

MODULO 7

LE CARICHE ELETTROSTATICHE

OBIETTIVO:

Conoscere i fenomeni generati dalle cariche elettriche. Definirne gli aspetti qualitativi. Realizzare alcuni apparecchi da laboratorio.

TARGET:

Scuola media e media superiore (eventualmente per alcuni laboratori anche scuola elementare in modo esclusivamente osservativo)

I Laboratori n. 6 e n.8 sono consigliati solo per insegnanti di fisica.

TEORIA:

Circa nel **600** a.C., i filosofi greci **Talete di Mileto** e **Teofrasto** parlavano di un misterioso fenomeno che si verificava tramite un minerale chiamato ambra gialla. Strofinando quest'ultimo con della seta oppure con della lana e ponendolo in vicinanza di piccoli corpi come pagliuzze, pezzi di stoffa, piume ecc., questo minerale attirava a sé questi materiali come se fosse dotato di una misteriosa forza invisibile.

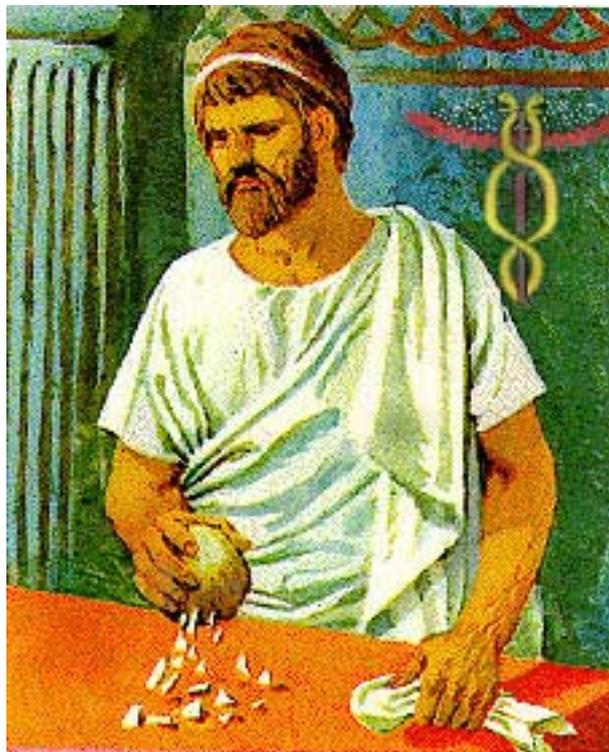


Fig. 1.7
Filosofo greco **TALETE di MILETO**
(643 – 548 a.C.)

La parola greca “**Elektron**” significava Ambra e quindi questi fenomeni a mano a mano che il tempo passava, furono chiamati “Fenomeni Elettrici”. Il primo studio scientifico dell’elettricità si ottenne nel **1600** a opera del fisico britannico **WILLIAM GILBERT** che distinse i fenomeni elettrici da quelli magnetici. Successivamente nel **1672** il fisico tedesco **OTTO VON GUERICKE** realizzò la prima macchina elettrica. Questa era costituita da una sfera di zolfo messa in rotazione che si elettrizzava poggiando su di essa una mano. Il fisico francese **CHARLES FRANCOIS de CISTERNAY du FAY** fu il primo a riconoscere l’esistenza di due tipi diversi di elettricità. Queste due elettricità furono inizialmente chiamate elettricità **resinosa** e **vetrosa**. Questo curioso modo di definire l’elettricità potrà essere facilmente compreso più avanti tramite la lettura dei laboratori, in ogni caso, l’elettricità resinosa era definita come il fenomeno legato allo strofinio o l’elettrizzazione di materiali resinosi (plastiche), mentre l’elettricità vetrosa era definita come il fenomeno legato all’elettrizzazione dei materiali vetrosi. Oggi sappiamo che l’elettricità resinosa è prodotta da cariche negative e l’elettricità vetrosa da cariche positive.

Tutte le cose che ci circondano, l’aria, gli oggetti, il nostro corpo, il mare ecc. sono costituiti da cariche elettriche. Queste ultime sono contenute a loro volta all’interno degli atomi, che sono la parte più infinitesima della materia. La materia quindi, è costituita da atomi e gli atomi sono fatti di cariche elettriche. Ci sono solo due tipi di cariche elettriche: esse sono le cariche elettriche **positive**, contrassegnate con il simbolo **(+)** e le cariche elettriche **negative**, contrassegnate con il simbolo **(-)**. In condizioni normali, tutte queste cariche sono presenti all’interno della materia in proporzioni identiche. È per questa ragione che la materia è complessivamente **neutra**. Le cariche positive quindi, compensano esattamente con il loro numero quelle negative. I problemi cominciano ad accadere quando questo equilibrio viene influenzato. Il termine “problemi” è certamente non idoneo a presentare la situazione se consideriamo che, se noi siamo qui sulla Terra, è perché siamo governati da leggi biochimiche, chimiche e fisiche, che dipendono proprio dall’incessante verificarsi di squilibri elettrici e dal tentativo della materia di ripristinare la normalità. L’uso di tale termine è stato adoperato solo per fomentare un certo grado di riflessione da parte del lettore.

I **fenomeni elettrici** comunque, si verificano proprio per questi squilibri. Se tramite un determinato artificio, riusciamo a modificare le reciproche quantità di cariche elettriche in un corpo, ne otteniamo la **ionizzazione** o meglio, come si dice, la sua **elettrizzazione**. Ovviamente un corpo può essere elettrizzato positivamente, se operiamo in modo da aumentare le cariche positive, viceversa il corpo è elettrizzato negativamente se sono le cariche negative ad essere in numero più elevato rispetto a quelle positive.

Modificare il numero delle cariche positive è molto difficile poiché esse sono rinchiusate all’interno degli atomi che le ospitano. Le cariche negative (**elettroni**) sono invece raggiungibili in modo più semplice, poiché esse sono collocate alla periferia degli atomi e, nel contempo, risultano essere più leggere. Di conseguenza, **elettrizzare un corpo è una operazione che modifica quasi sempre solo il numero delle cariche elettriche negative presenti nel corpo.**

Se sottraiamo cariche negative il corpo si elettrizza **positivamente**.

Se aggiungiamo cariche negative il corpo si elettrizza **negativamente**

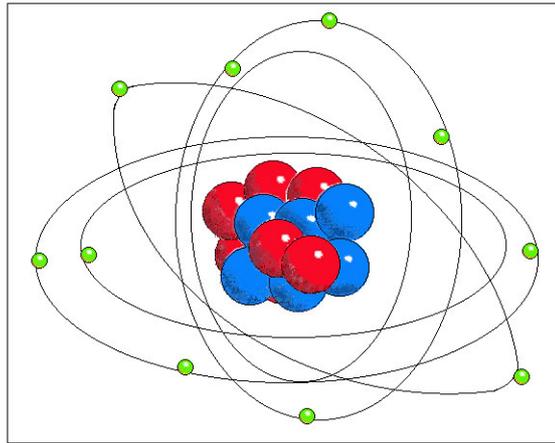


Fig. 2.7 - Modello classico di un atomo -

La figura 2.7 illustra, come esempio, un atomo e le particelle cariche di elettricità di cui è composto. I **protoni** (di colore rosso) sono le particelle dotate di carica elettrica positiva. Gli **elettroni** (di colore verde) sono le particelle dotate di carica elettrica negativa. Questi ultimi, sono più piccoli e corrono su orbite collocate alla periferia degli atomi. Come abbiamo già detto, sono appunto gli elettroni che modificano lo stato elettrico dell'atomo in base al numero di quelli presenti rispetto alla carica positiva atomica. I **neutroni** (di colore blu) sono particelle neutre presenti all'interno del nucleo atomico e la loro presenza non influenza lo stato elettrico dell'atomo. Le ragioni della loro presenza nell'atomo sono da ricercarsi in argomentazioni che esulano dalla nostra trattazione semplificata della materia in questo modulo.

I corpi possono essere elettrizzati in tanti modi: per induzione, per strofinio, per pressione, con il calore, con la luce ecc. Un corpo elettrizzato è in grado di generare nel suo intorno un campo elettrico, cioè si comporta similmente ad una calamita nei confronti di altri corpi magnetizzati, e quindi, in maniera analoga attira verso di se altri corpi elettrizzati. Attenzione è opportuno precisare che il campo magnetico è tutta un'altra cosa, abbiamo nominato il caso del campo magnetico per ricordare le esperienze con la calamita che sono abbastanza simili. Un corpo elettrizzato attira solo altri corpi elettrizzati, viceversa un magnete (come vedremo nel modulo "L'elettromagnetismo"), attira solo corpi ferromagnetici.

Un corpo ben elettrizzato se avvicinato opportunamente ad un altro corpo può produrre l'elettrizzazione da parte di quest'ultimo. Questo fenomeno è chiamato **induzione elettrostatica**. Ecco perché il corpo elettrizzato può attirare verso di se piccole pagliuzze o pezzetti di carta (a patto che questi ultimi siano molto leggeri), questi corpi elettrizzandosi a loro volta risultano attratti dai corpi elettrizzatori. Molti di voi ricordano il classico esperimento della penna strofinata sopra la manica di una giacca di lana e i risultati ottenuti da questo fenomeno, forse proprio sul banco di scuola, con i pezzetti di carta ricavati da vecchi fogli di quaderno.

Prima di entrare nel vivo dei nostri laboratori, ricchi di esperienze pratiche che mostrano i diversi fenomeni relativi alla produzione di cariche elettriche, vorrei ricordare all'insegnante che si appresta a riprodurre i laboratori di elettrostatica, che queste prove sono molto sensibili all'umidità ambientale. La

buona riuscita quindi, di tutti gli esperimenti riportati in questa sessione, dipende fortemente dalle condizioni del clima. Spesso, nella mia attività professionale di formatore, per quanto è stato possibile, ho cercato sempre di organizzare le esperienze di elettrostatica nel periodo invernale in modo da aumentare le probabilità di riuscita sperimentali facendo affidamento sulla bassa umidità stagionale.

LABORATORI

1° Laboratorio Costruiamo un Elettroscopio

TARGET:

Scuola primaria

Materiale occorrente:

Bottiglia di vetro (vedi testo), filo di ferro o tondino filettato, fogli di alluminio (tipo domestico), sfera di metallo oppure elettrodo arrotondato, asta di plastica, asta di vetro, pelle di coniglio o di gatto.

Lo strumento utilizzato per misurare la quantità di carica elettrica presente su un corpo è l'**elettroscopio**. Nella sua forma più semplice è costituito da due sottilissime foglie d'oro, sospese su di un supporto metallico posto all'interno di un recipiente di vetro o di altro materiale non conduttore come una bottiglia. Normalmente è presente anche un pomello metallico situato all'esterno della bottiglia e connesso al supporto metallico portante. Il pomello raccoglie le cariche elettriche e le distribuisce fino alle foglioline d'oro.

Avvicinando un corpo elettrizzato, cioè carico di elettricità, al pomello dell'elettroscopio, si induce una certa distribuzione di cariche elettriche, che si propagano lungo il supporto metallico (quindi conduttore), per arrivare fino alle foglioline d'oro. Se il corpo induttore viene solo avvicinato all'elettroscopio, il pomello esterno metallico acquista una carica opposta a quella del corpo induttore. Sulle foglioline d'oro invece, si distribuirà una carica elettrica dotata dello stesso segno della carica posseduta dal corpo induttore. Queste foglioline, per effetto delle forze elettrostatiche, si respingono e dalla loro divergenza angolare è possibile risalire approssimativamente alla quantità di carica elettrica presente sul corpo induttore. Questo modo di ottenere una risposta dall'elettroscopio si chiama "**rilevazione di campo per induzione elettrica**". Certamente è possibile anche collegare elettricamente il corpo induttore sul pomello esterno, effettuando un vero e proprio contatto elettrico. In questo caso, la carica elettrica depositata sul corpo elettrizzato si trasferirà sul pomello dell'elettroscopio ed infine raggiungerà le foglioline attraversando il supporto conduttore. È evidente che quest'ultimo caso richiede che il corpo elettrizzato sia di materiale conduttore, altrimenti solo una piccola parte della carica elettrica localizzata sul corpo elettrizzato si potrà trasferire sul pomello esterno dell'elettroscopio. La carica elettrica trasferita in questo caso, sarà unicamente quella presente sulla parte del corpo elettrizzato a diretto contatto con il pomello.

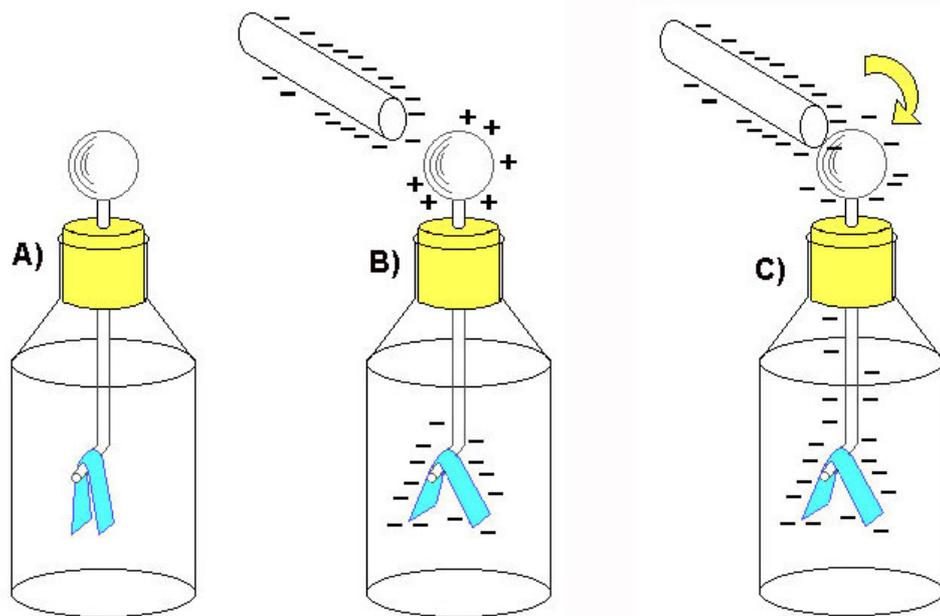


Fig. 3.7 - Due modi per elettrizzare un elettroscopio -

Vi consiglio di mostrare correttamente tutti e due gli effetti della rilevazione elettrometrica. La figura 3.7 illustra tutte le condizioni di cui abbiamo appena parlato. All'estrema sinistra, figura "A" si vede un elettroscopio a riposo, cioè non elettrizzato. Il caso centrale, figura "B", mostra un elettroscopio che rileva il campo di induzione prodotto dal corpo elettrizzato. Infatti, in questo caso il corpo elettrizzatore si avvicina senza toccare il pomello dell'elettroscopio. All'estrema destra della stessa figura, caso "C", è infine rappresentato un esempio di elettroscopio che misura direttamente una parte della carica elettrica posseduta dal corpo induttore. Infatti, in questo caso, il corpo elettrizzato o induttore è posto a diretto contatto con il pomello dell'elettroscopio.

Per costruirci un elettroscopio possiamo adoperare una bottiglia simile a quella usata per contenere i succhi di frutta. Sarà necessario scegliere una bottiglia molto trasparente e della grandezza giusta. Inoltre è necessario pulirla accuratamente e soprattutto assicurarsi che sia perfettamente asciutta. Il tappo di chiusura, opportunamente forato, può essere di sughero oppure di gomma. Per ragioni legate alla distribuzione delle cariche elettriche lungo la superficie dei corpi conduttori è importante che il pomello superiore sia di forma sferica, oppure sia dotato di una forma molto arrotondata e sprovvisto di profili acuminati. L'uso di foglietti di oro puro, considerati ottimali per la realizzazione di un buon strumento implica una certa spesa e un certo impegno, tuttavia, qualora ciò non fosse facilmente ottenibile, si può comunque realizzare un ottimo elettroscopio adoperando delle foglioline di alluminio molto sottili, ricavate da quei rotoli commercializzati per impieghi domestici, che ci garantiranno comunque dei risultati sufficienti.

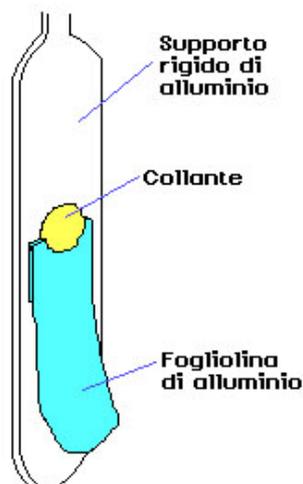


Fig. 4.7

L'importante è realizzare dei foglietti di alluminio molto leggeri e montarli in modo che possano facilmente divergere. Nella realizzazione dello strumento, la preparazione delle foglioline di alluminio, deve costituire per voi il momento di cura maggiore, essendo quest'ultime, la parte più importante dell'elettroscopio. La figura n. 4.7, mostra un esempio di supporto per elettroscopio rigido, munito di foglio in alluminio arrotondato e attaccato con un collante adesivo sull'elettrodo.

Questo tipo di soluzione è quella che ho adottato per la realizzazione del mio elettroscopio da laboratorio. Ho avuto, inoltre, molta fortuna, poiché sono riuscito a procurarmi una sfera d'acciaio, munita a sua volta di un foro filettato che mi ha permesso di montare facilmente la sfera d'acciaio sopra un tondino anch'esso filettato. In questo modo, la sfera metallica è diventata il pomello esterno dell'elettroscopio. Il supporto metallico con la relativa fogliolina di alluminio è stato infine collegato al tondino filettato. Quest'ultimo, come ho già detto, è stato avvitato nel pomello dopo essere passato all'interno di un tappo di gomma. Per raggiungere una fattezze quasi professionale, prima di montare la sfera d'acciaio mi sono preoccupato di effettuare una doratura elettrolitica ottenendo oltre ad un'evidente qualità estetica, anche una affidabilità nel tempo dello strumento.

La foto successiva, mostra proprio l'elettroscopio realizzato seguendo le indicazioni che vi ho fornito fino ad ora. Per quanto riguarda il tipo di alluminio che ho adoperato, vi dico che sono riuscito a trovare in commercio dei fogli con spessore molto sottile (0,03 mm) che mi hanno permesso di ottenere risultati soddisfacenti.



Sempre a proposito di elettroscopi, può riuscire molto comoda e veloce anche la seguente realizzazione pratica. Questo progetto utilizza unicamente una lamiera di alluminio con spessore sufficiente ad ottenere una struttura rigida. Occorre inoltre uno spillo di acciaio e del foglio di alluminio molto sottile. Non è il caso di spendere ulteriori parole, poiché la figura 5.1.7 mostra esattamente la lavorazione che deve essere effettuata. Da essa si comprende come va tagliato e piegato un rettangolo di alluminio da 10 –15 cm di lunghezza, e 3 o 4 cm di larghezza. La dimensione precisa, potete trovarla voi in base alle vostre esigenze. Il rettangolino di alluminio leggero sarà piegato come mostra la foto e poggato sullo spillo. Appena un corpo carico di elettricità statica sarà posto in contatto col dispositivo, il rettangolino di alluminio si solleverà, rendendo evidente la presenza di carica elettrica sul corpo induttore.

Fig. 5.7 - Un elettroscopio a foglioline -

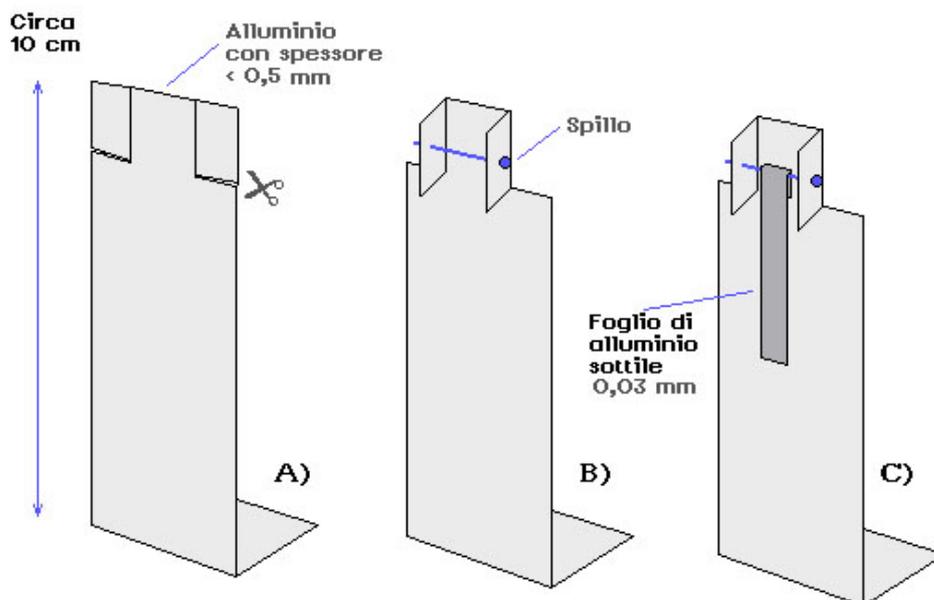


Fig. 5.1.7 - Semplice tipo di elettroscopio tutto in alluminio -

Per effettuare interessanti esperienze con l'elettroscopio, occorre avere a disposizione anche altro materiale. È indispensabile provvedere ad approvvigionarsi subito di una pelle di coniglio o di gatto, importantissimi tessuti, necessari per elettrizzare i corpi isolanti. Probabilmente la pelle di coniglio è possibile procurarsela sulle bancarelle dei mercati rionali di abbigliamento usato, oppure rivolgendosi ad un amico pellicciaio. Questa pelle è dotata di forti proprietà elettrizzanti, infatti, basta strofinare una penna in plastica, oppure un listello di ceralacca, per ottenere immediatamente un trasferimento di carica elettrica negativa tra la pelle e il materiale resinoso utilizzato. Se invece disponiamo di una bacchetta di vetro, che potremo facilmente ottenere rivolgendosi ad un amico che lavora presso un laboratorio chimico, oppure comprandola presso negozi di bricolage, abbiamo un'evidente elettrizzazione positiva allorché la strofiniamo con il pellame. Anche con un panno di lana è possibile elettrizzare dei materiali isolanti facilmente elettrizzabili come la plastica o il vetro. È ovvio che l'elettroscopio a foglioline non è in grado di rilevare se il corpo induttore di elettricità è dotato di carica positiva o negativa, poiché le foglioline divergono allo stesso modo per tutte due le condizioni. Comunque se proviamo ad avvicinare ad un elettroscopio, un listello di vetro o di plastica precedentemente elettrizzato tramite un panno di lana o tramite una pelle di coniglio, vedremo le foglioline di quest'ultimo divergere con molta evidenza.

Nell'appendice di modulo, potete trovare una tabella dal titolo "**Serie triboelettrica dei materiali**". Questa tabella è molto importante, poiché stabilisce l'ordine esatto dei vari materiali che subiscono un certo tipo di elettrizzazione. Ci sono materiali, che se strofinati presentano carica negativa ed altri materiali che invece presentano una carica positiva. Per prevedere quello che succede durante lo strofinio, la tabella è fatta in questo modo: se strofinate per esempio, un palloncino di polietilene con un panno di seta, la seta si caricherà positivamente rispetto al palloncino, che assumerà quindi a sua volta una carica fortemente negativa. Se invece strofinate la seta con il vetro o un altro materiale posto sopra nell'ordine progressivo, la seta assumerà

una carica negativa e il vetro o quel determinato materiale assumerà una carica positiva. Questa condizione dipende dal fatto che, in base alla costituzione molecolare delle varie sostanze, gli elettroni saranno portati a trasferirsi per strofinio verso un materiale oppure verso l'altro a secondo del tipo di materiale isolante che utilizzeremo. In pratica, la tabella della serie triboelettrica delle sostanze, mostra un elenco ordinato per attitudine dei materiali a perdere elettroni. Ovviamente la tabella è solo indicativa, poiché durante l'elettrizzazione per strofinio partecipano parametri legati alla superficie dei materiali adoperati e quindi le reazioni elettrocinetiche sono difficilmente standardizzabili.

NOTE:

Presso negozi di articoli d'arte molto forniti che vendono colori pennelli e altri accessori, è possibile reperire a costi contenuti, fogli d'oro puro e d'argento di spessore estremamente sottile. Questi fogli anche se sono dotati di estrema fragilità sono molto indicati per realizzare foglioline per elettroscopi fatti in casa.

2° Laboratorio

Preparare un pendolino e Conoscere i materiali elettrizzabili

TARGET:

Scuola primaria

Materiale occorrente:

Asta di plastica, asta di vetro, pelle di coniglio o di gatto, polvere di zolfo, polvere di minio, pallina di polistirolo o di sambuco, pendolino, polvere di licopodio.

Cominciamo a realizzare subito un semplice pendolino. Basta appendere una pallina leggera in polistirolo di 5 o 6 mm di diametro ad un filo di cotone anch'esso leggero. Non credo che vi occorranò spiegazioni o consigli su come realizzare il telaio del vostro pendolino, poiché ognuno potrà usare quello che trova disponibile. Mi preoccuperò invece di darvi qualche consiglio sulle cose che ritengo più utili per il successo dell'esperienza. La pallina di polistirolo, per esempio, deve avere una dimensione relativa al genere di esperienze che volete effettuare. Una volta per esempio, ho realizzato un pendolino utilizzando una pallina di polistirolo di circa 10 cm di diametro. In questo caso ho adoperato delle macchine elettriche per elettrizzarla e non panni di lana e verghe di vetro o di plastica. Quindi, nella scelta della dimensione della pallina dovete basarvi sulla possibilità che avete di elettrizzarla seguendo questa apparentemente rozza ma semplice regola: più grande sarà la pallina, maggiore sarà la quantità di carica da fornirle per poterne saggiare reazioni elettrostatiche, ricordando che a grande carica corrisponde complessità dell'apparato in grado di fornirla. Ad esempio, per pendolini dotati di palline dal diametro di diversi centimetri, sono infatti, necessarie macchine di **Van de Graaff**, oppure generatori di **Wimshurst** o di **Winter**.

L'effetto scenografico di pendolini di grosse dimensioni è molto suggestivo, ma non ottenibile se non si ha la possibilità di utilizzare questi tipi di dispositivi. Per poter realizzare comunque facili esperienze di elettrostatica con i pendolini senza scomodare complesse apparecchiature, è sufficiente ricorrere a modelli di piccole dimensioni. Vediamo quindi, quali sono i punti che dobbiamo assolutamente curare per garantire un buon funzionamento da parte di un pendolino in polistirolo.

La pallina di polistirolo va forata al centro tramite un ago, e all'interno del foro va fatto passare un sottile filo di cotone. Nei mercatini delle pulci ho trovato dei gomitoli di filo di nylon molto sottile che possono essere idonei allo scopo.



Fig. 6.7 - Polveri elettrostatiche, pendolino e pelli -

Praticheremo un piccolo nodo sotto la pallina in modo che si regga bene ed inoltre, taglieremo qualsiasi filo residuo per evitare di aumentare il peso. La pallina di polistirolo può essere recuperata sbriciolando il polistirolo espanso per imballaggio.



Fig. 7.7 a) - Pianta di Sambucus nigra a primavera -

Si, me ne rendo conto... so cosa state pensando, non si trovano più quei pezzi di polistirolo espanso che sbriciolati producono quelle belle palline di varia dimensione preziose per questo tipo di realizzazione. Se avete qualche difficoltà in questo senso, potete provare a vedere se riuscite a trovarle presso un rivenditore di articoli per la pesca.

Piccole palline di polistirolo della dimensione di 3 o 4 mm di diametro sono vendute per tenere a galla gli ami, per certi tipi di pesca. In questo caso, potete trovare anche palline di colore giallo, molto utili per le caratteristiche di visibilità e di contrasto necessari per i vostri esperimenti di elettrostatica.

Una seconda possibilità, potrebbe essere quella di sagomare voi (non è poi così importante che sia perfettamente sferica), ricavandola da un pezzo di polistirolo che potete trovare con estrema facilità. Oppure, potete adoperare qualcosa di meglio del polistirolo e ancora più idoneo a sperimentazioni elettrostatiche, per esempio, potete realizzare una pallina utilizzando il midollo di sambuco. Il sambuco, "**Sambucus nigra**", è un arbusto che appartiene alla famiglia delle Caprifoliacee, estremamente diffuso nella nostra penisola italiana, soprattutto nel sud. Le foto successive, ritraggono la pianta in varie fasi stagionali e sono state fatte per permettervi un facile riconoscimento per la vostra eventuale raccolta.



Fig. 7.7 b) - Pianta di *Sambucus nigra*
- particolari dell'ombrello floreale e dei frutti. -

Se tagliate un ramo dalle dimensioni di circa 1 o 2 centimetri, potete raccogliergli la parte centrale, il midollo appunto. Questo materiale, per quanto riguarda la sua consistenza, si presenta molto simile al polistirolo. Vedi figura



Fig. 8.7 - *Sambucus nigra* (rami) -

n. 8.7. Il midollo di sambuco è spugnoso, leggero e soprattutto già abbastanza asciutto dai primi momenti della sua estrazione dal tronco. Se aspettate qualche giorno, per farlo seccare ulteriormente, avrete il prodotto bello e pronto e, credetemi, riguardo a questo genere di sperimentazioni elettrostatiche, esso risulta quanto di meglio la natura può offrirvi, risultando essere un materiale leggerissimo e

facilmente elettrizzabile. Potrete con il midollo, non solo costruire la pallina necessaria al vostro pendolino, ma anche divertirvi a sbriciolare sopra un tavolo questa sostanza e ad attirarla con una verga di plastica o di vetro che avete elettrizzato per strofinio.

Indifferentemente dalla soluzione che avete adottato, sia con il midollo di sambuco o con il polistirolo, l'importante è avere un pendolino funzionante per i vostri esperimenti di elettrostatica. Appena siete certi del suo funzionamento, potete divertirvi a fare delle interessanti esperienze, poiché lo strumento che avete appena creato è molto sensibile. Se avvicinate al pendolino una verga di resina (plastica) elettrizzata (anche una penna biro può andare bene), osserverete subito che la pallina inizialmente cercherà di avvicinarsi al corpo carico di elettricità, e poi toccandolo dopo un certo numero di volte, cercherà di allontanarsi da esso come se fosse respinto da una forza misteriosa.



Fig. 9.7 - Fasi di elettrizzazione del pendolino -

Se infatti avviciniamo la verga di plastica, che come sappiamo risulta elettrizzata **negativamente**, alla pallina del pendolino, quest'ultima assumerà una carica per **induzione elettrostatica**. Tale carica indotta, per le note leggi dell'induzione, assumerà una polarizzazione positiva sulla superficie della pallina rivolta verso il corpo induttore e negativa sul lato opposto. Se sul lato della pallina, che si oppone alla verga, è presente una carica positiva, quindi opposta a quella posseduta dalla verga induttrice, è naturale che si presenta un fenomeno di attrazione. Cariche opposte si attraggono. Se però facciamo in modo che la pallina del pendolino tocchi più volte la verga, una parte di carica elettrica negativa posseduta dalla verga si trasferirà direttamente sulla pallina del pendolino caricandola negativamente. A questo punto è ovvio che la pallina del pendolino, assumendo la stessa carica elettrica della verga di plastica, sarà respinta.

Mi preme porre l'attenzione sul fatto che le cariche elettriche, indotte precedentemente per induzione elettrostatica nella pallina del pendolino, sono ancora presenti, ma il loro effetto risulta essere estremamente attenuato rispetto alle cariche trasferite per contatto che prendono il sopravvento sulle prime riducendone gli effetti induttori precedentemente posseduti.

Il midollo di sambuco è un stata un'ottima occasione per parlarvi di un materiale idoneo a costruire la pallina necessaria al nostro pendolino, ma l'occasione offertami in queste righe, mi spinge a parlarvi anche di altri materiali vegetali usati per le esperienze di elettrostatica.

Uno dei problemi più comuni agli sperimentatori di fenomeni elettrostatici è quello della ricerca di polveri idonee ad effettuare esperienze che mostrano agli allievi la configurazione geometrica del campo elettrico prodotto dai corpi elettrizzati. Per il campo magnetico, come già sappiamo, è utilizzabile con successo la limatura di ferro ma per quello elettrico cosa possiamo impiegare ? Quali polveri, una volta stese su di una superficie possono venire influenzate da un campo elettrico ? Quali polveri, possono definire le linee di forza di un campo elettrico prodotto da un corpo carico di elettricità ? Molti sperimentatori hanno provato con successo la polvere di semola (semolino per neonati) oppure lo zolfo, oppure il minio, altri ancora la limatura di plastica (e qui i risultati sono molto soddisfacenti) ma ancora una volta la natura amica è in grado di risolvere anche questo problema. Personalmente ho ottenuto ottimi risultati utilizzando la polvere di lycopodio. Il lycopodio, "**Lycopodium Clavatum**", è un'erba strisciante della famiglia delle Lycopodiacee. Vedi foto n. 10.7.

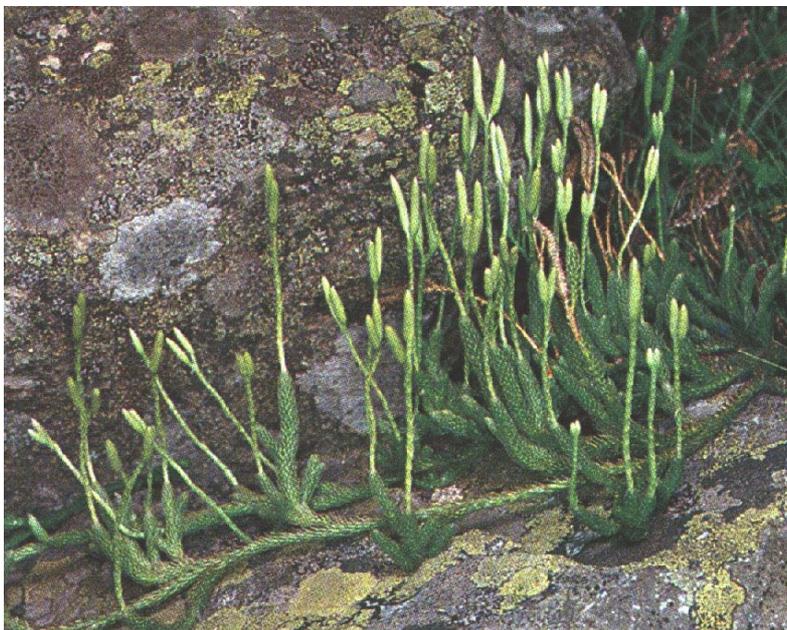


Fig. 10.7 - Lycopodium Clavatum -

Non è molto facile trovarla allo stato spontaneo in pianura, essendo una pianta che predilige posti di alta montagna, In ogni caso è facilmente reperibile presso una qualsiasi erboristeria molto fornita.

Con la polvere estratta da questa pianta, potete divertirvi a generare affascinanti esperienze che mostrano i campi elettrici generati da corpi carichi o quelli prodotti da piastre metalliche connesse a loro volta a dispositivi generatori di potenziale. Oppure, in modo più semplice, potete provare ad attrarre la polvere di lycopodio tramite le verghe isolanti che avete elettrizzato con qualche artificio.

Mi preme ricordarvi che la polvere di lycopodio è stata adoperata con successo anche nel modulo precedente a proposito degli effetti che essa produce se sottoposta a oscillazioni sonore.

L'esperienza che voglio ora suggerirvi in questo breve paragrafo è dedicata esclusivamente ad insegnanti di fisica di licei o di scuole superiori. Voglio mostrarvi il modo per visualizzare, in aula di fisica, un campo elettrico prodotto da due armature metalliche connesse ai poli di un generatore di

tensione. Tutto ciò che vi occorre è costituito da un foglio di plastica trasparente in plexiglas di 1 o 2 mm di spessore sul quale potete fissare ai due estremi un nastro di alluminio adesivo. Il nastro di alluminio adesivo può essere comprato presso un negozio di ferramenta molto fornito oppure presso negozi che vendono articoli per il bricolage.

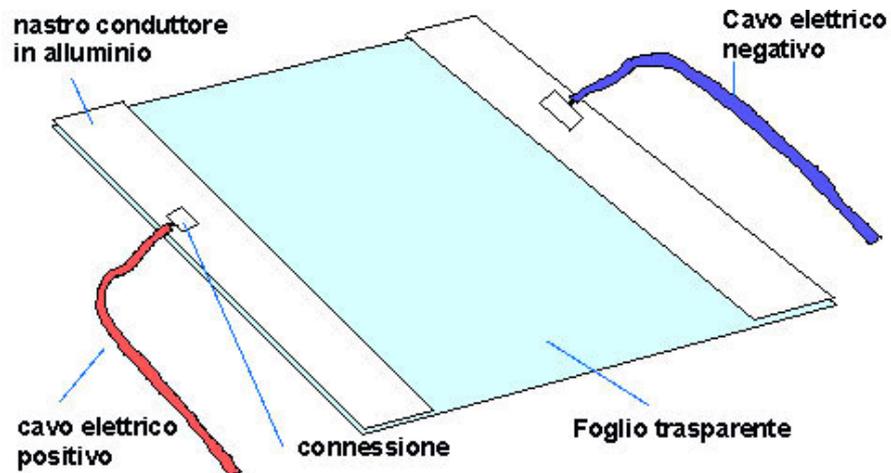


Fig. 11.7 - Pannello trasparente per esperienze con i campi elettrici -

Collegate due fili elettrici isolati in modo che le terminazioni elettriche in rame siano in contatto con il nastro di alluminio. Potete fissarle tramite un pezzo dello stesso nastro adesivo conduttivo. Collocate questa realizzazione sopra lo schermo trasparente di una lavagna luminosa assicurandovi che nel campo visivo della proiezione siano ben visibili le due armature. Spargete sopra lo spessore di plexiglas così allestito della polvere di licopodio in modo uniforme avendo premura che occupi lo spazio esistente fra le due armature. Mi raccomando di fare una distribuzione sufficientemente rada. A questo punto accendete la lavagna luminosa in modo che sullo schermo si possano osservare la polvere di licopodio e i bordi delle armature in perfetto contrasto. Fate adesso l'eventuale regolazione di fuoco poiché da questo momento non toccherete più la lavagna luminosa. Assicuratevi che i bordi e i fili non facciano contatto con nessuna delle parti metalliche della lavagna luminosa. Anzi per essere certi di non fare pasticci potete interporre sotto il foglio di plexiglas così preparato, un altro strato di plexiglas leggermente più spesso. Collegate i cavi elettrici ad un generatore di alta tensione che vi possa fornire circa 4000 V. **Non toccate assolutamente il foglio di plexiglas né la lavagna luminosa.** Dovreste vedere la polvere di licopodio disporsi seguendo l'andamento del campo elettrico che si genera fra le due armature. Se siete stati poco attenti potrebbero prodursi delle scariche elettriche. Queste scariche possono danneggiare la lavagna luminosa e mettere in pericolo la vostra incolumità, in tal caso spegnete subito e curate maggiormente la disposizione del sistema. Se il sistema funziona correttamente, dovreste vedere tramite la lavagna luminosa, la conformazione del campo elettrico applicato fra le due armature. Se fate questa esperienza per la prima volta vi consiglio di farvi aiutare da un vostro collega più esperto, in ogni caso fate molta attenzione con la tensione del generatore e assicuratevi che nessuno si avvicini al sistema quando state effettuando la prova. Le linee di forza del campo elettrico saranno rese visibili

grazie allo spostamento della polvere di licopodio, che assumerà la conformazione appunto delle linee del campo esistente fra le due armature. L'idea di vedere questo campo elettrico "in diretta" se mi è permesso questo modo di esprimermi, è molto affascinante e permette ad un insegnante di fisica di mostrare anche altri effetti determinati da questa disposizione strumentale, come ad esempio il comportamento di alcuni materiali dielettrici.

Ottimi risultati si possono parimenti ottenere preparando una vaschetta trasparente all'interno della quale è posto del semolino in olio di ricino. All'interno della vaschetta potranno poi essere posti elettrodi di forma più varia collegati ad un generatore di tensione. Lavorando con potenziali di alcune migliaia di volt si possono osservare discrete figure che mostrano le linee di forza del campo elettrico.

Prima abbiamo nominato la polvere di zolfo e la polvere di minio. Non sottovalutiamo questi due prodotti che non devono assolutamente mancare nel materiale a disposizione di un insegnante che si occupa di queste cose. Queste polveri erano usate già nell'antichità da numerosi ricercatori, poiché molto sensibili ai campi elettrostatici. Tuttavia, come abbiamo avuto già modo di dire all'inizio dei nostri laboratori, la riuscita delle esperienze di elettrostatica, dipende fortemente dalle condizioni dell'ambiente. Nell'allestimento di esperienze che usino queste polveri bisogna sempre tener presente che il clima secco è considerato una condizione perentoria per il successo delle prove. Comunque nell'ipotesi che le condizioni di umidità siano quelle giuste ecco cosa potreste osservare.

Polveri elettrostatiche

Il minio è costituito da tetrossido di piombo Pb_3O_4 ed è una polvere di colore rosso arancio. Potete comprarlo presso un colorificio molto fornito. Esso si elettrizza in modo positivo ed è quindi attratto da corpi elettrizzati di natura resinosa cioè di materiale plastico. Questi ultimi infatti, sono quasi sempre carichi di elettricità negativa e quindi attraggono verso di loro la polvere di minio. Lo zolfo invece è una polvere giallo canarino recuperabile facilmente in negozi specializzati per giardinaggio, concimi, prodotti agricoli ecc. Poiché lo zolfo si elettrizza quasi sempre in modo negativo risulta attratto dai corpi vetrosi, che sono a loro volta carichi positivamente, se opportunamente elettrizzati.



Fig. 11.1.7. - Come spargere le polveri elettrostatiche sopra i corpi carichi di elettricità -

Per questa ragione, lo zolfo e il minio sono stati utilizzati nell'antichità per indagare sul tipo di carica elettrica che si produceva nei corpi isolanti. Anzi, diciamo subito, che fu proprio a causa di questa loro caratteristica, che i fisici poterono confermare l'esistenza dei due tipi di elettricità. In effetti, già con il pendolino è possibile scoprire che la natura dei corpi isolanti elettrizzati porta come risultato la presenza dei due distinti stati elettrici, quello positivo (+) e quello negativo (-). Con il minio e lo zolfo abbiamo una ulteriore conferma e un modo per rappresentare i due stati elettrici.

Per procedere in tal senso, occorre fare un miscuglio costituito da parti uguali di zolfo e minio e introdurre la polvere in un soffiato. A tal proposito io ho usato una pompetta in gomma, simile a quella che si usa per fare i clisteri ai neonati. Spruzzando la polvere tramite la pompetta, questa si elettrizza a contatto con l'aria. In base alle diverse caratteristiche elettriche possedute dalle due polveri che formano il miscuglio, avremo allora del minio carico positivamente e dello zolfo carico negativamente. Se la miscela di polvere viene spruzzata su un corpo elettrizzato, quest'ultimo si coprirà di polvere rossa, se il corpo risulta elettrizzato negativamente e di polvere gialla se risulta elettrizzato positivamente. Per rendere più visiva la prova qui indicata, i corpi dovrebbero essere di colore nero. Subito dopo l'esperimento dobbiamo ricordarci di pulire accuratamente tutte le parti che abbiamo sporcato e dobbiamo cercare di non spargere in giro troppa polvere, poiché il minio contiene piombo che, come sappiamo, non è salutare per il nostro organismo. Cerchiamo quindi diffondere le polveri con giudizio.

Anche la polvere bianca di biossido di titanio TiO_2 è fortemente elettrizzabile. In molte esperienze di fisica che ho eseguito è stata la sostanza che mi ha dato maggiore soddisfazione. Un esperimento molto semplice con il biossido di titanio consiste nello spargere un piccolo mucchietto di polvere in un punto del tavolo da lavoro (tavolo isolante). Basta un mucchietto piccolissimo. Poi basta avvicinare al mucchietto di polvere una verga di plastica elettrizzata per strofinio, tramite per esempio una pelle di coniglio. Ad un certo punto vedremo la polvere bianca dirigersi verso la verga elettrizzata e poi schizzare via tutto intorno. Provate a domandare ai vostri allievi come è possibile interpretare il fenomeno? Risulta ovvio che ci troviamo di fronte alla stessa esperienza del pendolino. Le particelle di polvere di biossido di titanio si sono dapprima caricate per induzione elettrostatica e infine, prelevando la carica elettrica del corpo induttore, sono state respinte.

Fra le polveri sensibili alle cariche elettriche, voglio ricordare anche il **toner**. Esso si presenta come una polvere scura fortemente elettrizzabile ed è utilizzato nelle stampanti tipo laser e nelle macchine fotocopiatrici. Tutti apparecchi che riproducono i documenti con una tecnica che prevede la formazione di un'immagine di tipo elettrostatico. Questa immagine, che riproduce fedelmente l'originale, è costituita da zone a carica elettrica variabile a seconda della luminosità della figura. Una volta elettrizzata, essa è depositata sopra un rullo di opportune caratteristiche. A questo punto, la polvere di toner, viene attratta dalle zone del rullo in cui l'immagine risulta dotata di carica elettrica di opportuna polarità. Successivamente il rullo depositerà la polvere di toner sul foglio di carta che, tramite un procedimento di pressione e temperatura, sarà fissata al foglio in modo permanente. Se vi procurate un piccolo quantitativo di polvere di toner, potete divertirvi a verificare la sensibilità di questa polvere ai campi elettrici riproponendo le stesse

esperienze che avete fatto precedentemente con la polvere di biossido di titanio.

Anche i corpi metallici possono caricarsi di cariche elettriche, però questi ultimi, essendo conduttori di corrente, disperdono velocemente verso terra le cariche elettriche accumulate e questo può avvenire tramite le mani e il corpo dello stesso sperimentatore. Se il corpo metallico è maneggiato facendo uso di un supporto in plastica molto isolante e dotato di spessore adeguato potremo osservare anche in questo caso fenomeni di accumulo di carica elettrica.

NOTE 1:

I corpi **isolanti** sono quei corpi che non presentano possibilità di conduzione della corrente elettrica. I corpi invece definiti **conduttori** si fanno facilmente attraversare dalla corrente elettrica. Pertanto i corpi isolanti sono quei corpi che presentano il fenomeno della **staticità** cioè sono quei corpi che tendono ad accumulare facilmente la carica statica ed a creare in alcuni casi svariati problemi. Il fenomeno definito "**Carica Statica**" si verifica quando un certo numero di cariche elettriche si accumula sopra un corpo. Questo fatto accade se il corpo è costituito da materiale isolante. Le cariche quindi non si muovono. I corpi essendo cattivi conduttori, localizzano le cariche in alcuni punti caratteristici. Queste cariche accumulandosi provocano **potenziali elettrici molto elevati** e infine possono propagarsi tramite scarica elettrica su altri corpi generando effetti luminosi e sonori. I fenomeni che riguardano questa scarica elettrica distruttiva, sono anche chiamati "**ESD**" (dall'inglese **Electro Static Discharge**). Sotto questa nomenclatura sono descritte numerose leggi e normative di qualità applicate in numerose aziende manifatturiere.

Quando si manipolano corpi molto isolanti, come una cartellina di plastica, una penna, una maglietta in tessuto acrilico oppure semplicemente camminando sopra un pavimento isolante, si generano cariche elettrostatiche che possono determinare potenziali elettrici elevatissimi anche dell'ordine di alcune decine di migliaia di volt.

I corpi conduttori invece, che hanno la caratteristica di farsi attraversare facilmente dalla corrente elettrica, presentano un comportamento **astatico** cioè non manifestano ESD. Tale tendenza a disperdere le cariche statiche consente di poter utilizzare corpi conduttori come protezione al problema ESD.

NOTE 2: Abbiamo detto che gli elettroscopi a foglioline non sono in grado di stabilire il segno della carica elettrica accumulata sul corpo induttore. Esiste un particolare elettroscopio a foglioline chiamato elettroscopio di BOHNENBERGER che presenta la possibilità di farlo. Questo elettroscopio non possiede due foglioline, ma una sola sospesa fra due sfere di materiale conduttore. Le due sfere sono collegate ai poli di una pila a secco. Una sfera è caricata di carica positiva, l'altra con carica negativa. In questo modo quando la fogliolina, connessa allo stelo conduttore con la sua tradizionale terminazione sferica, si sarà caricata di cariche elettriche provenienti dal corpo esaminato, si avvicinerà alla sfera positiva se il corpo esaminato è carico negativamente, viceversa si avvicinerà alla sfera negativa se il corpo esaminato è carico positivamente.

3°Laboratorio Elettroforo di Volta

TARGET:

Scuola primaria

Materiale occorrente:

Piatto di alluminio (coperchio per pentola), sturalavandino, pelle di coniglio, disco musicale a 33 giri, palloncini, piume di gallina.

Questo dispositivo fu realizzato per la prima volta da Alessandro Volta (1745 –1827) verso la fine del 1700. Si tratta della macchina elettrostatica più elementare e nello stesso tempo più geniale e semplice da realizzare. Questa macchina è in grado di generare scariche elettriche anche di alcune decine di migliaia di volt. A volte, proprio l'elettroforo di Volta, lo si ritrova in angoli bistrattati di vecchi laboratori scolastici di fisica, in eloquente stato di abbandono. Segno evidente che lo strumento non è riuscito ad affascinare o per lo meno ad interessare i titolari. Tutto questo ha sempre costituito una certa sofferenza per il mio animo e quindi aspettavo con ansia il momento di parlarne per sollevare degnamente l'attenzione del lettore su questo semplicissimo aggeggio.



Fig. 12.7 - Elettroforo ottenuto con un disco audio da 33 giri ed un coperchio di alluminio -

Certamente la figura n. 12.7, che illustra un elettroforo di Volta fatto in casa, non ripaga degnamente le fattezze e l'eleganza degli storici strumenti originali, presenti in alcuni laboratori di fisica, ma posso dire con orgoglio, che il pezzo mostrato dalla figura n.12.7 è stato realizzato nel 1999 e fino ad oggi (2002) ha compiuto un numero elevatissimo di prestazioni, manifestando sempre una grande funzionalità.

Voglio spiegarvi adesso come potete costruirlo. Innanzitutto occorre munirsi di un piatto circolare in metallo. I coperchi di alluminio per pentolame da uso tipo << cuociamo le bottiglie di pomodoro per quest'inverno >> vanno molto bene. Ovviamente, dobbiamo rimuoverne il manico centrale e dobbiamo assicurarci dell'assenza di spigoli appuntiti o troppo netti che potrebbero disperdere le cariche elettriche. È importantissimo trovare un manico perfettamente isolante e di dimensioni sufficienti. A tal proposito, per evitare di restare delusi, consiglio di non adoperare il legno che non risulta essere adatto a questo scopo. Dovete adoperare un materiale plastico come il plexiglas (metacrilato) oppure il polistirolo. Nella figura è facile distinguere il manico dello sturalavandino che ho adoperato nella costruzione del mio elettroforo. Si tratta di un manico in polistirolo, tagliato in modo da preservare una parte della ventosa sottostante in P.V.C.. In questo modo, oltre a creare maggior isolamento all'impugnatura, che oltretutto risulta anche essere anatomica, ho reso più robusto tutto il sistema creando una continuità materiale gradevolmente estetica. Il manico e la ghiera di P.V.C. sono stati fissati al coperchio di alluminio tramite una vite autofilettante a testa conica, utilizzando il foro centrale già presente.

Per far funzionare il dispositivo occorre un piatto sottostante chiamato "Stiacciata". In origine, Alessandro Volta preparò questa superficie fondendo insieme resine e cere di diverso tipo in modo da avere una base di materiale isolante fortemente elettrizzabile. Nel nostro caso invece, possiamo adoperare quanto di meglio disponibile come base isolante; per esempio, un vecchio disco a 33 giri (chiamato erroneamente disco di vinile) fatto di resine ureiche che sono fortemente elettrizzabili. Il disco ha anche il diametro adeguato per essere adattato alla misura trovata per il coperchio di alluminio. In ogni caso è bene dire che eventualmente potrete adoperare qualsiasi soluzione riteniate comoda, soddisfacente e soprattutto vicina alle risorse disponibili. L'elettroforo, alla fine delle operazioni di montaggio, sarà costituito da due parti distinte. Un piatto conduttore in metallo munito di un manico isolante e un piatto isolante che farà da base (stiacciata). Quest'ultimo, deve avere, come abbiamo detto, la capacità di caricarsi elettricamente.

Per far funzionare l'elettroforo di Volta bisogna strofinare bene il piatto di base (la stiacciata) con una pelle di gatto o di coniglio. Nelle condizioni climatiche ottimali anche un panno di lana può essere soddisfacente. La stiacciata si caricherà, come penso abbiate già intuito, di elettricità negativa (è costituito, infatti, di materiale resinoso). A questo punto si pone il piatto metallico sulla stiacciata e subito dopo si poggia un dito della propria mano sul piatto per alcuni secondi. Infine, senza più toccare il piatto di alluminio, si solleva quest'ultimo facendo molta attenzione a dove lo avvicinate. Il piatto è infatti, carico di elettricità positiva, che potrà essere resa subito evidente se avviciniamo il piatto ad un materiale conduttore posto a terra. In questo caso, lo sperimentatore potrà constatare la generazione di una scintilla.

Nelle condizioni ottimali ho ottenuto scintille rumorose lunghe diversi centimetri (3 o 4) segno della presenza di un potenziale pari ai circa 20.000 – 30.000 volt. Per capire come funziona l'elettroforo, basta osservare la figura n. 13.7.

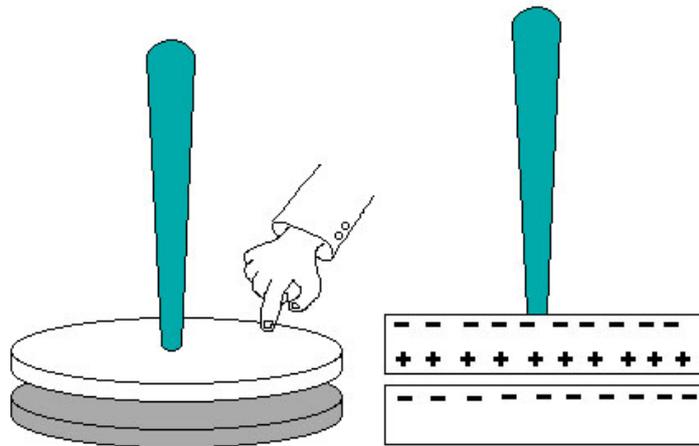
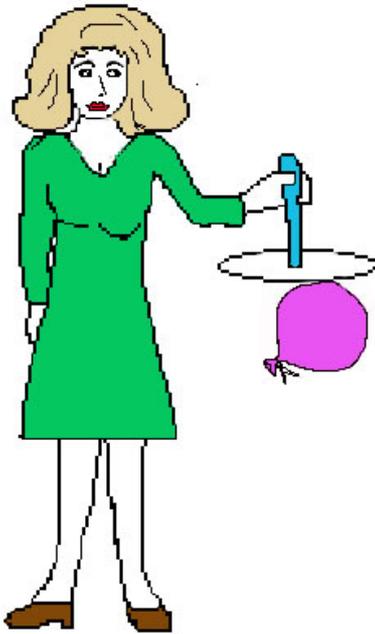


Fig. 13.7 - Come funziona l'elettroforo -

Quando il piatto di alluminio, tenuto correttamente per il suo manico isolante, è posto sopra la stacciata carica negativamente, esso per induzione elettrica si carica di elettricità. La superficie che aderisce alla stacciata, si caricherà di elettricità positiva, mentre la superficie posta sul lato opposto, presenterà una carica negativa. Questa distribuzione di cariche riesce a mantenersi perfettamente in equilibrio poiché il disco metallico non aderisce su tutta la superficie della stacciata e quindi le cariche non si neutralizzano a vicenda. Se a questo punto, senza poggiare il dito, solleviamo il piatto di alluminio, le cariche, che per induzione elettrostatica si erano separate all'interno del disco, si ricombinano di nuovo e la carica totale si annulla senza che il dispositivo riesca a produrre alcun effetto visibile. Se invece, prima di sollevare il disco di alluminio, provvediamo a toccarlo con un dito per pochi secondi, avendo cura di toccare le aree superiori del piatto, le cariche negative, poste proprio su questo lato della superficie del disco, verranno disperse verso terra transitando nel nostro corpo. Come immediata conseguenza di questo fatto, le restanti cariche positive rimaste sull'altra facciata, si distribuiscono nell'intero volume del disco, contribuendo a determinare la carica positiva dell'intero piatto. Se quindi solleviamo il piatto dalla stacciata, abbiamo un corpo che possiede una sufficiente quantità di cariche elettriche positive disponibili per qualche successiva e interessante esperienza. Mi raccomando però, non fate come quel mio allievo che, dopo aver costruito l'elettroforo seguendo le mie indicazioni, mi disse che non funzionava bene, poi successivamente scoprì che egli, ignaro, ... indossava quel giorno delle scarpe di gomma.

Tramite l'elettroforo, si possono fare molti interessanti esperimenti. Il bravo insegnante non ha bisogno di tanti suggerimenti. Quando il piatto di un elettroforo risulta caricato bene, ha una quantità di carica elettrica davvero considerevole. Potrete mostrare agli allievi fenomeni di attrazione elettrostatica utilizzando le polveri adatte viste precedentemente, oppure potete far levitare piume leggere o palloncini.



- Fig. 14.7 -

Per esempio, si potrebbe attrarre un palloncino utilizzando l'elettroforo ben caricato, poi successivamente toccando con un dito il disco di alluminio, si farà osservare agli allievi che il palloncino si distacca cadendo verso il basso. Questo succede poiché la carica elettrica che originava il campo attrattivo è stata eliminata toccando il piatto di metallo con il nostro corpo. Si potrà tentare di dimostrare che il piatto metallico è carico positivamente utilizzando un pendolino, oppure le polveri di minio e zolfo. Si potrà mostrare come trasportare la carica elettrica utilizzando dei conduttori metallici isolati mediante i quali caricare una bottiglia di Leyda o altri dispositivi elettrostatici.

Si potrà inoltre mostrare come la scarica elettrica prodotta dall'elettroforo, possa forare un foglio di carta introdotto nel punto in cui scocca la scintilla; fornendo una vivacissima dimostrazione del fatto che la scarica elettrica è costituita da ioni che si propagano con formidabile energia. A tal proposito potrete certamente allargare il discorso e parlare della fisica della scarica elettrica, definendone gli aspetti qualitativi e quantitativi.

Sempre allo scopo di offrirvi nuove idee da eventualmente utilizzare per le vostre esperienze con questo dispositivo, vi informo che in commercio presso i grandi magazzini di giocattoli, è possibile reperire dei flaconcini che contengono una sostanza particolare per fare delle bolle simili a quelle di sapone (ma più suggestive di queste ultime). È opportuno che vi dica subito che non si tratta di vere bolle di sapone. Il giocattolo è, infatti, pubblicizzato come sistema per ottenere bolle che possono essere toccate senza scoppiare. L'intruglio contenuto nel flaconcino è probabilmente costituito da una resina viscosa che permette di ottenere bolle piccole, leggere e molto stabili. Personalmente ho provato questo prodotto utilizzando l'elettroforo di Volta caricato di elettricità statica e l'effetto finale risulta estremamente affascinante. Se provate a produrre queste bolle nell'ambiente dove effettuate le vostre sperimentazioni di elettrostatica, potete divertirvi ad attrarle e a respingerle con estrema facilità, utilizzando il vostro elettroforo. Se realizzate le giuste condizioni sperimentali, resterete sorpresi a vedere come le bolle saranno influenzate anche quando il piatto dell'elettroforo è posto ad una distanza di 2 metri. Se siete bravi a manipolare il vostro elettroforo, potrete divertirvi a toccare leggermente di striscio con il piatto carico dell'elettroforo le bolle che stanno cadendo. In questo modo, fornirete alle bolle, la stessa carica elettrica posseduta dall'elettroforo. Appena riuscite a fare questa manovra, potete divertirvi a respingere verso l'alto le bolle facendole rimanere in equilibrio per tutto il tempo che volete. In alcuni casi, ho costretto le bolle a dirigersi verso

l'alto, sospinte dalla forza elettrica di repulsione del piatto fino a farle toccare il soffitto. La soluzione per le bolle che ho utilizzato con successo si chiama "Catchabubble" (nome del prodotto) ed è prodotto dalla **MacDue technology games**. Durante l'esperienza, dovete comunque evitare che le bolle possano toccare l'elettroforo o scoppiare in sua prossimità. In ogni caso è opportuno avere cura di ripulire il disco dell'elettroforo se accidentalmente dovesse accadere quest'evenienza. Non è conveniente effettuare questa prova con bolle di sapone reali. L'impiego di queste ultime, nell'ambiente in cui si effettuano gli esperimenti di elettrostatica, risulta incompatibile per problemi di umidità. Vi ricordo che le bolle di sapone necessitano un ambiente umido, viceversa le esperienze di elettrostatica necessitano di un ambiente secco.

NOTE:

Attenzione, se usate palloncini per effettuare esperienze di elettrostatica, vi consiglio di ricorrere a palloncini di diverso colore. A volte per particolari proprietà delle vernici adoperate, si possono osservare caratteristiche elettriche diverse da palloncino a palloncino. Per esempio, in alcuni casi, ho osservato che si presentano dei problemi ad elettrizzare palloncini di colore bianco.

4°Laboratorio Condensatore di Leyda

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

Materiale occorrente:

Contenitore cilindrico in vetro per conserve di cibi, bottiglione da 5 litri, pezzi di alluminio, molti metri di fogli di alluminio, ferri per lavori di lana, sfere di metallo, nastro isolante da imballaggio.

Il condensatore di Leyda, a cui si attribuisce erroneamente la costruzione ad un ipotetico scienziato di nome Leyda, in realtà è stato realizzato da Pietro Musschenbroek e dal suo assistente Cuneus nella città olandese di Leyda (appunto) nel 1746. Anche questo è un dispositivo che si realizza con molta semplicità. La sua funzione principale consiste nel conservare al suo interno una certa quantità di carica elettrica, appunto la funzione di un condensatore. A tal proposito potete approfondire l'argomento leggendo qualcosa nell'allegato di questo modulo. Se carichiamo la bottiglia di Leyda con una certa quantità di elettricità, possiamo conservarla al suo interno per un certo tempo. Se mettiamo in contatto fra loro (cortocircuitiamo) i terminali delle armature del dispositivo, osserveremo una scintilla elettrica. Risulta ovvio quindi, che questo dispositivo trova ragion d'essere solo se ci sono in laboratorio altri dispositivi in grado di caricarlo opportunamente, cioè se sono in grado di fornire una tensione elettrica sufficientemente elevata. Una bottiglia di Leyda può essere caricata da un elettroforo di Volta, da un generatore di Wimshurst, da un generatore di Van de Graaff oppure da un rocchetto di Rhumkorff.

Per procedere alla sua realizzazione, basta munirsi di un bottiglione da 5 litri asciutto e riempirlo di pezzi di alluminio (le strisce ricavate dalla carta di alluminio casalinga sono ottime). Dopo il riempimento della parte centrale bisogna inserire all'interno una lunga asta di metallo. I ferri per la lana sono ottimi da questo punto di vista e oggi sono fatti in alluminio. L'asta di alluminio permette la connessione a quella che si chiama la prima armatura del condensatore. Può riuscire utile disporre di una sfera di metallo da inserire all'estremità dell'asta di alluminio in modo da completare il lavoro rispettando tutti i dettagli che costituiscono una esecuzione ottimale. A questo punto per realizzare l'armatura esterna, basta avvolgere il bottiglione con alcuni fogli larghi di alluminio e connettere questi ultimi ad un provvidenziale elettrodo. Questo rivestimento conduttivo costituisce quello che risulta appunto definito: l'armatura esterna.

La foto n. 15.7, illustra una variante di bottiglia di Leyda realizzata dal sottoscritto nel 1999. Certamente quella del bottiglione da 5 litri è più "pittoresca" e forse più vicina alla tradizionale realizzazione del 1746, ma questa mostrata in figura ha una eleganza tutta particolare.

Per realizzare questo dispositivo si utilizza un contenitore di vetro, di forma cilindrica, comprato a pochi euro in un mercato. Il contenitore è utilizzato normalmente per conservare alimenti sott'olio ed è munito anche di tappo circolare rosso che verrà forato al centro. Il foro, praticato sul coperchio, servirà per il passaggio dell'elettrodo collegato all'armatura interna. Per realizzare l'armatura interna non è stato effettuato un riempimento di pezzi o foglietti di alluminio ma, approfittando del facile accesso scaturito dalla



geometria cilindrica del contenitore, è stato realizzato un rivestimento di alluminio uniforme e perfettamente aderente alla superficie di vetro interna del contenitore. Anche la base circolare è stata coperta da un foglio di alluminio della stessa forma ed elettricamente connesso all'armatura laterale. Tramite del nastro isolante conduttore, del filo elettrico e di espedienti opportuni per ottenere un fissaggio robusto alla base, è stato infine collegato l'elettrodo centrale costituito dal già citato ferro per la lana (rigorosamente) di alluminio. Questo elettrodo è stato quindi elettricamente collegato all'armatura interna e all'estremità che fuoriesce dal contenitore è stata posta una sfera conduttiva. Per quanto riguarda l'armatura esterna è stato molto semplice avvolgere il contenitore cilindrico di fogli di alluminio, provvedendo anche a coprire la base e a proteggere il tutto da uno strato esterno di nastro da imballaggio tipo largo.

Fig. 15.7 - Condensatore di Leyda -

Anche l'armatura esterna è stata collegata ad un elettrodo, visibile nella foto n. 15.7 poiché di lunghezza minore. Per permettere il corretto funzionamento del condensatore di Leyda, vi ricordo che dovete poggiarlo su una superficie molto isolante. A tal proposito, la mia realizzazione è stata completata solo dopo aver inserito sotto il contenitore cilindrico, uno spessore in gomma di 1 cm di altezza, che ho fissato con un collante.

5° Laboratorio

Dispersione elettrica delle punte

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

Materiale occorrente:

L'elettroforo di Volta, un conduttore sferico isolato dotato di punta, una candela oppure un accendino

Per realizzare questo semplice esperimento sarebbe sufficiente solo l'elettroforo di Volta, ma per fare le cose più idonee da un punto di vista divulgativo, è il caso di realizzare l'apparato che la figura n. 16.7 mostra in modo chiaro. Il tutto è molto semplice da assemblare: si tratta semplicemente di inserire uno spillo oppure un ago (meglio se quello da materassi, più grande e più adatto) sulla superficie di una sfera di metallo. Un'idea potrebbe essere quella di comprare una palla di polistirolo e coprirla con la carta argentata. La palla con lo spillo che ne fuoriesce deve essere posta sopra un sostegno molto isolante. Una barretta di vetro o di plexiglas possono andare bene.

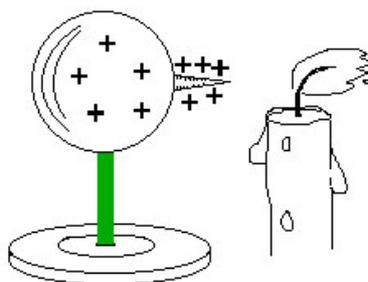


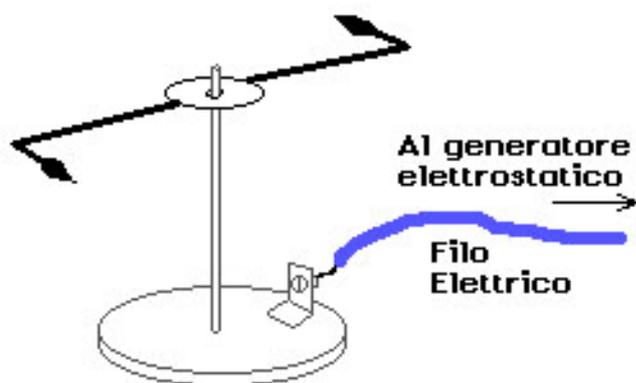
Fig. 16.7 - Vento di ioni negativi che deflette una fiamma -

A questo punto bisogna accendere una candela e attirare l'attenzione degli astanti mostrando come la fiamma si propaga verso l'alto fino a che non intervenga una qualsiasi causa che perturbi il suo andamento. Successivamente bisogna caricare l'elettroforo di Volta e toccare con il disco metallico dell'elettroforo più volte la palla conduttiva. In questo modo si cercherà di caricarla di elettricità. Se usiamo tale dispositivo generatore di elettricità, la nostra pallina conduttiva con la punta sporgente si caricherà di cariche positive. Se disponete di un altro generatore elettrostatico, che abbia eventualmente una sorgente di cariche opposte a quelle generabili con

l'elettroforo di Volta, l'esperienza funziona allo stesso modo. Ora, se avvicinate la candela alla punta sporgente del corpo che avete elettrizzato, vedrete la fiamma piegarsi nel senso illustrato dalla figura. Questo fenomeno è la dimostrazione che i corpi appuntiti disperdono facilmente le cariche elettriche: infatti, in prossimità della punta si viene a realizzare una densità di carica molto elevata che ne favorisce la dispersione generando un vero e proprio vento di ioni, in alcuni casi avvertibile anche avvicinando le nostre mani. Vi ricordate che molto spesso abbiamo fatto riferimento nei laboratori precedenti, sull'opportunità di realizzare conduttori sferici o arrotondati? Questa è la ragione che mi ha obbligato a darvi continuamente questo tipo di consiglio: i corpi conduttori realizzati con forme appuntite hanno la tendenza a perdere la loro carica elettrica, poiché essa tende a sfuggire attraverso le punte. Per fare questa esperienza in modo più sbrigativo può essere utilizzato anche il solo elettroforo di Volta. Basta attaccare con un po' di plastilina, in modo provvisorio, la punta di un ago sul bordo del disco. Appena il disco viene caricato dovete subito dirigere la punta verso la fiamma di una candela oppure di un provvidenziale accendino, il funzionamento è assicurato.

Approfittando di quando detto in questo laboratorio, voglio ricordare a chi è interessato che, nei laboratori degli Istituti scolastici ci sono altri simpatici dispositivi che evidenziano il potere dispersivo delle punte. Il mulinello con le due punte è uno di questi. Esso è costituito infatti da un conduttore che reca due punte disposte una opposta all'altra ed è posto in modo da essere libero di ruotare. Questa particolare disposizione gli permette di avere un momento di rotazione, appena esso è collegato ad un polo del generatore di alta tensione. Vedi figura 16.1.7.

Oggi, tramite internet, si vedono anche proliferare una serie di nuovi e simpatici dispositivi denominati "lifter" che funzionano grazie a effluvi di ioni che si generano quando questi sono collegati a generatori ad alta tensione. Quello che più entusiasma è che questi effluvi di ioni sono studiati per imprimere ai sistemi, realizzati in modo da essere estremamente leggeri, una forza di reazione molto elevata che li spinge a saltare dal banco di lavoro o addirittura a decollare, sospinti verso l'alto dal solo vento ionico. Questi congegni leggerissimi, sono realizzati con fogli di alluminio su di un telaio in legno di balsa. A tal proposito, io e il mio amico Domenico Cirillo, abbiamo recentemente realizzato uno di questi lifter di forma triangolare dal peso di 1,55 grammi secondo le indicazioni raccolte nei siti di rete. Il dispositivo, avente un lato con la dimensioni di 15 cm e alto poco più di 6 cm, sotto un potenziale di



25.000 volt si è alzato dal nostro banco di lavoro per alcuni decimetri verso l'alto. La forza di reazione è così elevata, che dovete trattenere il lifter, tramite dei fili di cotone fissati al banco di lavoro.

Se volete realizzare questo esperimento dovete costruirvi un lifter secondo le indicazioni fornite dalla figura n. 16.2.7.

Fig. 16.1.7 - Mulinello elettrostatico -

Il filo di rame molto sottile (0,1 mm di diametro), che collegherete fra i tre vertici di legno del telaio, deve essere collocato ad un'altezza di 3 cm dal bordo di alluminio e deve essere avvolto sopra un isolatore in teflon. Questo isolatore lo potete realizzare avvolgendo alcune spire di nastro di teflon sul vertice di balsa. Non lesinate sulla quantità di teflon, vi consiglio di avvolgerlo per 2 o 3 giri. La tensione elettrica molto elevata, che sarà collegata al filo di rame, potrebbe produrre scariche elettriche all'interno della balsa che renderebbe problematica la levitazione del lifter. I tre vertici in balsa del lifter, devono essere prolungati di circa 1 cm per realizzare una specie di appoggio al dispositivo. Collegate il lifter ad un generatore di alta tensione a 25.000 V, utilizzando un filo di rame sottile che farete provenire dall'alto fino a connettersi al filo di rame disposto lungo il perimetro superiore. Assicuratevi che il polo positivo del generatore a 25.000 volt sia collegato al filo di rame perimetrale, mentre il polo negativo sia collegato all'alluminio. Per far levitare un lifter è molto importante che il montaggio dello stesso sia simmetrico e leggero, inoltre, con dei fili leggeri e utilizzando del nastro isolante, è necessario ancorare il dispositivo al tavolo dove si effettua l'esperienza. In questo modo, tramite i fili di ancoraggio, consentiremo al lifter di posizionarsi ad una altezza voluta e di restarci in perfetto equilibrio.

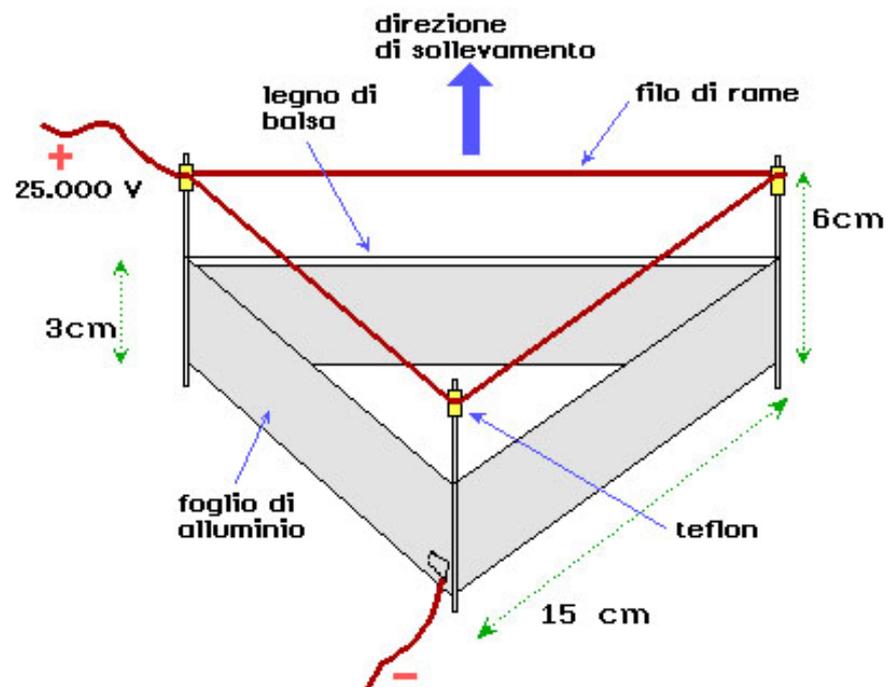


Fig. 16.2.7 - Un lifter (aquilone elettrostatico) -

Il corretto impiego delle parti, il montaggio e la messa in servizio del congegno è fondamentale per riuscire ad utilizzare in seguito il dispositivo. L'apparecchio è in pratica un sensibile rilevatore di campi elettrici ed è in grado inoltre, di rilevare la polarità del campo, di conseguenza, tramite il suo impiego è possibile discriminare il campo elettrico generato sia da cariche positive, che da quello generato da cariche di segno opposto.

Nell'apparecchio che sto per proporvi non è prevista la misura del campo elettrico, ma solo la sua rilevazione qualitativa. Questo non esclude la possibilità di realizzare una sorta di taratura per raggiungere eventualmente anche quest'obiettivo.

Le parti essenziali necessarie per realizzare l'apparecchio sono: la scheda elettronica funzionante, un contenitore plastico, uno strumentino con indice posto al centro della scala, delle pile ed infine, un elettrodo che costituisce il sensore di misura. Questo elettrodo può essere realizzato con un terminale conduttore munito di una sferetta collocata ad una delle sue estremità. Lo schema elettronico illustrato nella figura 17.7, mostra come è stata progettata la scheda di misura.

L'elemento fondamentale del circuito è costituito da un integrato, che ha funzioni di amplificatore operazionale per misure elettrometriche. Si tratta del componente siglato **AD546** della Analog Devices. Non è difficile approvvigionarsene tramite rivenditori specializzati. Non escludo che possa essere trovato anche dal rivenditore di componenti elettronici dietro l'angolo, ma risulterei sensibilmente sorpreso se questo si verificasse. Rivolgendosi a rivenditori specializzati, come per esempio il servizio postale offerto dalla R.S. Component S.p.A., oppure servendosi del servizio commerciale della Distrelec di Milano, o altri distributori, certamente sarà più semplice reperirlo. Inoltre, nel preciso momento in cui leggete queste righe, possono essere nati tantissimi altri servizi che risolvono ancora meglio questi problemi di approvvigionamento.

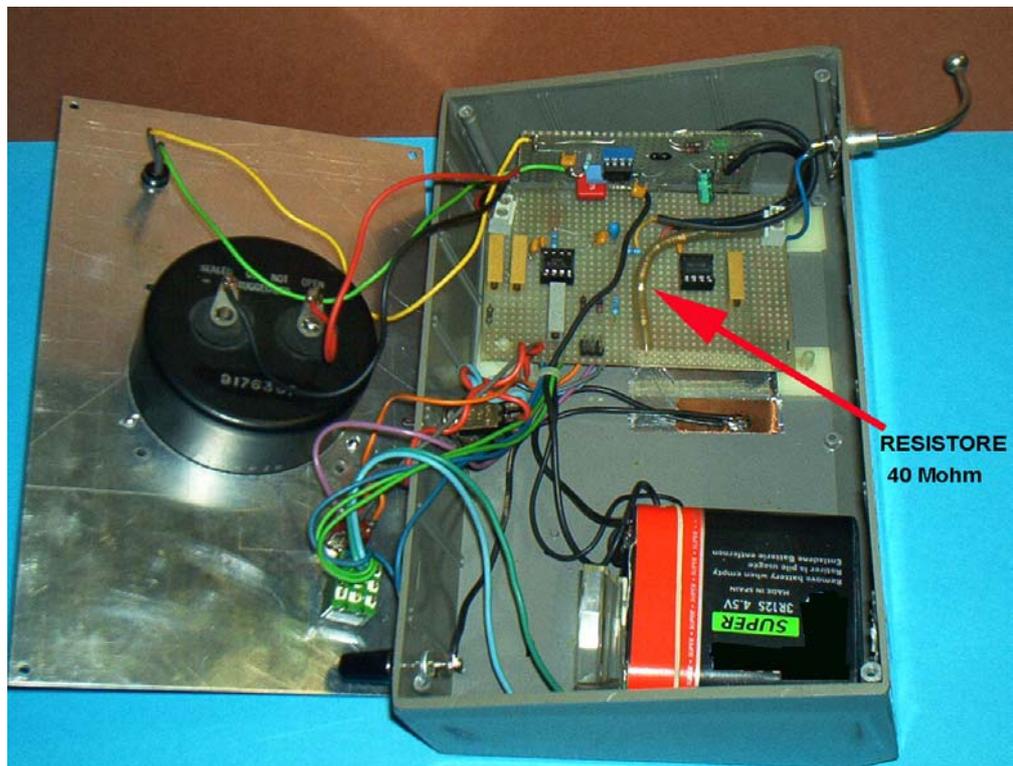


Fig. 18.7 - Vista interna dell'apparecchio montato -

Oppure, se vi siete serviti dell'aiuto e della consulenza di un vostro amico elettronico molto bravo è possibile che questi risolva il problema con una soluzione circuitale completamente diversa modificando completamente lo schema da me proposto.

Non voglio a questo punto perdermi in chiacchiere per descrivervi il circuito in ogni sua parte poiché ritengo che un buon elettronico, che lo esamini accuratamente, è certamente in grado di capire quello che si deve fare. Voglio solo farvi notare che il circuito, in realtà non è che un amplificatore molto sensibile, in grado di rilevare i campi elettrici che si presentano nei pressi del sensore elettrometrico. Tale amplificatore deve poi pilotare uno strumentino a zero centrale, che deve avere una corrente di fondo scala compresa fra 250 e 500 μA . L'amplificazione può essere regolata tramite un deviatore posto sul pannello, in questo modo, essa potrà essere incrementata o diminuita di circa 10 volte. Grazie a questa caratteristica, avrete la possibilità di adattare la sensibilità dello strumento alle condizioni che si presentano nella misura. Inoltre è necessario, dopo la taratura, disegnare in modo visibile i segni, positivo e negativo ai margini estremi della scala dello strumentino a zero centrale. La figura successiva mostra il prototipo realizzato dal sottoscritto nel 1996. Questo apparecchio è montato in un contenitore di plastica grigia, dotato di frontale in alluminio a sua volta collegato sulla massa del circuito.

Ho chiamato questo misuratore di campo elettrico con il nome "**Elettroscopio Elettronico**" per il fatto che si utilizza analogamente a un perfetto elettroscopio.

Realizzato lo strumento, per saggiarne le potenzialità provate a strofinare una verga di materiale plastico con un panno di lana e avvicinatela al sensore metallico dello strumento: vedrete l'indice dello strumentino dirigersi verso il



lato negativo della scala. Viceversa se provate a elettrizzare una verga di vetro e avvicinate quest'ultima all'apparecchio, l'indice dello strumentino si dirigerà verso il positivo. Grazie a questo strumento quindi, voi potete non solo rilevare con estrema sensibilità la carica elettrica posseduta dai corpi isolanti che avete elettrizzato, ma potete anche stabilire il segno di questa carica.

L'unico suggerimento che vorrei darvi è di considerare l'estrema vulnerabilità del circuito per quanto riguarda l'integrato AD546 che risulta il suo punto debole. Quindi bisogna stare molto attenti.

Fig. 19.7 - Elettrometro funzionante -

Se ponete troppo vicino all'elettroscopio, una macchina elettrostatica molto potente, rischiate di danneggiarlo. Anche l'elettroforo di Volta è in grado di bruciare il circuito integrato AD546, se dovesse scoccare una scintilla fra l'elettrometro e l'elettroforo. Quindi fate molta attenzione.

Ricordatevi (come abbiamo già detto), che con un elettroscopio elettronico potete facilmente apprezzare la polarità di una carica elettrica di un corpo elettrizzato. Quindi, potete provare ad avvicinare all'apparecchio una verga di plastica elettrizzata per strofinio, per vedere l'indice dello strumento elettronico dirigersi verso il polo negativo. Viceversa, potete provare ad avvicinare una verga di vetro elettrizzata (per esempio) per osservare lo spostamento dell'indice dello strumento verso il polo positivo.

A questo punto credo che sia superfluo continuare a parlarvi di cosa potete fare con un elettroscopio di tipo elettronico, la vostra fantasia e la vostra abilità di docente e di divulgatore, sapranno ben consigliarvi sulle numerose esperienze che potete preparare.

7°Laboratorio

La gabbia di Faraday (schermi elettrici)

TARGET:

Scuola primaria e secondaria

Materiale occorrente:

Rete metallica, elettroscopio (se di tipo elettronico è meglio), elettroforo di Volta.

La gabbia di Faraday è un'esperienza che vuole dimostrare una importante legge dell'elettrostatica che dipende a sua volta dal teorema di Gauss. Se un corpo conduttore viene caricato di elettricità, le cariche elettriche si disporranno solo sulla superficie esterna del corpo. Grazie a questo enunciato, un involucro di materiale conduttore, anche se costituito da una semplice rete metallica, può essere considerato un elemento di protezione rispetto ai campi elettrici per un eventuale sistema posto al suo interno. Su questo principio funzionano alcuni tipi di parafulmini, che avvolgono completamente l'edificio con una gabbia fatta da nastri di metallo a loro volta connessi a dei pozzetti di terra. Questo sistema di protezione, ideato dal fisico belga Luigi Melsen nel 1865 funziona proprio con il principio della gabbia di Faraday.

Se desiderate effettuare questo tipo di esperienza, è necessario che vi costruiate una gabbietta metallica, all'interno della quale possiate inserire un elettroscopio. La presenza dell'apparecchio, posto all'interno della gabbia, deve servire per dimostrare che le cariche elettriche non riescono a penetrare all'interno. Posso assicurarvi che questa esperienza è ritenuta estremamente formativa da un punto di vista tecnico soprattutto da parte di scuole di formazione aziendali. Nelle aziende manifatturiere, dove si producono manufatti tecnologici di tipo elettronico, risulta estremamente importante tenere in debito conto i danni, che possono essere procurati dalla carica statica chiamata "ESD" (a tale proposito rimando alle tabelle poste all'interno

dell'appendice di modulo e alle note). I discenti, attraverso questa semplice esperienza, verificano direttamente la capacità di protezione elettrostatica da parte di gabbie o di contenitori metallici o anche di buste conduttive, utilizzate per racchiudere i dispositivi elettronici che devono essere protetti. Gli operatori o impiegati, presenti in questi corsi, grazie alle osservazioni fatte con questa esperienza, intuiscono facilmente la necessità di indossare camici speciali (detti antistatici) oppure di provvedere ad rispettare le norme di qualità vigenti legate al problema ESD.

A questo punto, una volta costruita la gabbietta metallica di cui sopra potete cominciare le sperimentazioni. Innanzitutto vi consiglio di provare l'elettrometro all'esterno della gabbia disponendolo, una volta attivato, ad una distanza di circa due metri da voi. La sensibilità dello strumento non deve essere posta al massimo, la cosa importante ai fini didattici è che dovrà essere posto in modo che i vostri allievi possano vedere agevolmente le indicazioni riportate dall'indice dello strumento. Intanto, vi sarete organizzati con un elettroforo di Volta e avrete provveduto a caricare il disco. Se sollevate il disco dell'elettroforo di Volta, vi accorgete che lo strumento segnalerà la presenza di un campo elettrico positivo anche a diversi metri di distanza. Mi raccomando di non avvicinare assolutamente il disco di alluminio all'elettrometro per evitare che la scarica elettrica possa innescarsi fra l'elettroforo e l'elettrometro. In questo spiacevole caso il vostro elettrometro smetterà di funzionare del tutto perché la scarica elettrica ne danneggerebbe la delicata elettronica interna. Nelle condizioni ambientali più ottimali, ho visto l'elettrometro segnalare il campo elettrico di un elettroforo di Volta anche a 4 metri di distanza. Non dovete quindi preoccuparvi, i presenti alla vostra lezione riusciranno ad apprezzare il campo elettrico prodotto dall'elettroforo anche se vi ponete in condizioni di massima sicurezza per l'incolumità del vostro strumento.

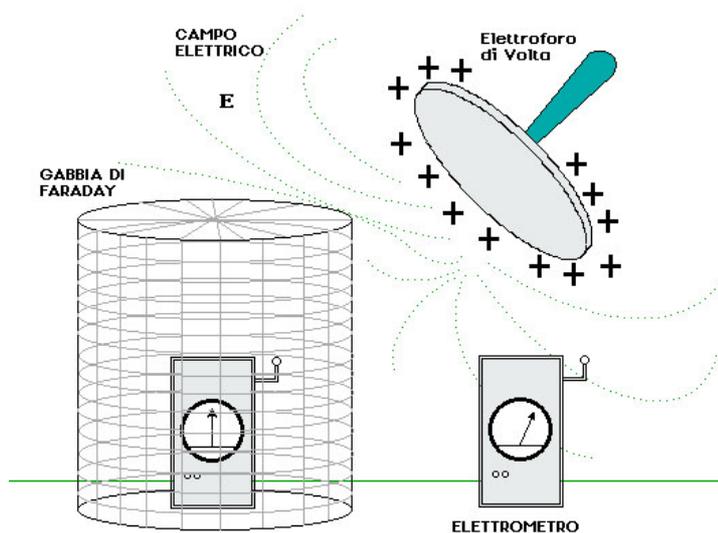


Fig. 20.7 - Esperimento con la gabbia di Faraday -

Successivamente, dopo questa osservazione, chiuderete il vostro elettrometro all'interno della gabbia di Faraday. In queste condizioni, l'elettrometro non segnalerà alcun campo elettrico se avvicinate il disco dell'elettroforo di Volta e lo muovete all'esterno della gabbia. Questa verifica vi permetterà di concentrare l'attenzione degli astanti sulla capacità protettiva o schermante dei contenitori metallici, e all'occorrenza potrete parlare della

protezione dei fulmini offerta dalle autovetture in metallo, delle buste di materiale antistatico che avvolgono le schede elettroniche più delicate, dei parafulmini di Melsen ed altro ancora. Oppure, se siete un insegnante di fisica e state svolgendo la vostra lezione ad un pubblico di studenti di scuola superiore o di grado universitario, potete approfittare di questo esperimento utilizzando lo stesso come “**elemento di attenzione**” e lanciaarvi successivamente nel vivo di una lezione di teoria che riguarda le equazioni di Maxwell e la legge di Gauss. Posso assicurarvi, che il grado di attenzione dei vostri allievi sarà molto più elevato di quello che potete immaginare.

8°Laboratorio

Costruiamo un generatore di alta tensione

TARGET:

Scuola secondaria

Materiale occorrente:

Vedi testo

Un generatore ad alta tensione è un accessorio indispensabile per effettuare un certo numero di esperienze, non solo nel campo dell'elettrostatica, ma anche in svariati altri casi pratici.

Per quanto un laboratorio scolastico che si rispetti ne debba avere certamente qualcuno in grado di funzionare, ho voluto ugualmente illustrarvi il modo di costruirvene uno in proprio. Il mio desiderio è riuscire ad essere più completo possibile negli aiuti che tramite questo testo, mi propongo di offrirvi. È ovvio, che potete ignorare del tutto questo laboratorio se ritenete l'impresa troppo complessa o non strettamente indispensabile per le vostre necessità. Anche questa realizzazione, come la precedente, è zeppa di difficoltà di tipo tecnico che solo un elettronico esperto è in grado di risolvere completamente.

Non ho intenzione di proporvi un generatore di elettricità statica ad alta tensione, come l'eventuale realizzazione di una macchina di tipo **Wimshurst**, oppure una tipo **Van de Graaff**. La mia idea è permettervi di realizzare un generatore tipo rocchetto di **Ruhmkorff**. Per tale realizzazione però, farò uso di una bobina elettrica per automobili, in modo che possiate procurarvela con la massima semplicità presso un deposito di automobili da demolire, oppure rivolgendosi ad un elettrauto amico. Non sarà certamente un apparecchio bello a vedersi nel suo insieme, ma vi assicuro che la sua funzionalità vi lascerà strabiliati. Il progetto che vi mostro, è una vecchia esecuzione del 1990 che tuttora funziona perfettamente senza mai aver subito, per lo meno fino ad ora, un intervento tecnico di riparazione. Per quelli tra di voi che se ne intendono di elettronica, vi dico subito che il circuito funziona a stato solido, tramite due transistori di potenza tipo BU149 in parallelo, entrambi connessi in configurazione darlington con un BD159. Il circuito è in pratica un oscillatore a onde quadre, con frequenza regolabile, che pilota in ingresso una bobina elevatrice di tensione, in uso nelle normali automobili a benzina. Il circuito è stato attentamente studiato in modo da proteggere tutta l'elettronica da

scariche elettriche indesiderate che possono danneggiare i componenti utilizzati. Essendo in grado di generare una tensione pulsante a 270 Hz e con un valore di tensione ai morsetti di circa 20.000 V , bisogna ovviamente provvedere a tutti gli accorgimenti di sicurezza necessari per evitare pericoli. Diciamo subito che queste tensioni così elevate, che mettono gli operatori in una giustificata condizione di paura, non devono però spaventare in modo esasperato. Il generatore non è in grado di fornire livelli di correnti elettriche pericolose. Vale però sempre la regola che la prudenza non è mai troppa. La figura seguente mostra lo schema elettronico dettagliato del circuito di pilotaggio e la bobina elevatrice di tensione.

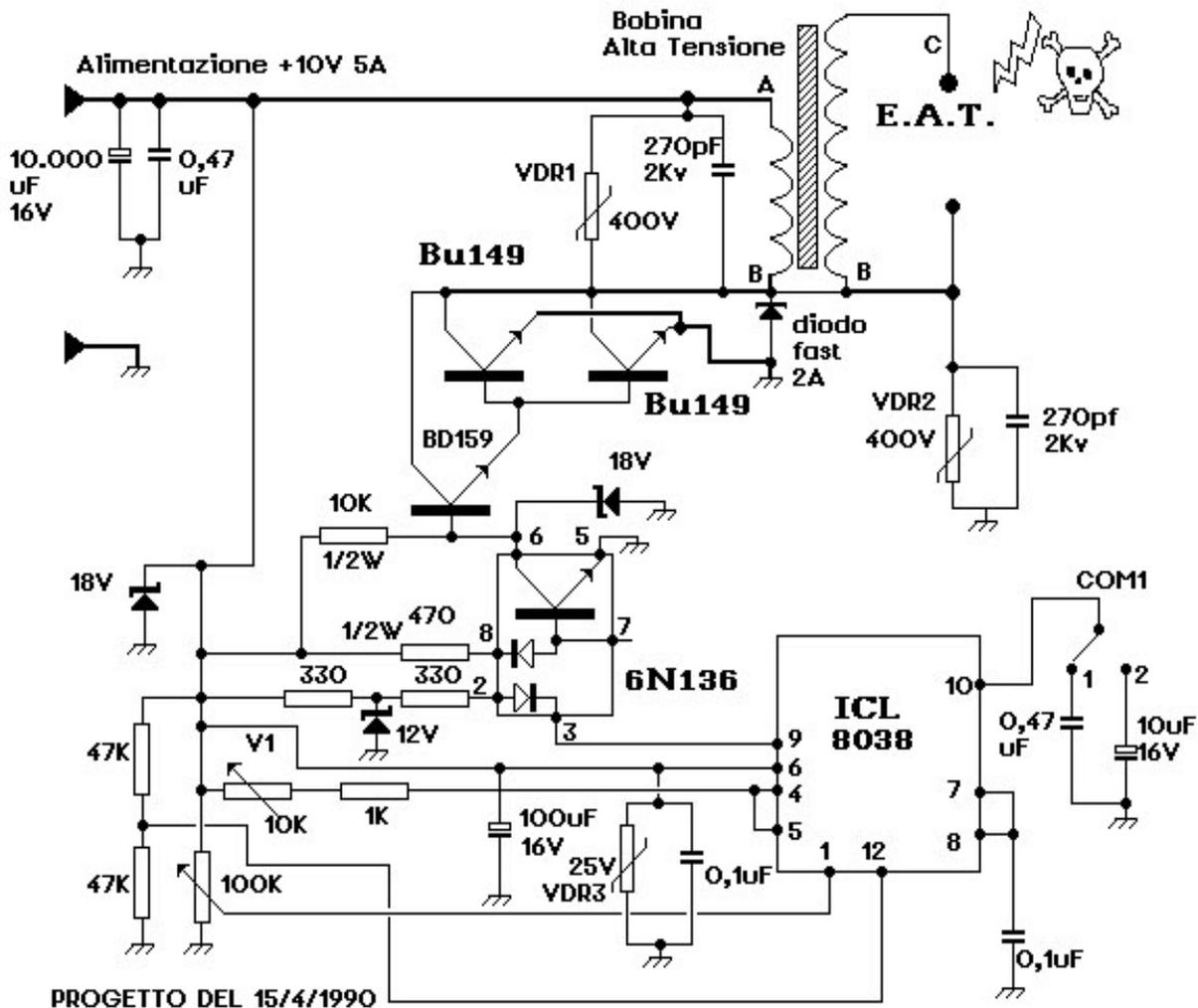


Fig. 21.7 - Schema elettronico dell'elevatore di tensione -

Il cuore del circuito è costituito dal circuito integrato siglato ICL8038. Si tratta di un oscillatore integrato a frequenza variabile, in grado di fornire in uscita segnali oscillanti a onda sinusoidale, a dente di sega, o a onda quadra. Di questo circuito viene sfruttata solo l'uscita del piedino 9 (onda quadra) che, tramite un fotoaccoppiatore di isolamento, tipo 6N136, fornisce il segnale a onda quadra sul gruppo di potenza costituito dai transistori che vi ho nominato. La frequenza del circuito è regolata tramite il potenziometro V1 da 10 kohm che deve essere quindi montato all'esterno. L'altro potenziometro, da 100K, può essere sostituito da un trimmer interno, poiché la sua funzione è solo di

taratura. Quest'ultimo, infatti, serve solo a modificare leggermente la forma d'onda sinusoidale (che in questo caso, voi non utilizzerete). Il commutatore COM1 che, come gli esperti elettronici possono vedere, seleziona due condensatori posti sul piedino 10 del circuito integrato ICL8038, serve per cambiare la gamma di frequenza di uscita. L'elevatore elettronico di alta tensione, illustrato in questo progetto, funziona in condizioni ottimali se COM1 è posizionato nella posizione 2 e se il potenziometro V1 è regolato per avere una frequenza di 270 Hz. Con questa frequenza la bobina funzionerà nelle condizioni di massimo rendimento e produrrà una tensione di circa 20.000 V. Sul morsetto centrale di questa bobina, si potranno produrre scariche elettriche lunghe da 2 a 3 cm. Vi ricordo che la bobina dell'automobile si comporta come un autotrasformatore. Essa infatti, ha solo tre terminali, poiché il terminale di riferimento del secondario è connesso elettricamente al terminale di ingresso che porta il segno negativo (-). Lo schema precedente in figura n. 21.7 mostra con molta chiarezza questo punto.

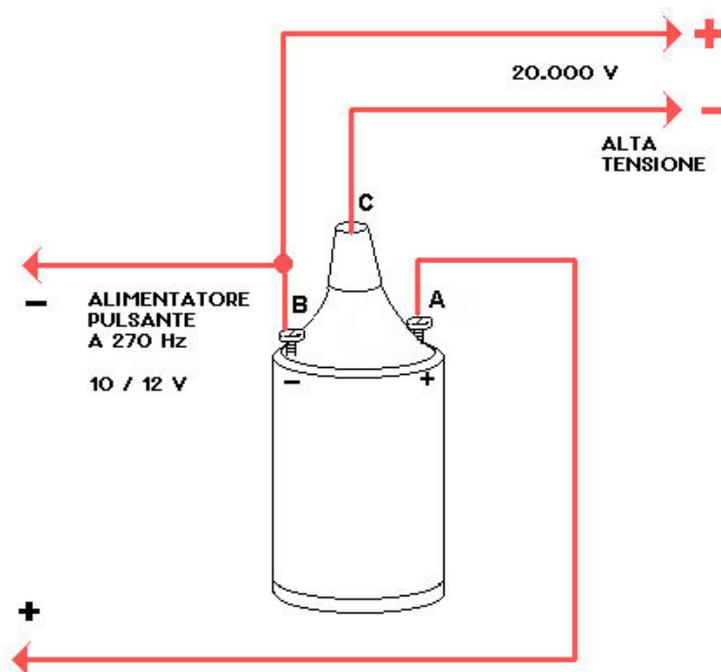


Fig. 22.7 - Connessioni elettriche e polarità della bobina di autoinduzione -

Una cosa importantissima e che deve essere subito detta è che il generatore ad alta tensione fornisce in uscita un valore non perfettamente alternato. In pratica il valore medio della 20.000 volt tende ad avere una polarità. Questo polarità elettrica porta il punto centrale della bobina (punto C) ad assumere un valore di tensione fortemente **negativo** rispetto al terminale primario di ingresso siglato (-) (punto B). Questo fatto non è noto a tutti. La maggior parte delle persone e degli pseudoesperti ritiene infatti, che il terminale centrale della bobina fornisce un positivo di corrente. Questo è assolutamente errato. Questa disposizione polare del generatore deve essere tenuta in debita considerazione in base agli esperimenti che si intendono effettuare. Tornando alla descrizione del circuito, voglio ricordare l'importanza dei componenti VDR1, VDR2 e VDR3 (varistori), per non parlare dei vari diodi zener. L'omissione di questi componenti dal circuito non influenza il funzionamento principale del progetto, il circuito continuerà a funzionare come prima.



Fig. 23.7 - Prototipo dell'elevatore di tensione per bobina -

L'unico inconveniente che si potrà presentare è una bassa affidabilità del vostro generatore. Il dispositivo, infatti, potrebbe rompersi anche dopo pochi minuti di funzionamento. Quindi, a seguito della loro grande capacità di protezione, dobbiamo considerare questi componenti come le parti elettroniche più importanti e quindi assolutamente indispensabili. L'industrioso insegnante, che ha deciso di realizzarlo o di farselo costruire da un tecnico elettronico amico, non deve dimenticare di montare i due transistori finali tipo BU149 sopra una aletta di raffreddamento. Tutta l'elettronica del progetto deve essere alimentata con una tensione di 10V -12V in grado di fornire una corrente di 5 ampere. Non disponendo di un alimentatore di questo tipo, può anche essere adoperata la tensione continua prodotta da una batteria di accumulatori per automobile. L'immagine seguente vuole mostrarvi il prototipo costruito nel 1990, realizzato in modo molto spartano e forse dotato di poco senso estetico. Sia l'elettronica illustrata precedentemente che l'alimentatore di 12 V - 5 A hanno preso posto all'interno della cassetta di legno mostrata dalla foto.

Per usare correttamente l'apparecchio dovrete successivamente munirvi di cavetti isolati che dovrete utilizzare per connettervi ai morsetti del dispositivo.



Fig. 24.7 - Connettore autocostruito utilizzabile per il terminale AT della bobina -

Qualche problema di connessione potrete trovarlo per collegarvi al punto (C). Questo punto è il morsetto dove troveremo la tensione più alta che, come abbiamo detto, è fortemente negativa rispetto al punto (B). È comunque possibile costruirsi in proprio il connettore necessario. La foto n. 24.7 mostra un connettore realizzato dal sottoscritto che impiega un cilindro di carbone avvolto da nastro isolante conduttore in alluminio. Sopra al nastro di alluminio è stato posto un termorestringente ed infine un isolatore di gomma. Sulla sommità del cilindro di carbone, ricoperto come abbiamo detto di alluminio, è stato saldato un capocorda.

Il cavetto da utilizzare per la connessione nel punto (C) deve essere assolutamente isolato. I cavetti elettrici tradizionali non sono adoperabili, poiché non sono progettati per tensioni così elevate. Pertanto vi dovete procurare del tubetto trasparente in PVC, per esempio quello che utilizzano gli appassionati di acquariologia. Con questo tubo, utilizzato come guaina supplementare di protezione, potete realizzarvi un cavetto per alta tensione. Il tubo flessibile trasparente deve avere un diametro interno di alcuni millimetri. Potete a questo punto introdurre, all'interno del tubicino, un cavo elettrico normale da 1,5 mm di diametro, comprato presso un rivenditore di materiali elettrici. Otterrete in questo caso, un cavo resistente all'alta tensione utilizzabile per queste esperienze.

9° Laboratorio

Costruiamo un Elettrete (carica elettrica permanente)

TARGET:

Esclusivamente per il docente

Materiale occorrente:

Un generatore di alta tensione, cera d'api, cera di carnauba, ceralacca, colofonia.

Tutti sanno che un magnete permanente possiede la capacità di generare un campo magnetico costante per tempi molto lunghi, praticamente si può dire in eterno. Il nome comunemente usato per indicare questo dispositivo è il termine "**calamita**". Tutti da bambini ne abbiamo posseduta certamente una. Come avremo modo di chiarire, in un modulo successivo dedicato al magnetismo, questo dispositivo è in grado di creare attorno a sé un campo magnetico. Come manifestazione di questo genere di fenomeni, bisogna dire che oltre al campo magnetico esiste anche il campo elettrico. Questo modulo essendo completamente dedicato al campo elettrico costituisce una grande opportunità per farvi conoscere l'esistenza di dispositivi in grado di produrre un campo elettrico permanente, similmente alla calamita che produce invece il campo magnetico. Questi dispositivi sono chiamati "**elettreti**" ed hanno la peculiare capacità di mantenere costantemente per tempi lunghi un campo elettrico, senza la necessità di disporre di macchine complicate in grado di sostenerlo.

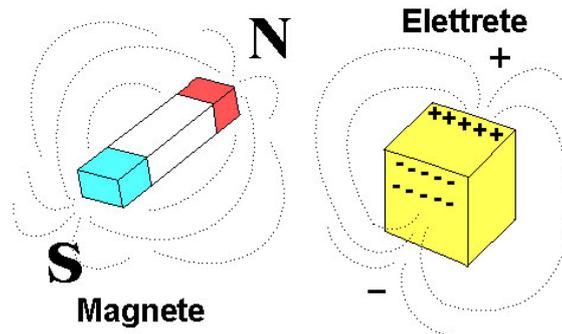


Fig. 25.7

Gli elettreti, si comportano cioè proprio come le calamite (magneti), solo che producono, nel loro intorno, un campo di forze di natura elettrica. Questi materiali stupefacenti sono stati scoperti nel 1922 dal professore Mototaro Eguchi. Questo fisico giapponese, preparò una miscela di resine e cere facendo solidificare l'impasto tenendo il crogiolo all'interno di un campo elettrico molto intenso. Appena le resine si solidificarono, esse conservarono l'elettrizzazione indotta dal generatore in modo permanente. Il blocchetto di resina presentava quindi su di una faccia il polo positivo e su quella opposta il polo negativo. Materiali di questo tipo trovano oggi svariati campi di applicazione nel mondo dei trasduttori, dei microfoni o nelle apparecchiature da laboratorio. L'effetto fisico, alla base del funzionamento di queste resine isolanti, sta nel fatto che il materiale presenta una certa polarizzabilità al campo elettrico. Questa proprietà è una caratteristica di tutti i materiali isolanti. Ebbene l'elettrete, per il modo particolare in cui è preparato, permette il congelamento (se così si può dire) della polarizzazione elettrica delle molecole che lo costituiscono, presentando per tempi praticamente eterni un campo elettrico statico al suo interno.

Vi lascio solo immaginare le meravigliose esperienze che possono essere realizzate avendo a disposizione degli elettreti. Innanzitutto, risulta estremamente formativo per un giovane studente concepire l'esistenza del campo elettrico e trattarlo alla stregua del campo magnetico prodotto dalle calamite. Quindi ritengo che il solo fatto di parlare dell'esistenza dell'elettrete sia molto importante e costituisca una indispensabile conoscenza. Tramite questi materiali possono poi essere osservati i fenomeni di induzione elettrica, possono essere mostrate con più facilità esperienze riguardanti il campo elettrico e tanti altri esperimenti di cui solo la fantasia di un docente può concepirne un limite.

La preparazione di un elettrete non è affatto cosa semplice, e soprattutto non è fra quelle esperienze che può essere fatta in un'aula. Ne ho voluto parlare per il piacere di darvi questa conoscenza e mettere sulla giusta strada coloro i quali vogliono tentare di prepararne un esemplare. Personalmente, provai a lavorare con la preparazione di elettreti circa 25 anni fa, ottenendo risultati non molto soddisfacenti. La mia miscela di ceralacca e cera d'api si elettrizzò solo per pochissimo tempo. Successivamente provai una miscela che comprendeva 18 g di ceralacca, 15 g di cera d'api, un pastello a cera e una spruzzata di TiO_2 (ricorderete certamente che si tratta di una polvere facilmente elettrizzabile). Sottoponendo la miscela a 5000 V ottenni un risultato

migliore del precedente ma certamente non idoneo agli scopi sperimentali che mi prefiggevo.

Vi voglio ora descrivere la tecnica e soprattutto la ricetta che dovete realizzare per ottenere i risultati più soddisfacenti da questi materiali così curiosi. Prima di tutto dovrete realizzare una scatola rettangolare, oppure di altra forma che possa tenere la mistura di resine calde. Un'idea molto pratica è offerta da quei contenitori in alluminio per uso cucina (biscotti e affini) che risolve anche il problema del collegamento elettrico ad uno dei terminali. Il potenziale elettrico necessario potrebbe essere quello prodotto da un generatore ad alta tensione simile a quello studiato nel modulo precedente. Il contenitore di alluminio descritto, è comodo anche per il fatto che si presta ad essere facilmente rimosso alla fine del processo di modo da permettere la fuoriuscita del blocchetto di resina indurito che si è solidificato al suo interno (elettrete).

La figura 27.7 mostra un impianto abbastanza complesso ma estremamente funzionale per la sperimentazione e quindi la preparazione di un elettrete. Voi potete basarvi anche su qualcosa di più semplice, l'importante è assicurarvi della stabilità del campo elettrico che applicate alla mistura di resine. Difatti, tale figura 27.7 mostra la presenza nel circuito di una sonda 100:1 che connessa ad un misuratore elettronico di tensione (un oscilloscopio per esempio) permette di verificare il completo livellamento della tensione e la misura di questa grandezza.

Per ottenere un buon livellamento della tensione occorre utilizzare un condensatore per alta tensione che può essere costruito abbastanza facilmente. Una capacità di 80nF ma, anche 50 nF sono valori ottimali per le necessità del circuito. Avvolgendo circa 1/2 metro quadrato di foglio di alluminio ed avendo l'abilità di realizzare le due armature separate da alcuni fogli di acetato e disponendo il tutto a forma di cilindro come mostra la figura, si riesce ad ottenere questo valore di capacità con una corrispondente tensione di lavoro di svariate migliaia di volt. Il condensatore usato nell'impianto mostrato dalla figura 27.7 ha mostrato di possedere una rigidità elettrica molto prossima a 10.000 V e questo è stato ottenuto con un solo foglio di acetato trasparente comprato in una cartoleria. Agendo sul regolatore di frequenza del generatore di alta tensione (ricordiamo al lettore che stiamo utilizzando quello che abbiamo descritto nel laboratorio precedente) si è potuto avere, grazie al condensatore, una sorta di regolazione a impulsi (PWM) che ha permesso una ottima regolazione della tensione. Il valore di lavoro è stato portato fra 7000 / 7500 V.

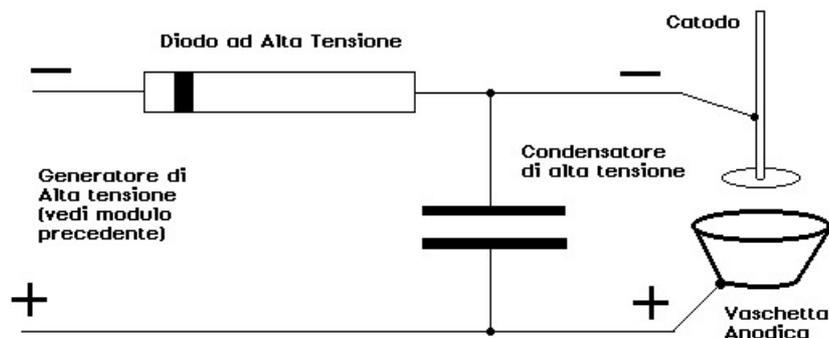


Figura 28.7 Schema elettrico delle connessioni principali

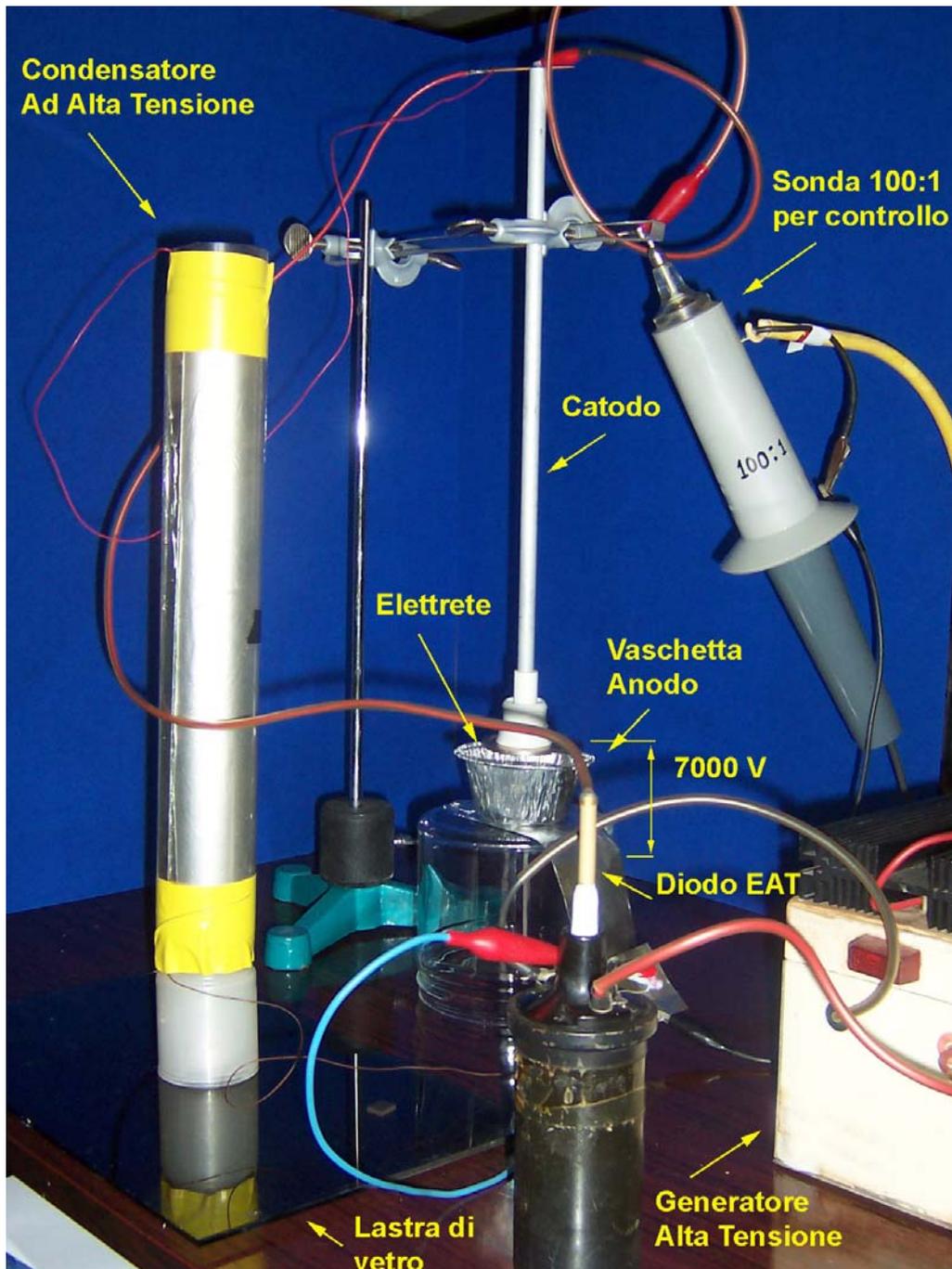


Figura 27.7 - Impianto per ottenere un elettrete (laboratorio dell'autore) -

Il catodo è costituito da un'asta cilindrica alla cui base è collegato un dischetto di alluminio di 5 cm di diametro che sarà tenuto a una distanza di pochi millimetri appena sopra la superficie della resina calda, posta nella vaschetta (a resina solidificata il catodo può successivamente essere messo in contatto con essa). Il catodo è connesso al polo negativo del generatore, la connessione elettrica a quest'ultimo è però preceduta dall'inserzione di un diodo per alta tensione (EAT). L'armatura inferiore (la vaschetta) è invece connessa al polo positivo dello stesso generatore ad alta tensione. All'interno della vaschetta viene introdotta la miscela di resina fusa che era stata precedentemente liquefatta in un crogiolo o in un pentolino. Mentre si aspetta la solidificazione del preparato, bisogna avere cura di tenere in funzione

costantemente il generatore di alta tensione su un valore di tensione prossimo a quello indicato e cioè di circa 7000 V.

Se provate a realizzare un dispositivo molto simile a questo che ho descritto, dovrete avere dei risultati migliori di quelli che riuscii a concretizzare nel 1980. Tutto dipende anche dal tipo di miscela resinosa che si deve sciogliere. A quei tempi non conoscevo la miscela di Eguchi e quindi ottenni un successo solo parziale. La miscela di resine che usò nel 1922 Mototaro Eguchi si basa su una composizione di **cera di carnauba** al 45%, **olio di colofonia** al 45%, ed infine il 10% di **cera d'api**. La cera di carnauba è facilmente reperibile da venditori di materiali per il trattamento di legno o mobili. Questa resina si estrae da una palma tropicale del Brasile che si chiama Copernicia cerifera. Da una sola foglia di questa palma possono essere estratti 7 kg di resina. Normalmente è un costituente principale di alcuni rossetti o pastelli. L'olio di colofonia e la cera d'api possono essere acquistati presso gli stessi tipi di rivenditori che ho già menzionato. In alcuni articoli raccolti in varie letterature straniere, ho trovato che alcuni ricercatori hanno effettuato interessanti esperimenti con il plexiglas (leucite). È importante però considerare che la temperatura di fusione di questa resina è più alta della miscela di Eguchi, quindi l'apparato sperimentale deve essere studiato con maggiore cura. Anzi, il mio tentativo di descrivere con assoluta autenticità quello che ebbi modo di realizzare nel lontano 1980, non deve indurvi a pensare che l'apparato sia perfetto.

Non dimenticate di stare molto attenti alla possibile infiammabilità di queste resine (non considererei esagerata l'idea di munirsi di un estintore a polvere durante il periodo che effettuate l'esperimento) e soprattutto alla sistemazione del dispositivo che, facendo uso di un generatore di alta tensione può emettere scariche elettriche fastidiose. Per quanto riguarda il diodo per alta tensione vi informo che potete anche realizzarlo utilizzando una connessione di 5 o 6 diodi 1N4007 collegati in serie tra loro. Un qualsiasi rivenditore di materiale elettronico può disporre di questo tipo di componente dal costo bassissimo, oppure può avere un tipo equivalente. Per quanto riguarda invece il condensatore, potreste avere serie difficoltà a trovarlo in commercio per questo vi ho consigliato di costruirvelo. Questo componente deve filtrare la tensione per renderla molto stabile. Il diodo e il condensatore non sono necessari se siete riusciti a procurarvi uno di quei generatori di alta tensione che forniscono una tensione continua (nei mercati dell'usato è possibile trovare anche questo genere di materiale). Per finire, voglio ricordarvi, che appena la vostra resina è ben solidificata e quindi l'elettrete è praticamente pronto, dovrete osservare un cambiamento di polarità elettrica del blocco. Questo cambiamento, che si traduce in un ribaltamento della polarità, si realizza una sola volta all'inizio e poi l'elettrete resta praticamente polarizzato in modo permanente. In effetti, la faccia del blocchetto di resina che si solidifica a contatto con l'armatura positiva presenterà, per le note leggi dell'induzione elettrostatica, una polarità negativa. Il lato del blocchetto di resina, che invece è applicato sull'armatura negativa, presenterà una polarità positiva. Questo è appunto quello che dovrete misurare appena estraete il materiale dal dispositivo di caricamento. Dopo alcuni giorni di riposo però, l'elettrete invertirà la sua polarità e sarà questa condizione a permanere in modo definitivo. Per assicurarsi che l'elettrete resti sempre ben elettrizzato, bisogna cortocircuitare le due facce con una striscia conduttiva di alluminio. Ne più e né meno, di come viene fatto normalmente, per conservare i magneti permanenti. Le

polarità magnetiche di questi ultimi, infatti, si cortocircuitano tramite un materiale ferromagnetico che chiude il circuito magnetico fra il polo nord e il polo sud del magnete. Alcuni ricercatori consigliano di mettere l'elettrete in pressione (ponendo un peso uniforme sulla sua superficie) per alcune ore subito dopo che se ne preparato uno.

NOTE: Per assicurarsi che le resine si solidifichino correttamente è fondamentale tenerle in fusione per un tempo adeguato e mescolarle accuratamente. Purtroppo non ho trovato in letteratura informazioni specifiche che riguardano queste procedure legate quindi alla padronanza tecnica dell'operatore e al suo buon senso. La miscela Eguchi così descritta, andrebbe tenuta sul fuoco per un tempo di circa 10 minuti nel caso si decidesse per una preparazione pari ad una quantità di circa 50 grammi attraverso l'uso di un pentolino piccolo in acciaio.

10° Laboratorio

Costruiamo un Condensatore Particolare

TARGET:

Scuola secondaria

Materiale occorrente:

Un generatore di alta tensione, buste nere (quelle utilizzate dalla nettezza urbana), fogli di alluminio (articoli casalinghi), fogli lucidi per diapositive.

Potevo parlare di questo esperimento, quando ho accennato alla costruzione del condensatore di Leyda. Infatti, quello di cui intendo parlarvi è la costruzione di un condensatore per alta tensione.

Tuttavia questo laboratorio presenta, per il modo in cui allestiamo il sistema, una certa originalità che contribuisce a fornirgli una valenza didattica molto speciale che certamente è utile quando l'insegnante parla dei condensatori. Si tratta di un'idea molto semplice e banale che va realizzata in aula per mostrare in concreto il principio di funzionamento di un condensatore. Posso assicurarvi che l'esperienza risulta estremamente avvincente e presenta le caratteristiche didattiche che ritengo fondamentali per un pubblico di studenti di scuola superiore.

È assolutamente indispensabile avere a disposizione un buon generatore di alta tensione. Quello presentato precedentemente è perfetto allo scopo. Personalmente l'ho provata anche con un elettroforo di Volta, ma non si ottengono gli stessi risultati.

Per procedere nella realizzazione basta stendere sul pavimento circa 1,5 metri di carta di alluminio ricavata da una confezione casalinga normalmente utilizzata per avvolgere gli alimenti. Sopra questa striscia di alluminio si devono successivamente stendere due o tre strati di buste scure, di quelle che servono per raccogliere i rifiuti. I risultati migliori si ottengono con i sacchi formato condominio, per intenderci quelli grossi, da 70 l. Le buste devono essere stese una sopra l'altra senza aprirle. Nello stendere le buste di plastica ci si deve

assicurare di coprire completamente il foglio di alluminio tranne un pezzetto di 10 o 20 cm che resterà accessibile verso un bordo. A questo punto bisogna stendere sulle buste un nuovo foglio di alluminio, di circa 1 metro, avendo cura di non avvicinarlo troppo verso il lato dove sporge il rimanente foglio di alluminio precedente che poggia a terra, e facendo attenzione che questo secondo foglio di alluminio non tocchi l'altro in nessun punto evitando inoltre contatti con il pavimento. In questo modo è stato allestito un ottimo condensatore per alta tensione.

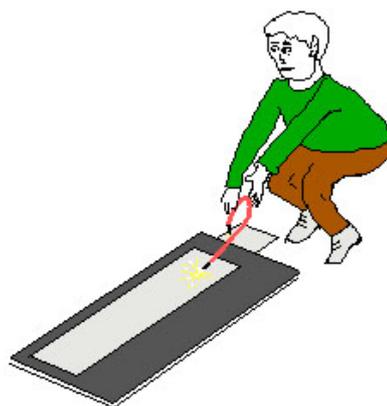


Fig.29.7 - Un condensatore per alta tensione fatto con buste e fogli di alluminio -

Una delle due armature è costituita dal foglio di alluminio inferiore, che poggia sul pavimento, mentre l'altra è costituita dal foglio di alluminio posto superiormente. Le buste di polietilene scure della nettezza urbana sono invece il dielettrico del condensatore. Se attivate il generatore di alta tensione collegandone i capi ai due fogli di alluminio, potete provare a caricare questo condensatore. mi raccomando di fare molta attenzione, per il fatto che state adoperando un dispositivo che può fornire tensioni che possono andare oltre 10.000 Volt.

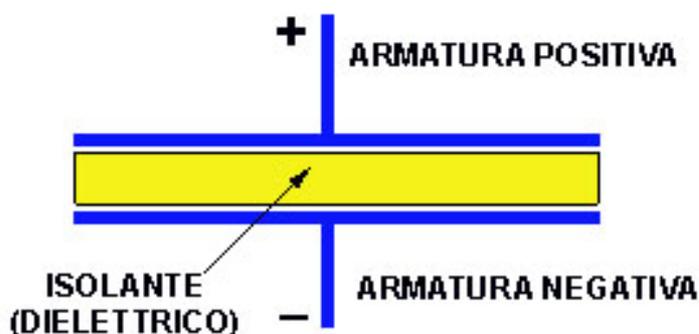


Fig. 29.1.7 - Schema di un condensatore -

Le armature vanno collegate al generatore per pochi istanti servendovi sempre di cavetti ben isolati. Se tutto verrà fatto a puntino, vedrete la carta di alluminio serrarsi verso il pavimento e sentirete uno sfregolio. Se non ci sono

difetti di costruzione il condensatore si è caricato. Spegnete a questo punto il generatore di alta tensione e riponetelo. Munitevi di un filo elettrico isolato e avvicinate i terminali di questo filo alle due armature per metterle in corto. Quando si verificherà una scintilla accompagnata da un botto non spaventatevi, questo dimostrerà inequivocabilmente che il dispositivo si era caricato di energia.

Potete ripetere la prova quante volte volete, il risultato è certamente molto scenografico. Lo stesso risultato lo si può avere anche realizzando un condensatore più piccolo formato A4, utilizzando fogli lucidi trasparenti come quelli che vengono normalmente usati per le slides. Anche in questo caso, i vostri studenti potranno verificare che, il funzionamento del dispositivo e la sua capacità di contenere una certa quantità di energia sottoforma di cariche elettriche, dipenderà proprio dalla struttura geometrica che realizzerete.

Mi raccomando di fare molta attenzione se avete deciso di fare questo esperimento in laboratorio. Assicuratevi che nessun allievo possa avvicinarsi al punto dove è in funzione il dispositivo. Inoltre, sarebbe buona norma assicurarsi che il laboratorio sia molto ampio e che gli impianti elettrici, tra cui l'impianto di terra siano in perfetto stato funzionale.

APPENDICE :

SERIE TRIBOELETTRICA	
POSITIVO +	ARIA
	MANI DELL'UOMO
	AMIANTO
	PELLAME DI CONIGLIO
	VETRO
	MICA
	CAPELLI UMANI
	MINIO
	NYLON
	LANA
	PELLAMI GENERICI
	PIOMBO
	SETA
	ALLUMINIO
	CARTA
	COTONE
	ACCIAIO
	LEGNO
	AMBRA
	CERALACCA
	NICHEL, RAME
	OTTONE, ARGENTO
	ORO, PLATINO
	ZOLFO
	RAYON
	POLIESTERE
	CELLULOIDE
	POLIURETANO
	POLIETILENE
	POLIPROPILENE
	POLIETILENE
NEGATIVO -	PVC
	SILICONE
	TEFLON

SOSTANZA	ϵ_r	SOSTANZA	ϵ_r
Acetone	20.7	Micalex	7 - 8
Acqua pura	80	Micanite	3 - 3.8
Acqua pesante	79.7	Neoprene (gomma)	4.1
Acido formico	58	Nylon	3.4 - 3.5
Acido cloridrico (1 Atm.)	1.00379	Olio minerale per trasformatori	2.2 - 2.5
Ammoniaca (1 Atm.)	1.00659	Ossigeno	1.000495
Anidride carbonica (CO ₂)	1.000985	Paraffina	2 - 2.5
Aria secca (N 80%, O 20%)	1.000536	Petrolio	2.1
Ardesia	6 - 8	Plexiglass (leucite)(PMMA)	3 - 3.6
Allumina	4.5 - 8.4	Polietilene (PE)	2.25 - 2.3
Ambra	2.8	Polistirene(PS)	2.4 - 2.75
Azoto (1 Atm)	1.000548□	Politetrafluoroetilene (PTFE)	2.1
Bachelite	5 - 7	Porcellana	4.5 - 6
Biossido di Titanio (TiO ₂)	90 - 170	Pressspan	2.5 - 5
Bromo	3.1	Quarzo	4.1
Carta (secca)	1.6 - 2.6	Rubino	11 - 13
Carta bachelizzata	5	Selenio	6.6
Carta paraffinata	2.5 - 4	Silicio	11.7
Ceramica (generale)	35 - 50.000	Steatite	6
Cloruro di polivinile (rigido)(PVC)	3.0 - 3.1	Tantalio pentossido	26
Cicloesano	2.02	Teflon (PTFE)	2.0
Cloroformio	4.8	Tela/carta plastificata	5.5 - 5.6
Cloruro di polivinile (flessibile)	4.02	Tetracloruro di carbonio	2.24
Ebanite	2 - 3	Titanato di Bario	1000
Etanolo (alcol etilico)	24.5	Altri titanati (Ca Mg Pb)	15 - 12000
Germanio	15.8	Titaniato di stronzio	310
Glicerina	41.1	TiO ₂	90-170
Gomma elastica	2.3 - 2.7	TiO/SrO miscela	40 - 60
Gommalacca	2.6 - 3.7	Tricloroetilene (trielina)	3.4
Guttaperca	2.6 - 4	Vetro (generico)	4.5- 10
Kapton (poliimmide)	3.9	Vetro (Crown)	3 - 6
Idrogeno (1 Atm)	1.000804	Vetro (Pyrex)	3.8 - 6.0
Legno secco	2.5 - 7	Vetro (Flint)	7 - 10
Marmo	8 - 12	Vernice al Silicone	50 -55
Metano	1.000804	Zolfo	3.6 - 4.3
Metanolo (alcol metiico)	32.7		
Mica	5 - 6	Xenon	1.001238

Costante dielettrica di alcuni materiali isolanti

Rigidità dielettrica	
Materiale	V/mm
Aria secca	2.000 - 3.000
Olio minerale	15.000
Vetro comune	50.000
Ebanite	60.000
Carta impregnata	40.000
Porcellana	10.000
Fibra rossa	2.000
Gomma para	30.000
Micanite	35.000
Backelite	10.000
Mica bianca	100.000

VALORI DEL POTENZIALE E.S. RILEVATO SU VARI TIPI DI MATERIALI PRESENTI NEGLI AMBIENTI DI LAVORO		
Modalità di produzione delle cariche	Umidità relativa	
	10 - 20 %	65 - 75 %
Persona che cammina su tappeto/moquette	35.000 V	1.500 V
Persona che cammina su pavimento vinilico	12.000 V	250 V
Cartelline viniliche portadocumenti di lavoro	7.000 V	600 V
Busta in plastica comune spostata sul tavolo di lavoro	20.000 V	1.200 V
Sedia da posto di lavoro con imbottitura (poliuretano)	18.000 V	1.500 V

Potenziale di rottura di alcune tecnologie integrate	
SOGLIE DI SENSIBILITÀ (in Volt)	TIPO DI COMPONENTE
250 - 3000	CMOS
190 - 2500	OP-AMP
30 - 1800	VMOS
100 - 200	MOSFET
100 - 300	GaAsFET
100	EPROM
140 - 7000	JFET
380 - 7000	BI-POLAR TRANSISTOR
300 - 2500	SCHOTTKY DIODES
1000 - 2500	SCHOTTKY TTL

La seguente tabella mostra, per ogni diversa tecnologia in uso in campo elettronico, il livello di potenziale minimo elettrostatico tramite il quale si verificano i primi difetti statistici sul semiconduttore.

ALLEGATO:

Legge di Coulomb

Un qualsiasi corpo, essendo costituito da moltissimi atomi, possiede a sua volta un numero veramente elevato di cariche elettriche. Gli atomi infatti sono costituiti intimamente da cariche elettriche positive e da cariche elettriche negative. Queste cariche però, essendo appaiate ognuna con la propria carica complementare, non producono effetti macroscopici evidenti. Ogni corpo materiale nel suo stato normale è per tal ragione considerato neutro.

Un corpo elettrizzato, invece, è un materiale che possiede un certo squilibrio fra queste due cariche. Tutti i corpi si elettrizzano, sia quelli isolanti che quelli conduttori. I corpi conduttori tendono praticamente a distribuire la loro carica sulla superficie e possono facilmente perdere l'elettrizzazione se collegati a terra. Infatti, in questo caso, a causa della buona conducibilità del materiale, le cariche elettriche si propagherebbero verso terra disperdendo tutta la carica posseduta dal corpo. I corpi isolanti, proprio a causa della loro bassissima capacità di condurre corrente, possono accumulare grandi quantità di cariche elettriche che si localizzano nei punti dove è avvenuta l'elettrizzazione del materiale. Come tutti sanno, cariche elettriche dello stesso segno tendono a respingersi, mentre cariche elettriche di segno diverso tendono ad attrarsi. Le leggi che regolano l'attrazione e la repulsione di corpi carichi di elettricità sono state formulate dal Colonnello Charles Augustin de Coulomb nel 1785. Il fisico francese determinò che la forza di attrazione o di repulsione fra due cariche elettriche dipende dal prodotto del valore delle due cariche ed è inversamente proporzionale alla distanza al quadrato a cui esse sono poste.

$$|F| = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \quad (1.07)$$

Mentre la costante "k" è un parametro di proporzionalità, le cariche "Q" devono essere definite in qualche modo. Inizialmente il vecchio sistema CGS (centimetro, grammo, secondo) definiva la carica elettrica in **statcoulomb**. Successivamente, con l'introduzione del sistema MKSA (metro, kilogrammo, secondo, ampere) e con la definitiva entrata in vigore del Sistema Internazionale delle Unità di Misura, fu necessario apportare alcune razionalizzazioni metrologiche, che produssero la definizione attuale di carica elettrica con il nome di "**coulomb (C)**", la costante "k" a sua volta fu espressa dalla seguente relazione:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} = \left[\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right] \quad (2.07)$$

Il termine "ε" è chiamato costante dielettrica del vuoto o dell'aria e nel S.I. ha il valore di $8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m (farad/metro). I termini fra parentesi, che rappresentano le grandezze fisiche dimensionali, risultano essere: "N", la forza

in newton; “m”, la distanza fra le cariche, in metri ed infine “C”, il valore assunto dalle cariche, misurato in coulomb. Poiché la costante “k” assume nel vuoto o nell’aria il valore di:

$$8,9875 \cdot 10^9 \cdot \left[\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right] \quad (3.07)$$

Il coulomb è definito come quella carica elettrica che, posta alla distanza di un metro da un’altra carica unitaria, manifesta una forza di attrazione o di repulsione di circa 9 miliardi di newton.

Come diretta conseguenza di questa definizione, la carica elettrica assunta dall’elettrone equivale a $1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb.

Vi voglio a questo punto mostrare un esempio di straordinaria efficacia didattica realizzato dagli autori A.C. Melissinos e F. Lobkowitz nel loro libro “Fisica 2 per scienze e ingegneria” edito dalla Piccin.

L’atomo di rame consiste in un nucleo circondato da 29 elettroni. Il peso atomico del rame è 63,5 g/mol. Prendiamo ora due pezzi di rame, ciascuno di 10 g (chiamati “a” e “b”) e trasferiamo da “a” in “b” un elettrone per ogni 1000 atomi di rame del pezzo “a”. Quale sarà la forza tra “a” e “b” se sono distanti 10 cm? Dobbiamo prima calcolare quanta carica è stata trasferita da “a” in “b”. Il numero di atomi in una grammomole (cioè in 63,5 g di rame) è $6 \cdot 10^{23}$; abbiamo trasferito:

$$6 \cdot 10^{23} \cdot \frac{10g}{63,5} \cdot \frac{1}{1000} = 9,45 \cdot 10^{19} \cdot \text{elettroni}$$

La carica elettrica totale trasferita vale:

$$9,45 \cdot 10^{19} \cdot (1,602 \cdot 10^{-19} \cong -15 \cdot \text{coulomb})$$

All’inizio i due pezzi di rame erano neutri per cui alla fine il pezzo “a” avrà una carica di +15 coulomb, mentre il pezzo “b” avrà una carica di -15 coulomb. Il modulo della forza attrattiva tra i due pezzi di rame ha il valore:

$$f = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{(15)^2}{(0,1 \cdot m)^2} = 2,03 \cdot 10^{14} \cdot \text{newton}$$

Si tratta di una forza di attrazione molto elevata. Un transatlantico ha una massa di circa $7 \cdot 10^7$ kg e quindi un peso di circa $7 \cdot 10^8$ newton. Potremo sollevare 300.000 transatlantici se riuscissimo in qualche maniera ad attaccarli ad uno dei due pezzi di rame. In realtà non riusciremo mai a depositare 15 coulomb sopra un oggetto così piccolo; le forze tra le cariche del medesimo blocco lo polverizzerebbero. Quando carichiamo elettricamente un oggetto aggiungiamo o togliamo elettroni solo agli atomi degli strati atomici superficiali e anche là disturbiamo al massimo un atomo su mille.

Questo bellissimo esempio numerico, oltre a farci comprendere la forza straordinaria che risulta racchiusa in una carica elettrica di un coulomb, ci permette di capire con maggiore chiarezza i fenomeni che abbiamo osservato durante i laboratori di questo modulo. Tutte le volte che abbiamo elettrizzato una verga di plastica, di ebanite, oppure elettrizzato un elettroforo e abbiamo visto sprigionarsi da esso scintille o abbiamo avuto effetti di attrazione e repulsione fra pendolini e altre migliaia di oggetti diversi, ebbene, sappiamo con certezza che tutti questi fenomeni sono il risultato del trasferimento di pochissime frazioni di coulomb.

Caratteristiche del campo elettrico

Supponiamo di avere un corpo carico di elettricità "Q" positiva. Questo corpo produce un campo elettrico uniforme le cui linee di forza assumono la configurazione illustrata dalla figura n. 30.7.

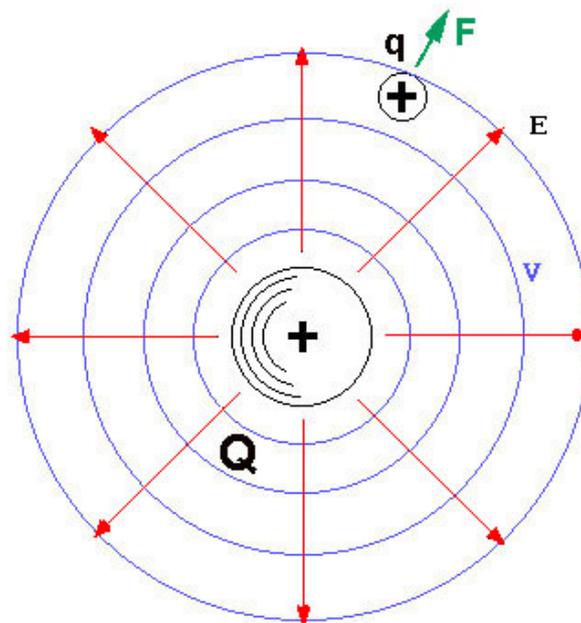


Fig. 30.7 - Campo elettrico uniforme di una carica "Q" e forza di repulsione esercitata su di una carica "F" di prova -

Se consideriamo il corpo come una sfera metallica isolata, possiamo ritenere che esso produca un campo elettrico abbastanza uniforme. Supponiamo ora di avere un corpo più piccolo dotato anch'esso di carica elettrica positiva "q". Il campo elettrico "E" prodotto dalla sfera metallica principale (linee rosse), respinge il corpo più piccolo con una forza "F" (freccia verde) che tende ad allontanare la carica "q". Possiamo definire l'intensità di campo elettrico "E", il rapporto tra il valore di questa forza, che tende ad allontanare la carica "q" fino all'infinito e il valore di quest'ultima.

$$|E| = \frac{|F|}{q}$$

(4.07)

Da tali premesse si deduce facilmente che il campo elettrico è una grandezza vettoriale. Se utilizziamo la formula n. 4.07, possiamo esprimere il modulo del campo elettrico numericamente, tramite l'unità di misura newton/coulomb.

Se sostituiamo al termine che esprime la forza "F" la formula della legge di Coulomb possiamo, tramite semplici passaggi analitici, semplificare la carica elettrica "q" e pervenire alla relazione:

$$|E| = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2}$$

(5.07)

Tale relazione esprime, in pratica, il valore di campo elettrico misurato sulla superficie della sfera carica. Esso dipende unicamente dal valore della carica "Q" e dal raggio "d" della sfera.

Ovviamente il campo elettrico assume una geometria radiale, con una serie di linee che partono dalla carica e si allontanano rettilinee nello spazio, solo se è generato da una carica isolata nello spazio. In teoria la carica dovrebbe essere puntiforme, oppure come è mostrato dalla figura precedente, il campo deve essere prodotto da un corpo conduttore di forma sferica. Più in generale la geometria del campo elettrico prodotto da una carica risente fortemente della presenza di altre cariche elettriche poste nelle sue immediate vicinanze. Lo schema successivo mostra il campo elettrico generato da due corpi dotati di diversa carica elettrica. In esso è chiaramente visibile la complessità della geometria delle linee di forza delle due cariche mutuamente interagenti.

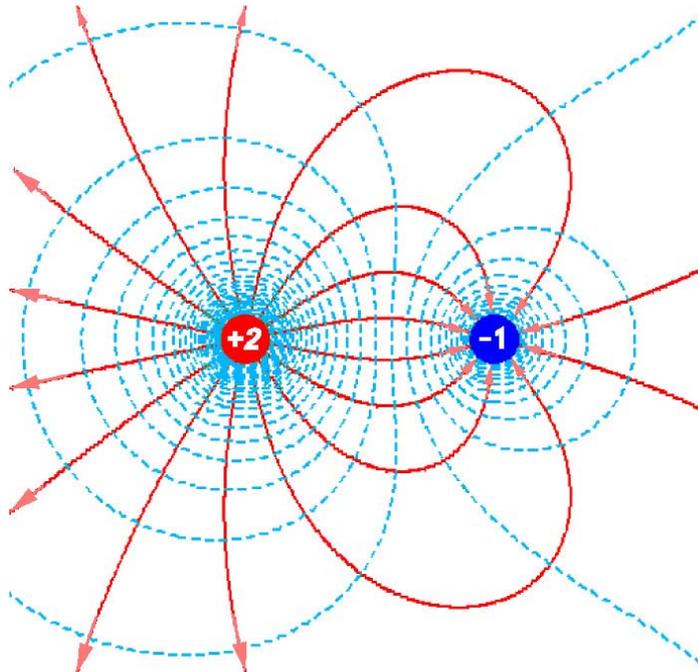


Fig. 31.7 - Campo elettrico e campo dei potenziali fra due cariche elettriche -

Oltre quelle appena citate, esiste anche un'altra grandezza molto importante legata al campo elettrico prodotto da una carica chiamata "**potenziale elettrico**". Il potenziale elettrico è legato alle interazioni energetiche delle forze di campo. Per capire meglio questo concetto consideriamo le linee azzurre tratteggiate riportate nelle figure precedenti: possiamo misurare l'energia che le forze di campo impiegano per spostare la carica elettrica "q" da una linea azzurra qualsiasi a una distanza infinita, cioè una distanza tale che gli effetti del campo elettrico risultino nulli. Il rapporto che si ottiene dividendo il lavoro impiegato per fare questa operazione e la carica "q", si chiama potenziale elettrico di quel punto ("L" ha ovviamente le dimensioni di un'energia "W").

$$V = \frac{L}{q} \quad (6.07)$$

Se invece volessimo misurare l'energia impiegata per spostare la carica elettrica "q" da un punto "a" disposto su una delle linee azzurre, ad un punto "b" disposto su di un'altra linea tratteggiata, più che di potenziale elettrico si parlerà di differenza di potenziale fra i due punti considerati.

$$V_a - V_b = \frac{L}{q} \quad (7.07)$$

Il campo elettrico è un campo conservativo, quindi il valore del lavoro necessario per spostare la carica elettrica non risente del tipo di tragitto che scegliamo per lo spostamento, ma dipende unicamente dalla distanza che esiste tra il punto d'origine e la destinazione.

Ricordandoci la definizione data dalla fisica, il lavoro può essere considerato pari al prodotto della forza per lo spostamento: utilizzando la legge di Coulomb come espressione della forza, con semplici passaggi analitici è facile pervenire alla seguente formula che esprime parimenti il potenziale del campo elettrico in funzione della carica elettrica "Q" distribuita sulla sfera e della distanza "d" in cui viene effettuata la misura:

$$V = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \frac{Q}{d} \quad (8.07)$$

Se consideriamo una distribuzione di cariche elettriche "Q₁, Q₂, Q₃, ... Q_n" poste a diverse distanze tra loro, chiamando "d₁, d₂, d₃, ... d_n" le distanze di ogni carica da un generico punto nel quale vogliamo calcolare il potenziale elettrico, possiamo scrivere:

$$V_T = k \cdot \frac{Q_1}{d_1} + k \cdot \frac{Q_2}{d_2} + k \cdot \frac{Q_3}{d_3} + \dots k \cdot \frac{Q_n}{d_n} \quad (9.07)$$

L'unità di misura del potenziale elettrico è il volt. Un potenziale pari ad **1 volt** è quel potenziale che esiste tra due punti di un campo elettrico, tale che le forze di campo compiano il lavoro di **1 joule** per spostare da un punto all'altro la carica di **1 coulomb**.

Il campo elettrico può anche essere definito come il rapporto tra la differenza di potenziale che esiste fra due regioni del campo, o per meglio dire due punti, e la loro distanza. Per questa ragione il campo si può misurare come volt su metro (V/m).

In conclusione possiamo dire che il campo elettrico intorno ad un corpo carico può essere descritto sia dal **vettore di intensità del campo elettrico** - "E" - ma, anche da una quantità scalare chiamata **potenziale elettrico** - "V" -. Queste quantità sono intimamente connesse e spesso può risultare solo una questione di convenienza usare l'una o l'altra in un dato problema a seconda dei casi.

Legge di Gauss

Abbiamo detto che possiamo depositare la carica elettrica sopra la superficie di un materiale isolante ed in tal caso la carica elettrica resterà dove l'abbiamo depositata. Ma possiamo trovarci anche nelle condizioni di voler depositare la carica elettrica sulla superficie di un materiale conduttore. In questo caso cosa accade ? Abbiamo già detto, in alcuni laboratori di questo modulo, che il materiale conduttore tenderebbe a scaricare verso terra le cariche elettriche, qualora ovviamente si verificano condizioni di dispersioni con quest'ultima. Tuttavia, con opportune attenzioni, possiamo operare in modo che questo non accada. Possiamo per esempio, considerare il caso di un corpo conduttore perfettamente isolato da collegamenti con la terra. Ebbene, in questo caso, le cariche che andremo a depositare in un certo punto, non resteranno localizzate in quell'area, ma date le caratteristiche conduttive, cominceranno a muoversi. Un conduttore è un materiale che presenta cariche libere in grado di spostarsi, appunto la conduzione, quindi ci è facile comprendere la ragione di questo movimento. Il fatto interessante è che se il corpo conduttore è isolato elettricamente da altri corpi, le cariche si distribuiscono uniformemente su tutta la superficie del conduttore. Anche quest'ultimo punto non deve assolutamente meravigliarci, infatti, le cariche elettriche che depositiamo sul corpo, sono tutte dello stesso segno. Queste cariche producono delle forze repulsive che agiscono influenzandosi tutte reciprocamente e grazie a tali forze coulombiane di repulsione reciproca, tenderanno a disporsi alla massima distanza tra loro. Ecco il motivo della naturale uniforme disposizione delle cariche sulla superficie del corpo. Vi faccio notare che la distribuzione delle cariche sulla superficie del conduttore è ulteriormente influenzata dalla forma del corpo. La distribuzione sarà uniforme solo nel caso di un corpo sferico e perfettamente conduttore di elettricità. Se il corpo ha la forma di una sfera carica, avremo che al centro di essa un campo elettrico nullo. Tale fenomeno è perfettamente descritto dalla legge di Gauss.

Voglio però esprimere correttamente i mirabili concetti di questa importante legge dell'elettrostatica. Per fare questo, consideriamo di nuovo una

sfera conduttiva di raggio “d” uniformemente caricata con una certa carica elettrica di valore “Q”. Il campo elettrico sulla superficie della sfera sarà come sappiamo pari a:

$$|E| = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2} \quad (10.07)$$

A questo punto se moltiplichiamo il valore del vettore “E” per la superficie, otteniamo il valore del flusso del vettore “E” prodotto dalla carica “Q” attraverso la superficie sferica stessa.

$$|E| \cdot S = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2} \cdot 4 \cdot \pi \cdot d^2$$

Semplificando i termini simili abbiamo:

$$\phi = |E| \cdot S = \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad (11.07)$$

Che risulta essere l'espressione del flusso di campo elettrico del nostro specifico caso. Se invece vogliamo generalizzare il concetto per renderlo applicabile in tutti gli altri casi, possiamo scrivere:

$$\phi = \int E \cdot dS \quad (12.07)$$

Quest'ultima espressione è proprio la relazione fondamentale della legge di Gauss, chiamata anche seconda legge di Maxwell. Il modo in cui si comportano le cariche sulla superficie esterna di un conduttore, ci spiega la ragione schermante della gabbia di Faraday che abbiamo conosciuto in uno dei laboratori di questo modulo.

Capacità elettrica di un corpo

Tutti i corpi, in genere, se vengono elettrizzati hanno la proprietà di trattenere le cariche elettriche che vi vengono deposte. Ci chiediamo se esiste una possibilità di misurare questa attitudine da parte dei corpi a mantenere le cariche elettriche al loro interno. Questa caratteristica viene definita **capacità** del corpo. In teoria, il concetto di capacità può essere applicato a tutti i corpi, ma diventa importante studiare il caso dei conduttori. Ogni corpo conduttore, sia esso un sfera di metallo, un chiodo, un sistema di armature o lo stesso

pianeta Terra, ha la proprietà di accumulare cariche elettriche. La conseguenza fondamentale che scaturisce da questa proprietà è il fatto che il corpo conduttore ritiene la carica e la conserva per tempi teoricamente infiniti. La **capacità** di un conduttore di accumulare una determinata carica è una proprietà legata alla sua geometria ed ad altri importanti parametri che riguardano il materiale di cui è costituito e di come il sistema si presenta. Per fare un'analogia ricorrendo ad un esempio idraulico, la capacità di un conduttore elettrico è, in un certo senso, simile alla capacità volumetrica dei contenitori preposti per contenere liquidi. Nella nostra analogia, il volume di una ipotetica bottiglia e la capacità del conduttore elettrico sono due concetti analoghi. Nel primo caso, avremo l'acqua che penetra nella bottiglia e vi si conserva. Nel secondo caso, avremo le cariche elettriche che si accumulano nel conduttore.

L'esatto contrario della capacità di un corpo è definito con il termine **elastanza** che risulta essere un concetto perfettamente opposto al concetto della capacità. Un corpo che possiede una elevata elastanza è un corpo che ha pochissima attitudine a caricarsi di cariche elettriche. Conduttori a forte elastanza sono conduttori che hanno proprietà geometriche tali da rendere poco significativo il valore della loro capacità. Per esempio il sistema atomico (mi avete capito bene parlo proprio dell'atomo) è considerato in natura un sistema ad elevata elastanza, poiché risulta estremamente bassa la capacità atomica. Questo concetto di capacità atomica deve essere inteso come la capacità che si estende fra l'elettrone (armatura negativa) e il nucleo (armatura positiva). Vedi a tal proposito il concetto descritto a pagina n.167 del modulo n.3.

Ma analizziamo meglio la proprietà definita **capacità elettrica** di un corpo conduttore.

Una semplice sfera metallica, come abbiamo visto, può essere ritenuta un sistema dotato di una certa capacità. Si dimostra che la capacità di un conduttore è il rapporto fra la carica elettrica "Q" accumulata e il valore del potenziale "V" misurato sulla superficie del conduttore.

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1 \cdot \text{coulomb}}{1 \cdot \text{volt}} = 1 \cdot \text{farad}$$

(13.07)

Se la carica elettrica è misurata in **coulomb** e il potenziale in **volt**, la capacità si misura in **farad**. Sistemi di conduttori che hanno la proprietà di manifestare il fenomeno della capacità si chiamano condensatori o capacitori.

Un sistema, dotato di una struttura geometrica canonica che realizza con molta semplicità un condensatore è costituito da due conduttori di geometria piana ravvicinati, chiamati armature. Ponendo tali conduttori molto vicini fra loro e collegandoli infine ad un generatore di potenziale, possiamo caricare il sistema inviando al suo interno delle cariche elettriche. Il campo elettrico che si verrà ad instaurare all'interno delle armature è la causa che tenderà a mantenere, in modo teoricamente permanente, lo stato di carica del sistema condensatore. La figura n. 32.7 mostra un esempio di condensatore costituito da due armature di metallo circolari, poste in modo ravvicinato.

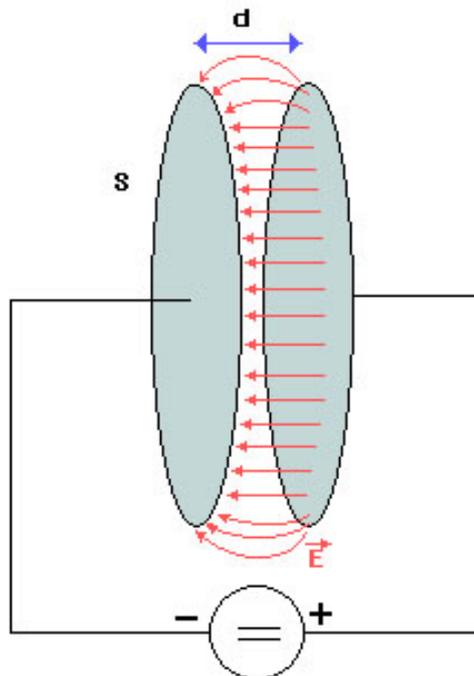


Fig. 32.7 - Condensatore piano -

Il condensatore di Leyda, descritto accuratamente all'interno di uno dei laboratori di questo modulo, è realizzato con questa filosofia costruttiva.

Il pianeta Terra, che grazie alla sua grande massa viene considerato normalmente da un punto di vista elettrico un elemento di riferimento a potenziale zero, visto nel suo insieme è anche associabile ad un grosso condensatore. Una delle armature del condensatore Terra, è la ionosfera con il suo potenziale di circa **360.000 V**. L'altra armatura è la Terra stessa. Pare che la capacità del condensatore Terra sia di circa **3 farad**

Su diversi testi scolastici soprattutto i più vecchi, si legge che la capacità di un farad è una capacità molto grande e questo è vero, ma si legge ancora, con palese errore, che la capacità di un farad è difficilmente raggiungibile. Attualmente condensatori di un farad sono comunissimi, addirittura è possibile ordinare condensatori di 5000 farad da pochi volt di lavoro che sono grandi come parallelepipedi da 16 X 6 X 7 cm. Per calcolare la capacità di un condensatore con struttura geometrica simile a quella illustrata nella figura mostrata precedentemente può essere utilizzata la formula seguente:

$$C = \epsilon_a \frac{S}{d} \tag{14.07}$$

Dove "S" è la superficie di una delle armature e "d" è la distanza fra esse. Il termine " ϵ_a " è la permittività elettrica assoluta. Nel caso dell'aria il valore è pari a $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m (farad/metro). Nel caso invece che fra le due armature sia posto un particolare materiale isolante con un determinato valore di " ϵ_r " bisogna utilizzare la relazione:

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \tag{15.07}$$

In appendice a questo modulo potrete trovare una tabella che mostra le permittività relative " ϵ_r " di diversi isolanti di uso comune.

Come abbiamo detto, il potenziale applicato al condensatore è in grado di produrre un campo elettrico, che permette di accumulare un certo numero di cariche elettriche che si distribuiranno sulla superficie interna delle armature. In

pratica e come se si verificasse un vero e proprio tiro alla fune fra il potenziale positivo presente su una delle due armature, che tende ad attrarre le cariche negative sull'altra armatura, e il potenziale negativo di quest'ultima, che tende ad attrarre le cariche positive dell'altra.

L'energia immagazzinata dal sistema condensatore è ricavabile dalla seguente espressione:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \quad (16.07)$$

Dove "C" è il valore della capacità in farad, "V" il valore della tensione in volt e "W" risulta a questo punto l'energia misurata in joule.

Possiamo anche provare a misurare la forza di attrazione che esiste fra le due armature.

$$|F| = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{2 \cdot d^2} \cdot V^2 \quad (17.07)$$

Dove "A" è la superficie dell'armatura in metri quadri, "d" è la distanza che esiste fra le due armature in metri e "V" è il valore di tensione applicato, per cui "F" sarà espresso in newton.

La consuetudine di collocare delle sostanze dielettriche fra le armature di un condensatore ci permette di ottenere un aumento della capacità elettrica del sistema. Alcune sostanze dielettriche hanno, infatti, un "ε_r" molto elevata, pertanto il loro impiego permette di accrescere la capacità del sistema di svariati ordini di grandezza. Se osservate attentamente la tabella di inizio capitolo, potete vedere come i titanati di bario hanno elevati valori di "ε_r". Un materiale isolante, che ha una costante dielettrica relativa molto elevata, partecipa attivamente al processo di polarizzazione del dielettrico, quando quest'ultimo è immerso in un campo elettrico. Quest'effetto fa sì che si abbassi il potenziale di armatura e di conseguenza aumenta la capacità del sistema. Ed è proprio per questo motivo che la polvere di ossido di titanio è stata usata in uno dei laboratori sulle cariche elettriche. Infatti, grazie all'elevato valore di "ε_r" è considerato un materiale facilmente elettrizzabile.

Il dielettrico interposto fra le armature di un condensatore può anche essere costituito da due materiali di natura diversa. Se lo spessore dei due tipi di materiali dielettrici è conosciuto, e parimenti è conosciuta anche la costante dielettrica relativa, è possibile calcolare la capacità totale di questo condensatore con la formula 18.07:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}} \quad (18.07)$$

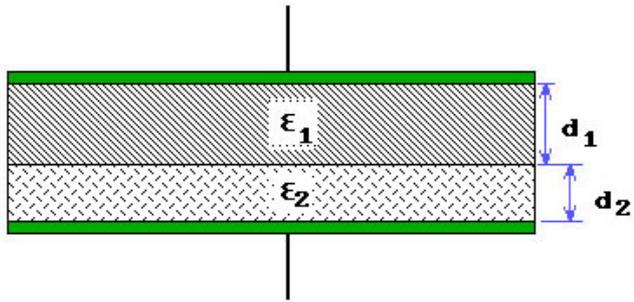


Fig. 33.7 - Condensatore piano con due dielettrici -

Nell'appendice è presente anche una tabella che mostra la rigidità dielettrica di alcuni isolanti normalmente utilizzati come dielettrico nei condensatori. Tale tabella ci permette quindi di dimensionare correttamente lo spessore che deve avere il dielettrico per evitare che la tensione, fornita al sistema condensatore, possa danneggiare il dispositivo perforandolo con una scarica distruttiva.

Paradosso dei due condensatori

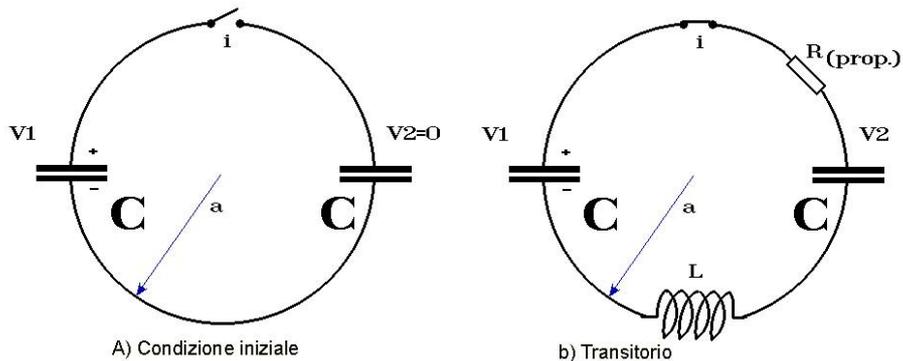


Fig. 34.7 - Circuito ideale e paradosso dei condensatori -

In elettrologia esiste il famoso paradosso dei 2 condensatori, vediamo in cosa consiste. Consideriamo un circuito ideale (vedi fig. 34.7 lato A) costituito da due condensatori uguali connessi tramite un interruttore "i". Questo circuito essendo ideale non presenta alcuna resistenza di perdita, sia per quanto riguarda la resistenza ohmica del circuito che le eventuali perdite dei condensatori utilizzati. A questo punto ipotizziamo di aver caricato il condensatore di sinistra ad una determinata tensione V_1 mentre il condensatore di destra dobbiamo ipotizzarlo perfettamente scarico. Appena chiudiamo l'interruttore "i" e trascorso il transitorio iniziale è facile dimostrare che ambedue i condensatori si trovano equamente carichi ed allo stesso potenziale. In poche parole la carica elettrica presente inizialmente nel primo condensatore si è distribuita in parti uguali dividendosi fra i due condensatori. Anche la tensione dei due condensatori è uguale e precisamente il suo valore corrisponde alla metà del valore di tensione che inizialmente aveva il condensatore di sinistra. Fino a questo punto è tutto come ci aspettavamo. Il valore dell'energia presente nel sistema non dovrebbe essere variato e dovrebbe essere pari al valore di energia immagazzinato dal primo condensatore che come sappiamo risulta definito dalla formula 16.07 che abbiamo visto proprio in questo modulo. A questo punto il lettore può facilmente

scoprire che attraverso semplici passaggi algebrici, riconsiderando il circuito costituito dai due condensatori in parallelo (e quindi con capacità totale doppia) e con tensione totale applicata al circuito dimezzata, il calcolo dell'energia immagazzinata dal circuito è la metà di quella posseduta precedentemente dal solo condensatore di sinistra. Dove è andata a finire metà dell'energia mancante ?

Ci serviremo a questo punto dell'interessante dimostrazione riportata in un articolo del luglio 2002 di Kirk T. McDonald del Joseph Henry Laboratories, Princeton University, N.J.

Non a caso il circuito è stato disegnato con uno schema circolare (identico a quello effettuato da Kirk) in modo da essere più facilmente agevolati nella dimostrazione.

In pratica, il paradosso potrebbe essere spiegato facilmente ipotizzando che il circuito essendo ideale, nel transitorio iniziale il valore istantaneo della corrente dovrebbe essere infinito. Una corrente così eccezionalmente elevata che circola in un circuito produce senza dubbio un impulso elettromagnetico. Il circuito rappresentabile come una spira di raggio "a" può quindi generare un momento magnetico e in accordo con la formula di Larmor può trasferire energia verso l'esterno sottoforma di onde elettromagnetiche. Infatti, poiché il circuito è dotato certamente di un determinato valore di induttanza distribuita (vedi fig n.34.7 lato b) si suppone che nel transitorio iniziale ci possa essere un vero e proprio regime oscillante

Il momento magnetico del circuito in unità Gaussiane vale:

$$m_t = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot I(t)}{c} \quad (19.07)$$

Dove "a" è il raggio del circuito, "c" la velocità della luce e "I" il valore della corrente. In accordo con la formula di Larmor la potenza elettromagnetica trasmessa vale quindi:

$$P_{rad} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot a^4 \cdot \ddot{I}^2}{3 \cdot c^5} \quad (20.07)$$

Dove in questo caso rappresentiamo con "I^{..2}" la derivata seconda della funzione vettoriale della corrente di circolazione del circuito. Se esiste una potenza elettromagnetica irradiata possiamo concepire una grandezza resistiva di dissipazione che rappresentiamo con il simbolo "R(prop)" - Resistenza di propagazione - vedi figura n. 34.7 lato b). Ora attraverso una serie di passaggi matematici piuttosto complessi nei quali si include appunto questa dissipazione di energia di tipo elettromagnetica, si dimostra che l'energia perduta è appunto pari alla metà di quella posseduta dal primo condensatore all'inizio dell'esperimento.