

## MODULO 8

### LA CORRENTE ELETTRICA

#### OBIETTIVO:

Esercitazioni: Definire gli aspetti qualitativi del fenomeno

Teoria: Esaminare la storia dell'elettricità e la teoria del circuito elettrico

**TARGET** : Scuola media inferiore e superiore

#### TEORIA:

##### Introduzione storica

Nel modulo precedente abbiamo già parlato di Talete di Mileto (624 – 546 a.c.) e della sua scoperta relativa all'ambra gialla che attirava piccoli pezzi di stoffa, pagliuzze e piccole piume. Nello stesso modulo abbiamo anche spiegato che, poiché il nome “**ambra**” nell'antica lingua greca significava “**Elektron**”, ben presto tutti i fenomeni, legati all'attrazione di piccoli corpi ad opera del fenomeno dello strofinio, vennero chiamati “fenomeni elettrici”. Circa 2600 anni or sono veniva quindi per la prima volta adoperato il nome “**elettricità**”. Tuttavia, a seguito delle scoperte che si sono verificate successivamente, abbiamo dovuto aspettare gli ultimi cento anni per comprendere esattamente la realtà fisica del fenomeno.

Nel 1700 i fenomeni elettrici erano già molto conosciuti e furono perfino realizzate delle macchine relativamente semplici per generarli. Gli effetti prodotti da queste artificiali realizzazioni vennero però utilizzati inizialmente perlopiù per divertire le caste nobili che per una vera e propria indagine scientifica. La prima macchina elettrica fu prodotta nel 1650, ad opera del tedesco Otto von Guericke. Questa macchina utilizzava sfere di zolfo che, poste in rotazione, producevano cariche elettriche utilizzando lo strofinio delle stesse mani dello sperimentatore. Successivamente si realizzarono macchine più sofisticate, come il generatore di **Wimshurst** o la macchina elettrostatica di **Winter**. Nel 1747 l'americano **Beniamino Franklin**, l'inventore del parafulmine, addusse la prima concreta teoria unificatrice su questo genere di fenomeni constatando che i fulmini atmosferici provocavano fenomeni elettrici simili a quelli realizzati nei laboratori dai primi sperimentatori che studiarono il fenomeno dell'elettricità. Era dunque chiaro che i fenomeni elettrici erano una proprietà della materia, ma cosa essi fossero realmente, si scoprì solo 200 anni più tardi. Intanto, alla fine del 1700 (per la precisione nel 1799), il grande inventore italiano **Alessandro Volta**, riuscì a realizzare un dispositivo che produceva un flusso elettrico continuo. Questo dispositivo fu chiamato “pila”. A questo punto erano state ormai piantate le prime basi per cominciare a utilizzare “l'elettricità”. È interessante considerare che, mentre con la pila di Volta si concretizzavano i primi circuiti elettrici e venivano effettuate tutta una serie di sperimentazioni e di studi, la vera natura della corrente elettrica era ancora sconosciuta. Solo successivamente, e cioè nel 1897, quando fu scoperto l'elettrone a opera del fisico inglese **Joseph John Thomson**, si comprese chiaramente che il flusso di corrente elettrica nella materia era

generato da queste piccole particelle che circolavano fra gli interstizi atomici dei materiali conduttori.

Nel 1808 John Dalton, chimico inglese, annunciò al mondo la teoria atomica. Nel 1823 il matematico inglese Charles Babbage progettò il calcolatore differenziale. Nel 1827 **Georg Simon Ohm**, fisico tedesco, formulò la legge sulla resistenza elettrica. L'atmosfera, già fin troppo calda che si respirava in quell'epoca, portava i segni evidenti di una rivoluzione che si andava concretizzando. Mentre nel 1847 **Faraday** e **Neumann** composero le prime leggi sull'elettromagnetismo, nel 1860 diversi ricercatori iniziavano i primi studi sulla scarica elettrica nei tubi a gas rarefatto. Questi studi determinarono importanti risultati sperimentali che nel secolo successivo permisero la realizzazione di un gran numero di dispositivi impiegati in elettronica. Ma l'elettronica propriamente detta, non era precisamente ancora nata.

Nel 1864, il fisico scozzese **James Clerk Maxwell** presentò le leggi sull'elettromagnetismo; più tardi, nel 1887 il fisico tedesco **Heinrich Rudolf Hertz** utilizzò tali leggi e dimostrò l'esistenza delle onde elettromagnetiche. Qualche anno prima, l'inventore italiano **Antonio Meucci**, grazie agli studi dell'italiano **Innocenzo Manzetti**, inventò il telefono. In quegli anni di fermento inoltre, altri scienziati e ricercatori, utilizzando le leggi dell'elettromagnetismo, riuscirono a progettare e produrre macchine che generavano corrente elettrica senza la necessità di disporre di complessi sistemi di pile. Fra questi ricordiamo l'italiano **Antonio Pacinotti** che nel 1865 realizzò la dinamo e successivamente, grazie anche agli studi di **Galileo Ferraris** ed altri arditi ricercatori, si riuscirono a costruire gli alternatori. Queste macchine avevano un rotore che veniva fatto girare meccanicamente. Appena questo rotore cominciava a ruotare, il dispositivo produceva corrente elettrica che poteva essere sfruttata collegando un utilizzatore.

Ma qualcosa stava lentamente per essere scoperta e avrebbe favorito lo scopo stesso dell'esistenza di queste macchine produttrici di energia : già nel 1852 in Italia, il piemontese **De Canghy** stava studiando un dispositivo elettrico costituito da un'ampolla di vetro e da un filamento in grado di emettere luce quando veniva attraversato dalla corrente elettrica. Nel 1879 **Thomas Alva Edison**, inventore americano dotato di un forte talento per gli affari, riuscì a brevettare la prima lampadina elettrica (vedi figura 1.8). Il primo prototipo costruito da Edison era costituito da un filamento di carbone ed era dotato di un'autonomia inferiore alle moderne lampadine di oggi (pare che la prima lampada restò accesa per 45 ore). Si deve però ricordare per rigore di cronaca che in Italia, gli esperimenti del torinese **Alessandro Cruto** sulle lampadine a filamento di platino in atmosfera di etilene, davano risultati nettamente superiori a quelli ottenuti dall'americano Edison. I lavori di Cruto non subirono il successo meritato per colpa della politica commerciale americana, che lottò per una campagna di persuasione per la lampadina di Edison. Poco dopo, nel 1908 A. Cruto morì e lasciò indifferenti tutti coloro che avrebbero dovuto apprezzarlo ed onorarlo. Successivamente un altro grande Italiano, con il nome di **Arturo Malignani**, nato a Udine (1865-1939), si lega alla storia della lampadina elettrica. Lo scienziato friulano scoprì infatti, il modo per aumentare la durata delle lampadine di circa 800 ore. Malignani propose l'incandescenza in atmosfera inerte. Sicuramente una grande scoperta per quei tempi nei confronti della quale stesso Edison si mostrò meravigliato. Per suo interessamento, Udine è stata una delle prime città italiane ad avere l'illuminazione ed il tram elettrico.



Ma torniamo alla nostra storia. Grazie alla lampadina inventata da Edison si presentava una interessante occasione di sfruttare la corrente elettrica prodotta dalle macchine generatrici. Proprio agli inizi del 1900 un ex collaboratore di Edison, il professor **Nicola Tesla** di nazionalità serba, emigrato nel 1884 a New York, aveva realizzato la prima centrale elettrica per la produzione di energia. Questa centrale che utilizzava per la prima volta la corrente di tipo alternata, sorse presso le cascate del Niagara verso il 1900 a opera dello stesso Tesla con la collaborazione strategica della Westinghouse Electric e la banca Morgan. Grazie questa centrale elettrica, New York fu completamente illuminata nel giro di pochi mesi.

Fig. 1.8 - La prima lampadina -

Successivamente ai primi impieghi della corrente elettrica come fonte di energia primaria per le moderne abitazioni, ricercatori di mezzo mondo scoprivano i principi fisici che erano alla base del fenomeno di propagazione elettrica. Ben presto, fu chiarito che la corrente elettrica era il risultato di un flusso ordinato di cariche elettriche negative chiamate elettroni. Sono proprio quelle stesse cariche elettriche che, 2500 anni prima, permisero di produrre i fenomeni scoperti e studiati da Taleto di Mileto.

## La corrente elettrica

La corrente elettrica è un flusso di particelle chiamate elettroni, i quali fluiscono all'interno di un materiale conduttore. Gli elettroni, come abbiamo già detto, sono le particelle dotate di carica elettrica negativa che fanno parte della struttura periferica degli atomi.

Affinché possa circolare corrente all'interno di un materiale è necessario che questo sia conduttore al flusso di corrente. Si definisce conduttore, un corpo che si fa attraversare facilmente dalla corrente elettrica, quindi dagli elettroni. Appartengono ai materiali conduttori quasi tutti i metalli presenti in natura. Per avere un flusso di corrente in un materiale, occorre anche fornire una certa energia agli elettroni. Questa energia è fornita dal **potenziale elettrico** che, in pratica è ciò che applichiamo ad un conduttore tramite un generatore opportuno. Un esempio di generatore in grado di fornire potenziale elettrico necessario a far fluire gli elettroni in un conduttore è la pila. Per capire questo principio fondamentale, che risulta essere la base del processo di circolazione della corrente ci serviremo di una analogia idraulica.

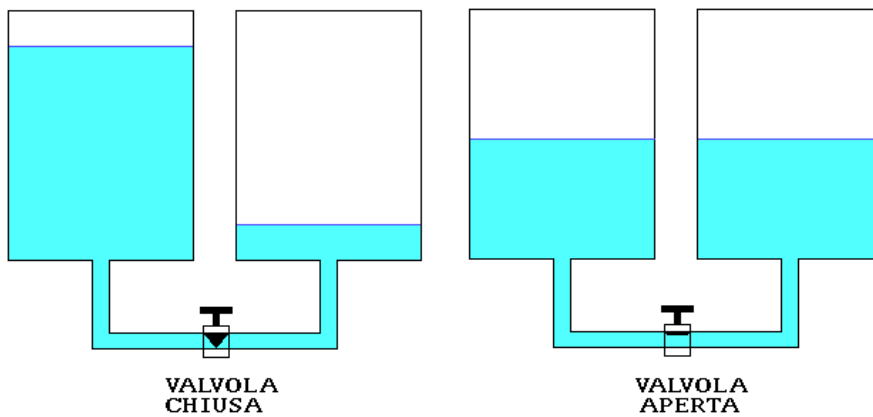


Fig. 2.8 - Vasi comunicanti (circuitto idraulico) -

In base a tale analogia, paragoneremo la corrente di elettroni in un conduttore, all'acqua che circola fra due vasi comunicanti. Ci faremo aiutare dai vasi comunicanti mostrati nella figura n. 2.8. Osservando la figura appare evidente che, per ottenere la circolazione dell'acqua è necessario che ci sia una certa differenza di livello fra i due contenitori. La figura alla sinistra mostra appunto questa condizione. I due contenitori hanno un contenuto diverso di liquido. Quindi sussiste una differenza di livello fra i liquidi contenuti nei due contenitori che si mantiene in questo stato per il fatto che la valvola centrale è tenuta chiusa, la conseguenza di tutto questo è che, semplicemente, l'acqua non può circolare da un contenitore all'altro. Se però apriamo la valvola (come mostra la figura a destra), l'acqua tenderà a passare attraverso il tubo per cercare di riempire l'altro contenitore. Questo fenomeno si verifica, come abbiamo detto, poiché esiste una differenza di livello fra i due liquidi e quindi si verifica una differenza di pressione nel tratto di tubo che collega i contenitori. Questa differenza di pressione è la causa che determina il passaggio dell'acqua. L'acqua, dopo una breve circolazione, arresta il suo movimento poiché le condizioni iniziali di differenza di livello e conseguente differenza di pressione, cessano appena i livelli dei liquidi si eguagliano. Per rendere continua la circolazione di acqua fra i contenitori, dobbiamo trovare un espediente che ci permetta di mantenere costante la differenza di liquido fra i due vasi comunicanti. Per realizzare questo espediente possiamo servirci di una pompa. Vedi disegno raffigurato nella foto n.3.8 .

La pompa permette di tenere costante la differenza di livello fra i due vasi comunicanti in modo che la corrente d'acqua circoli continuamente. Per far funzionare questa pompa intanto, occorre spendere una certa quantità di energia. Questo fatto risulta perfettamente normale poiché, per muovere dell'acqua nelle condutture dobbiamo necessariamente fare del lavoro. Comunque, l'uso della pompa se opportunamente eseguito ci permette di ottenere proprio l'effetto voluto. Mentre l'acqua si accumula nel contenitore di destra, la pompa lo aspira e lo riporta nuovamente in quello di sinistra.

La figura n. 3.8, mostra esattamente questa condizione. Nella stessa figura è stato rappresentato anche il circuito elettrico equivalente. Il generatore di potenziale è l'equivalente della pompa idraulica: infatti, la differenza di potenziale erogata dal generatore elettrico, applica il gradiente di "pressione"

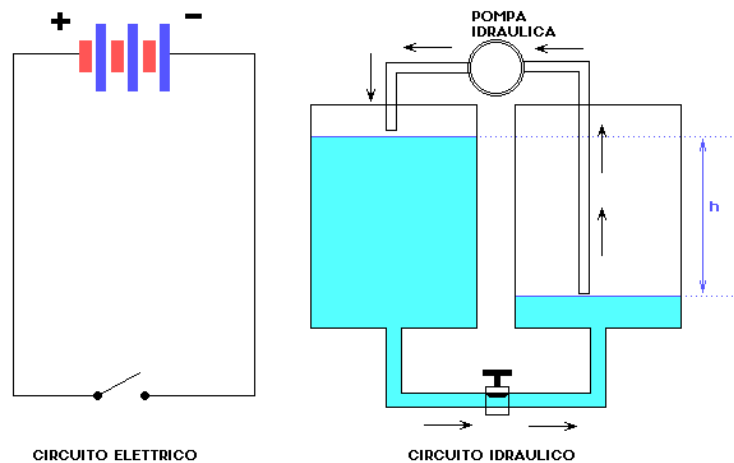


Fig. 3.8 - Analogia fra circuiti elettrici e circuiti idraulici -

necessario per permettere la circolazione di elettroni nel circuito in modo continuo. Se osservate attentamente quello che normalmente è riportato sull'etichetta di una di queste pile elettriche che si trovano in commercio, trovate un valore numerico seguito da una "V", riportato in calce. Questo valore esprime proprio tale gradiente di pressione elettronica (se così mi è ancora permesso esprimermi) in grado di spostare gli elettroni, nei fili elettrici del circuito. Valori tipo: 4,5V oppure, 1,5 V, oppure 12V, esprimono numericamente appunto questa "pressione". Volendo definire correttamente i termini numerici riportati in calce alle batterie commerciali che, per motivi didattici, ho chiamato "pressione", diremo che esprimono, in pratica, l'energia fornita alle cariche elettriche affinché possano attraversare il circuito. Un potenziale (o differenza di potenziale) di 1 volt, indica che il generatore è in grado di fornire l'energia di **1 joule** ad una carica di **1 coulomb** (ripeteremo questo concetto ancora meglio fra breve).

Questa analogia vi mostra che la **differenza di pressione** generata dalla pompa, che rappresenta la causa della circolazione dell'acqua lungo il circuito idraulico, è in qualche modo equivalente alla **differenza di potenziale** che rappresenta la causa della circolazione di corrente nel circuito elettrico. La differenza di potenziale o tensione rappresenta la **causa**, la circolazione di corrente è l'**effetto**. Ovviamente la tensione della pila richiede una certa quantità di energia. Questa energia è contenuta in essa sottoforma chimica.

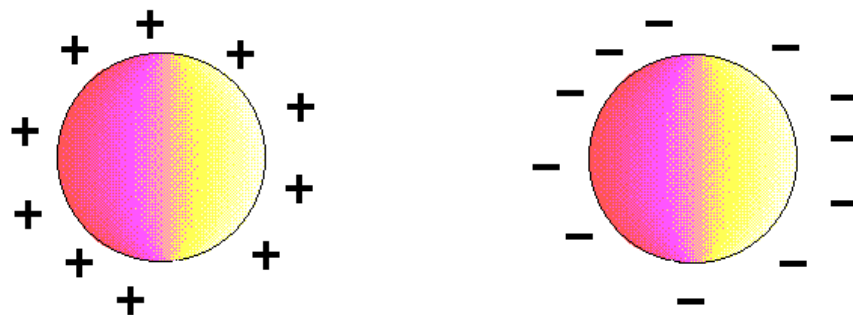


Fig.4.8 - Sfere di rame cariche di elettricità -

Quando questa energia termina, cioè la pila si scarica, la tensione, cioè la differenza di potenziale, si azzerava e la corrente cessa di circolare. Facciamo un altro esempio simile al precedente. Supponiamo di avere due sfere di metallo. Per esempio, potremo immaginare di avere due sfere di rame. Gli atomi di rame sono costituiti da 29 elettroni e 29 protoni, quindi le due sfere di rame sono perfettamente neutre e non manifestano nessun fenomeno elettrico. Supponiamo ora per ipotesi, di riuscire a squilibrare il numero degli elettroni presenti negli atomi che costituiscono le due sfere. Per esempio, dalla sfera di sinistra immaginiamo di eliminare alcuni elettroni. Possiamo supporre di sottrarre ad ogni atomo di rame della sfera di **sinistra** un elettrone. In questo modo, avremo per ogni atomo **28 elettroni** rimanenti, mentre nel nucleo di questi atomi, in base a quanto detto resterebbero i 29 protoni. In modo diametralmente opposto, supponiamo di aggiungere invece ad ogni atomo di rame della sfera di **destra** un elettrone in più. Otterremo in questo caso, per ogni atomo di rame della sfera di destra **30 elettroni** e 29 protoni. In queste condizioni le sfere di rame manifesterebbero una forte carica elettrica come è mostrato dalla figura n. 4.8. La sfera di sinistra risulterà carica di elettricità positiva (mancanza di elettroni), la sfera di destra risulterà carica di elettricità negativa (elettroni in maggior numero). Se a questo punto colleghiamo un filo di materiale conduttore fra le due sfere cariche di elettricità, osserviamo uno spostamento di elettroni dalla sfera di destra verso la sfera di sinistra.

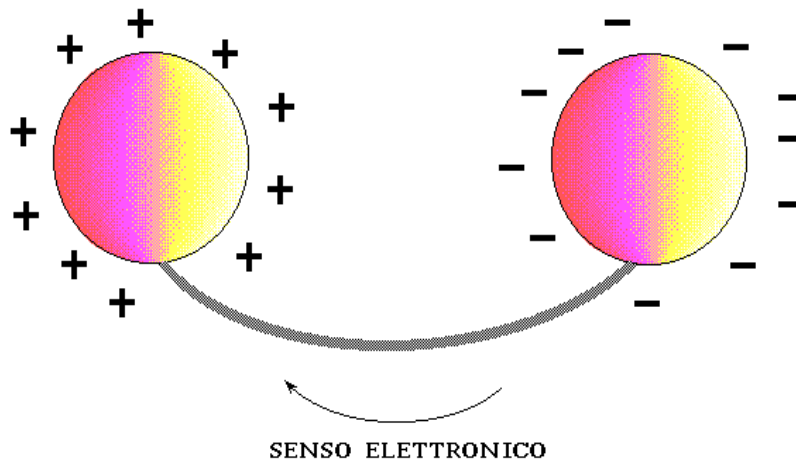


Fig. 5.8 - Connessione elettrica fra le sfere e passaggio di corrente -

Questo spostamento di elettroni continuerà fino a quando tutti gli atomi di rame presenti nella sfera di sinistra acquisteranno gli elettroni mancanti per raggiungere la loro neutralità. Da come è facilmente deducibile, questo esperimento ripropone quello che succedeva fra i contenitori d'acqua dell'esempio precedente. In questo caso però, il flusso di corrente che circola fra le due sfere di rame sostituisce per analogia il flusso d'acqua (o più correttamente la portata - in **litri/secondo** per esempio) che circolava fra i due vasi comunicanti.

Come sappiamo, la quantità di acqua si esprime in **litri**. Infatti, quando abbiamo parlato di portata idraulica della conduttura ci siamo espressi in **litri/secondo**. Anche la quantità di elettricità si esprime con una unità di misura specifica. Tale unità è il **coulomb**. Così come il **litro** esprime una

specifica quantità di acqua, allo stesso modo il **coulomb** esprime una specifica quantità di cariche elettriche. Questo ragionamento ci porta alla conclusione che, se trattiamo un flusso di cariche elettriche che circola in un conduttore allo stesso modo dell'acqua che fluisce in un condotto, possiamo esprimere la portata elettrica come la misura dei **coulomb/secondo** che attraversano quello specifico conduttore elettrico in quel momento.

Stiamo ripetendo esattamente gli stessi concetti già espressi prima a proposito dei vasi comunicanti. Ma facendo un passo avanti molto importante: siamo riusciti a definire il significato dell'intensità della corrente elettrica (intensità del flusso di elettroni) facendola corrispondere per analogia alla portata idraulica di una conduttura con la differenza che, nel caso del circuito elettrico, l'intensità di corrente è chiamata "**I**" e si misura in **ampere**. L'intensità di corrente di **1 ampere** si verifica quando nel conduttore circola **1 coulomb** al **secondo**. A questo punto possiamo definire la seconda grandezza elettrica, che risulta fondamentale per una comprensione completa della teoria elettrica. Tornando ai nostri vasi comunicanti, abbiamo visto come la differenza di livello si traduce in una spinta di pressione prodotta sul liquido che circola. A tal proposito abbiamo anche visto come, il flusso di cariche elettriche che circola in un conduttore, ha bisogno di una spinta di "pressione" necessaria a muovere le cariche e come, questa spinta di "pressione", sia rappresentata dal potenziale elettrico "**V**" prodotto dal generatore. Ed è proprio tale potenziale elettrico la seconda grandezza fondamentale. Nel Sistema Internazionale, essa si misura in **volt**. La differenza di pressione di una conduttura si traduce, secondo le leggi dell'idraulica, come una differenza di energia potenziale. Allo stesso modo il potenziale elettrico esprime l'energia che le cariche elettriche potenzialmente hanno a disposizione per muoversi nel circuito. Si verifica una differenza di potenziale pari a **1 volt** allorquando ogni carica di **1 coulomb** ha un'energia di **1 joule**.

Definite le grandezze di causa ed effetto che riguardano i circuiti elettrici, ragioniamo su quello che abbiamo studiato e cerchiamo di aggiungere qualche nuovo concetto.

La corrente elettrica è quindi un movimento di elettroni che si verifica fra corpi carichi di elettricità. Se riconsideriamo l'esempio delle nostre sfere di rame e vogliamo ottenere una circolazione costante di elettricità, dobbiamo collegare al sistema di sfere un generatore di tensione. In questo modo otteniamo un circuito elettrico. La figura n. 6.8 illustra un esempio di circuito elettrico.

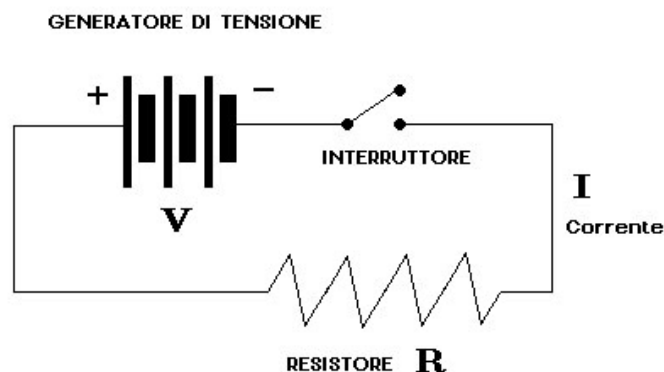


Fig. 6.8 - Circuito elettrico -

In parole semplici, il generatore di tensione o di potenziale servirà a mantenere costante una differenza di cariche fra le due sfere in modo da permettere alla corrente di circolare indefinitamente. Faccio notare che l'esempio delle due sfere è stato utilizzato per fornire una rappresentazione circuitale molto vicina al circuito idraulico dell'esempio precedente. Durante la lezione, gli allievi possono più facilmente concepire l'analogia idraulica associando le sfere di metallo con il loro contenuto elettronico ai contenitori di acqua dell'esempio precedente. Non sono state rappresentate le sfere metalliche nel circuito di fig. n.6.8 in quanto possono essere facilmente eliminate poiché, gli stessi fenomeni, si verificano anche nei conduttori terminali di un circuito.

Nel circuito di figura n. 6.8 appare anche una resistenza "R". Tale resistenza è stata inserita per evitare di cortocircuitare il generatore di tensione (o pila). Non è possibile chiudere il circuito elettrico adoperando solo il filo conduttore, essendo sempre necessaria una resistenza che funga, in pratica, da limitatore di corrente o utilizzatore dell'energia fornita dal generatore. Anche nel circuito idraulico precedente era presente una resistenza anche se non direttamente visibile. In questo caso ci stiamo riferendo ovviamente ad una resistenza idraulica che si genera per attriti dell'acqua lungo le condutture.

Quindi riassumendo i punti essenziali della lezione, siamo arrivati a precisare che il flusso di cariche elettriche in un filo è definito "**corrente**", e si misura in termini di numero di cariche elettriche (elettroni) che attraversano un dato punto del filo nell'unità di tempo (un secondo). Si dice che l'intensità di corrente è pari a **1 ampere (A)**, se nel conduttore circolano:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{\text{carica}}{\text{tempo}} = \frac{1 \cdot \text{coulomb}}{1 \cdot \text{secondo}} = \text{ampere}$$

Poiché è stato scoperto che 1 coulomb di carica elettrica equivale a **6.240.000.000.000.000** elettroni, possiamo dire che, quando in un filo circola la corrente di 1 ampere, in esso stanno circolando 6 miliardi di miliardi di elettroni per ogni secondo.

Inoltre, abbiamo compreso che, se colleghiamo elettricamente due conduttori carichi di elettricità di segno opposto, le cariche si annullano reciprocamente e, dopo un intervallo di tempo relativamente breve, i due corpi risultano neutri. La neutralizzazione avviene a seguito di un flusso di elettroni che attraversa il filo e circola trasferendosi dal corpo carico negativamente verso quello dotato di carica positiva. In generale, in un qualunque sistema continuo di conduttori, gli elettroni fluiscono dal punto a potenziale minore a quello a potenziale più alto. Convenzionalmente, benché siano gli elettroni a muoversi all'interno del conduttore, si assume, come segno della corrente, quello percorso da cariche elettriche positive, ovvero quello opposto al moto effettivo degli elettroni.

L'origine di questo strano concetto del verso convenzionale della corrente elettrica, affonda le sue radici nei primi studi sui circuiti elettrici e sulle leggi fondamentali dell'elettromagnetismo. Infatti, agli inizi del 1800, subito dopo che Alessandro Volta con la sua pila avviò l'applicazione e quindi gli studi dei primi circuiti elettrici, gli studiosi pensavano che la corrente era determinata da un flusso di cariche positive. Questo fatto perdurò per circa un secolo e in questo intervallo di tempo vennero fatte numerose scoperte e furono definite



numerose leggi empiriche. Migliaia di manoscritti, libri e testi di ogni genere riportavano le leggi dell'elettrologia considerando come verso della corrente quello che fluiva dal positivo al negativo dei generatori. Vorrei portare l'attenzione del lettore al fatto che, dal 1820 al 1890, furono effettuate numerose scoperte nel campo dell'elettromagnetismo, furono definite le leggi della polarità dei solenoidi, la direzione delle forze che agivano nei circuiti magnetici, le varie regole vettoriali sulle forze che agivano nei motori ecc. Quando, agli inizi del 1900, si capì che la corrente elettrica era costituita da un flusso di elettroni, e quindi doveva necessariamente percorrere i circuiti esattamente con un senso contrario di quanto inizialmente si era creduto, si verificò l'incidente. Il Comitato Elettrotecnico Internazionale (C.E.I.) stabilì quindi che, per evitare di invertire le leggi e le definizioni elettrologiche, che erano state ampiamente riportate nei numerosi testi ed erano ormai assimilate dalle menti degli studiosi del tempo, il verso della corrente elettrica doveva restare immutato. Fu stabilito che tale verso di propagazione di corrente (da "+" a "-") doveva essere definito "**convenzionale**", per differenziarlo da quello "**elettronico**", o reale. Questo provvedimento comunque, non provocò alcuna difficoltà nello studio dei problemi elettrici o elettronici. Qualsiasi studioso, anche attualmente, potrebbe facilmente passare da un modo di rappresentazione all'altro, nell'eventualità si presentasse questa necessità.

Torniamo ora al nostro circuito elettrico e definiamo ancora qualche concetto importante.

Il circuito elettrico è caratterizzato da tre grandezze fondamentali: la differenza di potenziale applicata, che viene talvolta chiamata forza elettromotrice "**F.E.M.**" o tensione "**V**", l'intensità di corrente "**I**", misurata in ampere, e la resistenza "**R**", che rappresenta la misura degli ostacoli che la corrente trova quando attraversa il circuito. La resistenza "**R**" si misura in **ohm** ( $\Omega$ ). In condizioni ordinarie, le sostanze conduttrici, si oppongono in una determinata misura al moto delle cariche limitando l'intensità della corrente. Un ohm è la resistenza che limita a 1 ampere la corrente che circola in un circuito quando è applicata la differenza di potenziale di 1 volt. La relazione fra le tre grandezze elettriche si esprime " $V = I \times R$ ", dove "**V**" è la forza elettromotrice, "**I**" è l'intensità di corrente e "**R**" è la resistenza del circuito. I corpi definiti buoni conduttori hanno una resistenza ohmica molto piccola. I corpi definiti isolanti oppure cattivi conduttori hanno una resistenza ohmica molto elevata. Consultate i laboratori di questo modulo per approfondire ulteriormente questo concetto.

Se la corrente che circola in tale circuito scorre sempre nella medesima direzione, allora è detta corrente continua (**DC**); viceversa, se scorre alternativamente nelle due direzioni è chiamata corrente alternata (**AC**). Le pile oppure le dinamo sono generatori di corrente continua, mentre gli alternatori, che sono installati presso le centrali di produzione dell'energia elettrica, producono una corrente di tipo alternato.

## LABORATORI

### 1° Laboratorio

### Materiali conduttori e materiali isolanti

#### TARGET:

Scuola primaria (anche per scuola elementare)

#### Materiale occorrente:

Lampadina da 3,5V - 0,2A , pila da 4,5V, listelli di materiali diversi, alcune rettangoli di legno (vedi testo), elettrodi di carbone, morsetti a coccodrillo, portalampadine, filo elettrico, contenitore trasparente con acqua, sale da cucina.

L'esperimento che desidero mostrarvi, si avvale di oggetti e dispositivi molto semplici e di facile approvvigionamento. Anche la realizzazione pratica non presenta problemi insormontabili. Tuttavia è indispensabile che il docente, qualche giorno prima della lezione verifichi la perfetta funzionalità della prova. A tal fine, bisogna innanzitutto munirsi di un rettangolo di legno spesso qualche centimetro, possibilmente di colore bianco, delle dimensioni di circa 40 centimetri per 30 (consiglierei le dimensioni di 30 X 48.5). Il rettangolo di legno deve avere una base di appoggio, realizzata con una tavoletta di uguale misura, in modo che possa essere posta a squadra in modo verticale. Vedi foto 7.8. Su uno dei lati della tavoletta di colore bianco, si deve realizzare il circuito mostrato dalla figura 7.8.

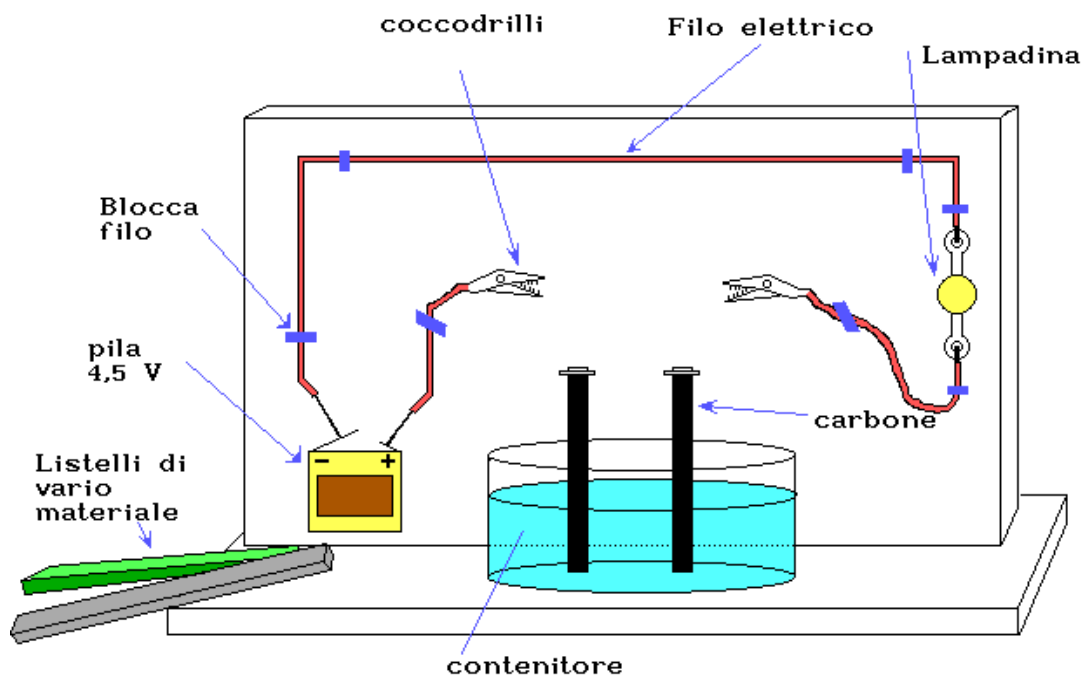


Fig. 7.8 - Verifica della conducibilità dei vari materiali -

Come avrete certamente intuito, l'assieme di legno con le sue superfici chiare e lisce, deve essere realizzato unicamente per ragioni di supporto del circuito che ora vi descriverò.

Il circuito è costituito da una lampadina con relativo portalampada a sua volta connessa ad una pila da 4,5V. Il percorso elettrico di andata deve essere interrotto ad un certo punto e le terminazioni elettriche devono essere collegate a due coccodrilli. Questi coccodrilli, sono dei morsetti provvisti solitamente di guaina isolante in pvc di colore rosso o nero, che possono essere acquistati presso rivenditori di materiali elettronici. È preferibile acquistare dei morsetti a coccodrillo non troppo piccoli, altrimenti risulta più difficile collegarsi al materiale che vi si dovrà interporre. La lampadina deve essere montata come è mostrato in figura n. 8.8. In questo modo potremo agevolmente fissare con due chiodini il sistema alla superficie del piano di legno. La lampadina deve avere una tensione di lavoro di 3,5 – 3,8 V con 0,2 A di corrente.

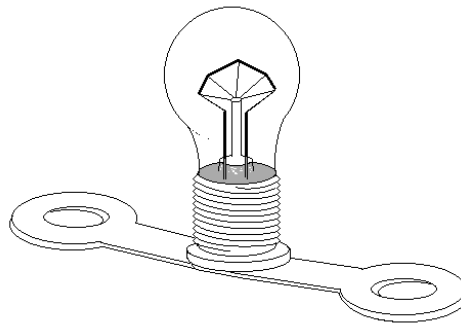


Fig. 8.8 - Piccola lampadina con il suo portalampada -

Successivamente dovrete munirvi di vari tipi di listelli, realizzati con materiale di vario genere, di dimensione comparabile alla distanza che abbiamo lasciato fra i morsetti a coccodrillo. I listelli possono essere scelti, per esempio, di alluminio, rame, ferro, leghe metalliche, grafite (o carbone), carta, plastica, vetro (attenti in questo caso), legno. L'obiettivo dell'esperimento è quello di verificare la conduzione elettrica dei vari materiali. Infatti, ponendo fra i coccodrilli materiali conduttori si provocherà l'accensione della piccola lampadina. Ponendo invece materiali cattivi conduttori o isolanti, la lampadina rimarrà spenta. Può essere un'idea interessante studiare con attenzione la possibilità di procurarsi un listello di carbone o grafite che, inserito fra i morsetti a coccodrillo, possa permettere di ottenere una luminosità più bassa da parte della lampadina. In questo modo potete dimostrare l'esistenza di materiali che presentano una certa resistenza elettrica. Infatti, quando la lampadina si accende con una emissione di luce più bassa, è segno che, il materiale interposto fra i morsetti, presenta una conducibilità intermedia fra quello che viene considerato normalmente un buon conduttore e uno che presenta caratteristiche completamente isolanti. Stiamo cioè lavorando con un materiale che limita la circolazione di corrente, cioè offre una certa resistività o resistenza. Infatti, il carbone, che abbiamo appena nominato, è considerato fra i materiali conduttori, quello con resistività maggiore. Se trovate delle difficoltà nel procurarvi un listello di grafite o di carbone con dimensioni tali, da ottenere l'effetto appena descritto, (vi ricordo che la mina delle matite è costituita di grafite) si può utilizzare, al suo posto, un filo costituito da una lega al Nichel/Cromo, scelto di sezione opportuna. In questo caso, spiegherete alla platea, che il Nichel/Cromo è una lega utilizzata per fare le resistenze elettriche. Resistenze di questo tipo possono essere presenti nei ferri da stiro, negli asciugacapelli, nelle stufe elettriche, ecc. (fornendovi questo elenco vi ho anche indicato delle fonti da cui vi potrete procurare tale materiale).

Nella figura 7.8, avrete certamente notato la presenza di un contenitore trasparente. Infatti, oltre ai vari listelli di materiali differenti, dovrete procurarvi un contenitore d'acqua con due elettrodi di carbone (o grafite). Questa opzione sperimentale, che ovviamente sarà impiegata dopo le prove con i materiali solidi, servirà a mostrare alla platea anche il comportamento del mezzo acquoso in relazione alla conduzione della corrente elettrica.

Non è difficile trovare una vaschetta, sulla quale poter fissare due elettrodi di carbone di dimensioni tali da poter essere facilmente collegata allo schema precedente. Tenendo tale vaschetta nei pressi dei terminali a coccodrillo, subito dopo le prove con i listelli di materiale solido, potete collegarne gli elettrodi per verificare la conduzione nelle sostanze liquide.

Gli elettrodi di carbone possono essere facilmente recuperati smontando con molta attenzione (e senza farsi male) delle pile tipo Leclanchè. Troverete, al centro di ogni pila, un bastoncino cilindrico di carbone che potete pulire utilizzando dell'acqua e grattando con della retina da cucina. Per tenere fermi e dritti i due elettrodi di carbone immersi a loro volta nell'acqua, vi consiglio di incollare all'interno della vaschetta due piccoli tappi di plastica. Questi tappi, con sede circolare, saranno scelti con le dimensioni più opportune per poter inserire ad incastro gli elettrodi di carbone, in modo che non ne fuoriescano facilmente.

Riempite a questo punto la vaschetta di acqua, possibilmente distillata e, dopo aver collegato i coccodrilli ai due elettrodi di carbone e inserito correttamente la pila di alimentazione, mostrate ai vostri spettatori che la lampadina resta spenta poiché l'acqua si comporta in questo caso da isolante. A questo punto procuratevi del sale da cucina (cloruro di sodio, NaCl). Se l'esperienza è mostrata ad allievi di scuole primarie sarà molto meglio se il sale viene prelevato direttamente dalla sua confezione originale. Raccogliete dalla scatola del sale tre belle cucchiariate e scioglietele nella soluzione. Vedrete la lampadina accendersi tenuemente. Aggiungete altro sale fino a vedere la lampadina accendersi in modo più vivace. Se, per questa prova, sostituiamo la lampadina da 3 o 4 volt con una dotata di corrente di filamento di più basso valore, si ottengono prestazioni migliori. Quando mi appresto a effettuare questa esperienza, mi servo di una lampadina da 6 volt 60 milliampere. In questo caso infatti, già dalle prime cucchiariate di sale, la lampadina comincerà ad accendersi in modo più vivace. In ogni caso, tale sostituzione è efficace e utile solo per l'esperienza con l'acqua e il sale. Viceversa, per le prove con i materiali conduttori solidi, visti precedentemente, vi consiglio una lampadina con le caratteristiche già indicate. Oltre il cloruro di sodio, potete servirvi anche di altri sali, come il cloruro di potassio (KCl), che vi darà certamente prestazioni migliori poiché leggermente più conduttivo (vedi tabella della conduttività equivalente di alcune soluzioni di sali, mostrata nell'appendice di questo modulo). Oppure, poche gocce di acido (acido cloridrico oppure solforico) aggiunte alla soluzione di acqua distillata, certamente provocheranno una brusca variazione della conducibilità di quest'ultima. Durante questa esperienza fate capire ai vostri allievi che l'acqua potabile, che fuoriesce dal rubinetto delle nostre case, è sempre costituita da un certo tenore di sali disciolti in essa. Di conseguenza, se sottoposta a potenziali elettrici elevati, come quelli forniti dalla rete di alimentazione elettrica a 220 V, l'acqua può condurre abbastanza bene la corrente e si possono creare condizioni di estremo pericolo per le persone che maneggiano dispositivi elettrici in aree dove c'è umidità.

## 2°Laboratorio

### Polarità di un generatore di tensione

#### TARGET:

Scuola primaria e secondaria

#### Materiale occorrente:

Contenitore di vetro oppure plastico di basso profilo (vedi testo) una pila da 4,5 V, ioduro di potassio, pezzetti di alluminio, fenoltaleina, fili elettrici e morsetti a cocodrillo.

Questo laboratorio illustra un'esperienza semplicissima che si potrà svolgere in pochissimi minuti, se avete con voi tutto l'occorrente. L'obiettivo dell'esperienza è quello di individuare la polarità di un generatore elettrico di potenziale, come una pila elettrica, per esempio, in ogni caso, con lo stesso materiale, potreste anche divertirvi ad effettuare la verifica di alcune delle leggi dell'elettrochimica. Per queste ragioni, tale esperienza potrebbe essere catalogata facilmente fra le esperienze di chimica. L'esperienza può essere condotta in due modi operativi ben distinti. Nel primo caso, possiamo provare a nascondere la polarità della batteria e, successivamente, con la collaborazione dei nostri allievi, scoprire dove è il morsetto positivo e quello negativo. Nel secondo caso invece, possiamo semplicemente descrivere l'esperienza con la pila elettrica ben in vista e verificare quello che sta succedendo. Poiché le pile elettriche in commercio hanno i simboli della polarità poco visibili, vi consiglio di disegnare accuratamente, sopra a dei bollini adesivi, i simboli "+" e "-" utilizzando dei caratteri più grandi, e incollarli sulla pila elettrica in modo che siano evidenti per gli spettatori.

Per effettuare l'esperienza dovete procurarvi un contenitore non molto alto. Possono andar bene i barattoli di vetro per il tonno o addirittura un coperchio trasparente, anche di plastica a bordi larghi. Collocherete ai due estremi del contenitore, così come mostra la figura n. 9.8, due strisce di alluminio (quello utilizzato in cucina va molto bene). Queste striscioline ripiegate servono per avere un contatto con la soluzione che dovrete porre all'interno della vaschetta.

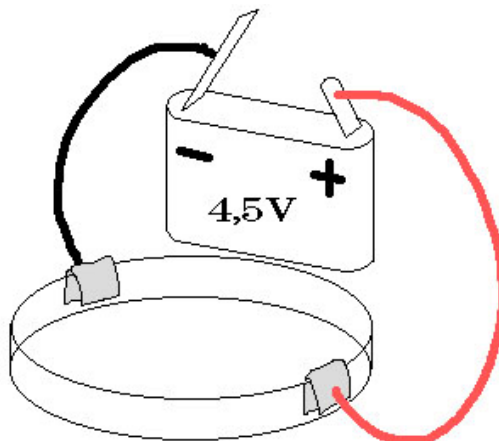


Fig. 9.8 - Verifica chimica della polarità di un generatore C.C. -

Se il contenitore è piccolino, probabilmente potranno bastare circa 20 o 30 ml di soluzione. Per preparare quest'ultima vi serviranno quindi, 30 ml di acqua distillata in cui avrete sciolto una punta di cucchiaino di ioduro di potassio (KI). Lo ioduro di potassio è un sale che potete acquistare presso una farmacia oppure, se siete fortunati potete trovarlo in una scatola di piccolo chimico. Mi raccomando di considerare il fatto che state adoperando un sale che presenta dei rischi alla salute se ingerito inavvertitamente, quindi state sempre molto attenti. Dovete anche procurarvi una soluzione alcolica di fenoftaleina. Questo prodotto è una sostanza chimica specifica di cui abbiamo parlato nell'appendice del modulo "Gli acidi e le basi". La fenoftaleina è un indicatore acido-base che vira da trasparente a rosa/violetto quando il pH della soluzione supera il valore 9. Devono essere aggiunte 2 o 3 gocce di soluzione alcolica di fenoftaleina alla soluzione di acqua e ioduro di potassio. La soluzione assumerà un colore rosa/violetto poiché il sale (KI), che avete sciolto in acqua, fornirà un'idrolisi basica. A questo punto potete cominciare il vostro esperimento. Tramite dei connettori con morsetti a coccodrillo, potete collegare una pila da 4,5 V alle foglioline di alluminio che funzioneranno da elettrodi. Dopo qualche minuto vedrete l'area, in prossimità della soluzione collegata al polo positivo della pila, diventare trasparente, mentre l'area, in vicinanza del polo negativo, diventerà di colore rosa/violetto. Se state facendo una lezione di chimica in una scuola secondaria, potete divertirvi a verificare se la platea riesce ad interpretare correttamente il fenomeno, altrimenti, sarete voi stessi a spiegare quello che accade. Direte infatti che, presso gli elettrodi, si verificano specifiche reazioni chimiche a seconda se ci troviamo presso un elettrodo che fornisce elettroni (negativo), [ambiente chimicamente riduttivo] oppure presso l'altro elettrodo che vuole invece sottrarre elettroni dalla soluzione (positivo) [ambiente chimicamente ossidativo].

La spiegazione del fenomeno è molto semplice: appena si collega la pila elettrica alla soluzione, tramite gli elettrodi di alluminio, viene applicato un campo elettrico lungo la direzione di questi ultimi. Nella soluzione ci sono ioni potassio  $K^+$  e ioni iodio  $I^-$ , oltre ovviamente agli ioni di acqua sempre presenti. Gli ioni  $K^+$  saranno attratti dall'elettrodo negativo, mentre gli ioni  $I^-$  saranno attratti dall'elettrodo positivo.

Si viene quindi a generare una corrente ionica di ioni di potassio positivi, che tenderanno di raggiungere l'elettrodo negativo, e ioni di iodio negativi, che si sposteranno verso l'elettrodo positivo. Nelle regioni antistanti l'elettrodo negativo, gli ioni di potassio saranno numerosi e quindi in quella regione il pH sarà certamente superiore al valore 9. Non ci dimentichiamo che il potassio tenderà a realizzare un equilibrio con gli ioni  $OH^-$  fornendo idrolisi basica, e quindi la soluzione assume in questo caso un colore rosa poiché è presente l'indicatore alla fenoftaleina. Nelle regioni antistanti l'elettrodo positivo invece, l'accumulo degli ioni di iodio che forma un acido, tenderà ad abbassare il pH in quest'area. Per questo motivo la regione presso l'elettrodo positivo sarà trasparente o al massimo di un colore giallo molto tenue.

## 3°Laboratorio Legge di Ohm

### TARGET:

Scuola secondaria

### Materiale occorrente:

Una pila tipo torcia da 1,5 V, un filo di nichel-cromo da 1 mm o meno, un misuratore di corrente (amperometro), un misuratore di tensione (voltmetro), una piccola lampadina da 3,5 V con relativo portalampada, del filo elettrico dotato di connettori a coccodrillo.

Questo laboratorio, riguarda lo studio di un concetto un po' più complicato dei precedenti e quindi la sua sperimentazione è generalmente indicata per allievi della scuola secondaria di secondo grado. Tuttavia non voglio escludere del tutto la possibilità di un'erogazione anche per la scuola primaria, in quanto, l'accessibilità o meno a determinati concetti è solo una questione di metodo espositivo. In base a questa opportunità, che vorrei potesse restare una eventualità per un docente coraggioso, voglio mantenere una trattazione molto semplice.

L'esperienza si propone di verificare una delle leggi fondamentali, fra le più importanti che ci sono in campo elettrologico: la legge di Ohm. Essa fu definita la prima volta nel 1826 dal fisico tedesco George Simon Ohm (1789-1854) e qualche accenno lo abbiamo già trattato nella sezione teorica di questo modulo.

La legge di Ohm lega, attraverso una relazione numerica, le tre grandezze principali di un circuito elettrico che sono: la tensione "**V**", la corrente "**I**" e la resistenza "**R**".

La tensione elettrica, simbolo "**V**", si misura in "**volt**" e si può anche chiamare differenza di potenziale (d.d.p.), oppure anche **F.E.M.** (forza elettromotrice). Quando è applicata ad un conduttore elettrico, produce la circolazione di una corrente di elettroni, definita con il termine "**intensità di corrente**", a sua volta misurabile con una unità di misura chiamata "**ampere**" simbolo "**A**". George Simon Ohm dimostrò che, se applichiamo ad un conduttore una tensione doppia del valore precedente, la corrente prenderà a circolare con un valore di intensità esattamente doppio rispetto al valore che assumeva poco prima. In parole semplici, è presente un rapporto di proporzionalità che ci permette di poter definire una relazione matematica fra queste due grandezze. Per uno specifico conduttore, il rapporto fra la tensione elettrica "**V**" applicata e la corrente "**I**" che vi circola è costante e rappresenta il valore della sua resistenza elettrica. Tale resistenza elettrica del conduttore, espressa con il simbolo "**R**", costituisce l'ostacolo o l'impedimento, che la corrente trova durante il percorso al suo interno ed è matematicamente definibile come il rapporto fra il valore di tensione applicato a quel circuito e il valore di corrente che vi circola. Se ad esempio, ad un conduttore applichiamo la differenza di potenziale di 1 volt e rileviamo una circolazione di corrente di 1 ampere, il conduttore deve avere la resistenza pari ad 1 ohm.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1 \cdot \text{volt}}{1 \cdot \text{ampere}} = 1 \cdot \text{ohm} \cdot (\Omega)$$

Per dimostrare questa semplice legge, dovete procurarvi un filo di nichel-cromo che abbia un diametro di circa 1 mm. Questa lega è tipicamente adoperata proprio per effettuare resistenze elettriche.

Questo filo, potete procurarvelo smontando una vecchia stufa elettrica, oppure potrebbe essere presente all'interno di altri elettrodomestici provvisti di un qualche sistema di riscaldamento.

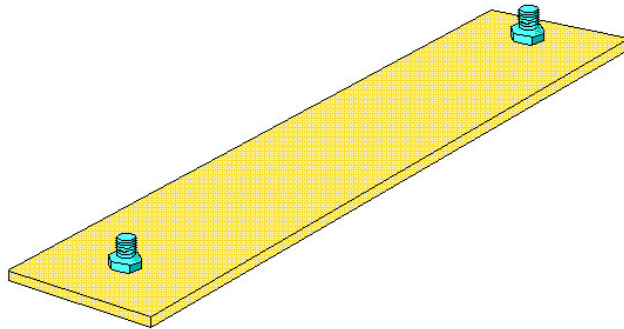


Fig. 10.8 - Asse di legno con bulloni per collegare il filo resistivo -

Ottenuto il filo, dovete inoltre procurarvi un'asse di legno di circa 1,2 metri di lunghezza con spessore adeguato, sul quale praticherete due fori della dimensione di 8,5 mm, distanti fra loro 1 metro. All'interno di questi fori dovete inserire delle viti di acciaio cromate, dotate di un diametro di circa 8 mm, munite a loro volta di bulloni e rondelle, così come illustra la figura 10.8.

Il filo di nichel-cromo potete annodarlo attorno alle viti e tenderlo fra esse in modo da tenerlo ben teso lungo la direzione dell'asse di legno. Per evitare che il filo si stacchi, potete utilizzare altri due bulloni con relative rondelle e bloccare i capi del filo. Se avete trovato un filo di nichel-cromo con il diametro preciso di 1 mm e avete posto le due viti alla distanza di un metro, il filo deve presentare una resistenza elettrica di 1,2  $\Omega$  circa. Operando in questo modo, avrete realizzato un resistore o limitatore di corrente. Il nichel-cromo ha, infatti, una resistività specifica abbastanza alta e quindi presenterà al passaggio di corrente una resistenza elevata. Fra le infinite varianti possibili, ho preferito questo modo di realizzare il vostro resistore per ragioni espressamente didattiche. Infatti, attraverso questo tipo di disposizione geometrica gli allievi, riescono a comprendere meglio il concetto che vi state apprestando a verificare. Anzi, non è una cattiva idea arricchire il vostro apparato sperimentale con un metro da sarto incollato o fissato in qualche modo sull'asse di legno in modo da mostrare ben evidente la misura della lunghezza che assume il filo teso fra le due viti.

A questo punto non vi resta che preparare il circuito osservando la figura 11.8: disponete quindi le apparecchiature nel modo illustrato. Visto che per questa esperienza dovete adoperare uno strumento per misurare l'intensità di



corrente, nella figura è mostrato un tester connesso in modo da utilizzare una scala di misura per 5 ampere di fondo scala.

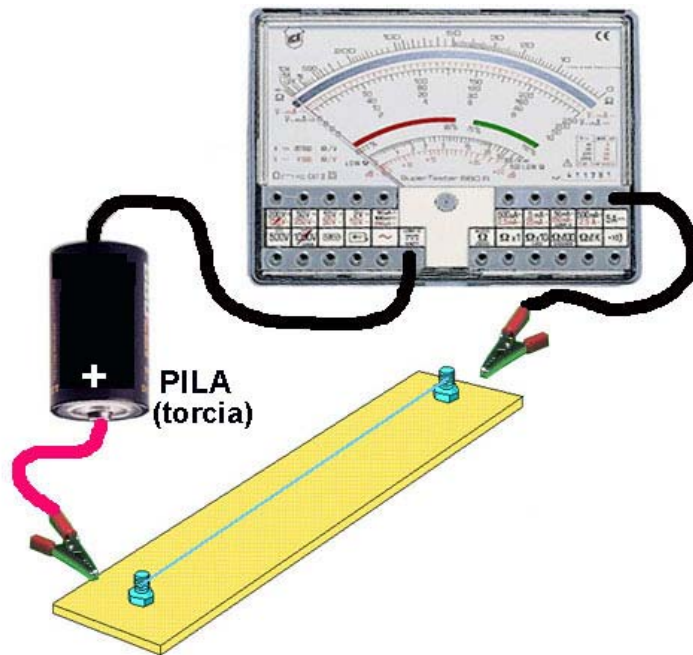


Fig. 11.8 - Circuito comprensivo di tester per la misura di corrente -

Nei laboratori di fisica scolastici, se siete fortunati, potete trovare degli strumenti probabilmente molto più indicati per realizzare questa prova. Questi strumenti sono dotati di un grande quadrante posto verticalmente e quindi, più indicato per ragioni di visibilità. Se siete in grado di procurarvi qualche strumento di questo genere, dovete porre l'attenzione nello sceglierne uno con portata di corrente di fondo scala di circa 2 ampere. Fatto ciò, procuratevi una pila leclanchè tipo torcia da 1,5 V, collegata nel modo indicato dalla figura e, tramite dei morsetti a coccodrillo, collegate i fili elettrici alla pila e, infine, al filo resistivo. Per connettervi elettricamente alla pila potrete, brutalmente, saldare i fili sul polo positivo e negativo di quest'ultima, oppure, più elegantemente, potrete adoperare un supporto portapila in vendita presso negozi di articoli elettronici. Appena chiudete il circuito, lo strumento vi segnalerà il passaggio di una corrente di circa 1,2 A. Ovviamente questo potrà accadere solo se il filo ha un diametro di 1 mm ed è fatto di nichel-cromo. Se il valore di corrente risulterà un po' più basso, probabilmente la batteria elettrica è un po' scarica oppure le connessioni allo strumento o ai capi della batteria presentano delle ossidazioni, o comunque non sono perfettamente combacianti. Per conoscere le cause di tale eventuale anomalia, controllate con un altro strumento (un voltmetro), la tensione presente ai capi della batteria da 1,5 V quando quest'ultima eroga corrente. Se la tensione misurata è più bassa, allora il motivo del valore di corrente minore rispetto a quello che dovevamo attenderci sarà dipeso sicuramente dalla una carica della batteria non perfetta. In ogni caso, controllate meglio la qualità delle varie connessioni del circuito. Fate prove molto brevi poiché, la corrente che circola, potrà farvi scaricare la batteria in pochi minuti.

In ogni caso, l'intento dell'esperimento è mostrare ai vostri allievi l'esattezza della legge di Ohm; eventuali problemi di precisione, seppur

risolvibili e prevedibili, non viciano la potenza didattica dell'esperienza e non ne sminuiscono la scientificità. Comunque, se si vuole minimizzare il consumo della batteria, si può intervenire usando un filo con sezione più piccola e lavorare con portate di correnti più basse ed avere più precisione. Abbiate comunque l'accortezza di non far circolare correnti troppo elevate in fili troppo piccoli di sezione: la corrente provoca sempre un effetto termico quando passa in un conduttore e questo aumento di temperatura può provocare variazioni della tensione del filo. Sto parlando della tensione meccanica questa volta, non quella elettrica. Il filo rischierebbe di flettersi e quindi di aumentare la sua lunghezza fisica per dilatazione termica. In questo caso aumenterebbe anche la sua resistenza elettrica.

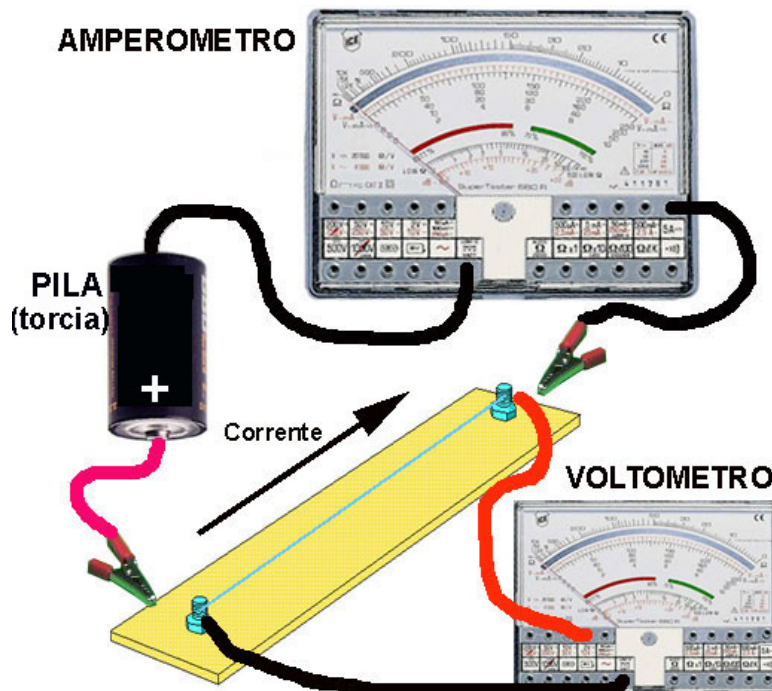


Fig. 12.8 - Circuito completo per la verifica della legge di Ohm -

La figura 12.8 mostra come collegare un altro strumento di misura per rilevare la tensione o differenza di potenziale elettrica presente ai capi del filo conduttore.

La cosa fondamentale, sulla quale dovete attirare l'attenzione della platea, è il risultato del rapporto fra la tensione applicata al filo (misurata dal voltmetro) e la corrente che vi sta circolando (misurata dall'amperometro). Il rapporto di queste due grandezze ci fornisce la resistenza elettrica del filo conduttore. La connessione degli strumenti riportata dalla figura è stata scelta per limitare gli errori strumentali. Comunque, facendo il rapporto fra i valori di tensione espressi in volt, rilevati dallo strumento inserito come voltmetro e quelli in ampere, riportati dallo strumento inserito in serie appunto come amperometro, dovremo avere un valore molto prossimo a 1,27 Ohm. Questo valore rappresenta la resistenza ohmica del filo di nichel-cromo utilizzato. Questo rapporto deve mantenersi costantemente qualora proviate a raddoppiare il valore della tensione applicata (per esempio aggiungendo un'altra pila), poiché esso dipende unicamente dal tipo di resistore impiegato. Questa è in pratica il concetto fondamentale della legge di Ohm. La figura seguente mostra lo schema elettrico del circuito realizzato.

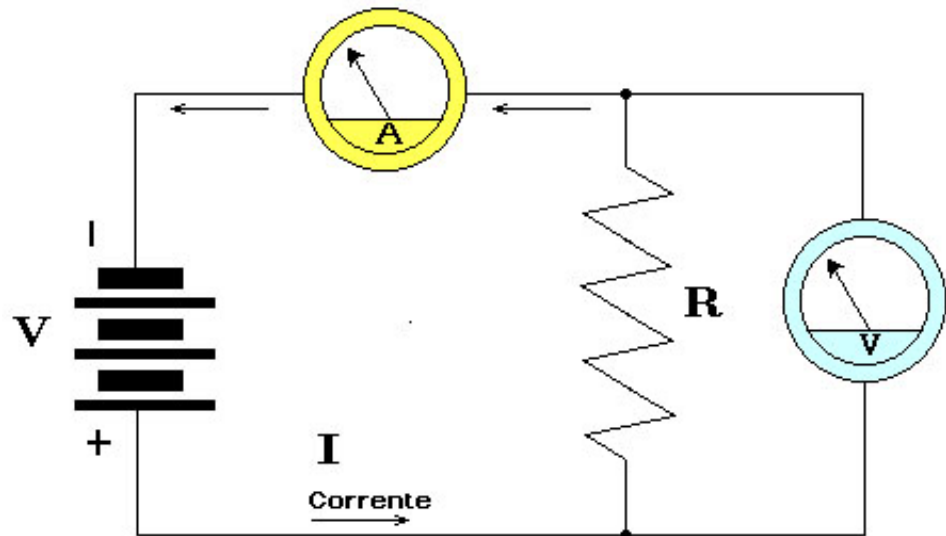


Fig. 13.8 - Rappresentazione del circuito elettrico -

La resistenza elettrica di un conduttore dipende ovviamente anche dalle condizioni geometriche del volume di materiale che la corrente deve attraversare. Per questa ragione gli elettrotecnici conoscono anche una legge che permette di determinare il valore della resistenza elettrica di un filo conduttore conoscendo le sue caratteristiche geometriche. La formula che esprime la relazione fra la resistenza di un conduttore, la sua lunghezza e la sua sezione è chiamata anche seconda legge di Ohm e si esprime con:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

In questo caso il termine  $\rho$  rappresenta la resistività specifica del materiale che si misura in  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ . Ogni materiale è caratterizzato da una determinata resistività specifica. Potete consultare l'appendice di modulo per avere maggiori informazioni a riguardo.

È facile verificare che se scegliamo per  $\rho$  il valore di  $1 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ , che risulta essere appunto il valore di resistività specifica del nostro filo di nichel-cromo avremo, per il nostro filo conduttore, una resistenza elettrica pari a:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{1}{\pi \cdot 0,5^2} = 1.27\Omega$$

Che risulta all'incirca quella sperimentalmente trovata dal circuito che abbiamo realizzato.

## 4° Laboratorio

### La corrente alternata

#### TARGET:

Scuola secondaria

#### Materiale occorrente:

Un trasformatore elettrico 220/6 V, un foglio di carta di alluminio oppure una lastra di rame, un chiodo di ferro, una soluzione di ferrocianuro di potassio, un foglio di carta assorbente, cloruro di ammonio, una lampadina da 6 volt con portalampadine.

La corrente elettrica che arriva nelle nostre case non è costituita da un flusso continuo e costante di elettroni. La differenza di potenziale elettrico, presente ai morsetti di una nostra presa di alimentazione, si inverte continuamente 50 volte al secondo. In pratica, per i primi 10 millesimi di secondo un polo elettrico della presa di alimentazione è positivo mentre l'altro è negativo, mentre nei successivi 10 millesimi di secondi accade perfettamente il contrario. Di conseguenza la corrente elettrica cambia senso di circolazione anch'essa 50 volte ogni secondo. Le ragioni che ci costringono ad adottare questo tipo di alimentazione sono strettamente legate a problemi connessi con l'efficienza del trasporto dell'energia elettrica su lunghe distanze. Queste problematiche non saranno affrontate in questa sede. Quello che voglio mostrare è un semplice esperimento che permette di verificare che la corrente della nostra presa di alimentazione cambia verso continuamente. Per realizzare questa esperienza occorre preparare una soluzione di ferrocianuro di potassio **K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]**. Questo sale, dotato di un nome così impressionante, è in realtà innocuo. Pensate che, in passato, ebbi modo di procurarmelo da una scatola di piccolo chimico per ragazzi. Tuttavia bisogna usare comunque le dovute cautele visto che i ferrocianuri sono sali che, a contatto con acidi, potrebbero produrre acido cianidrico. L'acido cianidrico è un gas estremamente tossico riconoscibile dal caratteristico e velenoso odore di mandorle amare. In ogni caso tengo a precisare che la condotta operativa dell'esperimento non permetterà assolutamente di correre questo tipo di rischio: ho voluto comunque avvisarvi affinché possiate lavorare con tutta l'attenzione necessaria, in modo da escludere qualsiasi tipo di incidente. La soluzione di ferrocianuro deve essere molto diluita, circa 0,1M è più che sufficiente. Per ottenere tale concentrazione potete procedere utilizzando circa 0,7 g di sale e unirlo a circa 20 ml di acqua distillata. La quantità di liquido necessario per l'esperimento è grosso modo questa. Aggiungete alla soluzione anche 0,2 grammi (quasi un cucchiaino) di cloruro d'ammonio (NH<sub>4</sub>Cl), e tenetela pronta. A questo punto dovete procurarvi un cartoncino da stendere sotto ad un foglio di alluminio di dimensioni appena maggiori oppure, ancora meglio, se riuscite a procurarvi direttamente una lastra di rame. In pratica, avete bisogno di un piano conduttore sul quale poggiare il foglio di carta assorbente di colore bianco. Su questo foglio, verserete la soluzione che avete preparato e allestirete tutte le altre parti del circuito così come mostra la figura 14.8

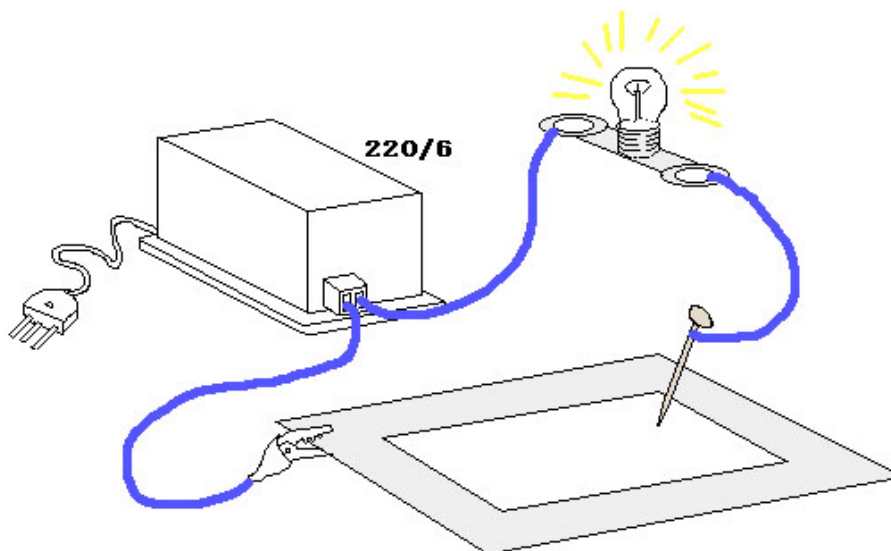


Fig. 14.8 - Come disporre gli apparati per procedere con l'esperimento di verifica elettrochimica dell'inversione di polarità di una corrente alternata -

A questo punto dovete procurarvi un trasformatore di tensione in grado di portare i 220 V casalinghi a un valore approssimativamente pari a 6 volt alternata. State molto attenti a questo riguardo poiché, molto spesso, si tende a chiamare trasformatori anche certi tipi di alimentatori che producono però una tensione continua. Dovete assicurarvi invece, che il vostro trasformatore produca una tensione di tipo alternata. Collegate una lampadina da 6 volt in serie al circuito e infine collegate il filo elettrico ad un chiodo di ferro. L'altro polo del trasformatore, tramite un connettore a coccodrillo, collegatelo alla piastra conduttiva di alluminio che avete posto sotto al foglio di carta assorbente. A questo punto, facendo scorrere sul foglio di carta assorbente la punta del chiodo metallico, vedrete che si producono dei trattini di colore blu. Se fate scorrere il chiodo con una velocità più elevata, i trattini saranno maggiormente distanziati fra loro. Questo fenomeno si verifica poiché la carta assorbente contiene la soluzione di cloruro di ammonio. Questo sale si dissocerà in ioni  $\text{Cl}^-$  negativi e ioni  $\text{NH}_4^+$  positivi. Durante l'alternanza della tensione del trasformatore in cui il ferro è positivo, gli ioni  $\text{Cl}^-$  attaccano la punta di ferro formando un sale ferrico che con il ferrocianuro di potassio dà un precipitato di ferrocianuro ferrico di colore blu (blu di Prussia). Questo precipitato colorerà la carta solo durante la semionda positiva. Dopo 10 millesimi di secondo la tensione ai morsetti del trasformatore si inverte. In questo caso la punta di metallo sarà negativa rispetto al piano conduttore di base. Gli ioni ammonio, che andranno a scaricarsi presso il chiodo, non reagiscono con il ferro e quindi non si verificherà alcun precipitato e nessuna conseguente colorazione della carta. Se provate a collegare una pila al posto del trasformatore potete osservare, contrariamente a quando si vedeva in questo caso, una striscia continua di colore blu. Ovviamente assicurandoci che il polo positivo della pila sia collegato al chiodo di ferro. Tramite questa semplice esperienza, facendo uso di una striscia di carta molto più lunga, potete divertirvi a misurare la velocità di scorrimento del vostro braccio. Infatti, avete realizzato qualcosa come un cronometro molto preciso. Questo cronometro è scandito dalla frequenza dell'alternanza di rete, che risulta essere di 50 Hz. Ogni trattino infatti, è sempre separato dal successivo da un intervallo temporale di 20 ms (millisecondi). Credo di avervi dato un interessante spunto

per qualche idea didattica che probabilmente starà già frullando nella vostra testa. Se questo è vero, vi assicuro, non posso far altro che essere felice.

## 5°Laboratorio

### Misura della temperatura del filamento di una lampadina

#### TARGET:

Scuola secondaria superiore

#### Materiale occorrente:

Lampadina elettrica ad incandescenza da 220 V / 60 W, un tester di precisione, un amperometro per corrente alternata.

Questa esperienza, che ovviamente dovremo annoverare fra quelle esperienze dedicate a un pubblico di allievi facenti parte di scuole di tipo tecnico, è una esercitazione che mi ricorda ancora la memoria del caro ingegnere Giacomo Giuliani. L'instancabile preside dell'Istituto Industriale di Maddaloni in provincia di Caserta, che produsse questa prova nei laboratori della scuola omonima, quando io giovanissimo, ero ancora allievo della menzionata struttura didattica.

Contestualmente a quello che vogliamo dimostrare, questa esperienza vi consente di trovarvi di fronte ad una interessante possibilità per creare una sorta di provocazione in seno al gruppo di allievi a cui proporrete questa esperienza. Questa possibilità, costituisce un ulteriore stimolo di elevato valore didattico.

A tal fine, prendete una lampadina da **220V 60W** e fate leggere questi dati di targa ad un allievo. Fate in modo che tutti i presenti possano seguire il vostro ragionamento. Ogni allievo, che si trova all'incirca fra il 2° o 3° anno di un Istituto tecnico industriale, sa perfettamente la teoria riguardante le leggi dell'elettrotecnica relative alla potenza elettrica. Tale potenza elettrica relativa a un generico utilizzatore di tipo ohmico, come una lampadina, si esprime dicendo che:

$$P = V \cdot I$$

Questo significa che, se moltiplichiamo il valore della corrente assorbita dalla lampadina per la tensione applicata ai suoi capi, dovremo conoscere la potenza elettrica della lampadina stessa. I dati di targa di quest'ultima ci mostrano che la potenza assorbita è di 60 watt. Fornite allora un tester oppure un ohmmetro all'allievo scelto per questo test e dite a costui di misurare la resistenza del filamento della lampadina. È molto probabile che se il nostro allievo effettua correttamente la misura ripetendo la procedura vista nel laboratorio 3 di questo modulo, trova per esso un valore di circa 50 ohm. È infatti possibile verificare che, per quanto riguarda una lampadina commerciale, con i dati di targa che ho fornito, il valore dovrebbe oscillare appunto da 40 a 60 ohm. Fate notare al vostro allievo e a tutta la platea degli ascoltatori che, se

la legge di Ohm è vera, dovremo poter determinare la corrente che circola nella lampadina dividendo il valore della tensione di targa con questo valore di resistenza appena calcolato. Non ridete voi che avete già capito tutto. A questo punto invitiamo il nostro allievo a fare un calcolo:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220}{50} = 4,4A$$

Il valore che risulta dalla nostra operazione è pari a 4,4 ampere. Se la formula della potenza è corretta, ma noi non possiamo contestare certamente una legge fondamentale dell'elettrotecnica, dovremo a questo punto calcolare la potenza della lampadina applicando la formula che conosciamo:

$$P = V \cdot I = 220 \cdot 4,4 = 968W$$

Il calcolo ci dice che la potenza della lampadina elettrica è pari a 968 watt. Ma i dati di targa dicono 60 watt, come può essere una cosa del genere ?

Finitela di ridere ... lo so che voi vi siete accorti del trabocchetto, ma vi assicuro che questo modo di fare risulta fortemente educativo. Infatti, vi consiglio di enfatizzare questa vostra meraviglia e raccogliere le mille considerazioni che vi potranno essere fatte da posto. Appena ritenete che la durata dello scherzo sia stata sufficiente, oppure approfittando di qualche allievo brillante che vi ha dato la risposta esatta, smettete la vostra farsa e date subito la spiegazione corretta.

In effetti, l'errore si verifica poiché la resistenza elettrica del filamento della lampada misurata con il tester, è un valore determinato a freddo. Non si è tenuto conto del fatto che quando il filamento di tungsteno diventa incandescente, la sua temperatura passa dal valore della temperatura ambiente ad un valore superiore ai 1500 gradi. Mediamente le lampadine elettriche lavorano con una temperatura di filamento pari a 1800 °C, in alcuni casi si può arrivare anche a superare i 2000 °C. Quando un filo conduttore si porta a questa temperatura, la sua resistenza elettrica si accresce di un fattore che dipende da un coefficiente chiamato "**coefficiente di temperatura alfa ( $\alpha$ ) dei materiali conduttori**". In appendice potete trovare una tabella che mostra questo coefficiente alfa per i vari materiali.

È quindi evidente che, connettendo la lampadina al circuito di alimentazione, solo per un istante brevissimo circola una corrente di 4 ampere. Successivamente, quando il filamento raggiungerà tutta la sua luminosità, il valore della sua resistenza si porterà a circa 800 ohm.

È proprio questo fenomeno che utilizzeremo per allestire una misura di laboratorio in grado di calcolare la temperatura del filamento di una lampadina elettrica. Definiamo subito la relazione che lega la variazione della resistenza ohmmica di un generico conduttore in base alla sua temperatura:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$$

La resistenza  $R_t$  è funzione della resistenza del conduttore, misurata al valore di zero gradi centigradi, aumentata del fattore “ $\alpha$ ”, moltiplicato per la temperatura “ $T$ ”. Considerando il valore della resistenza elettrica del conduttore alla temperatura ambiente “ $T_a$ ”, si dimostra facilmente che:

$$T = T_a + \frac{R_T - R_a}{\alpha \cdot R_a}$$

Dove “ $T$ ” è la temperatura cercata, “ $T_a$ ” la temperatura ambiente, “ $R_a$ ” la resistenza elettrica misurata alla temperatura ambiente, “ $R_t$ ” il valore della resistenza elettrica del conduttore a regime e quindi sottoposto alla temperatura “ $T$ ”, “ $\alpha$ ” è il coefficiente di temperatura del conduttore ricavabile dall’apposita tabella in appendice.

Nel caso della nostra lampadina è quindi necessario effettuare inizialmente una misura di resistenza elettrica del filamento a freddo. Per effettuare questa misura è sufficiente utilizzare un ohmmetro, oppure realizzare un circuito di misura volt-amperometrico a bassa tensione. Alla fine di questa misura otteniamo il valore “ $R_a$ ”, che dovrebbe essere all’incirca 50 ohm. Questo valore rappresenta indicativamente la misura della resistenza a temperatura ambiente, valido per lampadine elettriche a filamento della potenza simile a quella vista nel caso precedente. Contemporaneamente a questa misura, rileveremo il valore della temperatura ambiente “ $T_a$ ” tramite un termometro e, successivamente, allestiremo un circuito di misura simile a quello illustrato nella figura seguente.

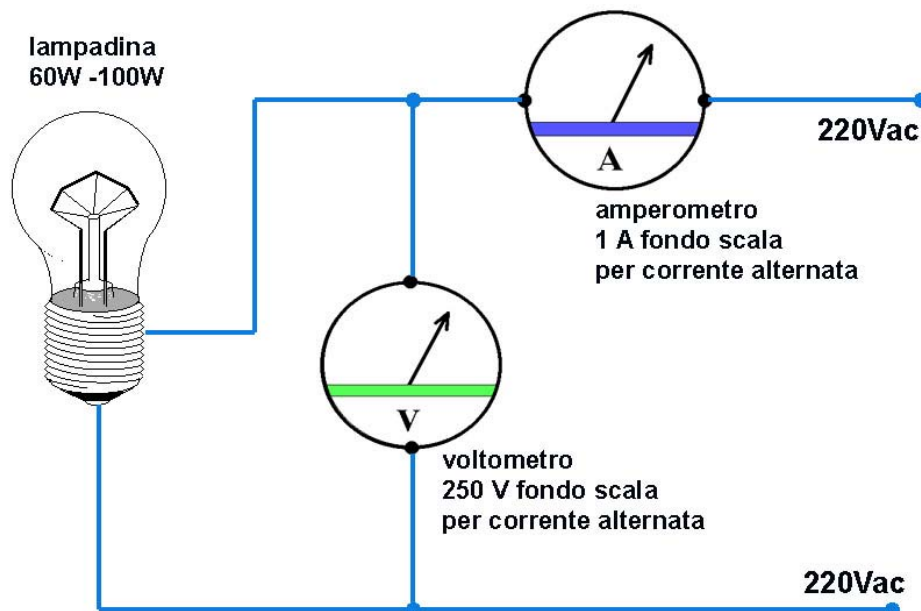


Fig. 15.8 - Schema del circuito di misura -



Con questo circuito potremo misurare il valore della resistenza elettrica del filamento della lampadina quando essa è alimentata correttamente ed è quindi in grado di raggiungere la temperatura che dobbiamo determinare. Ricordatevi che il coefficiente “ $\alpha$ ” non è sempre costante ma varia a seconda degli intervalli di temperature a cui sottoponiamo il conduttore. Nella tabella mostrata nell’allegato abbiamo, per il tungsteno, sia il valore del coefficiente “ $\alpha$ ” valido per variazioni di temperature prossime a quella ambiente, che il valore che dovremo adoperare per escursioni termiche prossime ai 1000 °C. Questi ultimi, sono proprio i regimi termici a cui è sottoposto normalmente un filamento di una lampadina ad incandescenza.

Questa esercitazione, realizzata in seno ad un programma di misure elettriche per Istituti tecnici di tipo industriale, è già di per sé molto interessante, ma diventa fondamentale se sviluppata in ambito di un programma di esercitazioni di fisica. Grazie a questa esperienza sarete in grado di mostrare come, attraverso un attento ragionamento, è possibile misurare grandezze fisiche non sempre raggiungibili con metodi strumentali diretti, ed aprire discussioni molto interessanti sui metodi di misura in ambito scientifico che vengono oggi eseguiti dai ricercatori.

**NOTE1:**

Nell’esperimento precedente poiché per effettuare la misura della temperatura si usa un procedimento analitico molto articolato nel quale, diverse grandezze sono ottenute con procedimenti indiretti, per la teoria della propagazione degli errori i valori rivelati potrebbero risultare affetti da diversi errori strumentali. Il docente consideri eventualmente questo aspetto che potrebbe addirittura essere sfruttato come pretesto didattico (se egli volesse) per esercitarsi su tale argomento. In questa sede consapevolmente non abbiamo voluto tener conto di questi problemi di propagazione dell’incertezza d’errore poiché questo laboratorio, così come anche tutti gli altri, è stato espressamente proposto come semplice esercitazione didattica.

**APPENDICE:****VALORI DELLA RESISTIVITA' E DEL COEFFICIENTE  
DI TEMPERATURA DI ALCUNI MATERIALI CONDUTTORI**

<b>Materiale</b>	<b>Resistività a 20 °C Ωmm<sup>2</sup>/m</b>	<b>Resistività a 20 °C Ωmm<sup>2</sup>/km</b>	<b>Coefficiente di temperatura α 20°C 10<sup>-3</sup>/°C</b>
<b>Argento</b>	<b>0.0164</b>	<b>16.4</b>	<b>3.8</b>
<b>Rame (filo ricotto)</b>	<b>0.0176</b>	<b>17.6</b>	<b>3.93</b>
<b>(filo crudo)</b>	<b>0.0178</b>	<b>17.8</b>	<b>3.93</b>
<b>Oro</b>	<b>0.024</b>	<b>24</b>	<b>3.6</b>
<b>Alluminio 99.5 % (filo ricotto)</b>	<b>0.028</b>	<b>28</b>	<b>4.0</b>
<b>Magnesio (puro)</b>	<b>0.045</b>	<b>45</b>	<b>3.8</b>
<b>Tungsteno</b>	<b>0.055</b>	<b>55</b>	<b>4.5 (8.6 1000 °C)</b>
<b>Zinco (99%)</b>	<b>0.060</b>	<b>60</b>	<b>4.1</b>
<b>Ottone</b>	<b>0.070</b>	<b>70</b>	<b>1 – 2</b>
<b>Ferro (puro)</b>	<b>0.1</b>	<b>100</b>	<b>6.4</b>
<b>Platino</b>	<b>0.1</b>	<b>100</b>	<b>3.6</b>
<b>Stagno</b>	<b>0.11 – 0.12</b>		
<b>Nichel</b>	<b>0.12</b>	<b>120</b>	<b>6</b>
<b>Mercurio</b>	<b>0.958</b>	<b>958</b>	<b>0.89</b>
<b>Piombo</b>	<b>0.2</b>	<b>200</b>	<b>4.2</b>
<b>Titanio</b>	<b>0,55</b>	<b>550</b>	
<b>Carbone (spazzole)</b>	<b>30 – 50</b>	<b>30.000 – 50.000</b>	<b>- 0.3</b>
<b>Grafite</b>	<b>4 – 20</b>		
<b>Acciaio trafilato (A37) &lt;0.15% C</b>	<b>0.200</b>	<b>200</b>	<b>4.0</b>
<b>Nichel Cromo</b>	<b>1.000</b>	<b>1000</b>	<b>0.15</b>
<b>Costantana 60%Cu e 40% Ni</b>	<b>0.400</b>	<b>400</b>	<b>0.025</b>
<b>Manganina 70%Cu 25%Mn 5% Ni</b>	<b>0.450</b>	<b>450</b>	<b>0.01</b>
<b>Argentana 60%Cu 25%Zn 15% Ni</b>	<b>0.38</b>	<b>380</b>	<b>0.007</b>
<b>Germanio puro</b>	<b>500.000</b>	<b>500.000.000</b>	<b>Coeff. Negativo</b>
<b>Silicio puro</b>	<b>2.500.000.000</b>	<b>..</b>	<b>Coeff. Negativo</b>

<b>CONDUTTIVITA' EQUIVALENTE A DILUIZIONE INFINITA (<math>\Omega^{-1}\text{cm}^2 \text{eq}^{-1}</math>) DEI PRINCIPALI IONI a 25°C</b>
--

Ioni	Conduttività
$\text{H}^+$	349.8
$\text{OH}^-$	198.0
$\text{SO}_4^{--}$	79.8
$\text{Br}^-$	78.4
$\text{I}^-$	76.8
$\text{Cl}^-$	76.3
$\text{K}^+$	73.5
$\text{Pb}^{++}$	73.0
$\text{NO}_3^-$	71.4
$\text{Fe}^{+++}$	68.0
$\text{ClO}_4^{--}$	67.3
$\text{Ba}^{++}$	63.6
$\text{Ag}^+$	61.9
$\text{Ca}^{++}$	59.5
$\text{Cu}^{++}$	54.0
$\text{Fe}^{++}$	53.5
$\text{Mg}^{++}$	53.1
$\text{Zn}^{++}$	53.0
$\text{Na}^+$	50.1
$\text{CH}_3\text{COO}^-$	40.9
$\text{Li}^+$	38.7

$$\chi = F \cdot \sum_i \alpha_i \cdot \nu_i \cdot c_i \cdot \mu_i$$

**Conduttività di un elettrolita**  $F$  = costante di Faraday,  $\alpha$  = grado di dissociazione,  $\nu$  = carica elettrica ione,  $c$  = concentrazione  $\text{eq cm}^{-3}$ ,  $\mu$  = mobilità ione  
 $i$  = numero di ioni

### EQUIVALENTE ELETTROCHIMICO DI ALCUNI ELEMENTI CHIMICI

Elementi	Milligrammi per coulomb	grammi per amperora
Alluminio	0.093	0.335
Argento	1.118	4.025
Bario	0.712	2.562
Bismuto	0.722	2.599
Cobalto	0.305	1.099
Idrogeno	0.0104	0.037
Mercurio	2.079	7.484
Oro	0.681	2.452
Ossigeno	1.083	0.298
Piombo	1.074	3.865
Platino	1.016	3.656
Rame monovalente	0.659	2.372
Rame bivalente	0.239	1.186
Sodio	0.239	0.862
Stagno	0.615	2.214
Zinco	0.339	1.219
Nichel bivalente	0.304	1.095

$$E_q = \frac{A}{\chi \cdot F} = \frac{A}{\chi \cdot e \cdot N_0} = \frac{kg}{C}$$

$E_q$  = equivalente elettrochimico

$\chi$  = valenza formale o numero di ossidazione

F = 9,6486692  $\cdot 10^4$  C/mol (costante di Faraday)

A = Peso atomico

$N_0$  = Numero di Avogadro

e = Carica elettrica dell'elettrone

Grammi di  $H_2$  e di  $O_2$  prodotti da un voltmetro (formula pratica) :

$$gH_2 = \frac{I \cdot t}{96500} \quad gO_2 = \frac{I \cdot t}{2 \cdot 96500} \quad (I = \text{ampere, } t = \text{secondi})$$

## ALLEGATO:

### Perché circola la corrente elettrica ?

La natura, a dispetto della nostra abitudine dilapidatrice, è estremamente parsimoniosa, alla domanda posta dal titolo possiamo quindi rispondere con questa affermazione: ogni sistema in natura tende a preferire lo stato a energia più bassa possibile, per questa ragione la corrente elettrica circola per compensare un equilibrio perduto.

I fenomeni relativi al passaggio di cariche elettriche hanno sede nell'edificio atomico e si propagano per base molecolare nel materiale che noi definiamo conduttore. Sono quindi le molecole all'interno della materia, il mezzo di propagazione della corrente elettrica.

L'atomo è costituito da una parte centrale, definita nucleo, nella quale ha sede la maggiore concentrazione della sua massa e da una parte periferica, costituita da uno spazio relativamente esteso, dove sono ubicati gli elettroni. Questi ultimi sono localizzati a distanze molto diversificate che possono andare da  $0.53 \cdot 10^{-10}$  m, come nel caso dell'atomo di idrogeno, fino a circa  $3 \cdot 10^{-10}$  m, per l'atomo più grande esistente in natura, che in questo caso è l'atomo di francio.

Gli elettroni condividono questo spazio tramite regole quantistiche estremamente precise. Queste regole stabiliscono la regione attorno all'atomo in cui è più probabile trovare elettroni e, per ognuna di tali regioni, stabiliscono il numero massimo di elettroni che può esservi contenuto. Tali regioni caratteristiche sono chiamate orbitali.

L'edificio atomico deve però risultare neutro, quindi il numero di elettroni presente a livello orbitale deve compensare il numero di cariche positive contenute nel nucleo. La natura tenterà qualsiasi cosa al fine di correggere un eventuale squilibrio di carica elettrica, ed è per mezzo di questi meccanismi che si originano all'interno della materia passaggi di elettroni e quindi di corrente elettrica.

Sarà sufficiente riflettere sul fatto che, anche in questo momento, mentre pensiamo intensamente a quello che stiamo leggendo, un certo numero di reazioni chimiche a livello delle nostre terminazioni nervose, sta producendo gli impulsi elettrici da cui dipendono i nostri pensieri. Questi segnali, di circa 70 mV, vengono infatti originati per mezzo di trasferimenti ionici trasmessi dai mediatori chimici che costituiscono le sinapsi stesse, veri e propri circuiti chimico-elettrici.

Un altro esempio può essere offerto dall'azione congiunta delle varie reazioni chimiche di ossidoriduzione che, selezionate dal lento processo evolutivo, permettono la vita delle nostre cellule e sono quindi responsabili della nostra stessa esistenza.

Tutte queste reazioni chimiche avvengono tramite il rilascio di alcuni elettroni situati nelle orbite più esterne dell'atomo e quindi, anche in questo caso, si può dire che si è generato il passaggio di una corrente elettrica.

Questi esempi però mostrano trasformazioni termodinamiche che riguardano sostituzioni di un piccolo numero di cariche elettriche viste nella loro più ampia globalità.

Una corrente elettrica da un punto di vista elettrologico invece è caratterizzata da uno spostamento in massa di notevoli quantità di elettroni. Inoltre risulta condizione indispensabile che il mezzo interposto deve essere un sistema conduttore di corrente elettrica.

## Perché alcuni materiali sono conduttori di corrente ?

La materia solida, diversificata per qualità e quantità di atomi o molecole, è costituita da corpi che si comportano come buoni conduttori di elettricità, da corpi che invece sono cattivi conduttori di corrente elettrica, chiamati isolanti, e da corpi con caratteristiche intermedie tra gli uni e gli altri definiti semi-conduttori. (Vedi fig. n. 16.8). Dei corpi conduttori esistono ancora due categorie: i corpi conduttori normali (che potremo definire imperfetti) e i superconduttori (conduttori perfetti).

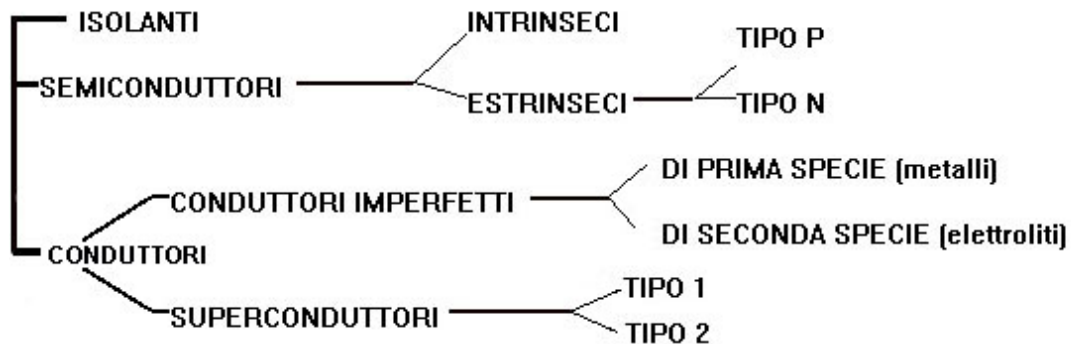


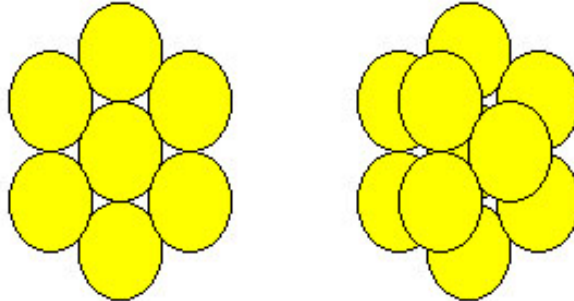
Fig. 16.8 - Struttura ad albero dei vari tipi di materiali in base alla conducibilità -

I corpi conduttori imperfetti, che da questo punto in poi chiameremo semplicemente "conduttori" in quanto sono quelli che più manipoleremo nei nostri esperimenti, si dividono a loro volta in conduttori di **prima specie** e in conduttori di **seconda specie**. Questa suddivisione, proposta da Alessandro Volta, per quanto oggi non più in uso ci permette di classificare anche gli elettroliti, cioè quei corpi che presentano conduzione elettrica in fase liquida.

I conduttori solidi sono normalmente costituiti da strutture cristalline molto compatte nelle quali gli atomi sono tenuti insieme da forti legami metallici. Questo legame chimico è caratteristico appunto dei metalli come l'oro, l'argento, il rame, il ferro, ecc. Sono le peculiarità del legame metallico a consentire il passaggio di elettroni all'interno dei metalli. Tale legame può essere concepito immaginando un legame covalente esteso a tutti gli atomi che costituiscono la struttura del metallo.

Quando si parla di metalli, gli atomi possono essere considerati come sfere che vengono impacchettate in modo da occupare un volume minimo. Per avere un esempio in tal senso, possiamo osservare la figura n. 17.8 in cui è rappresentata una sfera circondata da altre 6. Questa disposizione permette il massimo numero di contatti (legami) fra le sfere. Per raggiungere un accorpamento completo sono necessarie altre 3 sfere disposte sopra il piano di riferimento occupato dalle prime sfere e altre 3 sotto di esso, in modo da avere al massimo dodici sfere a contatto con la sfera centrale. Questo tipo di impacchettamento, conosciuto come struttura cristallina esagonale, ha il

vantaggio di occupare il minimo volume possibile (In tal senso provate a osservare come si dispongono un centinaio di biglie tutte uguali e libere di muoversi in uno scatola di cartone). Nonostante le caratteristiche di ottimizzazione del volume disponibile, la struttura esagonale non è la sola disposizione di atomi che troviamo nei metalli.



**Struttura esagonale di un metallo**

Fig. 17.8

Esistono infatti, molte altre disposizioni, o impacchettamenti, come la struttura cubica a facce centrate, quella a corpo centrato, anch'esse tipiche strutture di impacchettamento cristallino di metalli. Ritornando alla nostra struttura esagonale, possiamo provare a fare qualche considerazione: risulta molto difficile che dodici atomi, così fortemente in contatto, possano essere legati da un semplice legame covalente. Non esistono orbitali sufficienti per consentire 12 legami covalenti, più verosimilmente si suppone un legame covalente esteso a tutto il sito cristallino. In questo modo i legami si presentano delocalizzati e gli elettroni facenti parte del legame, si considerano distribuiti in tutto il cristallo. Ed è proprio questa la condizione che determina la peculiare caratteristica del legame metallico e quindi spiega la tipica libertà di movimento degli elettroni in gioco. Un legame metallico quindi va immaginato come composto da un certo numero di ioni positivi fissati in precise posizioni reticolari, tenuti insieme da un mare di elettroni che si muovono intorno ad essi.

Grazie a questa particolare struttura i metalli possiedono buona conduzione elettrica, ottima conducibilità al calore, duttilità, malleabilità, ecc.

**Come possiamo spiegare, in parole molto semplici il fenomeno di propagazione della corrente elettrica in un materiale, elencando anche le caratteristiche e le proprietà dei materiali conduttori ?**

Un giorno, mi trovai nella condizione di dover spiegare la corrente elettrica ad un gruppo di persone che non erano molto esperte sui problemi tecnici. Ricordo che formulai questo tipo di esempio. La corrente elettrica si può immaginare come un flusso di bambini, che si spostano correndo in una strada (i fili conduttori). Questo spostamento avviene perché dall'altro lato c'è qualcosa che li attrae. La fonte attrattiva, che risulta la causa del loro movimento, può essere qualsiasi cosa a loro gradita, come la presenza di un gelataio, un teatrino delle marionette, oppure un negozio di giocattoli. Assoceremo questi

esempi per analogia al potenziale fornito dal generatore elettrico che determina, in un circuito reale, la circolazione di corrente. Esiste quindi una causa precisa che determina, come effetto risultante, lo spostamento di questi bambini lungo la direzione della strada. Ogni insegnante può divertirsi ad inventare un proprio soggetto. Ma soffermiamoci sulla strada che costituisce il filo conduttore. In mezzo alla strada ci sono i genitori dei bambini (gli atomi). Questi ultimi, essendo di qualche generazione più vecchia sono meno dinamici dei bambini. Stanno piuttosto fermi a parlare fra di loro, oppure a guardare le vetrine dei negozi. I genitori sono gli atomi del materiale che costituisce il filo conduttore. I bambini invece, che rappresentano gli elettroni, sono molto vivaci e si spostano correndo per tutta la strada (legame metallico). Se però all'estremità della strada c'è qualcosa che li attrae, essi, come abbiamo detto, si dirigono piuttosto uniformemente verso questo punto. Ma i genitori non sono proprio fermi, essi vibrano dalle loro posizioni come se ballassero un lento. Possiamo immaginare come se per quella strada c'è una festa di paese. Questo fatto può servire a rappresentare il calore, cioè l'energia cinetica che fa vibrare gli atomi della struttura cristallina che compone il telaio di un edificio conduttore, come il rame per esempio. Poiché i bambini corrono lungo la sezione della strada per tutta la sua lunghezza, trovano impedimento attraversando i loro genitori che ballano. Questo spiega la ragione per cui all'aumentare della temperatura la corrente trova una certa resistenza nel conduttore. Se la temperatura aumenta è come se i genitori ballassero più freneticamente, quindi i bambini trovano un maggior grado di difficoltà. L'esempio della strada può diventare davvero molto utile per spiegare in modo elementare il concetto della corrente elettrica. Infatti, un materiale meno conduttore, sarebbe rappresentato da una strada i cui genitori sono molto apprensivi e non lasciano giocare i propri bambini. In quel caso ci sarebbero pochi bambini in giro a correre per quella strada poiché questi ultimi interferirebbero con i genitori stessi. Il caso dei materiali isolanti, sarebbe rappresentato da genitori che tengono i loro bambini stretti per mano impedendo loro di allontanarsi. Infatti, un materiale isolante è costituito da atomi che tengono i propri elettroni vincolati dalle forze di legame. Con lo stesso espediente è possibile dimostrare al pubblico che ascolta, anche la ragione per cui lo studioso Ohm, con la sua seconda legge, concluse che un conduttore ha una resistenza elettrica che risulta proporzionale alla sua lunghezza ed inversamente proporzionale alla sua sezione.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Infatti, se la nostra strada, ovvero il nostro conduttore, è più lunga, i bambini trovano più impedimenti ad attraversarla. In questo caso, gli urti con i passanti sarebbero statisticamente maggiori. Se però la strada fosse molto più larga, i bambini troverebbero un impedimento minore. Il termine “ $\rho$ ” (si pronuncia rò ) che risulta presente nella formula illustrata precedentemente è indicato nelle tabelle allegate in appendice e si chiama “**resistenza elettrica specifica**” ; esso riguarda il tipo di materiale. Un “ $\rho$ ” molto elevato, indica



genitori più apprensivi oppure strada con più ostacoli. Volendo definire correttamente questo concetto, diciamo che, la resistività “ $\rho$ ” di un determinato materiale è l’inverso della mobilità delle cariche di conduzione (nel nostro caso gli elettroni) simbolo “ $\mu$ ” moltiplicato il numero di cariche elettriche per la carica dell’elettrone.

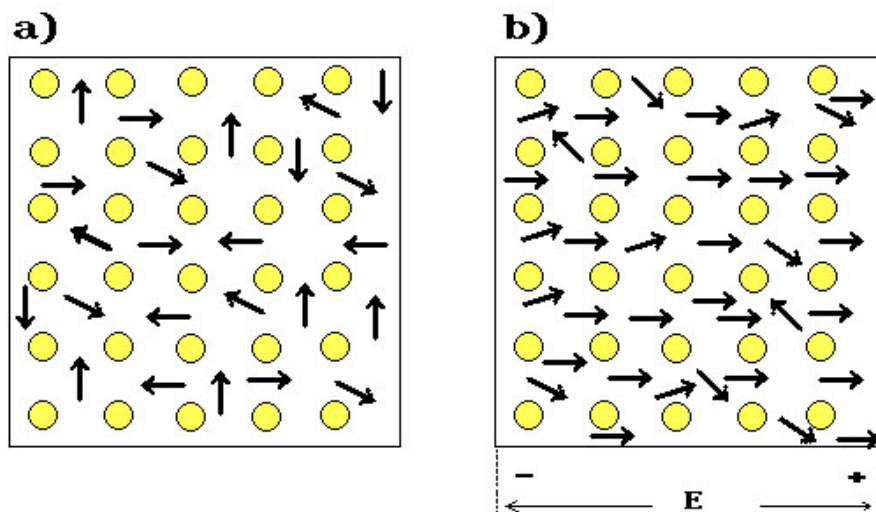
$$\rho = \frac{1}{N_e \cdot e \cdot \mu}$$

Nell’augurio che possiate apprezzare la mia intenzione di offrirvi diversi linguaggi comunicativi allo scopo di consentirvi di sviluppare il vostro più opportuno e personale metodo di divulgazione, entriamo ora nel vivo di una trattazione molto più ortodossa che illustra correttamente la propagazione elettrica nella materia.

### La corrente elettrica vista attraverso le conoscenze attuali.

Quando, all'estremità di un conduttore, applichiamo un **campo elettrico** , cioè un **gradiente di potenziale**, allora gli elettroni, che fino a quel momento si muovevano liberi, cominceranno a mettersi in moto, dirigendosi nella direzione del gradiente stesso. Vedi fig. n. 18.8. Se, con un particolare accorgimento, manteniamo costante il campo elettrico (cioè in pratica il potenziale applicato all'estremità del conduttore), avremo una circolazione continua di corrente elettrica. Questo si traduce, in ultima analisi, in uno spostamento di una certa quantità di corpuscoli (miliardi di elettroni) all'interno della struttura cristallina del conduttore.

Gli elettroni, durante il loro cammino all'interno della materia, disperdono sufficienti quantità della loro energia cinetica a causa delle imperfezioni cristalline presenti nel mezzo attraversato e dello stato vibrazionale delle molecole agitate termicamente.



Effetto del campo elettrico E applicato ad un conduttore metallico.  
 a) Conduttore isolato  
 b) Gradiente di potenziale applicato agli estremi di un conduttore

Fig. 18.8

Un modello, basato sulla fisica classica, spiegava questo stato di cose supponendo che gli elettroni, durante il loro cammino, subivano un certo numero di urti elastici che deviavano la loro traiettoria localmente, sottraendo quindi energia al flusso elettronico.

Ma la materia microscopica presenta delle caratteristiche inaspettate e corpuscoli con una massa di  $9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , cioè gli elettroni, si comportano più come onde di energia, che si propagano nel conduttore, che come particelle materiali. (Vedi paragrafo “meccanica atomica” contenuto nell’allegato del modulo “Materia (concetti base)” e l’appendice finale “B” di testo). Questo fatto ci porta ad esaminare diversamente il flusso di queste particelle nella materia.

Grazie alle teorie quantistiche, ottenute dal lavoro congiunto di un certo numero di scienziati come De Broglie, Niels Bohr, e Max Planck, le particelle microscopiche possono essere considerate sia come onde che come corpuscoli. In questo modo la corrente elettrica può essere paragonata per certi aspetti alla stessa stregua della propagazione ondulatoria.

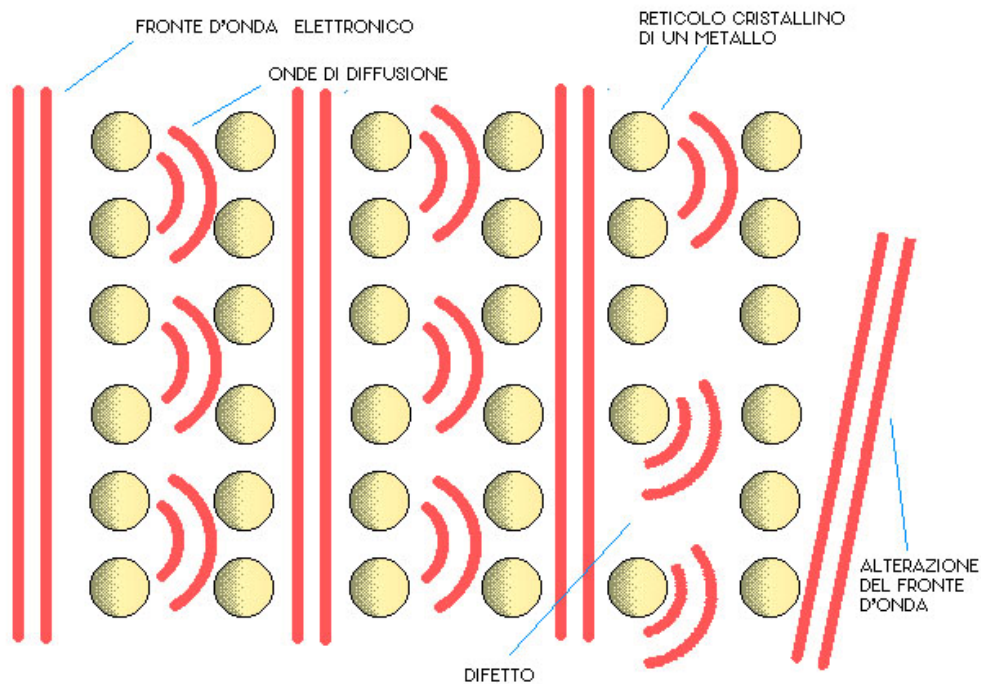


Fig. 19.8 - Modello di simulazione di una propagazione elettrica a onde elettroniche -

In base a quanto sappiamo fino a questo momento, è possibile immaginare il flusso di elettroni che attraversa un conduttore, come una propagazione di un’onda di energia. Questa propagazione è regolata da leggi fisiche diverse da quelle che potevano essere immaginate per una visione classica del moto degli elettroni. La figura n. 19.8, vuole mostrare con una grafica semplificata, come il fronte d’onda elettronico perde energia grazie ad una imperfezione del reticolo cristallino, attraverso il quale si propaga. Si verifica in pratica una certa diffusione del fronte d’onda presso i siti del cristallo dove sono presenti delle imperfezioni.

Questa nuova rappresentazione della resistenza elettrica è estremamente interessante. Essa è in grado di fornirci un nuovo modello fisico che ci permette di studiare alcuni fenomeni legati al passaggio della corrente nella materia che con il modello classico erano di difficile interpretazione. Un esempio in tal senso è offerto dalla studio dei superconduttori. I superconduttori sono materiali particolari caratterizzati dal fatto che la corrente che scorre al loro interno, li attraversa senza trovare alcuna resistenza. Tale argomento esula completamente dagli obiettivi di questo testo, ma ci tenevo a fornire questo concetto per stimolare qualche riflessione sul problema della superconduzione. La conducibilità infinita, offerta appunto dai superconduttori, potrebbe essere spiegata grazie ad una specie di risonanza della funzione d'onda di propagazione degli elettroni con il reticolo molecolare del materiale. Grazie a questa risonanza, la corrente elettrica non dissipa energia e il sistema superconduttore si comporta come un gigantesco orbitale atomico. Si tratta ovviamente di una semplificazione dettata da un mio punto di vista pensata in modo da rendere più semplice e immediata la comprensione della superconduzione. In ogni caso vi esorto a considerare anche la possibilità che questa interpretazione personale non sia proprio esattamente vicina alla fisica del fenomeno ma, direttamente legata alla mia profonda ignoranza.

### **Approfondiamo le relazioni analitiche che riguardano la corrente elettrica e il suo fluire nella materia.**

Tornando al problema di base, che riguarda il passaggio di corrente nella materia nello stato solido, facciamo un esempio idraulico molto interessante da un punto di vista analitico, che ci permette di definire alcune leggi fondamentali sulla corrente. Consideriamo una generica condotta idraulica. Supponiamo inoltre che questa condotta abbia una sezione circolare e che al suo interno passi un certo flusso di acqua. Sia “**S**” la sezione della condotta e sia “**u**” la velocità costante dell’acqua che fluisce con continuità senza turbolenza (moto laminare), in questo caso possiamo scrivere:

$$\Delta S u = \text{costante} = \text{portata} = Q \quad (1.08)$$

La portata di una condotta si misura in  $\text{m}^3/\text{h}$  oppure in litri/h. Per generare movimento del fluido nella condotta è però necessario che vi sia anche una differenza di pressione  $\Delta p$  alle estremità di essa. La legge di Poiseuille permette di determinare sia la portata che la velocità del fluido:

$$Q = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8 \cdot l \cdot \eta} \quad (2.08)$$

La formula n. 2.08 mostra come varia la portata di una condotta idraulica. Si definisce con “**R**” il raggio della condotta, con “**η**” la viscosità dinamica del fluido, con “**l**” la lunghezza del tratto e con  $\Delta p$  la differenza di pressione

presente all'estremità del tratto. Con la stessa formula possiamo determinare la velocità del fluido nella condotta:

$$u = \frac{\Delta p \cdot R^2}{8 \cdot l \cdot \eta} \quad (3.08)$$

Osservando le due relazioni si intuisce facilmente che la formula 3.08 differisce unicamente dalla 2.08 per la mancanza del termine "R<sup>2</sup>" e del termine "π" il cui prodotto rappresenta l'area della sezione circolare della condotta. Quindi, quando abbiamo a che fare con condotte a sezione circolare, possiamo anche scrivere che la velocità del fluido è uguale a:

$$u = \frac{Q}{\pi \cdot R^2} \quad (4.08)$$

La velocità del fluido è quindi proporzionale alla portata e inversamente proporzionale alla sezione della condotta. In una condotta a sezione non costante la velocità del fluido subirà un aumento nei punti dove la sezione è più piccola. Se consultate il modulo "Proprietà dei fluidi" troverete all'interno alcune informazioni utili che riguardano questi concetti.

A questo punto, spostiamo temporaneamente la nostra attenzione sulla conduzione elettronica da parte degli elettroni presenti in un filo elettrico conduttore. Ebbene, possiamo facilmente verificare che questa semplice legge fisica adatta alla descrizione del moto dei fluidi nelle condotte, vale allo stesso modo anche nel caso della corrente elettrica. Anche in elettrologia possiamo dire che la velocità media degli elettroni in un conduttore è inversamente proporzionale alla sezione del conduttore. Anche se, in questo caso, per essere precisi dobbiamo considerare la densità di carica degli elettroni presenti nel conduttore. Indicando con  $\langle v \rangle$  la velocità media degli elettroni in un conduttore e con "I" il valore della corrente elettrica abbiamo infatti:

$$\langle v \rangle = \frac{I}{D_e S}$$

Il termine "D<sub>e</sub>" indica la densità di carica e il termine "S" indicherà la sezione del conduttore. Ulteriori approfondimenti su questa formula verranno trattati alla fine del modulo.

Ritorniamo ora alla formula 2.08 e facciamo qualche passaggio analitico in modo da esprimere il rapporto Δp/Q. In tal caso avremo:

$$\frac{\Delta p}{Q} = \frac{8 \cdot l \cdot \eta}{\pi \cdot R^4}$$

(5.08)

Anche in questo caso le leggi della fisica della conduzione della corrente elettrica sono molto simili a quelle dell'idraulica. Infatti, se guardiamo la differenza di pressione " $\Delta p$ " in analogia alla tensione elettrica " $V$ " applicata ad un conduttore e la portata idraulica " $Q$ " come la corrente elettrica che fluisce al suo interno, ci accorgeremo che la formula 5.08 non è altro che la rappresentazione del rapporto fra " $V$ " ed " $I$ ", e di conseguenza, l'espressione a secondo membro dell'equazione, che rappresenta il valore di una resistenza idraulica della condotta è in definitiva la resistenza elettrica di un conduttore, quindi, la 5.08 è una formulazione della legge di Ohm (in elettrologia) ottenuta mediante il confronto con la resistenza incontrata da un fluido in una conduttura.

È meraviglioso osservare che dalla stessa formulazione matematica possiamo estrarre addirittura l'equazione della seconda legge di Ohm. Difatti, visto che il termine  $8 l \eta / \pi R^4$  rappresenta una resistenza e considerando che la sezione del conduttore idraulico è pari a  $\pi R^2$  possiamo scrivere:

$$R_i = \frac{l}{S} \cdot \frac{8 \cdot \eta}{R^2}$$

(6.08)

Dove  $R_i$  è la resistenza idraulica e il termine  $8 \eta / R^2$  rappresenta per analogia, il famoso  $\rho$  della seconda legge di Ohm. Tutto questo è semplicemente meraviglioso.

A questo punto, sempre rimanendo in ambito di un modello classico della teoria elettronica, proviamo a verificare quanto detto in precedenza circa la velocità degli elettroni di conduzione. Ricordiamo che per quanto riguarda il fenomeno di conduzione del segnale elettrico, o impulso, questo si propaga ad una velocità prossima a quella della luce ( $C = 299792458$  m/sec). Gli elettroni di conduzione si muovono invece ad una velocità estremamente più bassa all'interno di un conduttore elettrico.

Dalla teoria cinetica dei gas perfetti possiamo calcolare l'energia cinetica media delle particelle che costituiscono un gas perfetto a una determinata temperatura " $T$ ". Supponendo di considerare gli elettroni in un conduttore come un gas di particelle le cui leggi sono regolate dalle relazioni statistiche già note per i gas perfetti, abbiamo la seguente uguaglianza fra le formulazioni dell'energia cinetica:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{3}{2} kT$$

(7.08)

dove " $m$ " è la massa degli elettroni, " $v$ " la velocità media, " $k$ " è la costante di Boltzman e " $T$ " la temperatura assoluta. In questo caso, con semplici passaggi

aritmetici, e supponendo di considerare il conduttore alla temperatura di lavoro di 20 °C (293 °K) è possibile dimostrare che la velocità media degli elettroni risulta uguale a:

$$v_{qm} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1.15 \cdot 10^5 \text{ m / s} \quad (8.08)$$

Questa velocità quadratica media è quella posseduta dagli elettroni che si muovono senza una direzione preferenziale, ma per semplice agitazione termica a opera della sola temperatura a cui è sottoposto il conduttore. Come è facile osservare, questa velocità è relativamente alta, ma la velocità degli elettroni, diventa un parametro ancora più interessante quando se ne considera il valore nel caso di una corrente di spostamento elettronica lungo un filo conduttore. Ma vediamo con più precisione tale condizione, cioè il caso di una corrente elettrica che passa in un circuito.

Supponiamo di avere un filo di rame con una sezione di 1 mm<sup>2</sup> nel quale si instaura una corrente di 3,5 ampere con una densità di corrente uniforme su tutto il filo. Desideriamo calcolare la velocità media degli elettroni che vi circolano. Il primo parametro che dobbiamo calcolare è la **densità degli elettroni liberi** ( $n_e$ ). Verificando, attraverso una tavola periodica degli elementi, la configurazione elettronica esterna di un atomo di rame, possiamo osservare che possiede un solo elettrone libero e, poiché ha una densità  $\sigma$  di circa  $9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ , possiamo facilmente calcolare la densità degli elettroni liberi utilizzando il numero di Avogadro  $N_0 = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ :

$$n_e = \frac{\rho \cdot N_0}{A} = \frac{9 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{26}}{63,5} = 8,5 \cdot 10^{28} \frac{\text{elettroni}}{\text{m}^3} \quad (9.08)$$

Infatti, la massa di 1 kg mole =  $6.02 \cdot 10^{26}$  atomi, e "A" è uguale al peso atomico del rame. La densità di carica può essere calcolata facilmente essendo uguale alla densità degli elettroni moltiplicato la carica di un elettrone:

$$D_e = n_e \cdot (-e) = 8,5 \cdot 10^{28} \cdot (-1,602 \cdot 10^{-19}) = -1,36 \cdot 10^{10} \frac{\text{coulomb}}{\text{m}^3}$$

la densità di corrente  $J$  si ottiene moltiplicando la densità di carica  $D_e$  per la velocità media degli elettroni  $\langle v \rangle$  quindi:

$$J = |D_e| \cdot \langle v \rangle \quad (10.08)$$

per definizione di densità di corrente "J", sappiamo che essa è uguale alla corrente "I" diviso la sezione "S" del conduttore, quindi possiamo scrivere la relazione:

$$I = J \cdot S = |D_e| \cdot \langle v \rangle \cdot S \quad (11.08)$$

da quest'ultima relazione possiamo facilmente estrarre il termine di velocità media che risulta definito dalla relazione:

$$\langle v \rangle = \frac{I}{D_e S} = \frac{3,5}{1,36 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-6}} = 2,55 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s} \quad (12.08)$$

(ricordiamo che la sezione di  $1 \text{ mm}^2$  corrisponde a  $10^{-6} \text{ m}^2$ )  
Volendo esprimere in millimetri la velocità abbiamo naturalmente:

$$\langle v \rangle = 0,255 \cdot \frac{mm}{s}$$

La velocità degli elettroni è quindi molto piccola in un conduttore elettrico come il rame, inoltre dobbiamo considerare che essa risulta inversamente proporzionale alla sezione del conduttore. Possiamo facilmente calcolare la velocità media degli elettroni in un conduttore dotato di sezione più piccola di quello mostrato nell'esempio. In questo caso essa è certamente più elevata, ma non dobbiamo dimenticare che valori troppo elevati di corrente elettrica porterebbero un piccolo filo facilmente alla fusione. Solo un superconduttore offrirebbe garanzie di resistenza ad un flusso elevato di corrente, in quest'ultimo caso, considerando invariati i parametri precedenti, gli elettroni percorrerebbero la sezione di transito con una velocità media molto più elevata. In nessun caso gli elettroni potrebbero però attraversare il conduttore ad una velocità prossima a quella della luce, la loro massa impedirebbe questa evenienza poiché troverebbe a misurarsi con gli effetti relativistici definiti dalle trasformate di Lorentz (vedi nota di fine modulo).

### Passaggio di corrente nei liquidi

La corrente elettrica riesce a propagarsi anche attraverso una soluzione liquida. In questo caso essa si propaga grazie alla presenza degli ioni positivi e negativi che sono presenti al suo interno. Mentre in un conduttore solido il flusso di corrente consiste di elettroni che si spostano fra gli interstizi reticolari atomici, in un liquido, la corrente di elettroni dipende dagli ioni presenti nella soluzione. In pratica si può dire, che gli ioni si comportano come automobilisti disponibili che offrono un passaggio agli elettroni che sono localizzati sulle superfici degli elettrodi immersi nella soluzione. Nell' interfaccia elettrodo-liquido, si verifica un vero e proprio scambio di consegne fra gli elettroni che sono ceduti agli ioni positivi e fra elettroni depositati da ioni negativi. In Fig. 20.8, facendo particolare attenzione al catodo, si vede come gli ioni positivi presenti all'interno della soluzione, prelevano gli elettroni disponibili su questo elettrodo. All'anodo invece, sono gli ioni negativi che, avendo qualche elettrone di troppo, sono depositati sull'elettrodo anodico ed avviati nel circuito. Il potenziale elettrico applicato sugli elettrodi immersi nella soluzione produrrà, a sua volta, successive reazioni di ossidoriduzione che favoriranno la produzione di nuovi ioni sostenendo la conduzione elettrolitica. Durante la conduzione elettrica all'interno di una soluzione si verificheranno altresì, numerose reazioni chimiche e fisiche, conseguenza diretta del passaggio di corrente e delle

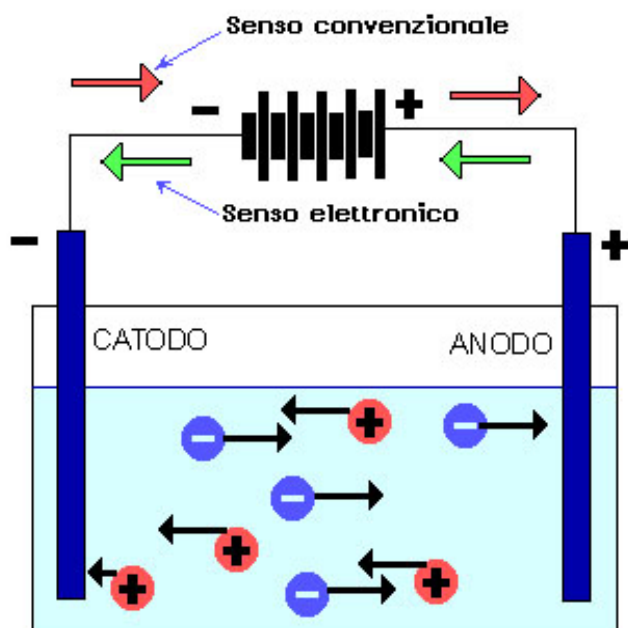


Fig. 20.8 - Corrente elettrolitica -

Questi ioni sono lo ione idronio ( $\text{H}^+$ ) e lo ione ossidrilico ( $\text{OH}^-$ ). Poiché il grado di dissociazione è molto basso, l'acqua conduce tanto poco che in molti casi è considerata un isolante. È consueto parlare di acqua demineralizzata a  $18 \text{ M}\Omega$  di impedenza. Questo modo di dire caratterizza tipi di acqua molto pura e quindi dotata di bassa conduttività. Per renderla conduttiva basta però sciogliere al suo interno dei sali che, dissociandosi, producono il numero di ioni necessari affinché l'acqua possa condurre sufficientemente bene una corrente elettrica. Per approfondire eventualmente quanto detto rimando all'ultima parte dell'allegato al modulo "Esercitazioni di chimica".

Le modalità con cui gli ioni si spostano nella soluzione elettrolitica sono molto complesse e riguardano diversi parametri chimico-fisici. In questa sede voglio mostrare unicamente come calcolare la velocità di propagazione degli ioni nella soluzione. Appena applichiamo tensione agli elettrodi immersi nella soluzione, trascurando le eventuali influenze di questi ultimi sull'andamento dell'elettrolisi, possiamo esprimere la forza che agisce sugli ioni come:

$$\vec{K} = z_i \cdot e_0 \cdot \vec{E} \quad (13.08)$$

Dove " $z_i$ " rappresenta il numero delle cariche elementari, " $e_0$ " la carica elettrica dell'elettrone pari a  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  e il termine " $E$ " il campo elettrico che agisce sullo ione. Tramite questa forza gli ioni migreranno verso il rispettivo elettrodo accelerando per un tempo pari a  $10^{-13}$  secondi ( $t_i$ ). Successivamente, a causa dell'attrito con le circostanti molecole del solvente, la velocità di migrazione si assesta ad un valore stazionario definito dal termine " $w_i$ ". Il grafico successivo mostrato dalla fig. 21.8 mostra la velocità di migrazione degli ioni in funzione del tempo. L'istante zero, presente all'origine degli assi, rappresenta il momento in cui il campo elettrico è applicato alla soluzione.

reazioni di ossidazione e riduzione presso gli elettrodi. In questa sede non analizzeremo questi effetti, rimandando tutti gli approfondimenti presso testi più appropriati.

Un liquido, normalmente per permettere la conduzione elettrica, deve necessariamente avere a disposizione una certa quantità di ioni. Prendiamo come esempio l'acqua pura: essa è fornita naturalmente di ioni, poiché a  $25^\circ\text{C}$  come sappiamo, l'acqua è dissociata in termini di  $1 \cdot 10^{-7}$  moli/litro (vedi modulo "Acidi e basi").



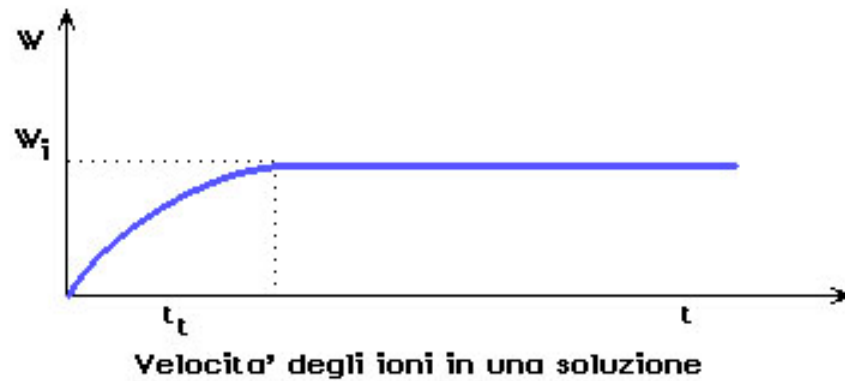


Fig. 21.8

La velocità di regime degli ioni, definita dal termine “ $w_i$ ” risulterà uguale a:

$$\vec{W}_i = \frac{\vec{K}}{R_i} = \frac{z_i \cdot e_0 \cdot \vec{E}}{R_i} \cdot 10^7 \cdot [cm \cdot s^{-1}] \quad (14.08)$$

dove “ $K$ ” è la forza di trascinamento dello ione che abbiamo visto prima e “ $R_i$ ” è la costante di attrito. La costante di attrito è a sua volta definita dalla relazione:

$$R_i = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_i \quad (15.08)$$

Dove “ $\eta$ ” è il coefficiente di attrito interno del solvente (viscosità in Poiseuille), ed “ $r_i$ ” è il raggio dello ione (in cm). Il tempo di transito “ $t_t$ ” risulta a sua volta definito come:

$$t_t = \frac{m}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_i} = \frac{m}{R_i} \quad (16.08)$$

Ponendo  $m=10^{-22}$ ,  $\eta=10^{-2}$ ,  $r_i=10^{-8}$ , il tempo di transito risulta come abbiamo già detto pari a  $10^{-13}$  secondi. Utilizzando gli stessi valori dell’esempio e ponendo per “ $E$ ” il valore di 600 e per il numero di cariche elementari “ $z_i$ ” un valore pari a 2, la velocità di regime degli ioni risulta pari a **192 mm/s**. Una velocità maggiore della velocità media degli elettroni in un conduttore solido. Normalmente in acqua pura la velocità degli ioni negativi ( $OH^-$ ) è di circa 3,5 cm/s mentre gli ioni positivi ( $H^+$ ) è di circa 2 cm/s.

Al termine della nostra trattazione voglio accennare molto sommariamente che, gli eventuali ioni metallici contenuti nella soluzione, migrando verso gli elettrodi, possono avere la possibilità di depositarsi su di essi accrescendone il

loro volume. Questo fenomeno, chiamato “elettrodeposizione elettrochimica” è utilizzato per ricoprire i metalli (galvanostegia) con elementi più nobili. Per esempio si può ricoprire elettrochimicamente un oggetto di ferro facendovi depositare uno strato d’oro oppure d’argento. Affinché si verifichi questo fenomeno bisogna mettere a punto con accurata precisione alcuni parametri del bagno elettrochimico (così viene chiamato). È molto importante ricordare che non tutti i metalli possono essere ricoperti elettroliticamente, infatti tale possibilità dipende da particolari caratteristiche elettriche del materiale. Tuttavia, evitando di fare altre considerazioni che devono necessariamente essere approfondite in altri testi, ho voluto comunque riportare nell’appendice di questo modulo una tabella che mostra **l’equivalente elettrochimico**. Questo parametro, mostra la quantità specifica dell’elemento che può essere elettrodeposta in base al valore della carica elettrica trasferita.

#### NOTA 1:

Le trasformate di Lorentz sono equazioni relativistiche che calcolano l’incremento della massa di un qualsiasi oggetto materiale (quindi anche una particella) quando la velocità di esso si avvicina a quella della luce. Da queste equazioni risulta che la massa di un oggetto diventa infinita quando la sua velocità è proprio pari a quella della luce.

$$m = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

#### NOTA 2:

Affinché la corrente elettrica prodotta tramite i generatori situati presso le centrali elettriche di produzione, possa giungere a noi con il minor numero di perdite energetiche possibili, è necessario che essa possa essere elevata in tensione. Infatti, da una centrale di produzione elettrica, sia essa a carbone, geotermica, nucleare o idraulica esistono svariate centinaia di chilometri di distanza fino ai punti nei quali questa energia sarà utilizzata. Questi lunghi percorsi sono coperti tramite l’uso di un cavo conduttore, che per ragioni economiche è realizzato in alluminio con un’anima interna di acciaio. Come abbiamo visto in questo modulo, quando la corrente elettrica attraversa un conduttore lo riscalda per effetto Joule e si perde energia. L’energia perduta è proporzionale al quadrato della corrente. Elevando fortemente la tensione elettrica abbiamo a parità di potenza trasmessa, un valore di corrente minore e quindi anche un numero più basso di energia perduta per dissipazione termica lungo il cavo. Questa è la ragione per la quale è stata preferita fin dagli inizi del 1900 la corrente alternata. Infatti, tramite il trasformatore elettrico (una macchina statica che funziona solo con questo tipo di corrente) l’elettricità può essere modificata nei valori di tensione e quindi elevata a diverse centinaia di kilovolt oppure anche alcuni megavolt. Quando l’energia elettrica in alta tensione raggiunge infine un determinato centro cittadino, utilizzando ancora una volta un trasformatore elettrico, quest’ultima sarà opportunamente ridotta ad un valore più basso per essere facilmente utilizzata dalle utenze.