21. IL SECONDO PRINCIPIO

Finalità della dimostrazione: Introduzione al concetto di evoluzione di un sistema termodinamico.
Fascia di età in cui si può proporre: Liceo
Grado di difficoltà concettuale: Abbastanza alto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facilissimo
Materiali richiesti: Un centinaio di foglietti di carta con le facce diversamente colorate.
Una calcolatrice scientifica per ogni studente
Lavagna luminosa
Fotometro (vedi testo)
Interesse suscitato: Discreto
Efficacia didattica: Ottima.

E' necessario procurarsi alcuni fogli di carta con le due facce di colore diverso, ad es. bianco e rosso. Si trovano nelle tipografie che li utilizzano per i manifesti. Si fanno tagliare in rettangolini di 5 cm di lato, in modo da ottenere un centinaio di cartine. Si possono utilizzare anche figurine Panini.

Si propone alla classe un vecchio gioco con le figurine. Saliti in piedi su un banco si lascia cadere una figurina; questa volteggia nell'aria e, raggiunto il pavimento, mostra la faccia bianca o quella rossa. Si chiede di scommettere sul prossimo lancio. Dopo alcuni lanci o un solo lancio di alcune figurine, si arriva ad abbozzare il concetto classico di probabilità: la probabilità di ottenere una faccia bianca (o una faccia rossa) è 1/2.

Si propone allora di giocare con due figurine. In questo caso si possono fare tre scommesse, corrispondenti ai tre eventi:
due facce bianche - una faccia bianca e una rossa - due facce rosse.
Il primo evento e il terzo si possono realizzare in un solo modo; il secondo in due modi diversi (tra i quali non facciamo distinzione):

Bianca e Rossa oppure Rossa e Bianca

Quindi i numeri dei modi sono:
B B => 1 B R => 2 R R => 1
Se le figurine sono 3, i numeri dei modi di ogni configurazione sono
B B B => 1 B B R => 3 B R R => 3 RRR => 1
Si può arrivare anche a giocare con quattro o cinque figurine, fino a scoprire che il numero dei modi che caratterizza la configurazione (n, k) è il numero delle combinazioni $\binom{n}{k}$ e che all' evento più probabile corrisponde una probabilità termodinamica

$$\binom{n}{n/2} = \frac{n!}{\left[\left(\frac{n}{2}\right)!\right]^2}$$

Poichè il numero delle configurazioni distinguibili è 2^n, la probabilità di ciascuna è

$$P(k,n-k)=\frac{\binom{n}{k}}{2^n}$$

Si presenta qui un ottima occasione per l'uso della calcolatrice. Calcolare il numero dei modi in cui si realizza la configurazione (ad es.) 20 figurine bianche e 20 rosse: $\binom{40}{20}$.

I ragazzi possono anzi positivamente fare una scoperta sconvolgente: che vi sono dei limiti alle capacità di calcolo della macchinetta.

Si può ora affrontare il problema fondamentale, che è il seguente:
Come varia la probabilità se ci scostiamo dallo stato più probabile?

Si può prendere spunto da un'osservazione condotta mediante il fotometro descritto nella scheda 1. Prendiamo un foglio di carta spessa abbastanza largo da coprire il piano della lavagna luminosa e in questo pratichiamo un foro quadrato di 20 cm di lato. Su un foglio di carta millimetrata semitrasparente si disegna un quadrato da 20 cm diviso in quadrati da 5 cm. Su questi appoggiamo 8 cartine per rappresentare lo stato di maggiore probabilità. Disposto il cartoncino con la finestra sul piano della lavagna luminosa e nella finestra il foglio di carta millimetrata, togliamo la lente della lavagna ed al suo posto fissiamo la superficie fotosensibile del nostro fotometro.
Si può così mostrare che:

1) la lettura dello strumento non dipende dalla disposizione dei quadretti scuri, ma solo dal loro numero;
2) individuare le risposte estreme, che corrispondono al foglio completamente scuro e al foglio completamente bianco
3) Aumentando (o diminuendo) di una unità il numero dei quadretti opachi si ha una variazione del 6% dell'escursione totale.

Le probabilità che corrispondono alle diverse configurazioni possibili sono riportate nell'istogramma di Fig. 21.1.

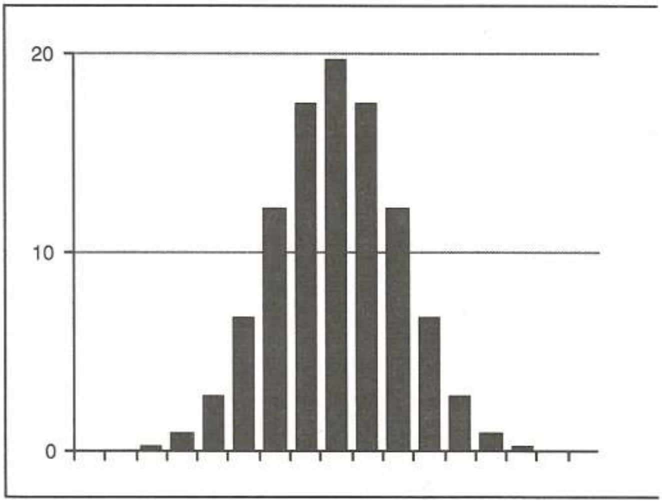

Fig. 21.1. Distribuzione delle probabilità per le varie configurazioni che si possono ottenere con 16 carte.

La probabilità del risultato 7 vel 8 vel 9, cioè di un risultato centrato sul più probabile e con un'ampiezza che è il 12% dell'escursione totale, è data da

$$\binom{16}{8}+\binom{16}{7}+\binom{16}{9}=19{,}6+2\times17{,}5=54{,}6\%$$

Se includiamo altre due possibilità, cioè ammettiamo un risultato che va da 6 a 10 figurine bianche su 16, con un intervallo che è il 24% del totale, la probabilità diventa

$$\binom{16}{8}+2\times\binom{16}{7}+2\times\binom{16}{6}=19{,}6+2\times17{,}5+2\times12{,}2\cong80\%$$

Se vogliamo avere la (quasi) certezza di vincere dobbiamo scommettere non sul risultato più probabile; ma su un intervallo di risultati - centrato su quello più probabile - con un' ampiezza che è il 24% del totale.
Il nostro quadrato da 20 cm si può dividere in quadrati da 2,5 cm. L'evento più probabile è 32 figurine su 64. Distribuiamo 32 figurine sulla superficie del foglio semitrasparente. Perchè lo strumento segni una variazione significativa di luminosità è necessario aggiungere (o togliere) molti più quadratini. Con 5 quadratini in più si ha una variazione di luminosità inferiore all'8%.

La distribuzione di probabilità corrispondente al lancio di 64 figurine é rappresentata nell'istogramma di Fig. 21.2.

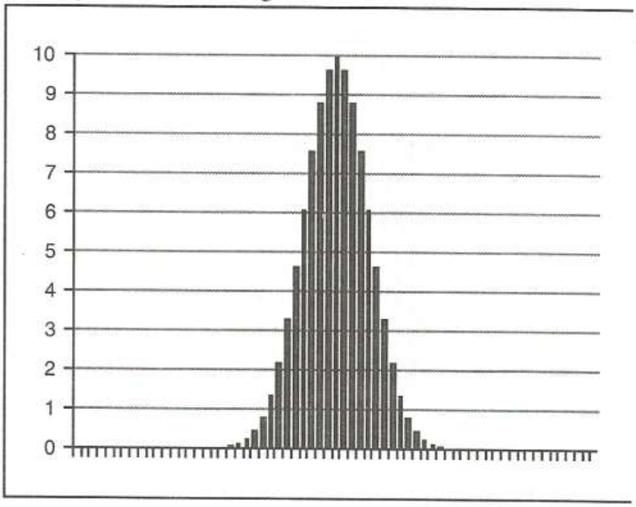

Fig. 21.2. Distribuzione di probabilità per il lancio di 64 figurine.

Se ne ricava che scommettere su un intervallo di ampiezza 10 (meno del 16% del totale) - centrato sulla configurazione più probabile - comporta una probabilità

$$\binom{64}{32}+2\times\binom{64}{31}+2\times\binom{64}{30}+2\times\binom{64}{29}+2\times\binom{64}{28}+2\times\binom{64}{27}=$$

$$9{,}9+2\times 9{,}6+2\times 8{,}8+2\times 7{,}5+2\times 6{,}1+2\times 4{,}6\cong 83\%$$

cioè quasi la certezza.

In generale, si ottiene il seguente risultato:

Num. figurine	Probabilità	Ampiezza rel. intervallo
10	89-98%	46-64%
12	85-96	39-54
14	82-94	33-58
16	79-92	29-41
18	76-90	26-37
20	74-88	24-33
30	90-95	29-36
40	85-92	22-27
50	88-93	22-26

Per comprendere come vanno le cose è consigliabile ridurre i dati ad una probabilità standard, ad es. al 90%. La tabella diventa quindi

Numero di figurine	ampiezza relativa dell'intervallo
10	48
12	45
14	42
16	39
18	37
20	34
30	30
40	26
50	23

Al crescere del numero delle figurine si restringe l'ampiezza dell'intervallo centrale a cui corrisponde la probabilità del 90%. Si tratta di un risultato riconducibile alla legge empirica del caso. Infatti affermare che la probabilità che caratterizza ciascuna faccia è del 50% non significa che lanciando 10 volte la figurina (o 10 figurine uguali) dobbiamo aspettarci cinque facce bianche e cinque rosse. Significa invece che l'affermazione

metà facce bianche, metà facce rosse

è tanto più prossima a ciò che realmente si osserva quanto più grande è il numero delle figurine che si lanciano.
Quindi, se giochiamo con 100 figurine e scommetto che usciranno da 42 a 58 facce bianche, ho una probabilità superiore al 90% di vincere. La cosa si può (anzi è bene) osservarla direttamente compiendo uno spettacolare lancio di coriandoli colorati da un balcone della scuola: agli studenti il compito di raccogliere figurine e dati statistici.L'esperienza ha un' evidente relazione con il secondo principio della termodinamica: un sistema termodinamico evolve verso la configurazione a cui corrisponde il massimo numero di modi indistinguibili. Giochiamo, ad es., con 50 figurine, partendo da uno stato di bassa entropia: nel mazzo mettiamo 40 carte con la faccia bianca rivolta verso l'alto e 10 con la faccia rossa. E' uno stato che si può realizzare in $W_1 = \binom{50}{10} = 1{,}03 \times 10^{10}$ modi diversi. Se lancio per aria le figurine e le raccolgo conservando l'orientamento che hanno assunto sul pavimento, la configurazione sarà prossima a quella di massima probabilità: 25 figurine per ogni colore, realizzabile in

$$W_2 = \binom{50}{25} = 1{,}26 \times 10^{14}$$

modi diversi ma indistinguibili.
Seguendo Boltzmann, la variazione di entropia tra i due stati è

$$\Delta S \propto \log \frac{W_2}{W_1}.$$

22. ESPERIMENTO DI HERTZ

Finalità della dimostrazione: Trasmissione di segnali elettromagnetici
Fascia di età in cui si può proporre: Liceo
Grado di difficoltà concettuale: Elevato
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Alimentatore in continua a tensione variabile 0 -100 V.
Voltmetro, F.S. 100V
Resistore 200 kΩ, 0,5 W.
Condensatore 1 μF
Piccola lampada al Neon
Generatore didattico di Van De Graaff
Interesse suscitato: Ottima.
Efficacia didattica: Buono

Si realizza il circuito di Fig. 22.1

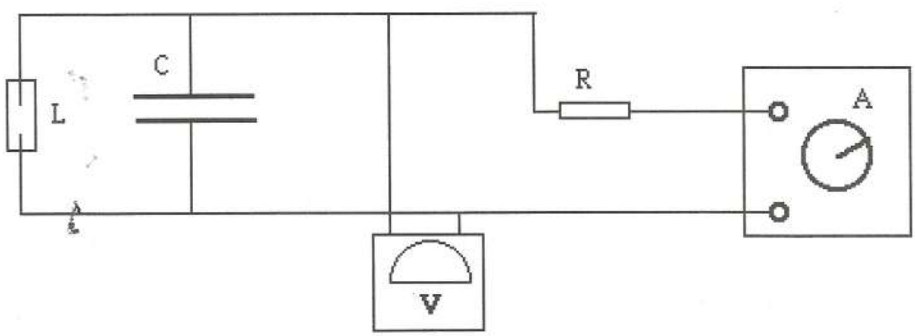

Fig. 22.1. Circuito rivelatore di impulsi elettromagnetici. L= lampada al Neon; C= condensatore da 1 μF; R= resistore da 200 kΩ; A= alimentatore 0 - 100 Vcc.

La rilevazione degli impulsi elettromagnetici è compiuta dal parallelo condensatore-lampada.
La lampada al neon è caratterizzata da una tensione d'innesco Vi. Se la tensione applicata V è inferiore a Vi la lampada si comporta come un interruttore aperto; se V> Vi, come un interruttore chiuso. Si regola l'alimentatore in modo che la tensione applicata, leggibile sul voltmetro, sia appena inferiore a quella d'innesco.
Si colloca il rivelatore ad un'estremità del banco ed all'altra il Van De Graaff. Fatto partire il generatore, si osserva che, ad ogni scintilla che questo produce, la lampada emette un lampo: segno che la tensione applicata è tale da innescare la scarica.

23. PEDALANDO SULLA *CICLETTE*

Finalità della dimostrazione: Misurare (rozzamente) la potenza sviluppata dalle gambe nel pedalare
Fascia di età in cui si può proporre: Liceo
Grado di difficoltà concettuale: Abbastanza impegnativo
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Una ciclette, un cronometro
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Ottima.

Nella corsa in bicicletta la velocità massima raggiungibile è determinata principalmente dalla resistenza dell'aria. Nell'uso di palestra della ciclette viene simulata mediante un freno che agisce sulla ruota-volano.

Prima di tutto si vuole determinare il momento d'inerzia del volano che possiamo assimilare ad un disco. Bisogna smontarlo, misurarne il diametro e pesarlo. Se R è il raggio ed m la massa, il momento d'inerzia è

$$I = \frac{1}{2} mR^2$$

Rimontato il volano, bisogna misurare la moltiplica. A questo scopo, basta fare un segno sul volano e contare quanti giri fa il volano in corrispondenza di un giro del pedale: questa è la moltiplica μ .

Abbiamo già detto che sul volano agisce un momento frenante. Per misurarne l'intensità, mettiamolo in moto pedalando con una certa frequenza ν_0 che si determina misurando il tempo richiesto per 10 giri di pedale. Si cessa quindi di pedalare e si misura il tempo necessario perchè il volano si fermi. Da questo tempo si ricava la decelerazione angolare, che assumiamo costante:

$$\alpha = \frac{\omega_0}{t_{fr}}$$

dove ω_0 è la velocità angolare iniziale e t_{fr} il tempo di frenata. Si può anche scrivere

$$\alpha = \frac{2\pi\nu_0}{t_{fr}}\mu$$

La decelerazione angolare è legata al momento frenante M_{fr} dalla relazione

$$\alpha = \frac{M_{fr}}{I}$$

A causa dell'attrito, per ogni giro del volano viene dispersa un'energia

$$2\pi\, M_{fr}$$

per cui la potenza dispersa è

$$P = 2\pi M_{fr}\nu_{vol} = 2\pi M_{fr}\mu\nu_{ped} \qquad (1)$$

Si chiede ad alcuni studenti di cimentarsi con la ciclette, cercando di raggiungere la massima frequenza di pedalata. Questa si misura facilmente e, introdotta nella formula precedente, fornisce la potenza prodotta dalle gambe del ciclista.

Su una bicicletta vera la dispersione di energia avviene, come abbiamo detto, per attrito dell'aria. La forza d'attrito si può stimare con un ragionamento come il seguente. Poniamo che il ciclista abbia area A e viaggi con velocità V. Allora, ogni secondo, colpisce un volume d'aria AV, che ha massa ρAV (se ρ *è* la densità dell'aria: circa 1 kg/m^3). Cede quindi un impulso $(\rho AV)V$. Per il teorema dell'impulso, questo è anche il valore della forza di resistenza dell'aria:

$$F_r = \rho A V^2$$

da cui si ricava la potenza dissipata:

$$P_{diss} = F_r V = \rho A V^3 \qquad (2)$$

Si noti che la potenza dissipata, ovvero quella che bisogna produrre dipende dalla terza potenza della velocità. Se nella (2) si introduce la potenza "indoor" misurata mediante la (1) è possibile fare previsioni sulla velocità raggiungibile "outdoor" da un dato individuo su una bicicletta vera. La naturale conclusione della storia sarebbe una misura, all'esterno, della massima velocità raggiunta in bicicletta; ma questo richiede una strada senza traffico o una pista.

24. LA MACCHINA FOTOGRAFICA

Finalità della dimostrazione: Scoprire la fisica contenuta in un apparecchio di uso comune.
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media- liceo.
Grado di difficoltà concettuale: Facile.
Grado di difficoltà di realizzazione: Elementare
Materiali richiesti: Una stanza oscurabile,
una lente,
una macchina fotografica.
Interesse suscitato: Buono.
Efficacia didattica: Ottima.

1. LA *CAMERA OBSCURA*

L'ideale è avere a disposizione una camera vera e propria perfettamente oscurabile e dotata di una finestra. Si chiude la finestra con grossi cartoni in modo da oscurarla completamente. Si lascia solo un piccolo foro . Dentro la stanza, davanti alla finestra, si colloca uno schermo costituito da un telaio sul quale è tesa della carta da lucidi o una lastra di vetro smerigliato.

Se la giornata è assolata non occorre altro: l'effetto è sempre sorprendente.

Si può osservare che:

tutte le immagini sono a fuoco, indipendentemente dalla distanza degli oggetti;
1) se si praticano due fori si hanno due immagini distinte
2) All'aumentare del diametro del foro la luminosità dell'immagine aumenta ma diminuisce la sua nitidezza
3) la qualità dell'immagine non dipende dalla forma del foro.

2. L'OBIETTIVO

Se si fa passare la luce attraverso una lente convergente, si osserva che
1) due (o più) fori danno un'unica immagine (Fig.24.1).
2) All'aumentare del diametro del foro aumenta la luminosità ma cala la nitidezza . dell'immagine.
3) Solamente una parte dell'immagine è a fuoco. Al variare della distanza tra la lente e lo schermo, cambiano gli oggetti la cui immagine è nitida.
4. Al diminuire del diametro del foro aumenta la PROFONDITA' DI CAMPO.

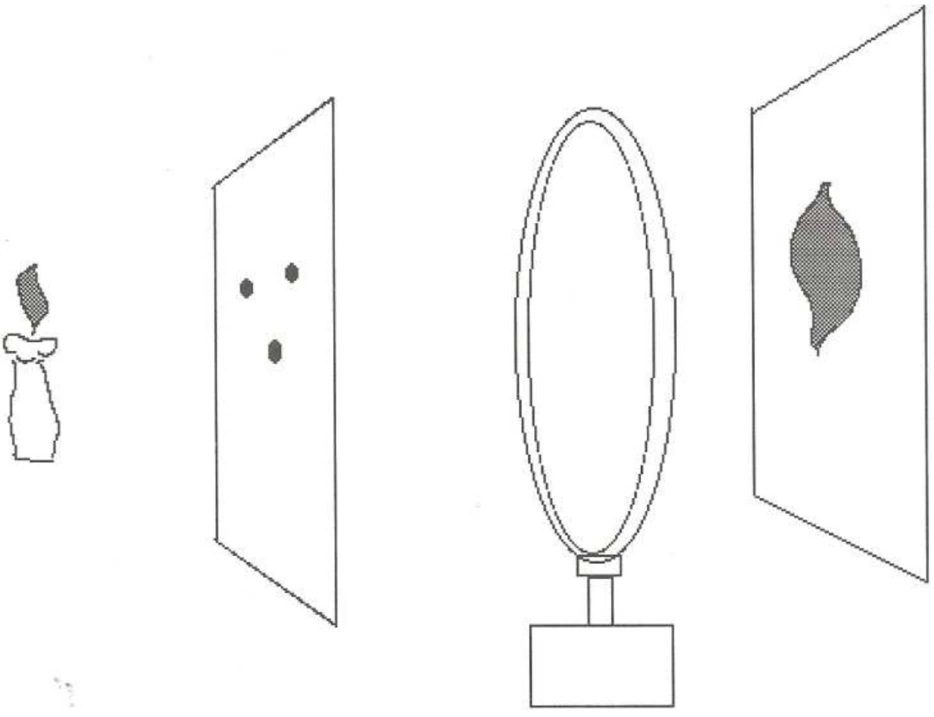

Fig. 24.1. L'oggetto è visto dalla lente attraverso tre fori praticati in uno schermo; tuttavia l'immagine è unica.

Nell'apparecchio fotografico l'apertura del DIAFRAMMA è regolata da una ghiera sulla quale sono riportati i seguenti numeri che caratterizzano aperture decrescenti:

$$2 \quad 2{,}8 \quad 4 \quad 5{,}6 \quad 8 \quad 11 \quad 16 \quad 22$$

Si tratta dei termini di una successione geometrica di ragione $\sqrt{2} \cong 1,4$.

Cioè, ogni termine si ottiene dal precedente moltiplicando per $\sqrt{2}$.

La generazione della successione si può rappresentare geometricamente come in Fig. 24.2.

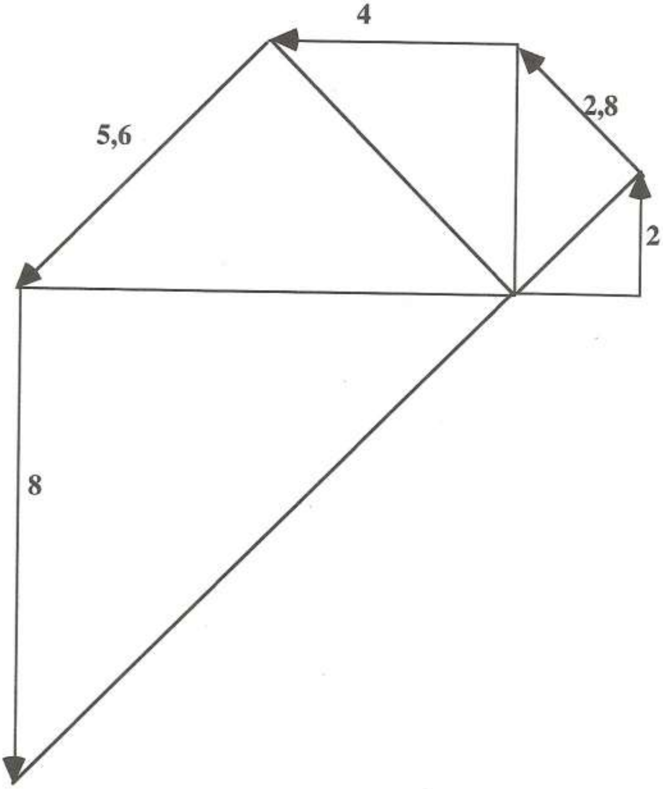

Fig. 24.2. La successione dei valori di apertura del diaframma.

Questi numeri sono proporzionali al diametro del diaframma. Se il rapporto tra due diametri è $\sqrt{2}$, il rapporto delle due aperture è 2.

In realtà, i diametri dei diaframmi sono inversamente proporzionali a questi numeri, ma il loro significato non cambia; quando si passa da un valore del diaframma al suo contiguo, l'area del diaframma viene raddoppiata (o dimezzata).

25. VIBRAZIONI DA UNA DINAMO

Finalità della dimostrazione: Studiare la corrente prodotta da una dinamo da bicicletta
Fascia di età in cui si può proporre: Scuola media - liceo
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Una bicicletta dotata di generatore.
Altoparlante
Oscilloscopio (eventualmente)
Interesse suscitato: Buono
Efficacia didattica: Buona.

Si fa spostare la dinamo della bicicletta dalla ruota anteriore a quella posteriore e si colloca la bicicletta, rovesciata, sul pavimento. Si stacca il filo che collega la dinamo al fanale e con un filo più lungo la si collega ad uno dei due elettrodi dell'altoparlante. Il secondo elettrodo viene collegato ad un altro punto, qualsiasi, della dinamo (Fig. 25.1).

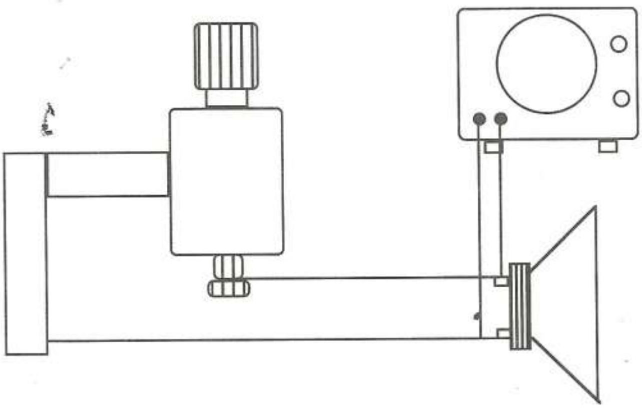

Fig. 25.1. Collegamenti tra la dinamo, l'altoparlante e l'oscilloscopio.

Realizzato il collegamento, non resta che pedalare. L'intensità del suono e la sua altezza crescono all'aumentare della frequenza della pedalata.

Se si ha a disposizione un oscilloscopio si può osservare la forma d'onda (che è, con buona approssimazione, sinusoidale) e misurarne la frequenza che è proporzionale alla frequenza della pedalata.

Indichiamo con μ la moltiplica della bicicletta. Questo significa che, per ogni giro del pedale, la ruota compie μ giri. Se R è il raggio della ruota ed r il raggio del rotore della dinamo, per ogni giro della ruota, il rotore compie $\frac{R}{r}$ rotazioni. Pertanto, ad ogni giro del pedale, corrispondono

$$\mu\frac{R}{r}$$

rotazioni del rotore del generatore. Questo rappresenta il rapporto delle due frequenze.

Se la bicicletta è dotata di cambio, è possibile porre a confronto, fissata la frequenza della pedalata, la frequenza del segnale prodotto con il rapporto scelto.

La cosa più importante è osservare che l'altezza del segnale, misurabile all'oscilloscopio, è direttamente proporzionale alla sua frequenza. Questo è spiegabile in base alla legge dell'induzione elettromagnetica: la f.e.m. indotta é proporzionale alla rapidità con cui varia il flusso del campo magnetico concatenato con il circuito.

26. COMPOSIZIONE DI FORZE

Finalità della dimostrazione: Presentare un caso concreto di composizione vettoriale
Fascia di età in cui si può proporre: liceo
Grado di difficoltà concettuale: Modesto
Grado di difficoltà di realizzazione: Facile
Materiali richiesti: Un pannello, puleggine, spago, pesetti, goniometro.
Interesse suscitato: Soddisfacente
Efficacia didattica: Buona.

COMPOSIZIONE DI FORZE 1

Si realizza la struttura di Fig. 26.1 con tre pesi uguali (qualche etto) e tre piccole carrucole.

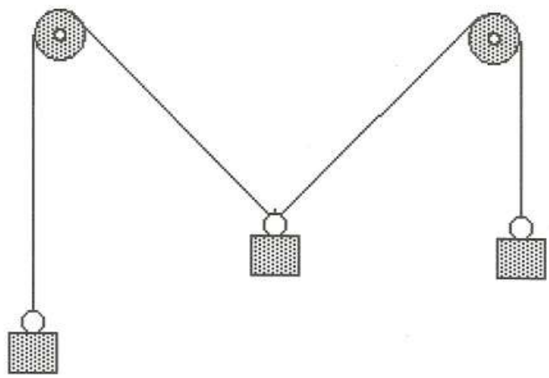

Fig. 26.1. Un filo, teso da due pesi uguali, passa attraverso due carrucole fisse

Si chiede di prevedere quale sarà la disposizione quando alla carrucola centrale verrà appesa la massa C.
Con il goniometro si misura quindi l'angolo formato dalle due metà del filo che sostiene C e lo si confronta con ciò che prevede la composizione dei vettori.