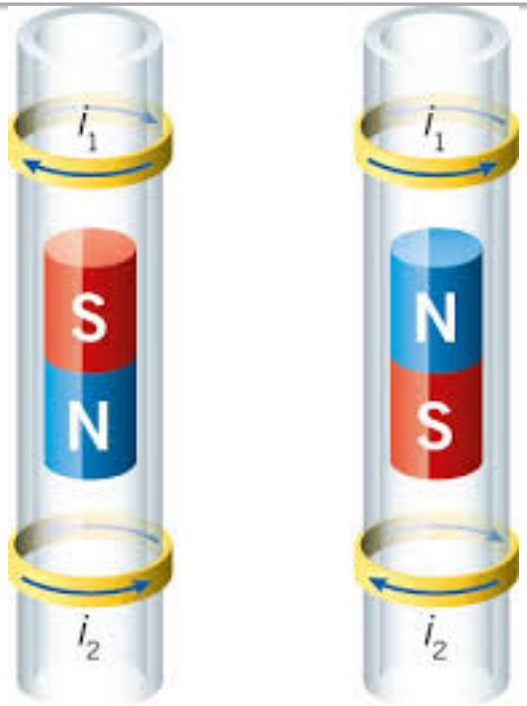
Il tubo magico

8

Folletti dispettosi dentro al tubo?

- Un cilindro non magnetizzato viene lasciato cadere dentro il tubo di alluminio e arriva a terra in pochissimo tempo (≈1sec)
- Successivamente un magnete di massa uguale viene lasciato cadere nel tubo di alluminio e impiega un tempo molto maggiore del primo per arrivare a terra (≈10 volte più grande)

Tubo di Lenz



- Il magnete mentre cade produce una corrente indotta nel tubo di alluminio, il cui verso è tale da generare un campo magnetico che si oppone alla variazione del campo magnetico originario (***Legge di Lenz***)
- ***In tal modo, il campo magnetico indotto rallenta la caduta del magnete***

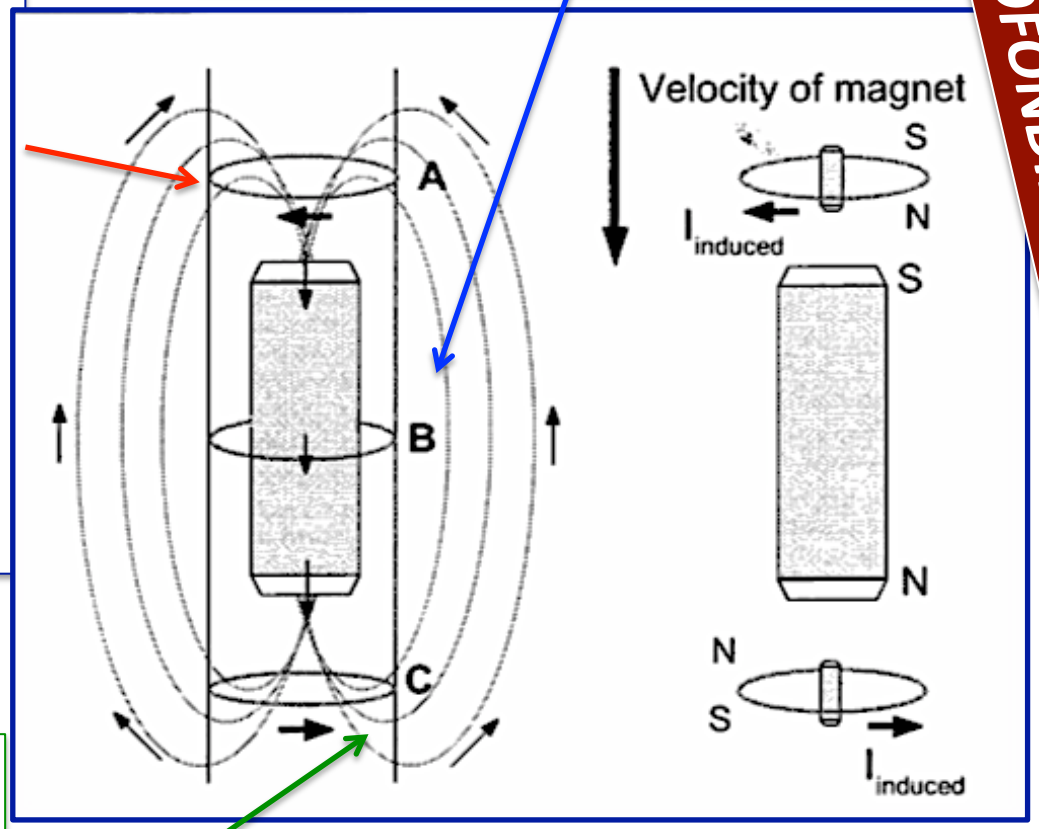
APPROFONDIMENTO

- Mentre il magnete cade, il flusso del campo magnetico diminuisce attraverso la sez.A
- Si genera nel tubo di alluminio una corrente indotta che circola in senso orario
- ***Questa a sua volta genera un campo magnetico diretto verso il basso***
- ***Per capire l'effetto di questo campo magnetico sulla caduta del magnete si può immaginare che sia stato prodotto da un piccolo magnete con il polo Nord orientato verso il basso***
- In tal modo il polo Nord del magnete indotto, vicino al polo Sud del magnete che cade, esercita una forza attrattiva e rallenta la caduta del magnete.

Sez. A

Sez. B

- Nella sez.B il campo magnetico resta quasi costante e non si genera un campo magnetico indotto



Sez. C

- Nella sez. C il flusso del campo magnetico aumenta durante la caduta del magnete. La corrente indotta circola in senso antiorario e ***genera un campo magnetico diretto verso l'alto***
- ***Tale campo si può immaginare prodotto da un piccolo magnete con il polo Nord orientato verso l'alto***, che tende così a respingere il polo Nord del magnete che cade, rallentando la sua caduta.

9
Campo di forze:
Spettacolo CINQUE
la potenza
della grafite

Materiali diamagnetici.

- Molti materiali comuni come acqua, legno, piante, animali, diamanti, dita, ecc. Sono generalmente considerati non magnetici, ma in realtà sono debolmente diamagnetici.
- ***I dia-magneti si respingono e vengono respinti da un forte campo magnetico.***
- ***Gli elettroni in un materiale diamagnetico riorganizzano le loro orbite creando piccole correnti persistenti che si oppongono al campo magnetico esterno.***
- Due dei materiali diamagnetici più resistenti sono la ***grafite e il bismuto.***
- Le forze create dal diamagnetismo sono estremamente deboli, milioni di volte più piccole delle forze tra i magneti e materiali ferromagnetici comuni come il ferro.
- Tuttavia, in certe situazioni attentamente organizzate, l'influenza dei materiali diamagnetici può produrre effetti sorprendenti come la ***levitazione***.

Treni a levitazione magnetica

La repulsione e l'attrazione magnetica vengono utilizzate anche come mezzo di locomozione. Dato che il convoglio non tocca le rotaie, l'unica forza che si oppone al suo moto è l'attrito dell'aria. Il MagLev è quindi in grado di viaggiare a velocità elevatissime (oltre i 600 km/h[1]) con un consumo di energia limitato e un livello di rumore accettabile. Sebbene

Maglev Transrapid di Shanghai

Treno Maglev in Germania

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

A cura della Divisione Fisica della Fusione del Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare
ENEA C.R. Frascati
Marzo 2019
Per info lori.gabellieri@enea.it