

## 42. ONDE STAZIONARIE IN UN FILO PERCORSO DA CORRENTE

**Finalità della dimostrazione:** Mostrare la formazione di onde stazionarie in un filo

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Abbastanza difficile

**Materiali richiesti:** Filo al Nichel-Cromo da 0,5 mm;  
Alimentatore in alternata di f.e.m. variabile.  
Un magnete.

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Buona.

Sopra il tavolo del laboratorio si tende il filo ( indicativamente 1,5 m ) bloccandolo con un morsetto ad una estremità e facendolo passare in una carrucola all'altra. Per tenderlo si applica una tensione appendendo una massa all'estremità libera ( un paio d'etti ) (Fig. 42.1). In una corda tesa la velocità di propagazione delle onde è data dalla legge di Newton

$$c = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

dove  $\tau$  è la tensione della corda e  $\mu$  la massa per unità di lunghezza. Nel nostro caso la frequenza delle onde è quella dell'alimentatore, cioè

$$v = 100 \text{ Hz.}$$

L'onda stazionaria fondamentale si ha quando  $L = \frac{1}{2}\lambda$ , cioè quando

$$L = \frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2} \frac{c}{v} = \frac{1}{2v} \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

le armoniche superiori per

$$L = \frac{N}{2v} \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

dove  $N$  è un numero intero.

Misurata la densità lineare, si producono onde stazionarie per

$$\tau = \frac{1}{N^2} \mu (2vL)^2.$$

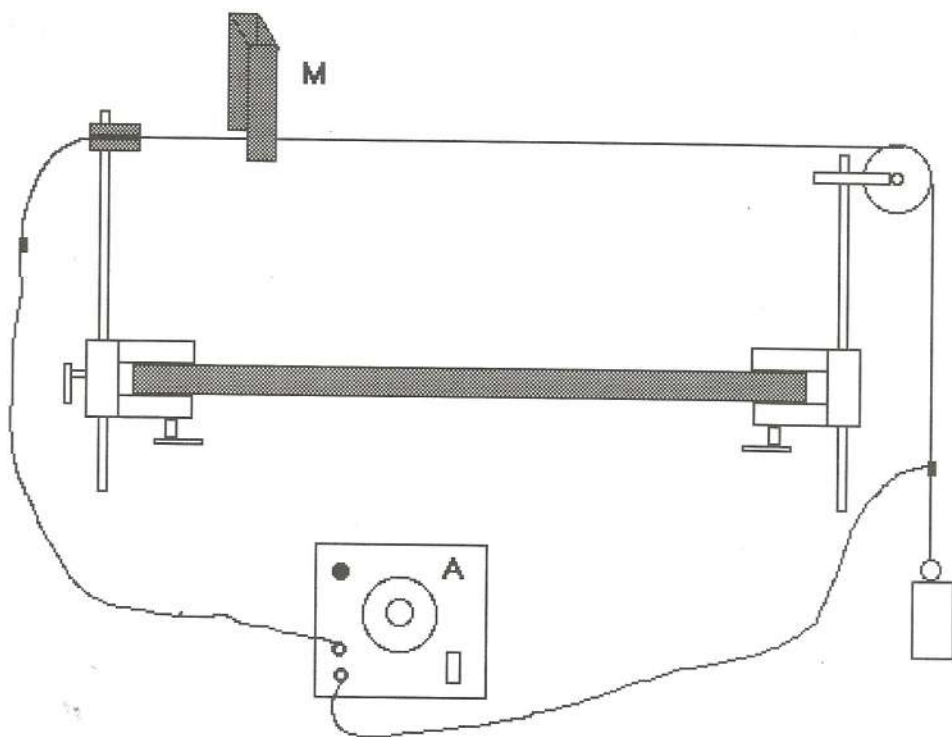


Fig. 42.1. Dispositivo per la dimostrazione. M è il magnete, A l'alimentatore in alternata a tensione variabile.

Dopo aver dato corrente al filo, aumentandola fino a quando comincia ad essere rovente (conviene fare la dimostrazione in un'aula oscurata), si avvicina il magnete e si varia il peso che mantiene teso il filo, fino a che le onde stazionarie si rendono visibili. Se il filo è leggermente rovente, rimane tale nei nodi, mentre nei ventri, a causa dell'agitazione, si spegne.

## 43. CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

### 43.1 CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA

**Finalità della dimostrazione:** Illustrazione della conservazione dell'energia.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Dalla scuola media in su.

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto.

**Grado di difficoltà della realizzazione:** Modesto.

**Materiali richiesti:** Una buona bicicletta a rapporto variabile; un cronometro; cordella metrica.

**Interesse suscitato:** Buono, se si coinvolgono gli studenti.

**Efficacia didattica:** Buona.

Una tecnica utilizzata per partire con la bicicletta consiste in questo: si dispone uno dei pedali nella posizione di massima altezza ( o quasi), si sale rapidamente gravando col peso sul pedale e la bicicletta raggiunge rapidamente una velocità tale da consentire il mantenimento dell'equilibrio. La velocità raggiunta dipende dalla massa del ciclista? O piuttosto dal rapporto impostato sul cambio? Queste domande vanno poste agli studenti, cercando di provocare la discussione, sollecitando da ciascuno una previsione. Si possono prendere come ciclisti i casi estremi nella classe: lo studente di corporatura più robusta e quello più leggero. Quale dei due raggiunge la velocità maggiore nella partenza che abbiamo descritto? E se col cambio di velocità si cambia il rapporto?

Per il cimento scegliamo un corridoio della scuola di conveniente lunghezza. Trasversalmente, a qualche metro di distanza, applichiamo sul pavimento due strisce di nastro adesivo che fungano da traguardi per la misura della velocità. Si colloca la bicicletta a un paio di metri dal primo traguardo, con la pedivella verticale e vi si fa salire il primo ciclista. Questi, mantenendo bloccati i freni, sale col peso sul pedale più alto, con la collaborazione di due compagni che tengono la bici verticale. Ad un certo punto il ciclista lascia i freni e parte, acquistando velocità mentre il pedale si abbassa. Quando la ruota anteriore passa sulla prima striscia, l'operatore fa scattare il cronometro e lo blocca nel momento in cui traversa la seconda. Nota la distanza dei traguardi e il tempo impiegato a percorrerla, si ricava un valore attendibile per la velocità del ciclista. Si ripete la prova con il secondo ciclista, avendo cura di non comunicare i tempi misurati. È anche opportuno concedere ai due ciclisti la possibilità di disputare diverse *manches*. Si ritorna quindi in aula per riflettere sui dati ottenuti e si trova che non vi sono differenze significative di velocità per i due ( o più ciclisti). Tuttavia queste differenze potrebbero presentarsi utilizzando diversi valori della moltiplica. Uno dei due ciclisti ( o anche altri) ripete allora le prove con scelte diverse del cambio di velocità. E ancora non si pongono in evidenza differenze di velocità. Infatti il principio di conservazione dell'energia meccanica prevede che

$$v^2 = 2gh$$

dove  $h$  indica l'escursione del pedale: che non dipende né dalla massa del ciclista né dal valore della moltiplica.

### 43.2 UNA CONSERVAZIONE PIU' AMPIA

**Finalità della dimostrazione:** Stima dell'equivalente meccanico del calore..

**Fascia di età in cui si può proporre:** Dalla scuola media in su.

**Grado di difficoltà concettuale:** Dipende dal taglio che si vuole dare all'argomento.

**Grado di difficoltà della realizzazione:** Facile.

**Materiali richiesti:** Qualche etto di pallini da caccia.  
Un termometro al decimo di grado.  
Una cordella metrica.

**Interesse suscitato:** Discreto.

**Efficacia didattica:** Buona.

Il primo principio della termodinamica afferma che una determinata variazione di energia interna di un corpo si può produrre per somministrazione di calore o di lavoro meccanico:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta L$$

La variazione di energia interna è rilevabile attraverso la misura della variazione di temperatura del corpo:

$$\Delta U = M c \Delta t \quad (1)$$

dove  $c$  indica il calore specifico del materiale e  $\Delta t$  la variazione di temperatura ed  $M$  la massa.

Il corpo che utilizziamo è un sacchetto di stoffa robusta contenente 4 o 5 etti di pallini da caccia.

Si sceglie una finestra che dia su un marciapiedi o un pavimento pulito, con un dislivello di qualche metro. Può fare alla bisogna anche una rampa di scale. Con una cordella metrica si misura il dislivello ( basta un'approssimazione di un decimetro). Si misura con cura ( al decimo di grado) la temperatura dei pallini contenuti nel sacchetto; quindi, chiusane accuratamente la bocca con spago robusto, si dà incarico ad uno studente di lasciarlo cadere dal davanzale. Si ripete l'operazione per alcune volte e infine si misura di nuovo la temperatura. Tutte queste operazioni vanno compiute con una certa rapidità.

Il lavoro meccanico compiuto dal pavimento per fermare il sacchetto è uguale alla sua energia cinetica e quindi alla variazione di energia potenziale:

$$L = nMgh \quad (2)$$

dove  $n$  indica il numero delle prove,  $M$  la massa dei pallini,  $h$  il dislivello di caduta.

Alla quantità di energia meccanica scomparsa corrisponde un aumento di energia interna del corpo dato dalla (1) e misurabile con il termometro, quando si conosca il calore specifico del piombo. Il suo valore è

$$c = 0,03 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$



Dal confronto tra la (1) e la (2) si ricava la quantità di lavoro meccanico che corrisponde ad una data quantità di calore (una caloria). Ovviamente il risultato che ci attendiamo è

$$J = 4,18 \frac{\text{J}}{\text{cal}}$$

Invece si trova un valore più alto, perchè:

- 1) nell'urto l'energia non va tutta al sacchetto; parte viene anche ceduta al pavimento;
- 2) nel tempo impiegato a compiere la prova, parte dell'energia viene ceduta all'ambiente sotto forma di calore.

Tuttavia, la prova fornisce un valore accettabilmente prossimo a quello che si ottiene con tutte le precauzioni che la misura canonica richiede.

Una variante della misura si può fare con un lungo tubo di plastica chiuso agli estremi nel quale si introducono i pallini. Partendo con il tubo verticale, lo si rovescia, cosicchè i pallini cadono per un tratto pari alla lunghezza del tubo. Si ripete l'operazione per una decina di volte e, versati i pallini in un becker, se ne misura l'aumento di temperatura.

## 44. UN ROCCHETTO AUTO-AVVOLGENTE

**Finalità della dimostrazione:** Riflettere su un caso concreto di meccanica di un corpo rigido non isolato.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** richiede una certa confidenza con la meccanica del corpo rigido.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Un rocchetto (vedi testo)

**Interesse suscitato:** buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

Ci si procura, presso un tornitore, un rocchetto di legno simile a quello di Fig. 44.1.

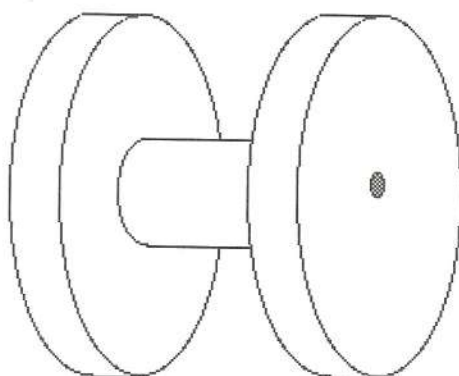


Fig. 44.1. Il rocchetto, costituito da due dischi circolari e un tamburo centrale.

Lo spessore del tamburo centrale dev'essere inferiore al centimetro. Il suo diametro di 5-10 cm; quello delle ruote laterali di 10-20 cm. Si avvolge un po' di fettuccia (o di nastro magnetico) sul tamburo e all'altro estremo si appende una massa molto inferiore a quella del rocchetto; secondo lo schema di Fig. 44.2.

Il piano del tavolo dev'essere abbastanza ruvido affinché il rocchetto rotoli senza strisciare.

Prima di rilasciare la massa  $M$  si chiede agli allievi di fare previsioni sul moto del sistema: il rocchetto rotolerà verso destra o verso sinistra?

Liberata la massa, si osserva che il rocchetto rotola verso destra avvolgendo il nastro e muovendosi più rapidamente del peso traente  $M$ .

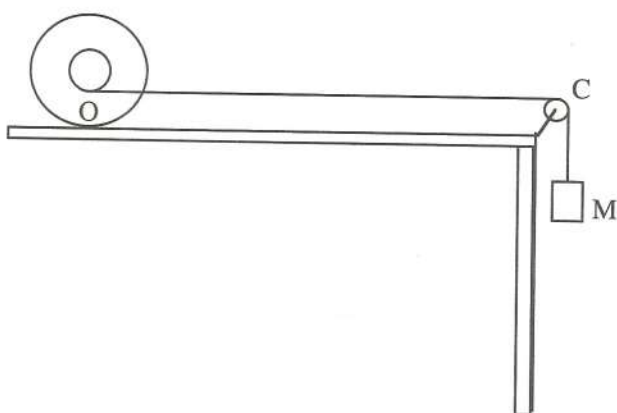


Fig. 44.2. Disposizione del tamburo e del peso traente. C è una piccola carrucola.

Per una trattazione quantitativa si deve tener presente che:

- 1) per ogni giro, il centro del disco si sposta di  $2\Pi R$  (Fig.44.3).

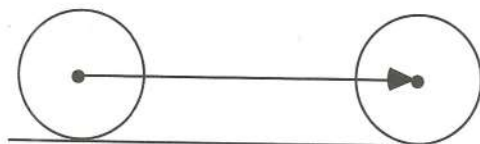


Fig. 44.3. Quando il disco compie una rotazione, il centro si sposta di un tratto pari alla lunghezza della circonferenza.

- 2) per ogni giro il tamburo avvolge un tratto di nastro lungo  $2\Pi R$ .

Quindi, se il disco avanza di  $2\Pi r$ , la massa si abbassa di  $2\Pi R - 2\Pi r = 2\Pi(R-r)$  se il rocchetto ha velocità  $V$ , la massa ha velocità

$$v = \frac{R-r}{R} V = \left(1 - \frac{r}{R}\right) V.$$

Ciò che può ingannare l'intuizione è considerare come centro di rotazione il centro del rocchetto, come se questo fosse girevole intorno ad un asse centrale. In realtà l'asse di rotazione è quello dei punti di contatto tra le ruote ed il piano: il momento delle forze applicate è tale da produrre una rotazione in senso orario (Fig.44.4).

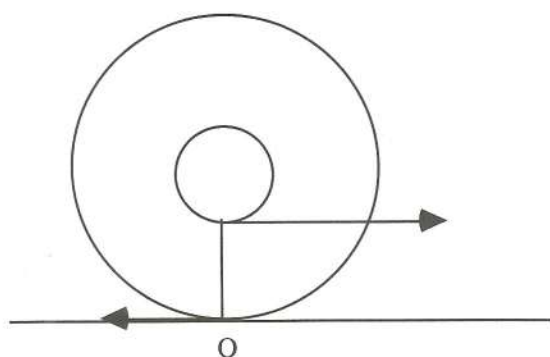


Fig.44.4. Forze agenti sul rocchetto.

Una dimostrazione che si collega a questa è illustrata in Fig.44.5.

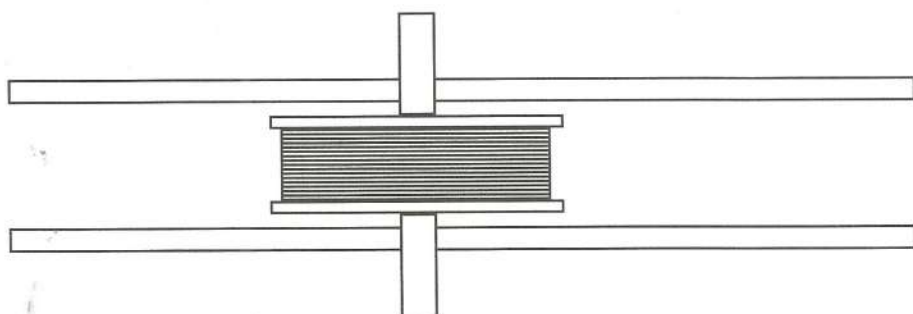


Fig.44.5. Un tamburo cilindrico appoggiato su due rotaie orizzontali.

Si tratta di un tamburo cilindrico dotato di asse, appoggiato su due rotaie (Fig. 44.6).

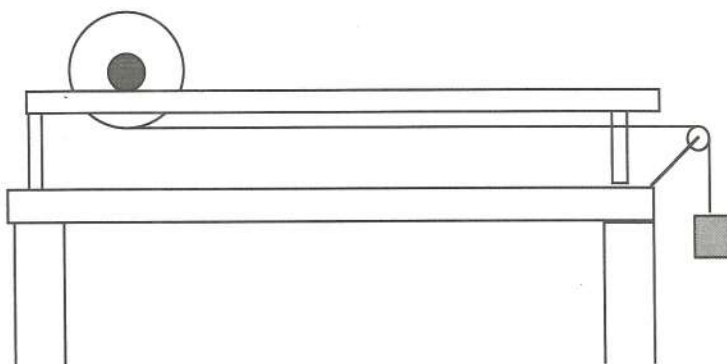


Fig.44.6. Vista laterale del dispositivo. Da che parte si sposta il tamburo?

In questo caso il rocchetto ruota verso sinistra mentre la massa  $M$  scende.



## 45.RELE' E FEED-BACK

**Finalità della dimostrazione:** Studiare il funzionamento di un relé; riflettere sul concetto di feed-back.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Ultimo anno di liceo.

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Richiede una certa confidenza con stagno e saldatore.

**Materiali richiesti:** Un paio di relé a 12 V, un solo scambio  
2 condensatori 2200  $\mu$ F, 25 V  
Un altoparlante

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

Il relé è un componente elettromeccanico costituito da un interruttore comandato da un elettromagnete (Fig.45.1).

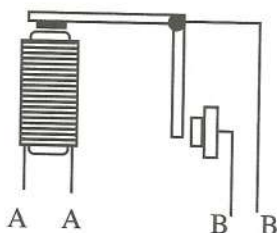


Fig. 45.1. Schema di funzionamento del relé. Inviando corrente nella bobina AA si provoca la chiusura dell'interruttore BB.

Quando tra gli elettrodi AA passa una corrente abbastanza grande, il nucleo si magnetizza e attira l'ancoretta che fa chiudere l'interruttore tra gli elettrodi BB.

In realtà, normalmente, un relé comanda simultaneamente due (o più) interruttori: uno in chiusura ed uno in apertura. La bassetta di un relè si presenta nel modo indicato in Fig. 45.2.

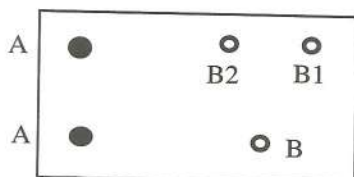


Fig. 45.2. Basetta di un semplice relé " a uno scambio". BB1 é l'interruttore in chiusura e BB2 l'interruttore in apertura.

Quindi, quando nel circuito AA non passa corrente, BB1 è un interruttore aperto e BB2 un interruttore chiuso; quando in AA passa corrente, BB1 è un interruttore chiuso e BB2 un interruttore aperto (Fig. 45.3).

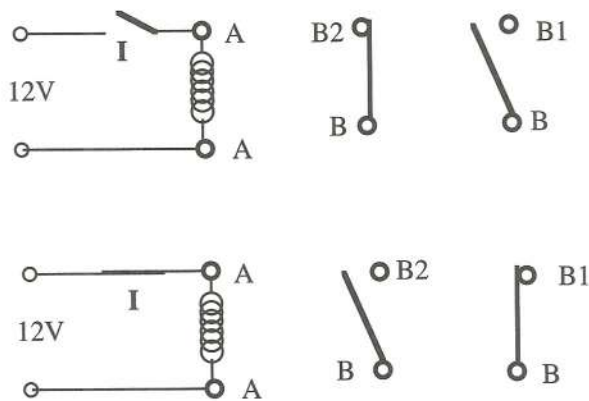


Fig. 45.3. Schema di funzionamento di un relé.

Si realizza una contro-reazione quando come interruttore I si utilizza uno dei due interruttori del relé, BB1 o BB2.

### Circuito impulsivo 1

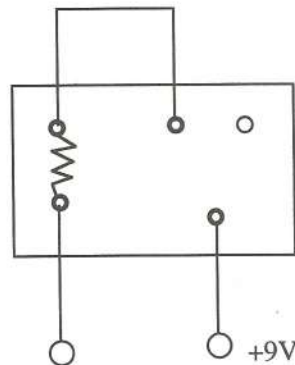


Fig. 45.4. Schema di un circuito per la generazione di impulsi di tensione.

Qui si usa l'interruttore in apertura del relé (Fig. 45.4).

Prima di dare tensione, nella resistenza del relé non passa corrente e l'interruttore è chiuso. Quando si dà tensione, il relé comanda l'apertura dell'interruttore. Questo inibisce il relé che comanda la chiusura dell'interruttore, e così via.

Per conferire inerzia al circuito e diminuire la frequenza dei cambiamenti di stato, si mette un condensatore in parallelo alla resistenza del relé (Fig. 45.5).

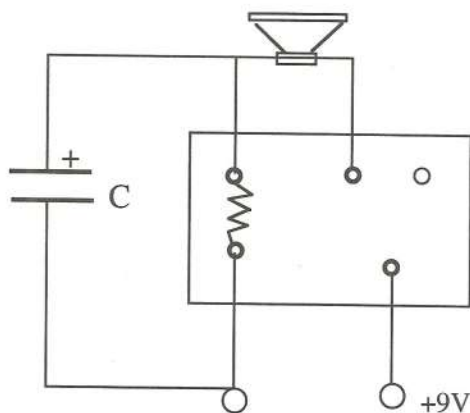


Fig. 45.5. Schema completo del dispositivo per la generazione di impulsi.

L'altoparlante trasforma gli impulsi di corrente in battiti sonori.

### Circuito impulsivo 2

Usando l'interruttore in chiusura: Fig. 45.6.

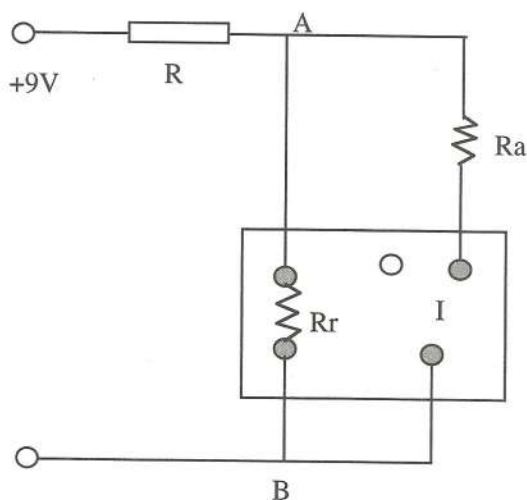


Fig. 45.6. Schema di un dispositivo per la generazione di impulsi che utilizza l'interruttore in chiusura.  $R=100 \Omega$ ;  $R_a$  è un altoparlante.

Alla chiusura dell'interruttore la corrente passa per R e per il relé, in modo che

$$V_{AB} = \frac{R_r}{R_r + R}$$

Il relé comanda la chiusura dell'interruttore I, per cui passa corrente attraverso l'altoparlante. Tuttavia, questo mette la resistenza  $R_a$  in parallelo alla resistenza del relé (Fig. 45.7)

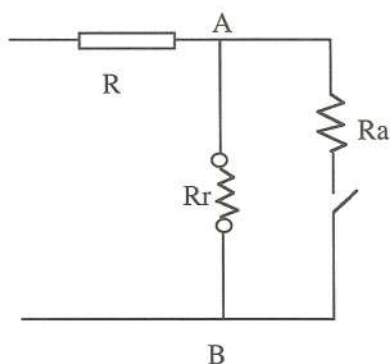


Fig. 45.7. Quando l'interruttore si chiude, la resistenza tra A e B diminuisce e la tensione subisce un calo.

per cui la resistenza tra A e B diminuisce, la tensione cala in corrispondenza, il relé viene interdetto e l'interruttore si apre di nuovo. A questo punto il ciclo ricomincia.

Il circuito completo è rappresentato in Fig. 45.8.

L'inserimento del grosso condensatore in parallelo alle due resistenze ha lo scopo di prolungare i tempi del cambiamento di stato. L'altoparlante, messo al posto della resistenza  $R_a$  consente di udire gli impulsi di corrente.

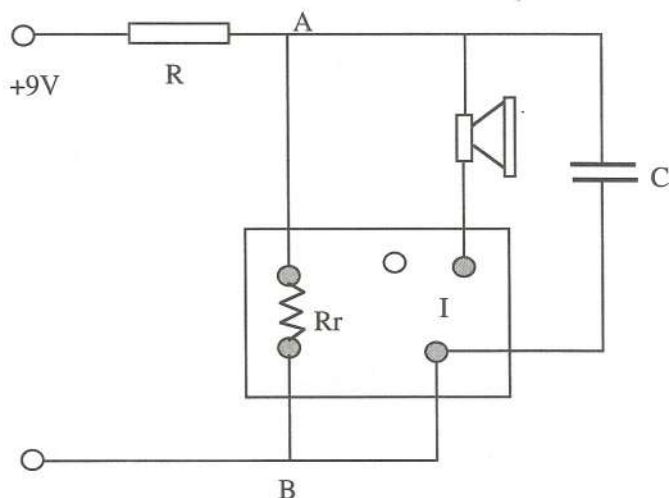


Fig. 45.8. Schema completo del dispositivo per la generazione di impulsi.

## FEED-BACK POSITIVO

Si ottiene utilizzando l'interruttore normalmente aperto (fig. 45.9).

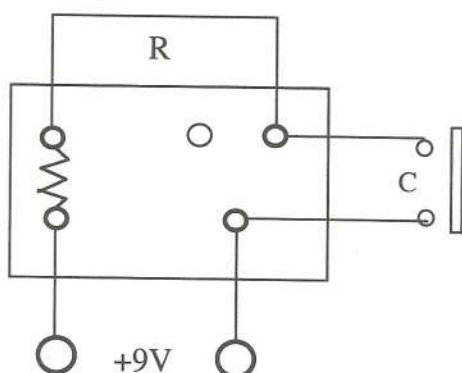


Fig. 45.9. Come utilizzare il relé per un esempio di contro-reaione positiva.

Il relé viene alimentato attraverso l'interruttore normalmente aperto; quindi non scatta. Tuttavia, se per un breve intervallo di tempo si cortocircuita l'interruttore mediante il contatto mobile C, il circuito si chiude, l'interruttore scatta ed il sistema rimane in questo stato definitivamente, anche se il contatto C si interrompe. Con questo circuito si può realizzare un allarme comandato da un termistore. Questo è un componente la cui resistenza diminuisce all'aumentare della temperatura.

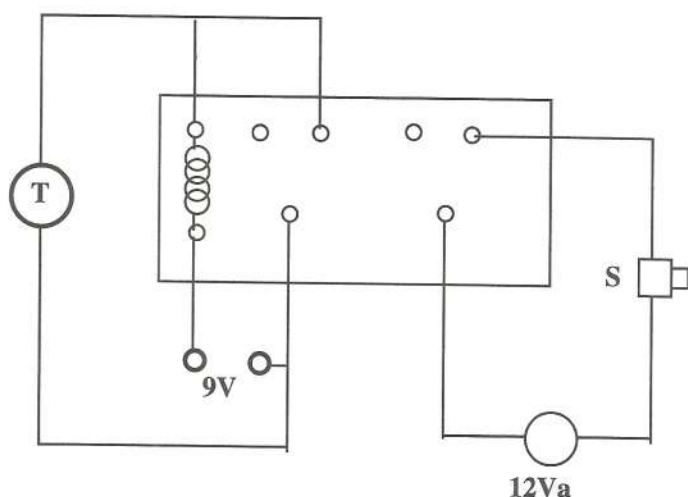


Fig. 45.10. Applicazione di feed-back positivo per la realizzazione di un allarme termico.

Nel circuito di Fig. 45.10, a temperatura ambiente, la resistenza del termistore T è talmente alta che il relé è interdetto. Tuttavia, se si riscalda il termistore T ( ad esempio, mettendolo a contatto con un termosifone), la resistenza diminuisce cosicchè il relé scatta e rimane in questo stato anche se la temperatura del termistore si riabbassa. Se il relè è del tipo a due scambi, il secondo si può utilizzare per comandare, mediante un circuito indipendente, la sirena S.

## 46.LA FORMA DEI CAVI SOSPESI

**Finalità della dimostrazione:** Indagare in che modo la forza di gravità determina una forma geometrica comune.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza elevato.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile.

**Materiali richiesti:** Un paio di metri di catenella a sferette (solitamente utilizzata nei servizi).  
Un pannello di legno.

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Discreta.

Se si fissano a due sostegni gli estremi di una catena o di una fune pesante, questa assume una forma caratteristica, osservabile nei ponti sospesi o nei cavi dell'alta tensione sostenuti dai tralicci.

Vogliamo riconoscere questa forma e determinare i parametri da cui dipende. Galileo non aveva dubbi sulla forma di un cavo sospeso: pensava si tratti di una parabola. Scrive infatti nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638) (Giornata seconda):

*<<L'altro modo, per disegnar la linea, che cerchiamo, sopra il prisma, procede così. Ferminsi ad alto due chiodi in una parete, equidistanti all'orizzonte e tra loro lontani il doppio della larghezza del rettangolo su 'l quale vogliamo notare la semiparabola, e da questi due chiodi penda una catenella sottile, e tanto lunga che la sua sacca si stenda quanta è la lunghezza del prisma: questa catenella si piega in figura parabolica, sì che andando punteggiando sopra 'l muro la strada che vi fa essa catenella, aremo descritta un'intera parabola, la quale con un perpendicolo, che penda dal mezo di quei due chiodi, si dividerà in parti eguali.>>*

In effetti, se si appende una catenella a due chiodi posti alla stessa altezza su una tavola fissata alla parete, questa assume una forma caratteristica che fa pensare ad una parabola.

Per accertare se l'ipotesi sia corretta, possiamo riportare questa curva su un largo foglio di carta e riferirla ad una coppia di assi: uno orizzontale per il minimo della curva ed uno normale a questo (Fig. 46.1).

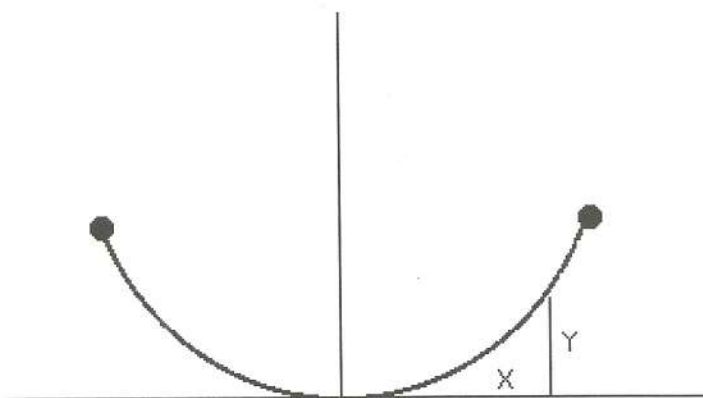


Fig. 46.1. Forma assunta da un cavo uniforme sospeso a due sostegni.

Indichiamo con  $X$  l'ascissa e con  $Y$  l'ordinata del punto di sospensione rispetto al punto di minimo  $O$ .

Se la curva è una parabola, dimezzando l'ascissa, l'ordinata dovrebbe diventare la quarta parte. Ma la curva descritta dalla catenella non soddisfa a questa condizione: dobbiamo riconoscere che non si tratta di una parabola. Possiamo anche realizzare solo metà della curva applicando una tensione tramite un pezzo di catenella, uno spago ed una carrucola (Fig. 46.2).

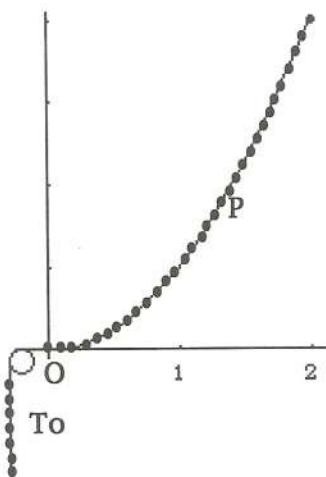


Fig. 46.2. Una mezza catenaria realizzata con una catenella, una carrucola ed un pezzetto di spago.

Il numero delle palline di questo tratto è una misura della tensione orizzontale applicata. La indicheremo con  $T_0$ . In ogni punto della catena vi è una tensione la cui componente orizzontale è  $T_0$  e la cui componente verticale è il peso del



tratto sostenuto, che è uguale ad  $Lp$ , se  $p$  indica il peso di ogni pallino ed  $L$  la lunghezza del tratto dal punto  $O$  al punto generico  $P$  (Fig. 46.3).

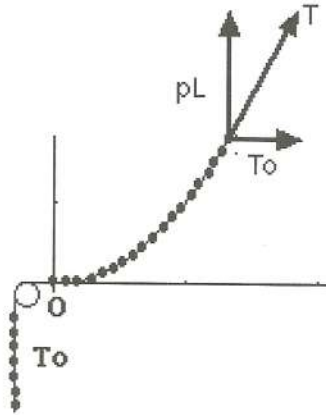


Fig. 46.3. Forze agenti in un punto generico della catenaria.

E' importante la similitudine tra le componenti della tensione e le componenti della lunghezza di ogni tratto della catena (Fig. 46.4).

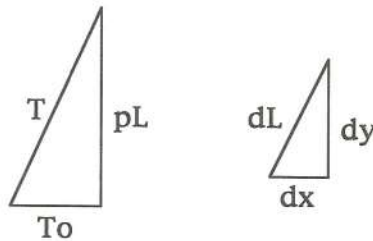


Fig. 46.4. Similitudine dei triangoli delle forze e delle dimensioni.

Dal confronto tra le due si ricava che

$$\frac{dy}{dx} = \frac{p}{T_0} L$$

cioè la pendenza della curva è proporzionale alla lunghezza dell'arco di curva (a partire dal punto più basso). Questa è una proprietà che caratterizza la curva di equazione

$$y(x) = \frac{1}{2} \left( e^{\frac{x}{\lambda}} + e^{-\frac{x}{\lambda}} \right)$$

dove

$$\lambda = \frac{T_0}{p}$$

Viene talvolta indicata come CATENARIA e altre come COSENO IPERBOLICO. La massima tensione si ha nei punti di sospensione e si può misurare nel modo indicato in Fig. 46.5.

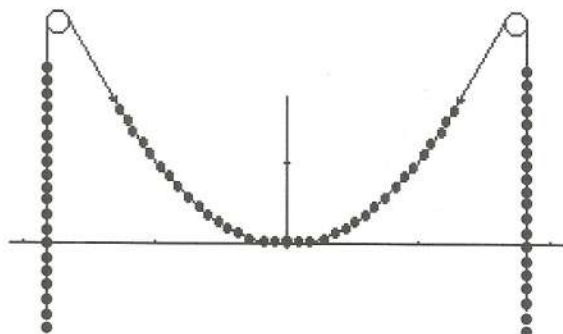


Fig. 46.5. La tensione nei punti di sospensione è misurata dal numero dei pallini dei due tratti verticali di catena che mantengono tesa la catenaria.

## 47.FERMAT

### 47.1 FERMAT 1

**Finalità della dimostrazione:** Vedere la legge della riflessione come un principio di minimo.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Un pannello, spago, pulegge, pesetti

**Interesse suscitato:** Abbastanza alto

**Efficacia didattica:** Buona.

Un gioco per ragazzini consiste in questo: partendo da un punto A di una piazza, raggiungere un punto B dopo aver toccato, in un punto qualsiasi, un certo muro che delimita la piazza (Fig. 47.1).

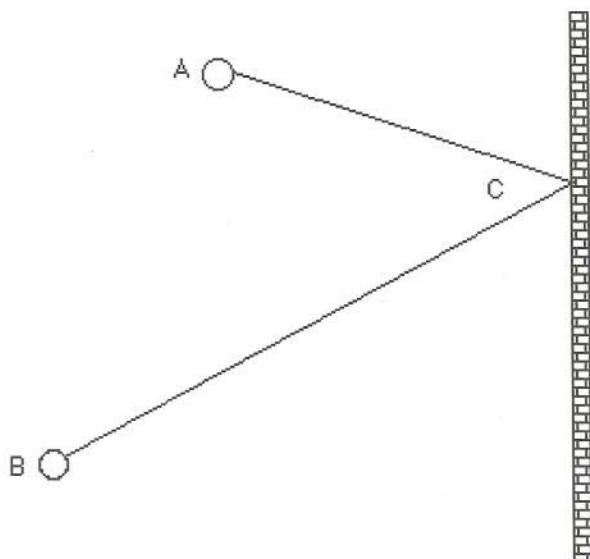


Fig. 47.1. Partendo da A raggiungere B toccando il muro in un punto qualsiasi C.

Vince chi impiega il tempo minore.

Per determinare la traiettoria più breve possiamo ragionare in termini di simmetria: la traiettoria più breve dev'essere tale anche se percorsa in senso inverso; per cui non può essere che quella simmetrica.

Si può controllare con la struttura illustrata in Fig. 47.2, da realizzare su un pannello verticale.

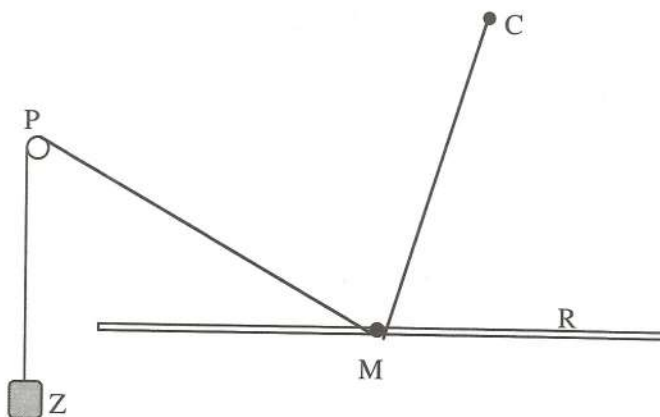


Fig. 47.2. Strumento per la soluzione del problema di minimo. Z= zavorra, P= puleggia, C= chiodo, M una matita che scorre lungo la rotaia R.

Il tragitto più breve è quello a cui corrisponde la posizione più bassa della zavorra Z.

#### 45.2. FERMAT 2

Il gioco ora è il seguente: una regione è divisa in due parti A e B da una linea dritta (Fig. 47.3). Un treno, partendo da una località P di A, deve raggiungere una località Q, posta oltre la linea di confine. La velocità massima consentita ai treni nella regione B è la metà della corrispondente in A. Si tratta di trovare la disposizione delle rotaie alla quale corrisponde il tempo minore.

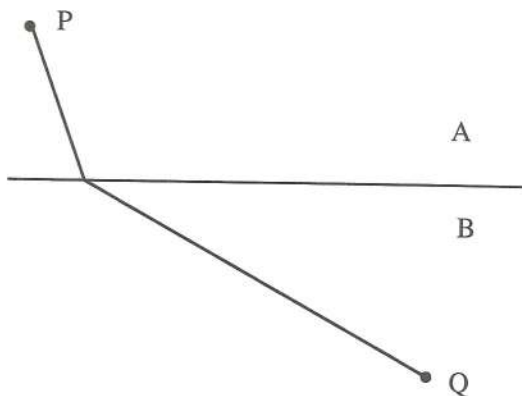


Fig. 47.3. Partendo da P raggiungere Q nel tempo minimo, con la condizione  $v_A=2v_B$ .

Possiamo risolvere il problema utilizzando la struttura illustrata in Fig. 47.4, da realizzare su un pannello.

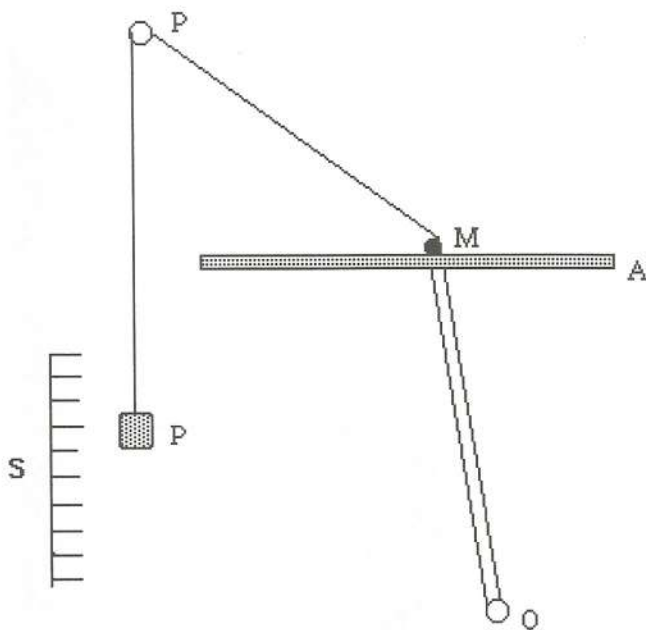


Fig. 47.4. Struttura per la risoluzione del problema di minimo.

Fissate due pulegge P e Q che rappresentano il punto di partenza e quello di arrivo, vi si fa passare un filo, un'estremità del quale sostiene un pesetto P e l'altra è legata ad una matita M. Questa viene fatta scorrere sopra un'asta A che rappresenta il confine tra le due regioni. La disposizione a cui corrisponde il minor tempo è quella per la quale P ha la quota minima. Questa si può individuare mediante la scala S.

La disposizione alla quale corrisponde il minimo tempo è quella per cui

$$\text{sen } \alpha = 2 \text{sen } \beta$$

Pertanto, si potrebbe dire che 2 è l'INDICE DI RIFRAZIONE per il passaggio dall'una all'altra regione.

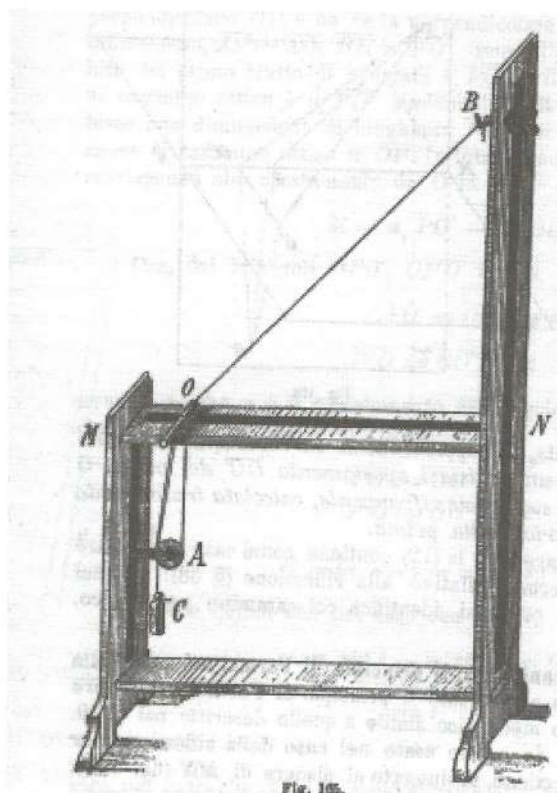


Fig. 47.5 Modello meccanico per la dimostrazione del principio di Fermat. (Da Enrico Persico, OTTICA, Casa Editrice Vallardi, Mi, 1932).

## 48. UN NUCLEO E DUE BOBINE

**Finalità della dimostrazione:** Mostrare la funzione di un trasformatore.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo, ma anche scuola media.

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Un nucleo

Bobine con un numero diverso di spire.

Un "tubo al neon"

Si può anche utilizzare direttamente un trasformatore.

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Buona.

Il nucleo è costituito da lastre di acciaio, separate l'una dall'altra da uno strato isolante, e unite insieme in modo da formare un parallelepipedo o una struttura ad U ( Fig. 48.1).

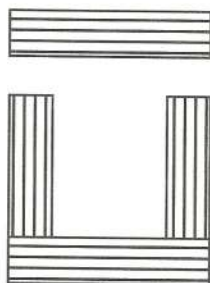


Fig. 48.1. Struttura del nucleo a lamierini.

Le bobine, dotate di un foro centrale in cui si può introdurre il nucleo, sono caratterizzate da un numero diverso di avvolgimenti: si va da poche decine a molte migliaia. Ciò che si realizza con un nucleo chiuso e due bobine è un TRASFORMATORE (Fig. 48.2).

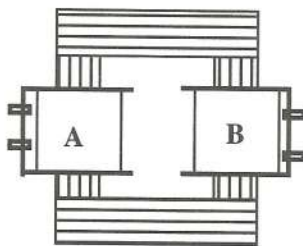


Fig.48.2. Un trasformatore è costituito da un nucleo toroidale e due bobine.

Poniamo che la bobina A sia costituita da 300 spire e la B da 1800 spire, (rapporto di trasformazione 1 a 6).  
Con questo trasformatore possiamo

### 1. accendere una lampada a fluorescenza.

Basta collegare il primario A ad una batteria da 4,5 V, ed il secondario B ad un "tubo al neon" (Fig. 48.3).

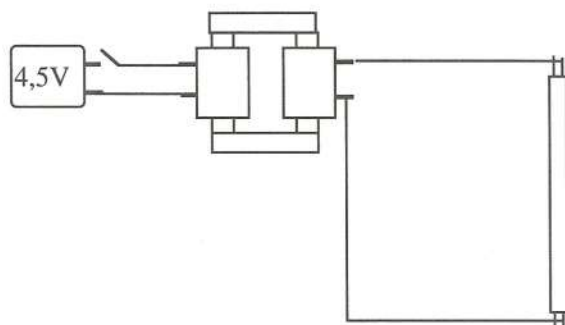


Fig. 48.3. Come accendere una lampada fluorescente con una batteria da 4,5 V.

Si osserva che ogni volta che si interrompe il circuito primario, la lampada emette un bagliore.

Il bagliore si può ottenere anche, chiuso il circuito primario, staccando la parte superiore del nucleo di ferro.

La spettacolarità della dimostrazione aumenta se si collega il trasformatore ad una dinamo da bicicletta.

### 2. Mostrare un urto elettromagnetico:

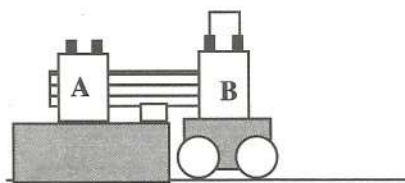


Fig. 48.4. La bobina A è fissa, insieme al nucleo; la B è montata su un carrellino.

La bobina A è appoggiata su un sostegno; la B su un carrellino (Fig. 48.4). La bobina A viene collegata ad un alimentatore; la B è cortocircuitata. Quando si chiude l'interruttore sul primario, si osserva che sul carrello agisce una forza che lo allontana da A.

### 3. Produrre la levitazione elettromagnetica



Si utilizza una sola bobina da un migliaio di spire che viene collegata ad un alimentatore in alternata di f.e.m. variabile fino a 25 V. Come secondario si usa un solo anello di rame (Fig. 48.5).

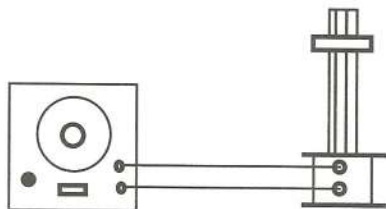


Fig. 48.5. Come produrre la "levitazione" di un anello metallico.

Si osserva che, quando nel primario circola corrente, l'anello rimane sospeso quasi all'estremità del nucleo. Si consiglia di erogare corrente per intervalli di tempo non troppo lunghi, perchè l'anello si scalda rapidamente.

Se, invece di dare corrente al primario con gradualità, si chiude semplicemente un interruttore, l'anello viene sparato con violenza verso l'alto, per cui conviene predisporre un qualche accorgimento per fermarlo.

## 49. LA FORMA DELLA VOCE

**Finalità della dimostrazione:** Composizione di oscillazioni.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza elevato

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Piuttosto difficile

**Materiali richiesti:** Microfono

Amplificatore

Oscilloscopio

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

Se si invia il segnale raccolto da un microfono ad un oscilloscopio si ottiene una forma che è più o meno simile ad una sinusoide.

Realizziamo il semplice circuito di Fig. 49.1 alimentato con una forza elettromotrice sinusoidale.

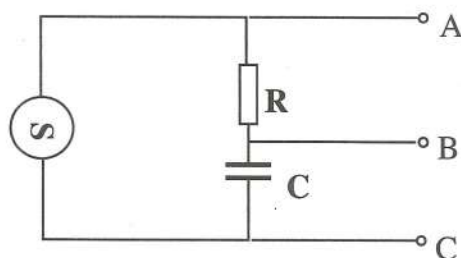


Fig. 49.1. Circuito che consente di produrre uno sfasamento di tensioni.

La tensione  $V_{BC}$  ha un anticipo di fase, rispetto a  $V_{AC}$ ,

$$\vartheta = \tan^{-1} \left( \frac{1}{2\pi\nu RC} \right)$$

che, per una data frequenza, per esempio 300 Hz, si può rendere uguale a  $45^\circ$ , prendendo

$$RC \cong 50 \text{ ms.}$$

Si consideri ora il circuito di Fig. 49.2.

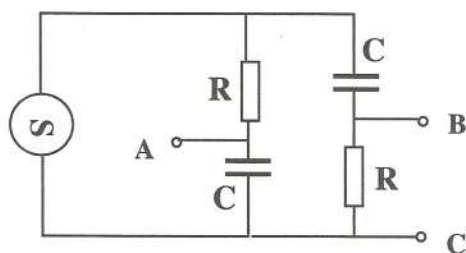


Fig. 49.2. La tensione in A è in anticipo di un quarto di periodo rispetto alla tensione in B.

Nelle condizioni che abbiamo scelto,  $V_{AC}$  sarà in anticipo di  $90^\circ$  rispetto a  $V_{BC}$ . Questo si può controllare direttamente all'oscilloscopio (fig. 49.3).

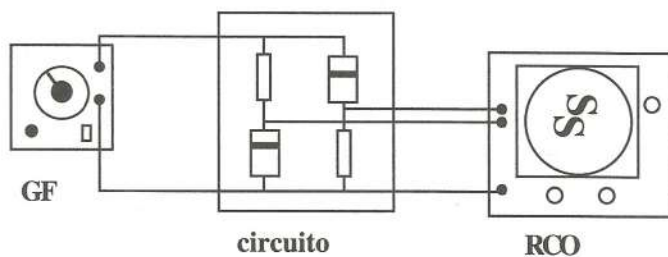


Fig. 49.3. Le tensioni in A e in B osservate all'oscilloscopio. GF = generatore di frequenze; RCO = oscilloscopio a due canali.

Se A si collega al comando ORIZZONTALE dell'oscilloscopio, si ottiene la composizione di due moti armonici di eguale frequenza e sfasati di  $90^\circ$ . Il risultato è un'ellisse.

Sostituendo al generatore di frequenze un microfono collegato al circuito attraverso un amplificatore, cantando davanti al microfono si ottengono, al variare della frequenza, del timbro e dell'intensità della voce, figure diverse e divertenti.

## 50. CINEMATICA DELLA MACCHINA DA PROIEZIONE

**Finalità della dimostrazione:** Studiare alcune relazioni cinematiche in una comune macchina da proiezione cinematografica.

**Fascia di età in cui si può proporre:** liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza elevato; richiede più ore di lezione.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** elementare

**Materiali richiesti:** Una macchina da proiezione

Due orologi

Un micrometro

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

In una macchina da proiezione cinematografica la pellicola passa da un tamburo, sul quale è inizialmente avvolta, ad un altro sul quale si avvolge man mano nel corso della proiezione. Poichè lo spessore della pellicola non è trascurabile (0,15 mm), diminuisce progressivamente il raggio del rotolo originario e, corrispondentemente, aumenta quella del rotolo che accoglie la pellicola proiettata. Tuttavia la velocità di scorrimento della pellicola rimane costante.

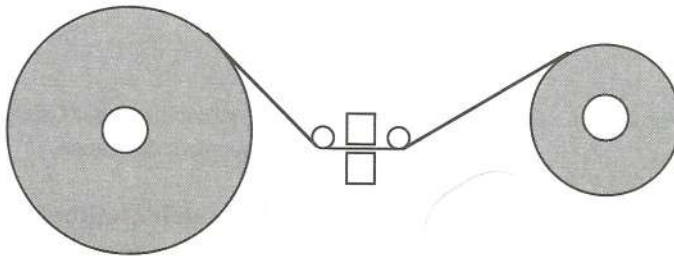


Fig. 50.1. Rappresentazione schematica della macchina da proiezione. La pellicola si svolge dal rullo di sinistra e si avvolge su quello di destra.

Questo comporta che le velocità angolari delle due bobine siano variabili:

$$v = \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$

dove  $r_1$  ed  $r_2$  indicano i raggi della bobina che si avvolge e di quella che si svolge. Pertanto  $\omega_1$  diminuisce mentre  $\omega_2$  aumenta nel corso della proiezione.

Il contrario succede per i periodi:

$$\frac{r_1}{T_1} = \frac{r_2}{T_2} = \frac{v}{2\pi} \quad (1)$$

## 1. RELAZIONE TRA I RAGGI DELLE BOBINE

Si applicano alle bobine, radialmente, due strisce di carta graduata e, mentre la macchina è in funzione, due studenti leggono i raggi delle bobine occupati dalla pellicola. Riportando i valori ottenuti in un grafico si ottiene un risultato come quello di Fig. 50.2.

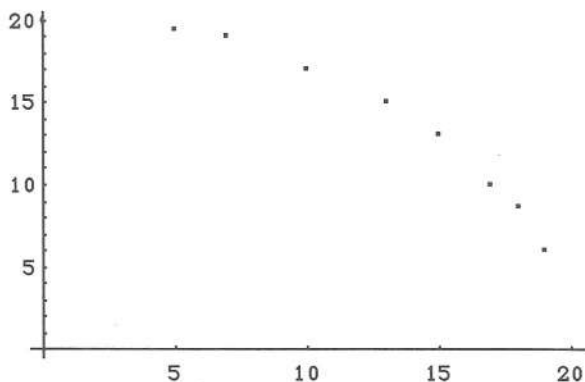


Fig. 50.2. I raggi delle bobine di pellicola: mentre l'uno cala, l'altro aumenta.

Si chiede allora di dare forma matematica al risultato.

Si può argomentare come segue:

La lunghezza della pellicola avvolta sulla bobina 1 è data da

$$L_1 = 2\pi \frac{r_0 + r_1}{2} N_1 = 2\pi \frac{r_0 + r_1}{2} \frac{r_1 - r_0}{s} = \frac{\pi}{s} (r_1^2 - r_0^2) \quad (2)$$

dove  $r_0$  è il raggio del tamburo interno,

$r_1$  il raggio della bobina

$N_1$  il numero delle spire

$s$  lo spessore della pellicola

L'analogo vale per la bobina 2:

$$L_2 = \frac{\pi}{s} (r_2^2 - r_0^2) \quad (3)$$

Sommando le due lunghezze si ottiene la lunghezza totale della pellicola.

Questa, inizialmente, è tutta avvolta sulla bobina 2:

$$L_1 + L_2 = \frac{\pi}{s} (r_{02}^2 - r_0^2)$$

Sostituendo la (2) e la (3) in questa si ottiene

$$r_1^2 + r_2^2 = r_{02}^2 + r_0^2 = \text{cost} \quad (4)$$

che è l'equazione di un quadrante di circonferenza.

## 2. RELAZIONE TRA PERIODO E NUMERO DI GIRI.

E' anche possibile (e facile ) misurare il periodo di rotazione della bobina ogni dieci rotazioni. Si ottiene un risultato del tipo di Fig. 50.3.

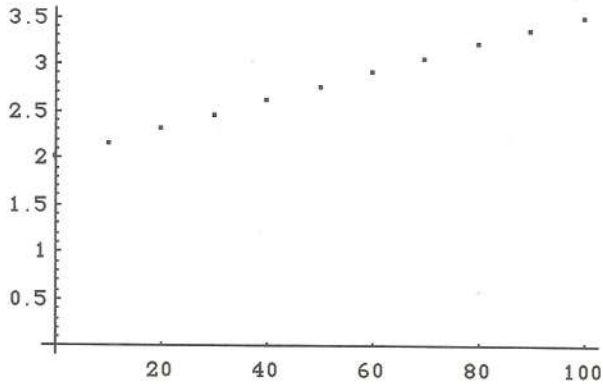


Fig. 50.3. Andamento del periodo di rotazione della bobina avvolgente, in funzione del numero delle rotazioni.

Il periodo della bobina 2, invece, diminuisce linearmente.

Infatti dalla (1) si ricava che

$$T_1 = \frac{2\pi}{v} r_1$$

Inoltre,

$$N_1 = \frac{r_1 - r_0}{s}$$

Dal confronto di queste si ottiene

$$T_1 = \frac{2\pi}{v} s \left( \frac{r_0}{s} + N_1 \right) \quad (5)$$

Analogamente,

$$T_2 = \frac{2\pi}{v} s \left( \frac{r_{02}}{s} - N_2 \right) \quad (6)$$

dove  $r_{02}$  indica il raggio iniziale della "pizza".

### 3. RELAZIONE TRA PERIODO E TEMPO.

Si può misurare il periodo di rotazione di ciascuna bobina ad intervalli regolari di tempo; ad esempio ogni 5 minuti. Ciò che si ottiene è illustrato nel grafico di Fig. 50.4.

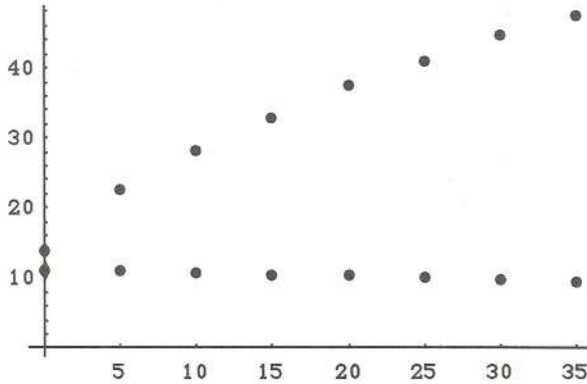


Fig. 50.4. I periodi di rotazione delle due bobine in funzione del tempo.

Per ottenere la dipendenza funzionale si può argomentare come segue: la lunghezza  $L_1$  della pellicola avvolta sulla bobina 1 è data da  $vt$ . Dalla (2) si ottiene

$$\frac{\pi}{s}(r_1^2 - r_0^2) = vt \quad (7)$$

dove, per la (1),

$$r_1 = \frac{v}{2\pi} T_1$$

Sostituendo nella precedente si ottiene

$$T_1 = 2\sqrt{\frac{\pi s}{v}} \sqrt{\frac{\pi r_0^2}{vs} + t} \quad (8a)$$

In modo analogo si ricava

$$T_2 = 2\sqrt{\frac{\pi s}{v}} \sqrt{\frac{\pi r_0^2}{vs} - t} \quad (8b)$$

Si osservi ancora che

$$T_1^2 + T_2^2 = \text{costante} \quad (9)$$

#### 4. RELAZIONE TRA RAGGIO E TEMPO

Come aumenta il raggio della bobina?

Applicata una striscia graduata su un raggio della bobina, si prende il tempo che corrisponde ai diversi valori del raggio; ad es. per ogni centimetro. Il risultato che si ottiene è riportato nel grafico di Fig. 50.5.

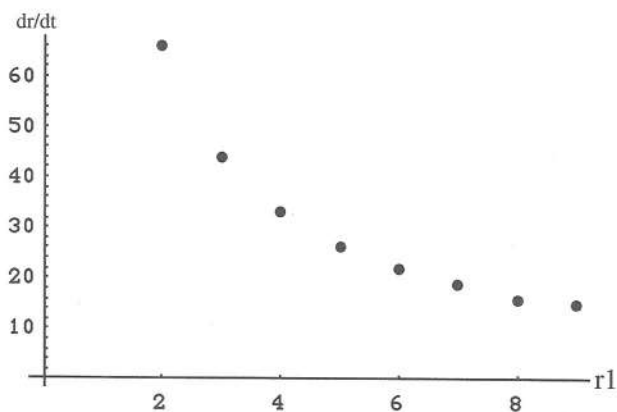


Fig. 50.5. La relazione tra il tasso di aumento del raggio della bobina e il raggio stesso.

Si tratta di una proporzionalità inversa. Infatti, la quantità di pellicola che si avvolge nel tempo  $dt$  è  $v dt$ , con

$$v dt = 2\pi r_1 \frac{dr_1}{s}$$

da cui si ricava

$$\frac{dr_1}{dt} = \frac{vs}{2\pi r_1} \quad (10)$$

La relazione tra il raggio della bobina ed il tempo ci è già nota: è data dalla (7) di cui la (10) è la derivata.



## 51. RIVISITAZIONE DI UN'ESPERIENZA DI GALILEO

**Finalità della dimostrazione:** La componente verticale del moto è indipendente da quella orizzontale.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Scuola media - liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Abbastanza difficile.

**Materiali richiesti:** Rotaia flessibile di plastica  
Alimentatore in B.T.  
Elettromagnete  
Due sfere d'acciaio

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

L'esperienza tradizionale si fa nel modo illustrato in Fig. 51.1.

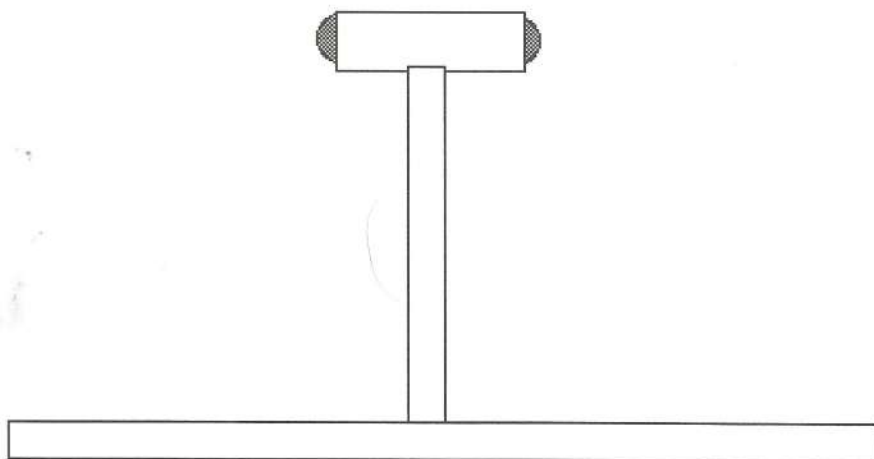


Fig. 51.1. Illustrazione della classica esperienza di Galileo.

Il tubo orizzontale contiene due molle compresse, caratterizzate da costanti elastiche molto diverse, alle quali sono appoggiate due palline identiche. Si fa in modo di liberarle nello stesso momento, cosicchè la molla robusta imprime alla sfera ( ad esempio) di destra una forte velocità orizzontale, mentre quella di sinistra imprime alla sfera una spinta appena sufficiente a farla cadere. Le due palline cadono con traiettorie molto diverse: quella di sinistra lungo la verticale, quella di destra lungo un arco di parabola. Tuttavia, se si ascoltano i colpi dell'arrivo al suolo, si nota che risultano simultanei.

Il dispositivo può essere reso di costruzione ed uso più semplici

Per la dimostrazione è necessario disporre di una guida di plastica sulla quale far correre una sfera d'acciaio.

Al termine della rampa di lancio, che dev'essere orizzontale, si pone un interruttore labile, realizzato mediante una strisciolina di carta stagnola. Attraverso questo interruttore si alimenta un elettromagnete che sostiene una seconda sferetta d'acciaio.

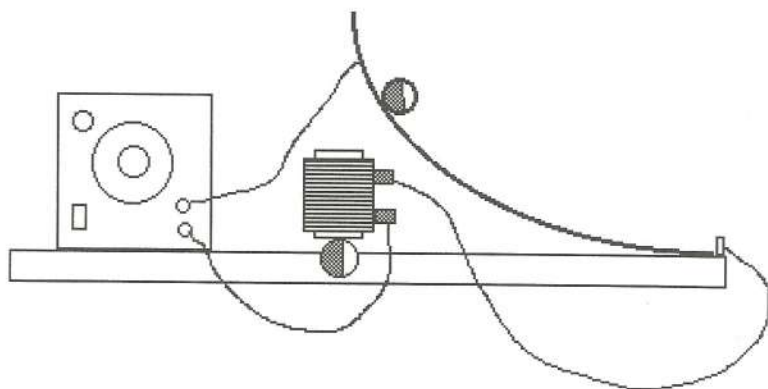


Fig. 51.2. Una variante dell'esperienza di Galileo. La pallina A, scesa lungo la guida, comanda il distacco della pallina B, trattenuta da un magnete.

Quando la sfera A arriva in fondo alla rampa apre l'interruttore e la sferetta B comincia a cadere.

Dal suono prodotto dai colpi sul pavimento si può giudicare della simultaneità dell'arrivo delle due sfere.

In una versione più raffinata si utilizza come interruttore il dispositivo fotoelettrico illustrato in Fig.51.3.

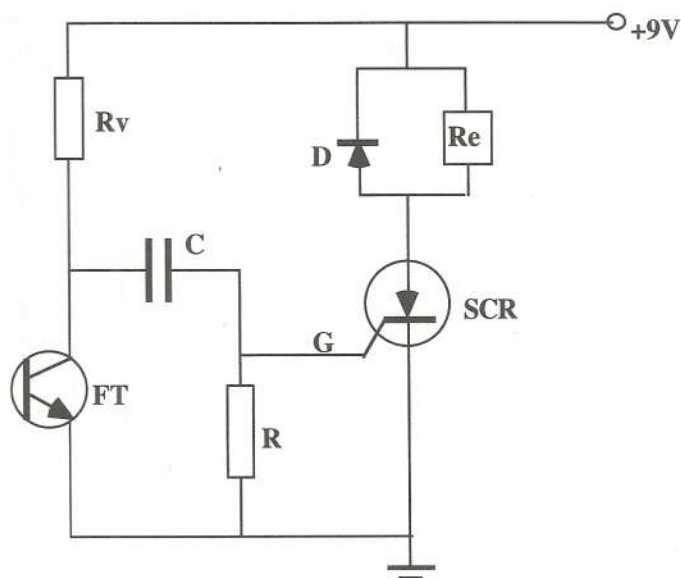


Fig. 51.3. Comando fotoelettrico per il magnete.  $R_v$  = resistore variabile da  $100\text{k}\Omega$ ;  $C$  = condensatore da  $0,01\ \mu\text{F}$ ;  $R$  = resistenza da  $100\ \text{k}\Omega$ ,  $1/4\ \text{W}$ ; FT = Fototransistor, ad es. TIL 78; SCR = Thyristor BT109; D = Diodo 1N4148; Re = Relay.

Il Silicon Controlled Rectifier (SCR) è caratterizzato dalla proprietà di non condurre fino che un impulso di corrente non raggiunga il GATE. Quando il fototransistor è illuminato, G è a tensione zero e il thyristor non conduce. Quando, anche per un tempo molto breve, si interrompe il flusso luminoso sul fototransistor, G viene raggiunto da un debole impulso di corrente che comanda una corrente di intensità molto maggiore tra l'anodo e il catodo del thyristor e questo fa scattare il relé. Questo comanda un elettromagnete, alimentato da un circuito indipendente.

Il fototransistor, che conviene proteggere mediante un alloggiamento cilindrico, è illuminato da una piccola lampada posta di fronte. Quando sulla rampa si lancia una sfera A, questa, passando davanti al fototransistor, interrompe il fascio di luce, il relé scatta e l'elettromagnete libera la sferetta B.

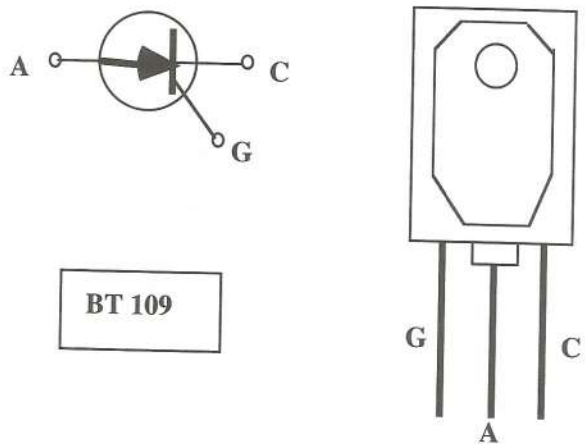


Fig. 51.4. Schema del thyristor BT109.

## 52. UNA MISURA DI VELOCITA'



**Finalità della dimostrazione:** Misurare una stessa grandezza in modi diversi

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Semplice

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Impegnativo.

**Materiali richiesti:** Macchina lancia palle da tennis

Oscilloscopio a raggi catodici

Macchina fotografica

Rullino per diapositive (400 ASA)

Cordella metrica

Palline da tennis in buono stato

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Discreta.

I circoli del tennis dispongono di uno strumento che presenta una quantità di opportunità didattiche e che, perciò, dovrebbe far parte della dotazione di ogni laboratorio didattico: il cannone lancia - palle. Si tratta di una sorta di cerbottana ad aria compressa che lancia palle da tennis con velocità e direzione regolabili, utilizzata per allenamento dei principianti. Si colloca lo strumento in palestra e, dopo aver mostrato il funzionamento della macchina, si chiede agli studenti di stimare la velocità di lancio della palla. Per una misura vera e propria si colloca lo strumento sopra un tavolo, con alzo nullo, e si fanno alcuni lanci (Fig. 52.1)

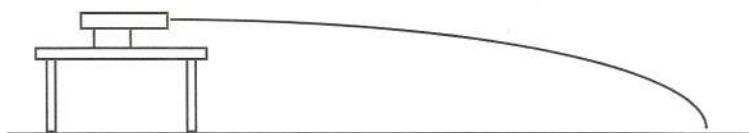


Fig. 52.1. Per misurare la velocità di lancio basta fare una prova con la canna orizzontale.

Si misura quindi l'altezza della canna rispetto al pavimento  $H$  e la gittata  $G$ . Se si trascura la resistenza dell'aria, queste due grandezze sono legate al tempo di volo  $t$  dalle relazioni

$$H = \frac{1}{2}gt^2 \quad G = Vt$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità.

Da queste si ricava

$$V = G\sqrt{\frac{g}{2H}}$$

che consente il calcolo della velocità di lancio.

Un controllo si può fare portando la macchina all'esterno o alla base della tromba delle scale. Si conferisce al tubo di lancio un alzo di  $90^\circ$  e si sparano alcune palle verticalmente. Individuato il punto di massima elevazione raggiunto dalle palle - ad esempio, una finestra - se ne misura la quota  $H$  rispetto alla bocca del cannoncino. Ancora trascurando la resistenza dell'aria vale la relazione

$$V = \sqrt{2gH}$$

Una misura della velocità si può fare utilizzando la conservazione della quantità di moto. Si tratta di sparare una pallina orizzontalmente in un tubo di PVC montato su un pattino opportunamente zavorrato. Una estremità del tubo, quella attraverso la quale entra la palla, è aperta (Fig. 52.2); l'altra è chiusa con un tappo sul quale è incollato uno stato di spugna e un pezzetto di tessuto VELCRON.

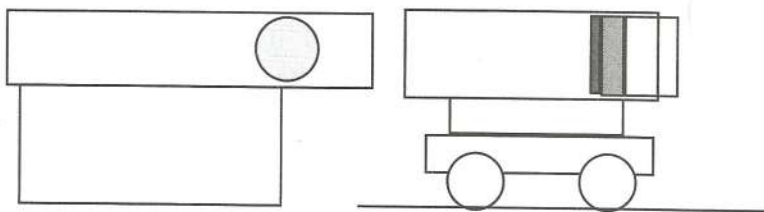


Fig. 52.2. La pallina viene bloccata all'interno di un tubo montato su un carrello. Si realizza così un urto accettabilmente anelastico.

Si pesano la pallina e il carrello. Se  $m$  è la massa della palla ed  $M$  quella del carrello, la conservazione della quantità di moto richiede che

$$V = \left(1 + \frac{M}{m}\right)v$$

dove  $V$  è la velocità della palla e  $v$  quella del carrello. Se quest'ultimo è convenientemente zavorrato la misura della velocità si può fare misurando, con un ordinario cronometro, il tempo che impiega a percorrere un tratto misurato sul piano del tavolo.

Una misura diretta della velocità della palla si può ottenere utilizzando un oscilloscopio. Si consideri il circuito di Fig. 52.3.

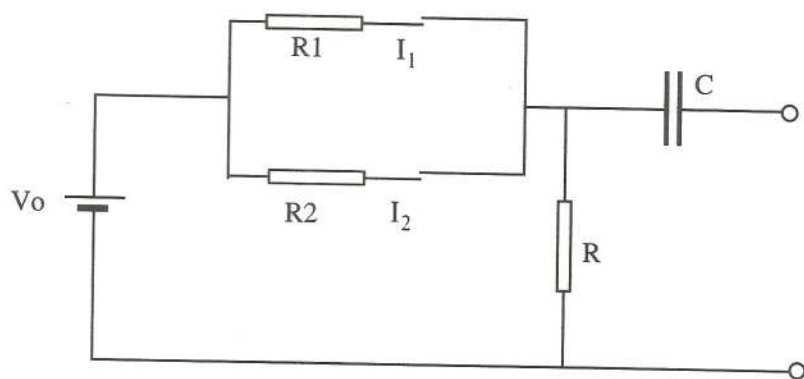


Fig. 52.3. Circuito per la segnalazione del transito della palla.  $R=R_1=100\ \Omega$ ;  $R_2=3 R_1$  [resistenze da (1/4 W)];  $C=10\ \mu\text{F}$  [16 V];  $V_0=9\ \text{V}$ .  $I_1$  e  $I_2$  sono interruttori.

All'inizio, con ambedue gli interruttori chiusi, la tensione ai capi di  $R$  è

$$V_1 = \frac{4}{7} V_0.$$

Se si apre l'interruttore 1, la tensione diventa  $V_2 = \frac{1}{4} V_0$ . Se si apre anche l'interruttore 2, la tensione si annulla. All'apertura dei due interruttori si producono le variazioni di tensione

$$\Delta V_1 = \frac{9}{28} V_0 \cong \frac{1}{3} V_0$$

$$\Delta V_2 = \frac{1}{4} V_0$$

che si possono osservare all'oscilloscopio come due impulsi negativi (Fig. 52.4).

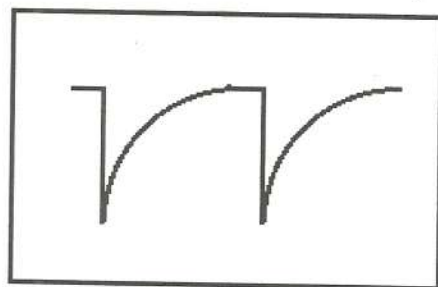


Fig. 52.4. Forma degli impulsi che si osservano all'oscilloscopio. Sull'asse orizzontale si legge la separazione temporale dei due impulsi.

I due interruttori sono costituiti da contatti labili realizzati con due sottili strisce di carta stagnola poste, rispettivamente, davanti alla bocca del cannone da palle e a un paio di metri di distanza (Fig. 52.5).

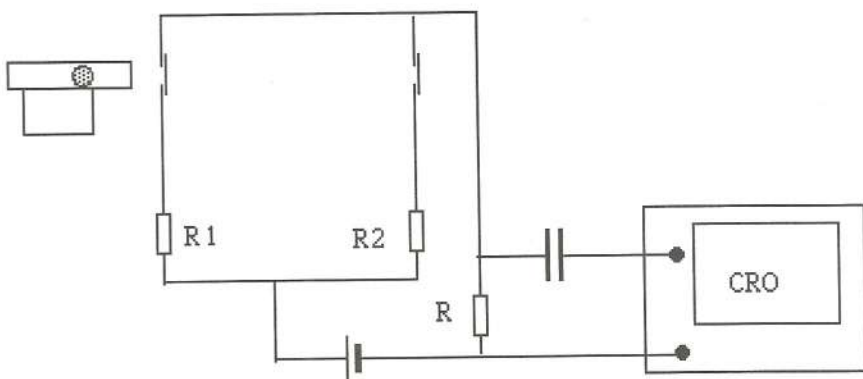


Fig. 52.5. Apparato per la misura del tempo di volo della pallina.

E' consigliabile fare qualche prova preliminare prima di piazzare la macchina fotografica, fissata ad un cavalletto, davanti all'oscilloscopio in modo da inquadrarne lo schermo. Può essere necessario collocare una lente addizionale ( 30 cm) davanti all'obiettivo, allo scopo di diminuire la focale. Posta la regolazione dei tempi in posizione S, abbassate le luci, si preme sul comando dell'otturatore e subito si spara un colpo del cannoncino. È opportuno ripetere la prova alcune volte variando l'apertura di diaframma. Convieni anche fare una lunga posa dello schermo, in modo da riprendere la graduazione. Sviluppato il rullino, si proietta la migliore tra le diapositive ottenute e si legge la distanza tra i due picchi. Nota la taratura dell'asse dei tempi ( millisecondi/ div) si risale alla separazione temporale tra i due segnali, cioè al tempo di volo. Nota la distanza tra i due interruttori e il tempo di volo, si ottiene la velocità di lancio.



## 53. CIRCUITI EQUIVALENTI

**Finalità della dimostrazione:** La similitudine elettrica è diversa dalla similitudine geometrica.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Ultimo anno di liceo.

**Grado di difficoltà concettuale:** Richiede la conoscenza delle regole di combinazione dei resistori in serie e in parallelo.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile.

**Materiali richiesti:** Una ventina di resistori da 100 W, 1/4 W  
Alimentatore in bassa tensione  
Milliamperometro

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Discreta.

Con resistori da 100  $\Omega$  (1/4 W) si realizzino i tre circuiti di Fig. 53.1, l'ultimo dei quali ha la forma di un tetraedro.

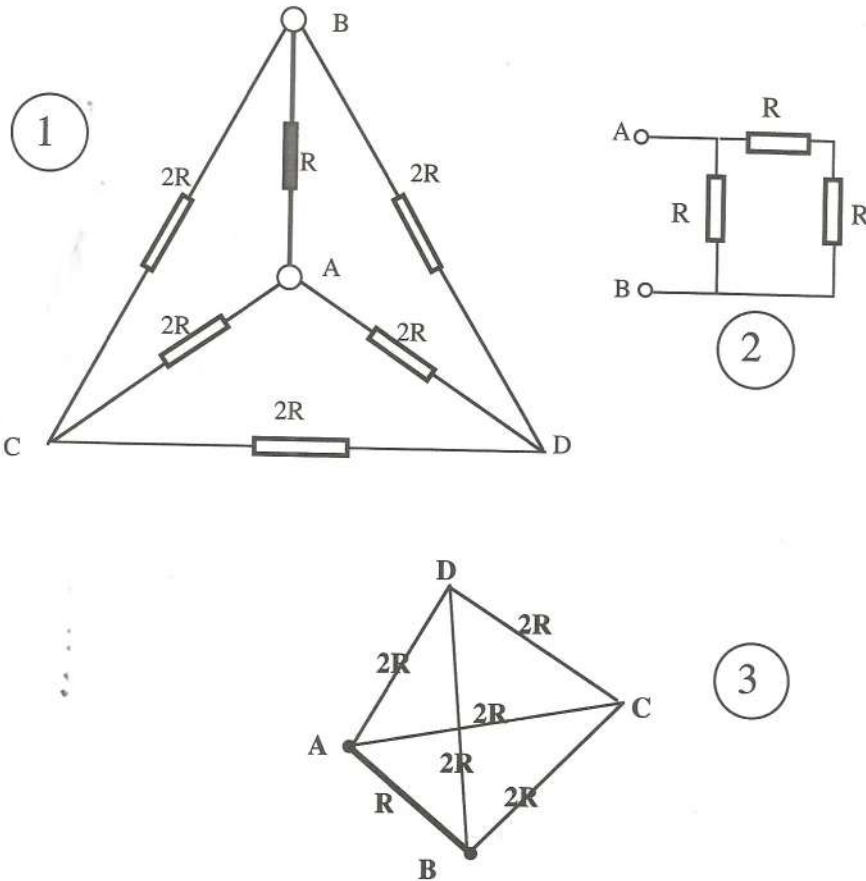


Fig. 53.1. Tre circuiti realizzati con resistori da 100  $\Omega$ . Il (3) è un tetraedro. Collegando uno solo di questi resistori ad un alimentatore da 3 V, otterremo

una corrente di intensità  $i_0 = 30mA$ . Se, colleghiamo lo stesso alimentatore ai punti A e B dei diversi circuiti, si ottiene un'intensità di corrente pari a  $i = 45 mA$

Possiamo allora affermare che i tre circuiti sono simili dal punto di vista elettrico

Per comprendere la natura della similitudine, partiamo dal caso del tetraedro ed immaginiamo di trasformarlo in un circuito piatto, "schiacciandolo" sulla faccia BCD: si ottiene il circuito (1).

Occupiamoci ora di questo.

Osserviamo che, per simmetria, la d.d.p. tra i punti C e D è nulla. Possiamo allora togliere il lato CD e ripiegare il circuito lungo l'asse di simmetria. Si ottiene il circuito di Fig. 53.2.

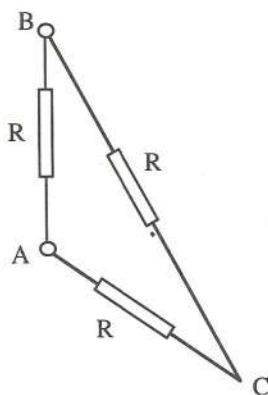


Fig. 53.2. Circuito equivalente al circuito (1) e al circuito (3).

dove le resistenze sono dimezzate. Senza pregiudizio per i valori delle grandezze elettriche, questo si può deformare nel circuito di Fig. 53.3.

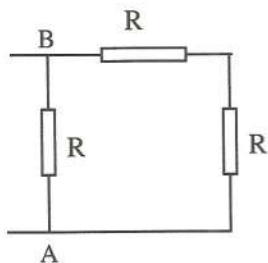


Fig. 53.3. Circuito equivalente al circuito di Fig. 53.2.

Si vede quindi che è equivalente al precedente circuito (2). Questo, a sua volta equivale a quello di Fig. 53.4,

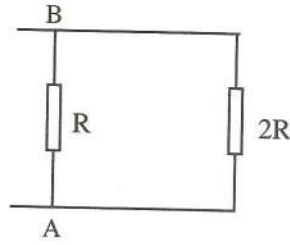


Fig. 53.4. Alle due resistenze in serie si sostituisce una resistenza doppia.

con una resistenza equivalente  $\frac{2}{3}R$ . L'intensità di corrente è allora

$$i = \frac{V}{\frac{2}{3}R} = \frac{3}{2}i_0$$

Anche il circuito pentagonale di Fig. 53.5 è equivalente a quello di Fig. 53.6.

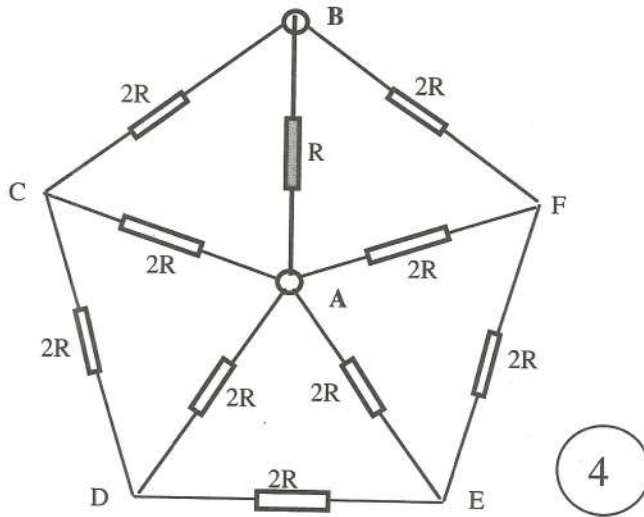
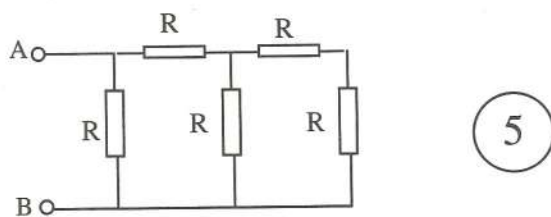


Fig. 53.5. Tutte le resistenze hanno valore  $2R$  con l'eccezione di quella del ramo  $AB$  che vale  $R$ .



5

Fig. 53.6. Circuito equivalente a quello di Fig. 53.5.

come si dimostra misurando l'intensità di corrente che si produce alimentandoli entrambi con la stessa d.d.p. Infatti, per la simmetria,  $V_D = V_E$  e  $V_C = V_F$ . Possiamo quindi far sovrapporre questi nodi, ripiegando il circuito lungo il suo asse di simmetria. Si ottiene il circuito di Fig. 53.7.

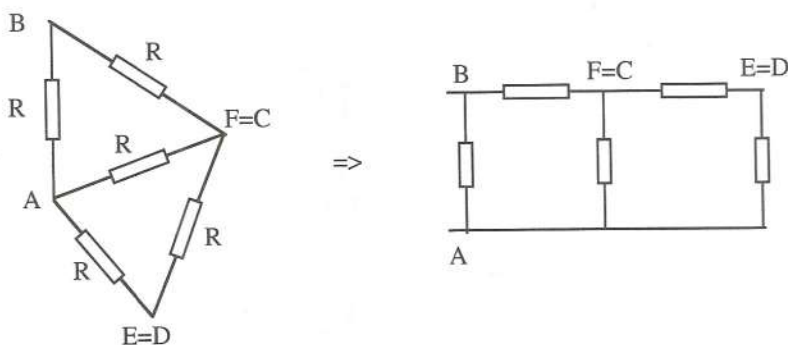


Fig. 53.7. Deformazioni progressive che dal circuito (4) portano al circuito (5).

In generale, le grandezze elettriche sono invarianti per le trasformazioni geometriche sopra illustrate.

## 54. IL CONDENSATORE

### 54.1. SCARICA DEL CONDENSATORE

**Finalità della dimostrazione:** Studiare il comportamento del condensatore e definirne la capacità.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Piuttosto alto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Abbastanza difficile.

**Materiali richiesti:** Un condensatore da 2200 mF, 16V.

Alcuni resistori da  $1k\Omega$ , 1/4 W.

Voltmetro elettronico.

Batteria da 12 V.

Contasecondi.

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Buona.

Si realizza il circuito di Fig. 54.1.

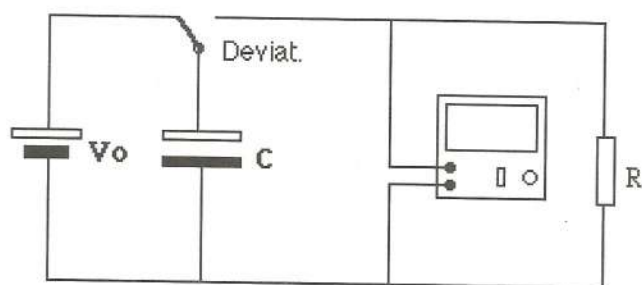


Fig. 54.1. Circuito che serve a caricare il condensatore  $C$  mediante la batteria  $V_0$  e lo fa scaricare attraverso il resistore  $R$ .  $R=5k\Omega$ ;  $C=2200\mu F$ ;  $V_0=12V$ .

Lo strumento è un voltmetro elettronico che misura la tensione ai capi di  $R$ . Con il deviatore nella posizione della figura il condensatore è in fase di carica. Spostando il deviatore sull'altra posizione, il condensatore si scarica attraverso il resistore  $R$  e possiamo misurarne la tensione mediante il voltmetro. Utilizzando un grande valore per la resistenza la corrente varia abbastanza lentamente da poter essere seguita e registrata manualmente. Ad es. si può fare una lettura dello strumento ogni 10 secondi. Il risultato che si ottiene è del tipo riportato in Fig. 54.2.

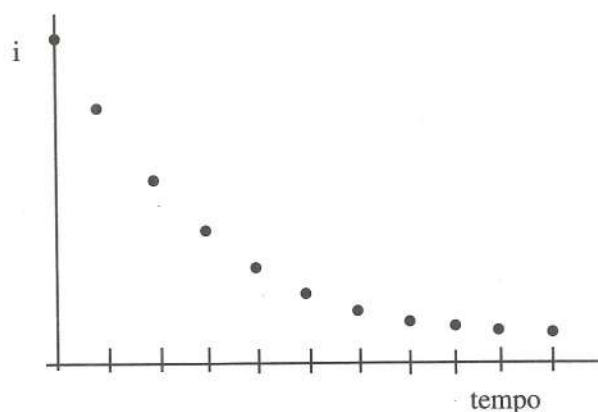


Fig. 54.2. Andamento della tensione (e dell'intensità di corrente) in funzione del tempo

Questo consente di osservare che l'intensità di corrente tende ad annullarsi

all'inizio diminuisce rapidamente e poi sempre meno.

La disposizione dei punti fa pensare ad una dipendenza esponenziale. Per controllare l'ipotesi si riporta in un grafico il logaritmo della tensione contro il tempo, ottenendo un risultato simile a quello di Fig. 54.3.

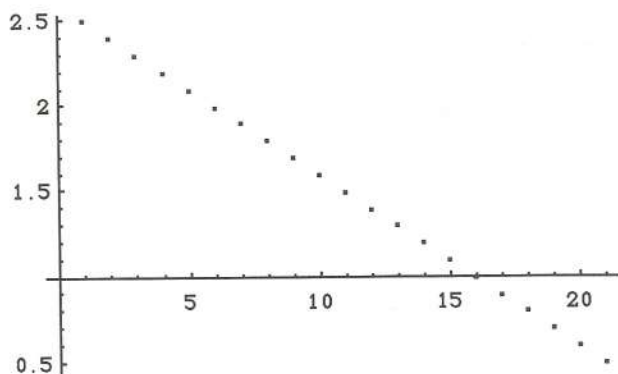


Fig. 54.3. I dati di Fig. 54.2 rappresentati su un grafico semi-logaritmico.

Questo ci dice che la scarica è correttamente descritta da una funzione del tipo

$$V = V_0 \times 2^{-\frac{t}{T}}$$

dove  $V_0$  è il valore iniziale della tensione e  $T$  è il tempo di dimezzamento cioè il tempo necessario affinché la tensione dimezzi il suo valore.

Il tempo di dimezzamento dipende dal condensatore e dal resistore attraverso

il quale avviene la scarica.

Cambiamo il valore di R e misuriamo il tempo di dimezzamento. Basterà misurare quanto tempo si richiede per dimezzare il valore della tensione. Provando con valori diversi di R si trova che vi è proporzionalità diretta tra T ed R (Fig. 54.4);

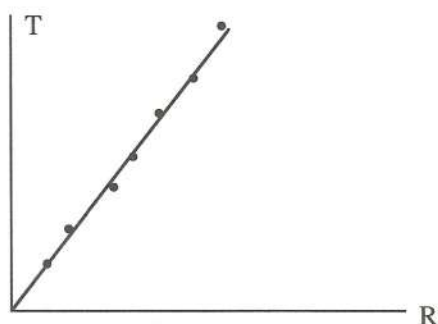


Fig. 54.4. Il tempo di dimezzamento è direttamente proporzionale alla resistenza attraverso la quale si scarica il condensatore.

ovvero che

$$T \propto R$$

dove la costante di proporzionalità è una grandezza che non può dipendere che dal condensatore. Infatti, se, in luogo di uno solo, si utilizzano due condensatori identici in parallelo (Fig. 54.5),

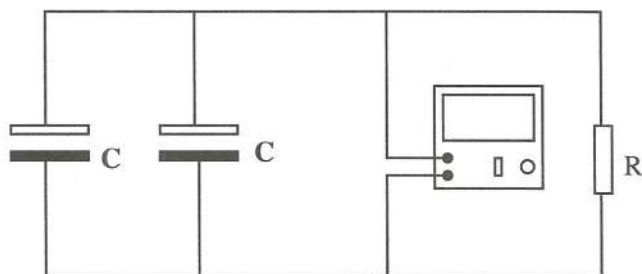


Fig. 54.5. Scarica di due condensatori in parallelo.

si osserva che il tempo di dimezzamento raddoppia. Dimezza, invece, se i due condensatori vengono collegati in serie (Fig. 54.6).

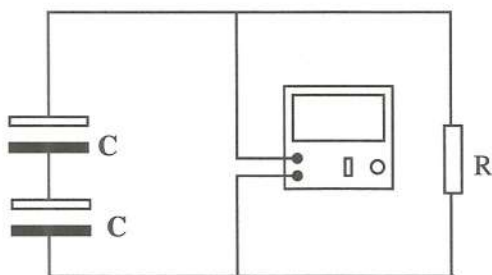


Fig. 54.6. Scarica di due condensatori in serie.

Si definisce la costante in modo che sia

$$T \equiv CR \ln 2$$

## 54.2. UN CAPACIMETRO ACUSTICO

**Finalità della dimostrazione:** Realizzare un temporizzatore utilizzabile come capacimetro.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Piuttosto alto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Abbastanza difficile.

**Materiali richiesti:** Condensatori da 2200  $\mu\text{F}$ , 16 V.

Una capsula telefonica o un altoparlante.

Relé 12 V ad uno scambio.

Batteria da 12 V.

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Buona.

Si consideri il circuito di Fig.54.7, costituito da un relé, un condensatore di alta capacità ed una capsula telefonica. Alla chiusura dell'interruttore dell'alimentatore (12 V) la corrente passa prevalentemente per il condensatore C che si carica con un tempo caratteristico RC. La tensione ai capi di C cresce progressivamente fino a raggiungere un valore tale da provocare il cambiamento di stato del relé. Quando questo scatta, il condensatore, cortocircuitato, si scarica istantaneamente attraverso il contatto del relé. A questo punto il relé torna nello stato di interdizione e il ciclo ricomincia. Gli impulsi di corrente, con un periodo proporzionale alla capacità del condensatore, che percorrono la capsula danno luogo a colpi sonori ritmati. Sostituendo a C due condensatori identici in serie e poi due in parallelo si mette in evidenza che la frequenza dei colpi varia. Misurandone il periodo, si trova che nel caso del parallelo raddoppia e, nel caso della serie dimezza. Pertanto il circuito può essere tarato per la misura di capacità.



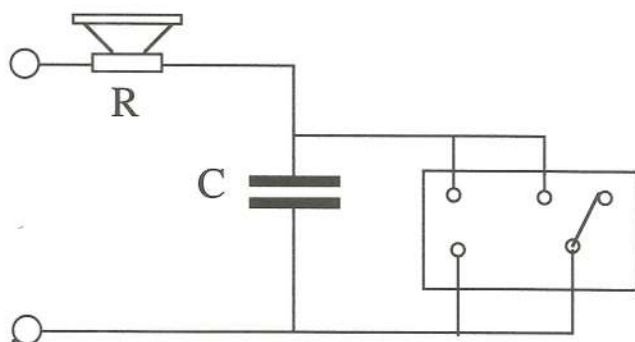
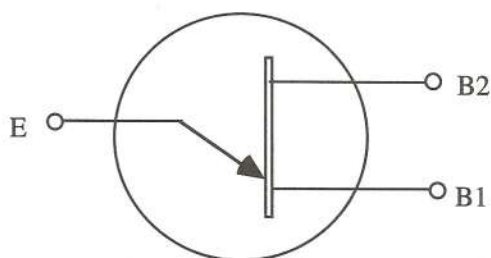


Fig.54.7.  $R= 40 \Omega$ ;  $C= 2,2 \mu\text{F}$ .

Tuttavia con questo circuito, che ha una parte meccanica, non è possibile raggiungere frequenze molto superiori ad un ciclo al secondo. Per raggiungere frequenze superiori è necessario utilizzare, in luogo del relé, un TRANSISTOR UNIGIUNZIONE, simbolicamente rappresentato in Fig.54.8.



2N2646

Fig.54.8. Rappresentazione simbolica di un transistor unigiunzione.

È un componente caratterizzato dalla seguente proprietà: il collegamento tra E e B1 equivale ad un interruttore aperto se la tensione tra E e B1 è inferiore ad una certa soglia (compresa tra  $1/2$  e  $3/4$  di  $V_{B1B2}$ ) e ad un interruttore chiuso quando  $V_E$  supera detta soglia (Fig. 54.9)

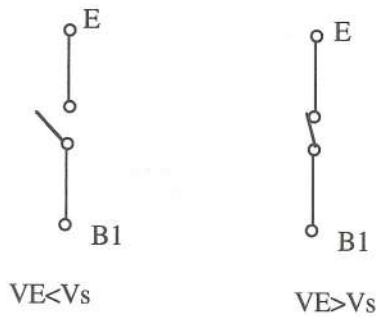


Fig. 54.9. Comportamento del transistor unigiunzione.

La resistenza tra E e B1 rimane nulla fino a che la tensione di E non scende sotto un valore prossimo allo zero.

Realizziamo dunque il circuito di Fig. 54.10.

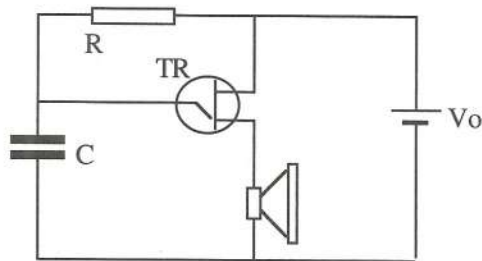


Fig. 54.10. Generatore d'impulsi elettrici.  $V_o=9$  V;  $R=$  resistenza variabile da  $10$   $k\Omega$  ( $1/4$  W);  $TR=$  transistor U.J. 2N2646;  $C= 50\mu F$  (16 V).

Quando si collega la batteria, il condensatore si carica lentamente e la tensione sull'emettitore aumenta progressivamente. Quando supera il livello di soglia, la porta tra E e B1 si apre ed il condensatore si scarica attraverso l'altoparlante che emette un colpo. Al termine dell'impulso la tensione in E scende a zero, il transistor entra di nuovo in stato di interdizione e il ciclo ricomincia. Ancora la frequenza dei cicli dipende dalla capacit  introdotta nel circuito. Disponendo di un oscilloscopio   possibile tarare lo strumento ed utilizzarlo come misuratore di capacit  dei condensatori.

### 54.3. SCARICA RAPIDA DI UN CONDENSATORE

**Finalità della dimostrazione:** La capacità di un condensatore diminuisce all'aumentare della distanza tra le armature.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Modesto

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Condensatore componibile, lampada a fluorescenza (20 W), una batteria da 4,5 V, un foglio di acetato.

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Ottima.

Si realizza il circuito di Fig. 54.11, mediante un condensatore componibile e una lampada a bagliore.

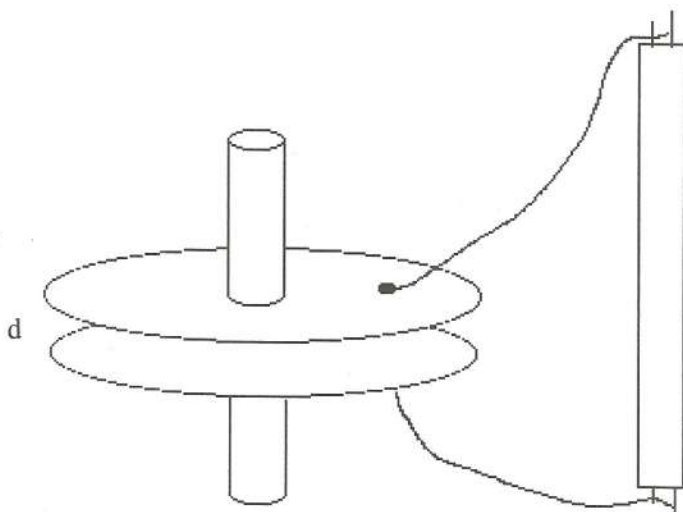


Fig. 54.11. Condensatore composto e lampada a fluorescenza

Il condensatore è costituito da due lastre metalliche piane, munite di manici isolanti. Si può facilmente realizzare incollando due fogli di alluminio su due vecchi dischi microscolco. Come dielettrico si utilizza un foglio di acetato o altro materiale isolante.

Si collegano le due armature agli elettrodi della lampada e si carica il condensatore toccando i due piatti con gli elettrodi della batteria. La lampada, ovviamente, rimane spenta. Tuttavia, se si afferra il manico isolante e si allontana il piatto superiore, la lampada emette un bagliore chiaramente percepibile. Infatti per la capacità del condensatore vale la relazione

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{k}{d}$$

per cui la tensione tra le armature è proporzionale alla loro distanza. Se questa viene aumentata, la tensione raggiunge valori tali da innescare la scarica.

Si può fare anche a meno della batteria. Si appoggia il foglio di acetato sul piatto e lo si strofina con un panno. Vi si appoggia il piatto superiore e lo si tocca con un dito. Si procede insomma come con la stacciata di Volta. Sollevando l'armatura superiore si produce un lampo nella lampada.

## 55. UN LIMITE FISICO

**Finalità della dimostrazione:** Riflettere sul concetto di definizione per ricorrenza.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Ultimo anno del liceo.

**Grado di difficoltà concettuale:** Molto difficile

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Una ventina di resistori da  $100\Omega$ ,  $1/4$  W.

Alimentatore in bassa tensione

Milliamperometro

**Interesse suscitato:** Buono

**Efficacia didattica:** Buona.

Preso un resistore da  $100\Omega$ , applichiamo una tensione di qualche Volt e misuriamo l'intensità di corrente che si produce: la indichiamo con  $i_1$ .

Consideriamo ora il circuito di Fig. 55.1, realizzato con resistori identici.

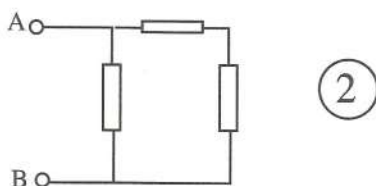


Fig. 55.1. Il circuito è realizzato con tre resistori di ugual resistenza.

Applicando a questo la stessa f.e.m., misuriamo l'intensità di corrente. Consideriamo il suo rapporto con  $i_1$ : lo chiamiamo  $i_2$ . Si ottiene

$$i_2 \cong 1,5$$

Possiamo continuare ad aggiungere elementi alla rete. Ad esempio, facciamo misure sul circuito di Fig. 55.2.

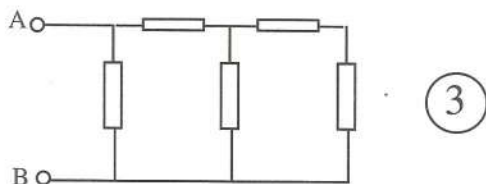


Fig. 55.2 Al circuito di Fig. 55.1 è stato aggiunto un ramo di due resistenze.

e poi su quello di Fig. 55.3.

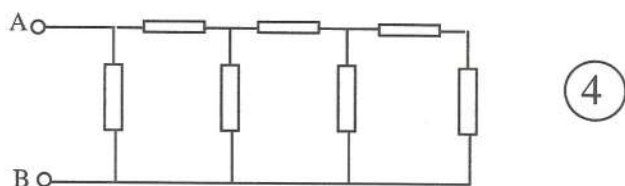


Fig. 55.3. Al circuito di Fig. 55.1 sono stati aggiunti due rami.

Danno ambedue 1,6 o poco più. Il risultato non varia sensibilmente aumentando ancora gli elementi (Fig. 55.4).

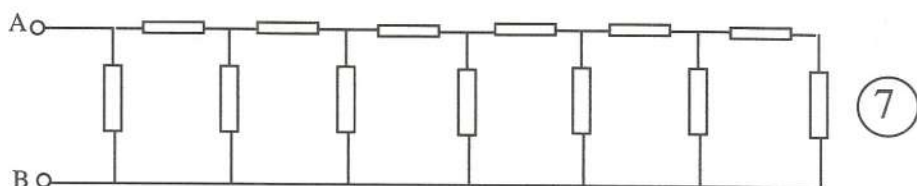


Fig. 55.4. Una rete ottenuta iterando gli elementi di Fig. 55.1.

Si ottiene sempre poco più di 1,6.

Per comprendere ciò che avviene cominciamo dalla rete (2). Il circuito equivale a quello di Fig. 55.5,

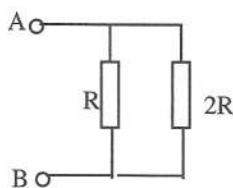


Fig. 55.5. Circuito equivalente a quello di Fig. 55.1.

cioè è il parallelo tra R e 2R:

$$R_2 = P[R, R + R]$$

e la resistenza equivalente tra A e B è

$$R_2 = \frac{2}{3}R.$$

Per ottenere il circuito (3) aggiungiamo un altro elemento (Fig. 55.6).

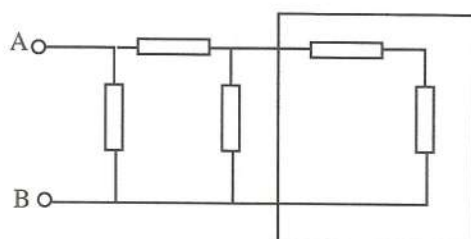


Fig. 55.6. Per passare dal circuito (2) al (3) è necessario aggiungere un elemento.

La parte nel riquadro è quella della precedente disposizione; per cui

$$R_3 = P[R, R + R_2]$$

e quindi,

$$R_3 = \frac{5}{8}R$$

dalla quale viene

$$i_3 = \frac{8}{5}$$

In generale, sarà

$$R_{n+1} = P[R, R + R_n]$$

o anche

$$R_{n+1} = \frac{R + R_n}{R + R + R_n} R.$$

Per l'intensità di corrente sarà

$$i_{n+1} = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{i_n}}$$

dove le intensità di corrente sono riferite al valore iniziale  $i_1$ . In particolare si ottiene

$$i_4 = \frac{21}{13}$$

La successione dei valori della corrente è

$$1, \frac{3}{2}, \frac{8}{5}, \frac{21}{13}, \dots$$

Il limite di questa successione è facilmente calcolabile. Basta porre

$$i_{n+1} = i_n = i$$

nella precedente relazione ricorsiva e risolvere. Si ottiene

$$i = \frac{\sqrt{5} + 1}{2} \cong 1,618$$

che è il valore inverso della SEZIONE AUREA.

Questa rappresentazione sotto forma di frazione continua è caratteristica dei rapporti dei NUMERI DI FIBONACCI consecutivi.

La successione di FIBONACCI si ottiene nel seguente modo:

$$a_1 = 1$$

$$a_2 = 1$$

$$a_n = a_{n-2} + a_{n-1}$$

e dà:

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, \dots$$

Si osserva quindi che la successione delle intensità di corrente è data dai rapporti delle coppie contigue di Numeri di Fibonacci.



## 56. LA SIRINGA DI JOULE

**Finalità della dimostrazione:** Un'esemplificazione del primo principio della termodinamica.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** A livello di studenti di liceo.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Abbastanza difficile.

**Materiali richiesti:** Siringa di plastica per iniezioni da 20 cc.

Alcuni termistori da  $1000 \Omega$

Resistore da  $1000 \Omega$ , 1/4 W.

Batteria da 4,5 V.

Un voltmetro

**Interesse suscitato:** Soddisfacente

**Efficacia didattica:** Buona.

Prima di tutto è necessario preparare la siringa. Si tratta di collocare al suo interno un termistore. A questo scopo si praticano due minuscoli fori nel fondo della siringa mediante un sottile filo di rame riscaldato. Attraverso questi, aiutandosi con una pinzetta, si fanno passare gli elettrodi del termistore (Fig. 56.1).

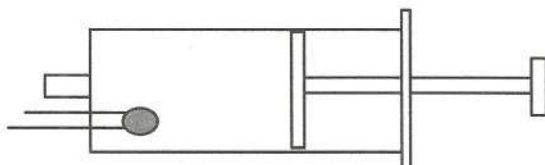


Fig. 56.1. Il termistore è stato collocato all'interno della siringa.

Si fa cadere qualche goccia di silicone sul fondo della siringa (attenzione a non sporcarne le pareti) in modo da saldare i fori e si lascia asciugare. Infine si colloca il pistone, dopo averne lubrificato il bordo con un po' di olio. Può essere comodo alloggiare la siringa in un sostegno di plastica o legno che la mantenga in posizione verticale.

In classe è necessario illustrare il funzionamento del termistore. Si realizza il circuito di Fig. 56.2.

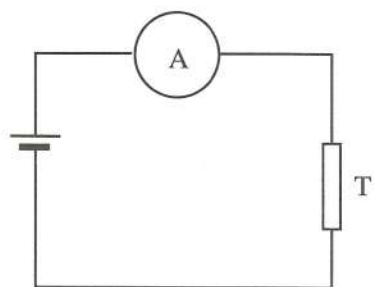


Fig. 56.2. L'alimentatore è una batteria da 4,5 V; A un amperometro (fondo scala 10 mA); T un termistore da 1 k $\Omega$ .

Si mostra che se si riscalda il termistore - anche solo stringendolo nella mano - l'intensità di corrente aumenta. Il fenomeno si può mettere in evidenza anche con il circuito di Fig. 56.3.

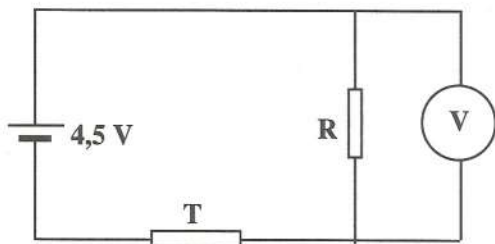


Fig. 56.3. T= termistore da 1 k $\Omega$ ; R= resistore da 1 k $\Omega$ ; V= voltmetro.

Se si riscalda il termistore, il voltmetro segna un aumento della tensione. Si può anche tarare lo strumento misurando alcuni valori della temperatura, misurata con un termometro, e della tensione corrispondente riportata dal voltmetro.

A questo punto, nel circuito di Fig. 56.3 si inserisce il termistore collocato nella siringa e si esercita una pressione su questa o con la mano o mediante qualche mattoncino pesante preparato allo scopo (Fig. 56.4)

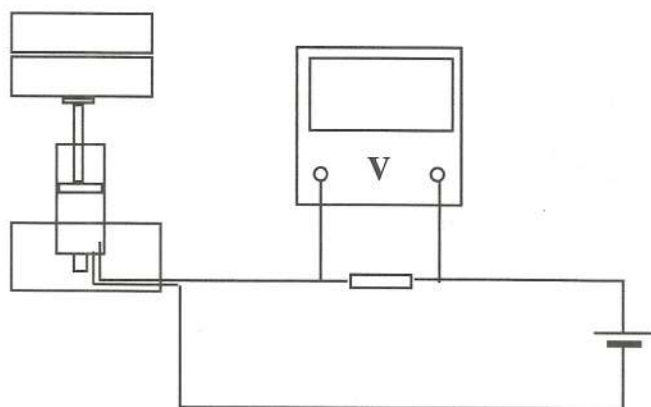


Fig. 56.4. L'apparato nel suo insieme. V indica il voltmetro.

Si può allora osservare che ad ogni aumento della pressione dell'aria all'interno della siringa corrisponde un aumento della temperatura registrato da un aumento della tensione misurata dal voltmetro.

## 57. TRASPORTO DELL'ENERGIA ELETTRICA

**Finalità della dimostrazione:** Proporre in termini corretti il problema del trasporto a distanza dell'energia elettrica.

**Fascia di età in cui si può proporre:** Ultimo anno di liceo

**Grado di difficoltà concettuale:** Abbastanza alto.

**Grado di difficoltà di realizzazione:** Facile

**Materiali richiesti:** Alimentatore in alternata a B.T.

Trasformatore

Voltmetri e Amperometri

Lampadine da torcia

**Interesse suscitato:** Discreto

**Efficacia didattica:** Ottima.

Come modello del sistema di trasferimento a grande distanza dell'energia elettrica, si consideri il circuito di Fig. 57.1.

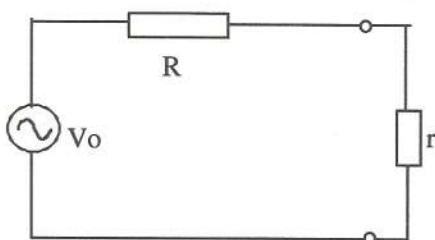


Fig. 57.1. Modello di trasporto dell'energia elettrica.  $R$  è la resistenza della linea di trasporto,  $r$  la resistenza dell'utilizzatore.

Qualche calcolo:

Un filo di rame di sezione  $1 \text{ mm}^2$  e lungo  $1 \text{ m}$  ha una resistenza di  $1,7 \times 10^{-2} \Omega$ .

Un cavo lungo  $100 \text{ km}$  e con la stessa sezione ha una resistenza  $1,7 \text{ k}\Omega$ .

L'utilizzatore è costituito da un grande numero di resistenze in parallelo; per cui  $r$  è certamente molto piccola.

Se indichiamo con  $V$  la tensione ai capi di  $r$  sarà

$$V = \frac{r}{R+r} V_0$$

Si osservi che

$$\left( \frac{dV}{dr} \right) = \frac{R}{R+r} \frac{1}{r} \cong \frac{1}{r}$$

che, per  $r$  piccola, è molto grande. Questo significa che, al variare di  $r$ , la

tensione ai capi dell'utilizzatore varia fortemente.

La potenza fornita dall'alimentatore è

$$P_0 = \frac{V_0^2}{R+r}$$

la potenza utilizzata è

$$P = \frac{V^2}{r} = \frac{r}{(R+r)^2} V_0^2;$$

per cui

$$\frac{P}{P_0} = \frac{r}{R+r} \cong \frac{r}{R} \quad (1).$$

Possiamo realizzare il circuito utilizzando qualche metro di filo ad alta resistività, per simulare la linea di trasporto, e alcune lampadine da torcia elettrica (Fig.57.2).

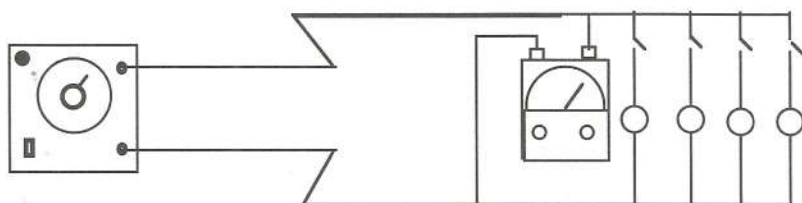


Fig. 57.2. Simulazione di una linea di trasporto e utilizzo dell'energia elettrica.

Si consiglia di utilizzare un alimentatore ( in continua o in alternata) a f.e.m. variabile da 0 a 25 V. Si osserva che, inserendo prima una sola lampadina, poi due, eccetera, la luminosità delle lampadine scema progressivamente. Il voltmetro inserito in parallelo all'utilizzatore segna un calo progressivo della tensione.

Il rendimento espresso dalla (1) è chiaramente inaccettabile.

Consideriamo invece il circuito di Fig. 57.3 - nel quale abbiamo inserito un trasformatore in discesa.

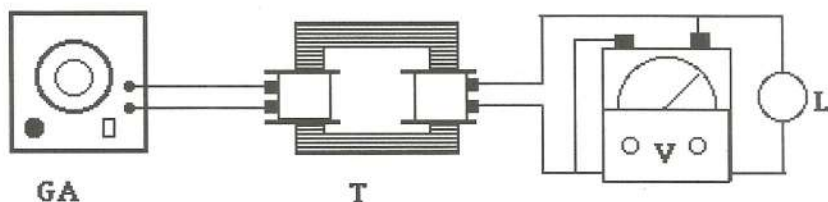


Fig. 57.3. GA= alimentatore in alternata; T= trasformatore; L= lampada, V= voltmetro.

Schematicamente si può rappresentare come in Fig. 57.4.

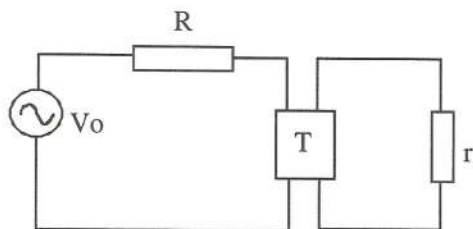


Fig. 57.4. Rappresentazione schematica del circuito di Fig. 57.3.

Siano  $i(r)$  e  $V(r)$  l'intensità (efficace) di corrente in  $r$  e la tensione (efficace) ai capi di  $r$ . La tensione all'ingresso del trasformatore sarà allora  $NV(r)$  e la corrente nel circuito dell'alimentatore  $i(r)/N$ , se  $N$  è il rapporto di trasformazione. Nel primario (Fig. 57.5) tutto avviene come se nel circuito fosse inserita un'impedenza tale che

$$Z = \frac{NV}{\frac{i}{N}} = N^2 r$$

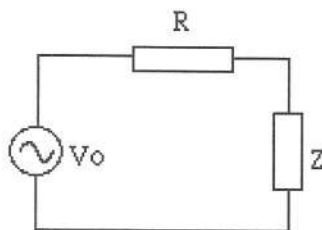


Fig. 57.5.  $Z$  rappresenta l'impedenza "vista" dal primario.

Gli elettrotecnici usano dire che l'alimentatore "vede" un'impedenza  $N^2 r$ , che è molto maggiore di  $r$  stessa. Altrimenti, possiamo vedere la cosa dal punto di vista dell'utilizzatore (Fig. 57.6).

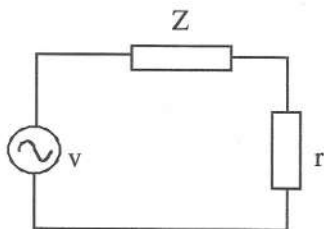


Fig. 57.6.  $Z$  rappresenta l'impedenza "vista" dall'utilizzatore.