

# Indice

Presentazione.....	pag. 2
Istruzioni per l'uso.....	pag. 3
Cap. 1 – La legge di Boyle.....	pag. 4
Cap. 2 – Raffreddamento di un corpo.....	pag. 9
Cap. 3 – Evaporazione.....	pag. 15
Cap. 4 – La velocità del suono.....	pag. 19
Cap. 5 – Studio del suono emesso da un diapason .....	pag. 24
Cap. 6 – Battimenti.....	pag. 28
Cap. 7 – Intensità di illuminazione e distanza.....	pag. 32
Cap. 8 – La polarizzazione della luce.....	pag. 37
Cap. 9 – La prima legge di Ohm.....	pag. 43
Cap. 10 – La scarica del condensatore in un circuito RC.....	pag. 47
Cap. 11 – Induzione elettromagnetica.....	pag. 52
Appendici:	
Il programma Physics per le calcolatrici TI-89, TI-89 Titanium, TI-92 Plus, Voyage™ TI-200 .....	pag. 57
Per approfondire.....	pag. 69

# Presentazione

Questo quaderno è il secondo<sup>1</sup> dedicato alla Fisica nella collana di libretti pubblicati da Texas Instruments per la didattica delle discipline scientifiche con l'uso delle tecnologie portatili.

E' il frutto dell'esperienza maturata nel corso di molti anni da un gruppo di docenti che si riconoscono nell'Associazione ADT e hanno sperimentato direttamente la validità dell'uso delle tecnologie portatili nel laboratorio di fisica.

Gli esperimenti descritti riguardano Termologia, Acustica, Ottica, Elettromagnetismo e sono stati progettati pensando alle attività di laboratorio più diffuse, che si possono realizzare nelle scuole superiori secondo un curriculum standard.

Gli esperimenti sono realizzabili con attrezzature disponibili in qualunque laboratorio di fisica e con sensori molto comuni, la maggior parte dei quali (temperatura, luce, tensione) in dotazione all'interfaccia CBL2.

Come si vedrà nel corso dei vari capitoli, si possono aprire nuove e interessanti possibilità nella realizzazione degli esperimenti tradizionali facendo uso delle tecnologie portatili per acquisizione dati in tempo reale. Le proposte di questo libretto sono un primo passo per apprezzare le possibilità offerte da queste tecnologie.

Nella bibliografia riportata al termine del volumetto si potranno trovare molti altri esempi e approfondimenti.

---

<sup>1</sup> Il primo libretto può essere scaricato dal sito ADT <http://www.adt.it/>, seguendo il percorso Didattica/Visualizza allegati

# Istruzioni per l'uso

Nelle schede degli esperimenti si fa riferimento al software per calcolatrici **Physics**. Il programma, memorizzato come gruppo di file, *physics.tig* è reperibile nel sito di ADT:

<http://www.adt.it/>

Per scaricarlo, seguire il percorso Didattica/Download Software e attenersi alle istruzioni riportate. Una volta che il programma è stato trasferito sul computer, si può inviarlo alla calcolatrice utilizzando il programma TI Connect.

Tutti gli esperimenti proposti prevedono l'uso di:

- Calcolatrice grafica (Voyage™ 200 o TI-92 Plus, o TI-89 o TI-89 Titanium) con il software Physics
- Interfaccia CBL 2, o LabPro
- Cavetto nero con connessioni “mini-jack” per collegare CBL (o LabPro) a calcolatrice
- Visore View Screen collegato alla calcolatrice, se si desidera mostrare a tutta la classe in tempo reale la costruzione dei grafici e l'analisi dei dati.

Diversi allestimenti sono descritti caso per caso nei vari capitoli e le figure iniziali dovrebbero essere di aiuto al montaggio delle apparecchiature.

Una descrizione sintetica delle istruzioni del programma comuni a tutti gli esperimenti è riportata in Appendice. Il manuale completo del programma può essere scaricato presso il sito IRDIS, alla voce Download:<http://www.fisica.uniud.it/irdis/>

# Capitolo 1

## La legge di Boyle

### Scopo

Si ricerca la relazione tra pressione e volume per un gas mantenuto a temperatura costante. Il gas è l'aria racchiusa in una apposita siringa collegata a un sensore di pressione. Muovendo a mano il pistone si cambia il volume in cui è racchiuso il gas e la pressione varia

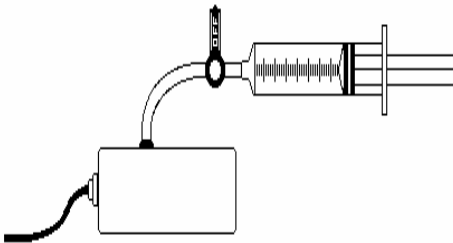


Fig. 1<sup>(2)</sup>

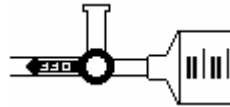


Fig. 2

### Allestimento

Per questo esperimento è richiesto anche:

- Sensore di pressione Vernier (Gas Pressure Sensor) con siringa da  $20 \text{ cm}^3$ . La versione BTA di tale sensore è dotata di connettore per CBL/LabPro, la versione PS-DIN richiede l'uso del cavetto adattatore.

Si collega il sensore di pressione (eventualmente tramite il cavetto adattatore) al canale CH1 del CBL. La siringa in dotazione va inserita nella valvola a tre vie del tubicino di plastica che sporge dal sensore. La levetta blu con la scritta OFF blocca il passaggio dell'aria lungo la

---

<sup>2</sup> Le figure sono tratte da Dan D. Holmquist, Jack Randall, Donald L. Volz, *Chemistry with CBL*, Vernier Software.

via d'accesso su cui è allineata. Nella figura 1 la siringa è in comunicazione con il sensore, mentre nella figura 2 comunica con l'ambiente esterno. Inizialmente, con la siringa in comunicazione con l'ambiente esterno, si solleva il pistone fino alla tacca corrispondente al massimo volume,  $20 \text{ cm}^3$ , poi si ruota la levetta per bloccare il collegamento con l'esterno. Durante l'esperimento si dovrà porre attenzione nel mantenere il più possibile alla stessa temperatura la siringa e quindi il gas contenuto.

E' importante osservare che il valore del volume letto sulla siringa non corrisponde esattamente al volume d'aria da considerare per l'esperimento, in quanto una piccola quantità è racchiusa anche nel tubicino di raccordo. Nel nostro caso a ogni valore letto sulla scala della siringa è stato aggiunto  $1,7 \text{ cm}^3$ . Le considerazioni al termine della scheda suggeriscono due procedimenti per determinare il valore di tale volume "nascosto".

## **Esecuzione**

Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**.

Programmare l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### **a) Impostazione del sensore di pressione**

- Nel menu PREDISP.SONDE che riporta l'elenco dei sensori si seleziona **PRESSIONE**
- Si seleziona l'unità di pressione: ad esempio **kPa** ( $10^3 \text{ Pa}$ )
- Si seleziona il codice del sensore: **GPS-BTA** o **PS-DIN** a seconda del modello (il codice è riportato sulla scatola)
- Si accettano le modalità di calibrazione già impostate

## b) Scelta delle modalità di acquisizione dati

- c) Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE
- Nel menu ACQUISIZIONE si seleziona ACQUIS./DIGITA
  - Su CBL si illumina il led giallo e compare la scritta [START] per acquisire
  - Premere il tasto START/STOP della CBL per acquisire il valore della pressione.
  - Compare la scritta DIGITA VALORE
  - Inserire il valore del volume: si tratta del primo dato, scrivere 21.7 (somma del volume della siringa e del tubicino) e premere **ENTER**
  - Spingere il pistone della siringa in modo che il volume diminuisca di  $2 \text{ cm}^3$
  - Selezionare nel menu apparso sul display ALTRI DATI
  - Si illumina il led giallo, premere [START] sul CBL per acquisire il nuovo valore della pressione.
  - Compare la scritta DIGITA VALORE
  - Inserire il valore del volume: dato che il volume nella siringa è ora  $18 \text{ cm}^3$ , scrivere 19.7 ( $=18+1.7$ ) e premere **ENTER**
  - Ripetere le acquisizioni fino al volume di  $9.7 \text{ cm}^3$  sulla siringa). Non conviene usare volumi più piccoli, perché la pressione crescerebbe troppo rischiando di danneggiare il sensore.
  - Selezionare nel menu apparso sul display STOP:GRAFICO
  - Scegliere CANALE 1
  - Viene visualizzato il grafico pressione vs volume.
  - Uscire dal grafico premendo **ENTER**
  - Se siamo soddisfatti della raccolta dei dati effettuata rispondiamo NO, alla richiesta di ripetere o no l'acquisizione dati, altrimenti ricominciamo la procedura di raccolta.

## Analisi dei dati

I dati raccolti sono rappresentati sul grafico pressione in funzione del volume in figura 3.

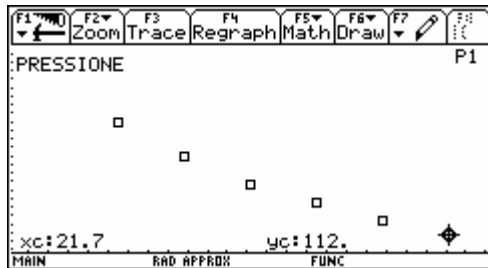


Fig 3 – Grafico della pressione vs volume

L'andamento dei dati suggerisce un'ipotesi di proporzionalità inversa tra le grandezze in esame. Per verificarla proponiamo la ricerca dell'equazione e la costruzione del grafico della curva di interpolazione con le opzioni che il programma Physics mette a disposizione.

Dal menu principale selezionare

**3:ANALISI, 1:GRAFICA/INTERPOLA, 2:INTERPOLAZIONE.**

Per l'asse orizzontale scegliamo **1:tempo o manuale**, quindi per l'asse verticale **2:canale 1**; per le opzioni di grafico **1:solo punti** e per il tipo di interpolazione **4:POTENZA**

Si ottiene il seguente risultato:

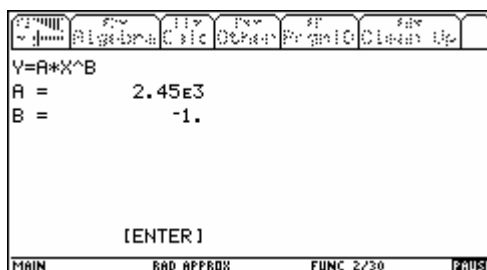


Fig 4 – Calcolo della regressione alla potenza

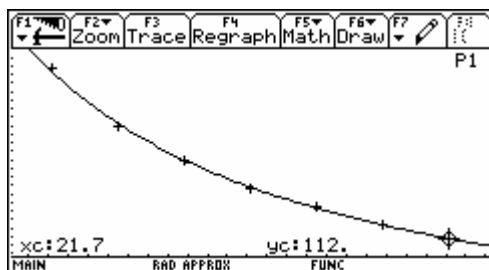


Fig 5 – Grafico pressione vs volume con la curva di regressione

Come si nota dal risultato riportato, abbiamo ottenuto un’equazione del tipo

$$p = A \cdot V^{-B}$$

La curva di interpolazione approssima bene i punti sperimentali confermando la legge di proporzionalità inversa che ci aspettavamo, dato che il valore dell’esponente  $B$  è uguale a  $-1$ .

## Considerazioni sul volume “nascosto”

Il valore del volume di aria “nascosto” può essere determinato, almeno approssimativamente, misurando con un calibro il diametro interno e la profondità del tubicino di raccordo tra siringa e sensore. Anche se il volume in questione è piccolo, una differenza di uno o due centimetri cubici su un volume di dieci–venti  $\text{cm}^3$  incide in misura non trascurabile sui risultati.

Con i ragazzi si può anche seguire un altro procedimento. L’esperimento viene svolto come indicato, ma inserendo i volumi letti sulla siringa, senza alcuna correzione. Al termine si va alla ricerca del valore del volume nascosto elaborando i dati, nell’ambiente di Data/Matrix Editor della calcolatrice e linearizzando i grafici. Il procedimento è riportato nella scheda “La legge di Boyle”, memorizzata in tutti i CD di ADT.

Sui CD si può consultare anche la scheda “La legge dei gas ideali:  $pV = nRT$ ” che descrive una versione più ampia dell’esperimento.



## Capitolo 2

# Raffreddamento di un corpo

### Scopo

Si studia la variazione della temperatura di un corpo che, dopo essere stato sottoposto a riscaldamento, viene lasciato raffreddare nell'ambiente. Si analizzano i dati alla luce della legge di Newton sul raffreddamento.

### Allestimento

Per questo esperimento sono necessari anche:

- sonda di temperatura
- asciugacapelli
- foglio di alluminio del tipo per alimenti (20 cm x 20 cm)

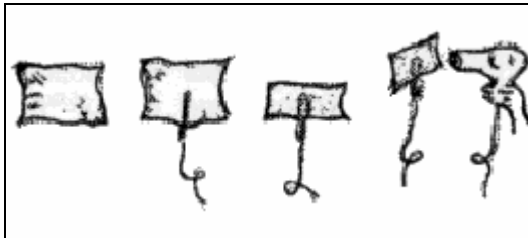


Fig. 1

L'esperienza si esegue riscaldando con un asciugacapelli un foglio di alluminio ripiegato sopra la sonda di temperatura; in poco tempo si raggiunge una temperatura sufficientemente alta, e poi il sistema viene lasciato raffreddare in aria. L'operazione si completa in pochi minuti.

## Esecuzione

Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**.  
Programmare l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### a) Impostazione del sensore di temperatura

- Nel menu PREDISP.SONDE che riporta l'elenco dei sensori si seleziona **una** sonda e poi 8:ALTRO per visualizzare il menu successivo e poi 6:TEMPERATURA
  - Connettere la sonda al canale 1 e premere **ENTER**.
- Il sensore è già precalibrato.

### b) Misura della temperatura ambiente

Nell'esperienza è necessario tenere conto della temperatura ambiente; se ne può misurare il valore direttamente con la strumentazione in uso:

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE e poi MONITORAGGIO

Leggere il valore della temperatura ambiente misurato dalla sonda e premere “+” per uscire. Nel nostro caso la temperatura ambiente è risultata:

$$T_a = (28,2 \pm 0,1)^\circ\text{C}.$$

### c) Scelta delle modalità di acquisizione dati

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE
- Nel menu ACQUISIZIONE si seleziona GRAFICO vs TEMPO
- Inserire 5 secondi come intervallo di campionamento e 40 come numero di campionamenti, per una durata di 200 s
- Selezionare OK se non si vogliono modificare i valori inseriti
- Con questa frequenza di acquisizione è possibile visualizzare il grafico durante l'acquisizione; scegliere l'opzione 2; inserire i valori:  $y_{\min} = 0$ ,  $y_{\max} = 100$ ,  $y_{\text{sc1}} = 1$  (così si predispongono la

tracciatura in un grafico con la scala verticale per la temperatura che va da 0 a 100 gradi).

Il sistema è così pronto per acquisire, ma bisogna ora predisporre l'esperimento.

#### **d) Preparazione dell'esperimento**

Dopo aver posto la sonda al centro del foglio di alluminio (figura 1), si piega quest'ultimo in due parti cercando di farlo aderire il più possibile alla sonda stessa.

Con l'asciugacapelli si riscalda il foglio per qualche tempo, fino a quando la sua temperatura raggiunge un valore di almeno 50 °C.

Spegnere l'asciugacapelli, attendere qualche istante perché il sensore si porti alla temperatura del foglio (all'inizio si ha un forte gradiente termico, che si riduce al cessare del riscaldamento).

- Per cominciare l'acquisizione dei dati premere **ENTER**
- Durante la misura, sullo schermo della calcolatrice è visualizzato il grafico con i valori della temperatura in funzione del tempo. La scritta BUSY in basso a destra indica che la misura è in corso. Ogni volta che il sistema acquisisce un dato compare un punto sul grafico.
- Al termine il programma comunica di avere memorizzato i tempi nella lista L1 e i valori corrispondenti della temperatura nella lista L2.
- Scegliere CANALE 1 dal menu GRAFICO per visualizzare il grafico temperatura verso tempo.
- Uscire dal grafico premendo **ENTER**.
- Se siamo soddisfatti della raccolta dei dati effettuata rispondiamo NO, alla richiesta di ripetere o no l'acquisizione dati, altrimenti ricominciamo la procedura di raccolta.

## Analisi dei dati

I dati raccolti della temperatura in funzione del tempo sono riportati in figura 2.

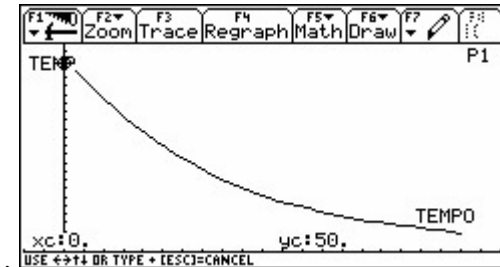


Fig 2 – Grafico della temperatura vs tempo

La distribuzione dei dati, dal valore iniziale di 50°C a quello finale di 29,5°C, suggerisce un andamento esponenziale ed è logico pensare che tenda asintoticamente alla temperatura ambiente.

La teoria fornisce, con la legge del raffreddamento di Newton, il collegamento tra temperatura  $T$  e tempo  $t$  espresso dalla relazione:

$$T = (T_0 - T_a) e^{-kt} + T_a$$

essendo  $T_0$  la temperatura al tempo  $t=0$ ,  $T_a$  la temperatura ambiente e  $k$  un parametro che dipende sia dalla capacità termica del foglio che dal suo accoppiamento termico con l'aria.

Controlliamo se i dati raccolti sono in accordo con la legge di Newton del raffreddamento. A questo scopo, tramite le opzioni che il programma mette a disposizione, dovremo sottrarre a tutti i dati raccolti il valore di  $T_a$ , così che l'andamento della temperatura ( $T - T_a$ ) tenda a zero.

Prima di tutto è opportuno salvare il file dei dati, seguendo le istruzioni riportate in Appendice.

Poi, dal menu principale selezionare 3:ANALISI, 6: MANIPOLA DATI e successivamente 5: Trasn.Lineare. Dopo aver

scelto il canale 1, si inserisce il valore -28,2 (temperatura ambiente nel nostro caso) alla richiesta di somma per la lista L2, contenente i valori di temperatura (figura 3). Si preme **ENTER** alla successiva richiesta e si ritorna al menu ANALISI.



Fig. 3

Selezionando 5: GRAFICO vs TEMPO si può visualizzare il nuovo grafico (fig.4), la cui forma è del tutto simile a quello iniziale, ma con i dati traslati del valore della temperatura iniziale.

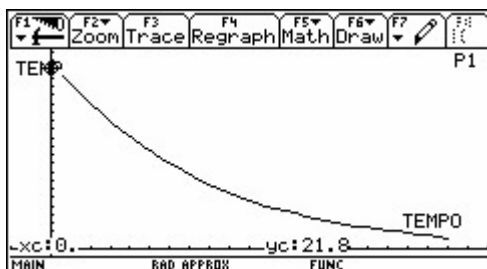


Fig.4

Per cercare la curva di regressione, dal menu ANALISI si sceglie 1:GRAFICA/INTERPOLA, 2:INTERPOLAZIONE. Per l'asse orizzontale scegliamo 1:tempo o manuale, quindi 2:canale 1, per l'asse verticale; per le opzioni di grafico 1:solo punti e il tipo di regressione 3:ESPONENZ.

Si ottiene il seguente risultato:

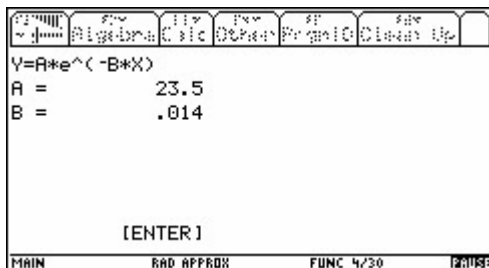


Fig 5 – Calcolo della regressione esponenziale

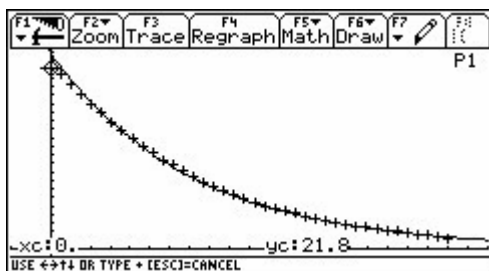


Fig 6 – Grafico temperatura vs tempo con la curva di regressione

La curva di regressione approssima bene i punti sperimentali.

# Capitolo 3

## Evaporazione

### Scopo

Con questo esperimento ci proponiamo di analizzare qualitativamente il fenomeno dell'evaporazione, studiando il raffreddamento in aria di due sonde, una bagnata e l'altra asciutta, precedentemente riscaldate alla stessa temperatura.

### Allestimento

Per questo esperimento sono richiesti anche:

- 2 sensori di temperatura
- Un recipiente contenente acqua a circa  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$



Si riscalda un bicchiere d'acqua e vi si immergono le due sonde per portarle alla stessa temperatura. Dopo l'estrazione dall'acqua, una delle due viene rapidamente e delicatamente asciugata, l'altra è lasciata bagnata. Si raccolgono i valori delle temperature delle due sonde per un certo intervallo di tempo e al termine si confrontano i loro andamenti.

### Esecuzione

Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**.  
Programmare l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

#### a) Impostazione dei sensori di temperatura

Nel menu PREDIP.SONDE, dopo aver selezionato DUE per impostare il numero delle sonde che si intendono usare, si sceglie TEMPERATURA dall'elenco dei sensori proposti e si collega la prima sonda al canale 1 del CBL. Quando ricompare il menu con l'elenco dei sensori si ripetono le precedenti operazioni per predisporre la seconda sonda, che verrà collegata al canale 2 del CBL.

#### **b) Misura della temperatura ambiente**

- Nel menu principale si seleziona ACQUISIZIONE e poi MONITORAGGIO. Si prende nota dei valori indicati dai due sensori mentre registrano la temperatura ambiente; si torna al menu precedente premendo [+]
- Si immergono le due sonde nel bicchiere con l'acqua calda e si aspetta che la temperatura misurata si stabilizzi. Lasciando ancora immerse nell'acqua calda le due sonde, si passa alla predisposizione dell'acquisizione.

#### **c) Scelta delle modalità di acquisizione dati**

- Nel menu ACQUISIZIONE si seleziona GRAFICO vs TEMPO
- Si inseriscono il tempo di campionamento (5 s) e il numero di campionamenti (50). Nel nostro caso la registrazione dei dati avrà la durata di 250 s.

Nel menu successivo “QUANDO TRACCIO?” per visualizzare i grafici in tempo reale nel corso dell'acquisizione selezionare DURANTE ACQUISIZIONE e fornire i dati necessari all'impostazione del grafico:

- a) valore minimo della temperatura: qualche grado al di sotto della temperatura ambiente
- b) valore massimo della temperatura: temperatura di poco superiore a quella dell'acqua
- c) fattore di scala: 1

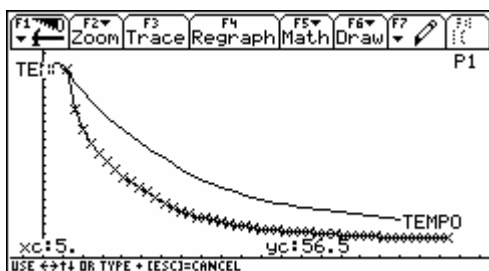


Il sistema ora è pronto per iniziare la registrazione dei dati.

Far partire l'acquisizione e dopo un paio di misure estrarre le due sonde, asciugarne una delicatamente e rapidamente con un fazzolettino di carta e lasciarle poi entrambe raffreddare in aria senza agitarle.

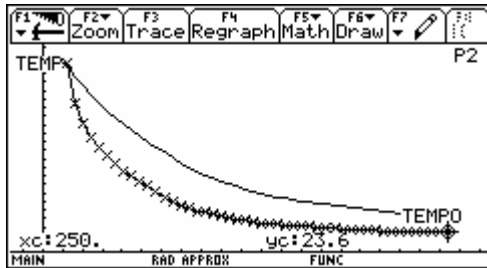
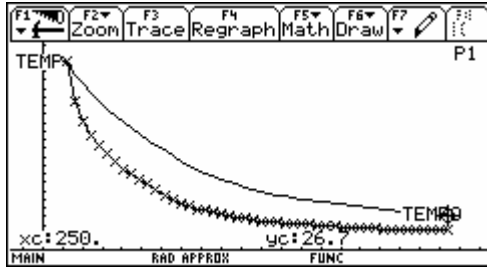
## Analisi dei dati

Al termine dell'acquisizione si possono visualizzare i due grafici contemporaneamente selezionando, nel menu SCELTA GRAFICO, il comando ENTRAMBI:

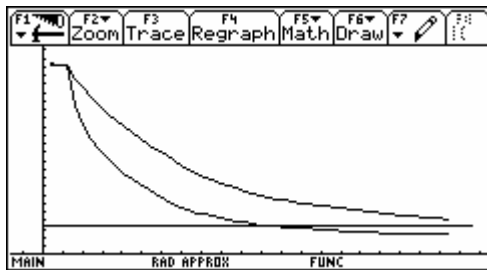


I valori della temperatura della sonda bagnata sono rappresentati da crocette, quelli della sonda asciutta da punti. Facendo scorrere il cursore è possibile conoscere i valori della temperatura iniziali e finali e confrontarli con la temperatura ambiente, che in questo caso era di 25.5 °C.

Le due sonde partono dallo stesso valore di temperatura (56.5 °C). Nella fase iniziale il raffreddamento della sonda bagnata, per il fenomeno della evaporazione, è più rapido. Nello stesso intervallo di tempo le sonde arrivano all'incirca alla stessa temperatura, vicina a quella ambiente, come si osserva nei due grafici sotto riportati: 26.7°C per la sonda asciutta, 23.6°C per l'altra.



Una analisi più approfondita porta però a osservare che la sonda bagnata addirittura raggiunge una temperatura inferiore a quella ambiente, come si vede nel grafico sotto riportato, in cui la temperatura ambiente è indicata da una linea orizzontale.



# Capitolo 4

## La velocità del suono

### Scopo

Si determina la velocità del suono misurando il tempo che un breve impulso sonoro impiega a percorrere un tubo di lunghezza nota.

### Allestimento

L'esperimento richiede

- Un dispositivo da laboratorio per lo studio del suono, tipo “canne d'organo”. In alternativa, un tubo per impianti idraulici in plastica di diametro 3-4 cm, lungo da 1 a 2 m (nel nostro caso 1,25 m).
- Un microfono collegato all'interfaccia
- Facoltativi: un coperchio di metallo per chiudere il tubo e una capsula da barattoli per conserve alimentari per produrre il suono



Fig. 1

Si chiude il tubo ad un'estremità, oppure lo si appoggia con una estremità aderente ad una parete liscia, che serve da chiusura. Il microfono viene disposto rivolto verso l'estremità aperta, appena fuori dal tubo (Fig. 1). Si misura con un metro e si annota la lunghezza del tubo.

Il suono di cui si vuole studiare la velocità deve essere costituito da un impulso breve e di forma ben definita. Questo si può produrre in vari modi, anche semplicemente facendo schioccare le dita. Nel nostro esempio si usa una capsula metallica da barattolo di conserve: si preme rapidamente il centro della capsula e si mantiene premuto in modo che non si rilasci, per avere un solo scatto.

## **Esecuzione**

Si accende la calcolatrice e si avvia il programma **Physics**. Si programma l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### **a) Impostazione del microfono**

- Nel menu PREDISP.SONDE che riporta l'elenco dei sensori si seleziona TENSIONE  $\pm 10V$ . In questo modo si preleva un segnale di tensione svincolandosi dai limiti di tempo imposti dal programma per il sensore di suono.
- Si sceglie di non cambiare la calibrazione

### **b) Predisposizione della modalità di Trigger**

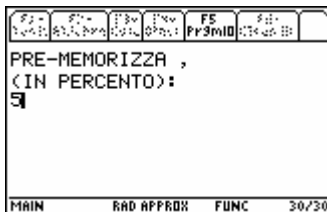
La misura deve durare un tempo brevissimo e il suono, riflettendosi all'interno del tubo, si smorza rapidamente, perciò la rilevazione non può essere avviata manualmente. Si usa il Trigger in modo che il programma entri automaticamente in funzione appena il suono raggiunge un valore di soglia prestabilito

- Dal MENU PRINCIPALE si seleziona 4:TRIGGERING, poi 2:CANALE 1

- Alla richiesta su quale TIPO DI TRIGGER si preferisce, se CRESCENTE o DECRESCENTE, si può selezionare indifferentemente l'una o l'altra opzione. In entrambi i casi come SOGLIA DI TRIGGER si deve scegliere un valore intermedio tra zero e il massimo o il minimo che si pensa possa assumere la tensione. Se non si vuole procedere per tentativi, conviene fare una prova preliminare senza trigger: si programma un'acquisizione (vedi passo successivo) per un tempo totale di qualche secondo e si registra il rumore prodotto dallo scatto della capsula. Dai valori che raggiunge la tensione ai capi del microfono nel picco del rumore che si osserva si ricava una indicazione attendibile sulla soglia di trigger. Nel nostro caso, 0.5 volt.



- La richiesta successiva riguarda il pre-trigger, cioè la porzione di grafico che deve essere registrata prima che la tensione raggiunga il valore di soglia. Si digita un valore (nell'esempio il 5 %) che consenta di osservare l'intero segnale che dà il via alla misura



c) **Scelta della modalità di acquisizione dati e del tempo di campionamento**

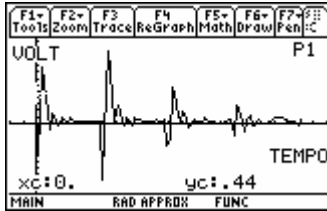
- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE e poi GRAFICO vs TEMPO
- Si inseriscono il tempo di campionamento e il numero delle acquisizioni. Nell'esempio riportato, con un tubo lungo 1.25 m si è scelto di effettuare un campionamento ogni 0.003 s per 100 volte, con un tempo totale di 0.03 s
- Una volta terminata la preparazione il sistema avverte che premendo **ENTER** non si darà il via all'acquisizione, come avviene di solito, ma si disporrà il sistema in attesa del suono che attiverà il rilevamento dei dati:



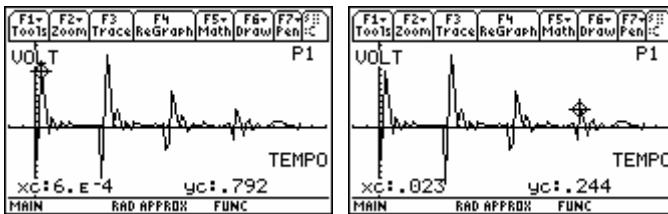
Dopo aver premuto **ENTER** bisogna procedere con una certa cautela, per non correre il rischio che qualche rumore indesiderato faccia partire l'acquisizione prima del necessario. Naturalmente se questo dovesse avvenire si segue la procedura consueta per ripetere il rilevamento.

## Analisi dei dati

Al termine dell'acquisizione, si visualizza il grafico con l'andamento del suono in funzione del tempo



Si osservano diversi picchi di segnale, in quanto il suono ha subito più riflessioni, ritornando al microfono per almeno tre volte. Si muove il cursore lungo il grafico, posizionandolo in corrispondenza del primo e del quarto picco per determinare il valore dell'intervallo di tempo, che nel nostro caso risulta di 0.023 s.



In questo intervallo di tempo il suono ha percorso una distanza pari a 6 volte la lunghezza del tubo,  $l=1.25$  m. La velocità risulta quindi:

$$v = \frac{6l}{t} = \frac{6 * 1.25 \text{ m}}{0.023 \text{ s}} = 326 \text{ m/s}$$

# Capitolo 5

## Studio del suono emesso da un diapason

### Scopo

Si rileva il suono emesso da un diapason, se ne riconosce l'andamento sinusoidale e se ne misura la frequenza. Si analizzano le variazioni prodotte sul suono quando si aggiunge un peso ai rebbi del diapason.

### Allestimento

L'esperimento richiede anche:

- un diapason con martelletto e manicotto da inserire ad uno dei rebbi per appesantirlo
- un microfono collegato all'interfaccia.

Il microfono viene disposto davanti alla cassa del diapason.





## Esecuzione

Si accende la calcolatrice e si avvia il programma **Physics**. Si programma l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### a) Impostazione del microfono

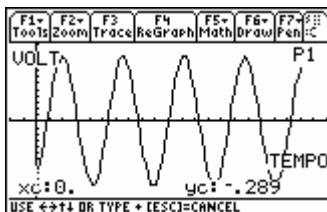
- Nel menu PREDISP.SONDE che riporta l'elenco dei sensori si seleziona MICROFONO
- Il messaggio che compare informa che in assenza di altri sensori il tempo di campionamento deve essere compreso tra 20[s e 100[s

### b) Scelta delle modalità di acquisizione dati e del tempo di campionamento

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE e poi GRAFICO vs TEMPO
- Si inseriscono il tempo di campionamento (0.0001 s) e il numero delle acquisizioni (100), per un tempo totale pari a 0.01 s
- Con il martelletto si percuote il diapason (senza manicotto) e, mentre questo continua a vibrare, si preme **ENTER** per dare il via all'acquisizione.

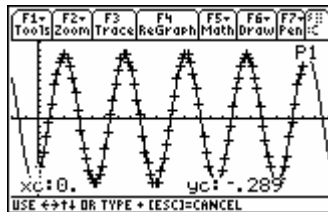
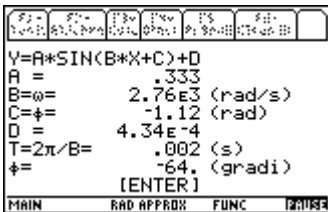
## Analisi dei dati

Al termine dell'acquisizione, si visualizza il grafico con l'andamento del suono registrato dal microfono:



Si osserva l'andamento sinusoidale del segnale. Muovendo il cursore lungo il grafico, si possono determinare i valori delle tre grandezze (ampiezza, frequenza e fase) che, come è noto, caratterizzano i fenomeni ondulatori. E' opportuno, però, far notare che di queste misure solo la seconda è significativa in questo contesto. Infatti l'intensità del suono (riportata in volt dallo strumento) dipende da fattori non facilmente controllabili e la fase è del tutto casuale, perciò ripetendo più volte la misura si otterranno valori di volta in volta diversi. La frequenza, invece, dipende solo da come è costruito il diapason e non da come viene eseguita la misura.

Per determinare la frequenza si torna al menu **3:ANALISI, 1:GRAFICA/INTERPOLA** e si procede in modo da ottenere una regressione sinusoidale. Premendo **ENTER** una prima volta si ottiene l'equazione della sinusoide con i valori dei relativi parametri. La seconda volta si visualizza la curva di regressione sovrapposta ai dati.

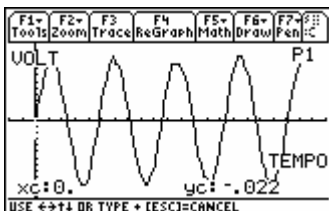


Dal valore di  $B$ , che corrisponde alla pulsazione  $\omega$ , si ricava la frequenza

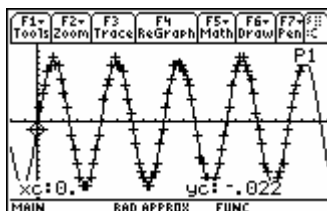
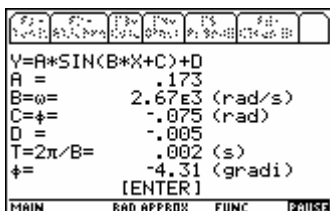
$$f = \frac{B}{2\pi} = 440\text{Hz}$$

in accordo con il valore dichiarato dal costruttore del diapason.

Se si ripete la misura dopo avere appesantito uno dei due rebbi con uno dei piccoli manicotti che corredano il diapason, si ottiene una sinusoide dal periodo leggermente diverso



Ripetendo le operazioni precedenti si ottiene l'equazione della nuova sinusoide e della curva di regressione:



Il valore di  $\omega$ , come previsto, è minore e la frequenza vale 425 Hz.

# Capitolo 6

## Battimenti

### Scopo

Ci si propone di studiare il fenomeno dei battimenti nella sovrapposizione del suono emesso da due diapason di frequenza leggermente diversa. Si misura la frequenza del suono emesso da ciascuno dei due diapason e la frequenza dei battimenti. Si verifica che la frequenza dei battimenti è pari alla differenza tra le frequenze dei due diapason

Anche all'ascolto si avverte distintamente che con due diapason di frequenze poco diverse l'intensità del suono non è uniforme, ma si alza e si abbassa rapidamente; arrestando con una mano la vibrazione di uno dei due diapason il suono ritorna uniforme. Invece, se i due diapason sono identici ed emettono suoni di uguale frequenza, il suono che si ascolta è uniforme e, arrestando uno dei due, il suono diminuisce improvvisamente di intensità ma rimane con lo stesso tono. Se si registra con il microfono la sovrapposizione dei due suoni si ottiene, infatti, un segnale sinusoidale con la medesima frequenza di ognuno dei due diapason.

### Allestimento

L'esperimento richiede anche:

- due diapason con relativo martelletto e manicotto da fissare ai rebbi di uno dei diapason in modo da ridurne la frequenza
- un microfono collegato all'interfaccia

Quando si colloca il manicotto su uno dei rebbi di uno dei due diapason è necessario che il manicotto sia fissato strettamente, per evitare un rapido smorzamento del suono.

Come si può prevedere e verificare, effettuando più prove, la variazione di frequenza dovuta al manicotto è tanto maggiore quanto più questo viene collocato in alto.

I due diapason vengono disposti con le casse vicine una all'altra e il microfono al centro davanti alle loro aperture. Se i battimenti rilevati non sono abbastanza netti, si possono disporre le casse in modo che il suono dei due diapason giunga al microfono da direzioni convergenti, con un angolo che può arrivare fino a  $90^\circ$ .



## Esecuzione

Si accende la calcolatrice e si avvia il programma **Physics**. Si programma l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### a) Impostazione del microfono

- Nel menu PREDISP.SONDE che riporta l'elenco dei sensori si seleziona TENSIONE  $\pm 10V$ . In questo modo ci si svincola dai limiti di tempo imposti dal programma nell'uso del microfono.

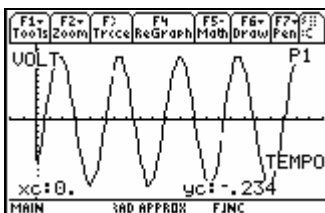
### b) Scelta delle modalità di acquisizione dati e del tempo di campionamento

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE e poi GRAFICO vs TEMPO

- Si inseriscono il tempo di campionamento e il numero delle acquisizioni.  
Per determinare le frequenze dei due diapason o per verificare che nella sovrapposizione dei suoni emessi dai due diapason in condizioni identiche si ottiene ancora una sinusoide, si procede come descritto nel cap. 5: tempo di campionamento 0.0001 s, 100 dati, per un tempo totale di 0.01 s. Per cogliere i battimenti si devono selezionare tempi molto più lunghi: 0.001 s con 200 dati, per un tempo totale di 0.2 s
- Con il martelletto si percuotono i due diapason e, mentre questi continuano a vibrare, si preme **ENTER** per dare il via all'acquisizione.

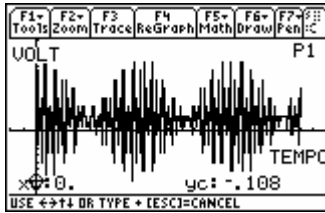
## Analisi dei dati

Facendo oscillare i due diapason in condizioni identiche (senza manicotto) e registrando con il microfono il suono che risulta dalla sovrapposizione, si esegue una misura come descritto nel cap. 5.

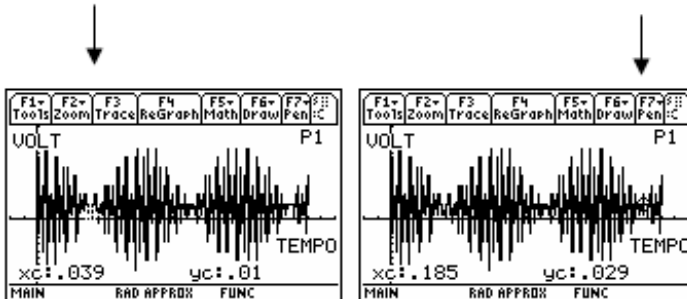


Si osserva che il segnale registrato, indipendentemente dalle diverse ampiezze e dalla fase dei suoni emessi dai due diapason, ha un andamento sinusoidale. Si può controllarne la frequenza, seguendo il procedimento descritto nel cap. 5, e si verificherà che risulta uguale a quella dei due diapason presi singolarmente.

Dopo avere appesantito uno dei diapason con il manicotto e modificato i tempi di acquisizione come descritto sopra (0.001 s con 200 dati), si ripete la misura.



Il grafico che si ottiene mostra chiaramente la presenza di battimenti. Per ricavare il periodo di battimento si segue con il cursore l'andamento del grafico e si annotano i valori del tempo corrispondente al primo e all'ultimo minimo di ampiezza. Le frecce indicano la posizione del cursore sui due grafici; i relativi valori di  $x_c$  individuano l'istante di tempo dei due battimenti:



Il periodo del battimento perciò risulta:

$$T_b = \frac{(0,185 - 0,039)}{2} s = 0,073 s$$

La frequenza è:  $f_b = 14 \text{ Hz}$

Il valore è in ottimo accordo con quello che si ottiene dalla differenza tra le frequenze determinate separatamente per i due diapason e riportate nel capitolo 5, che valgono rispettivamente 440 Hz e 425 Hz.

# Capitolo 7

## Intensità di illuminazione e distanza

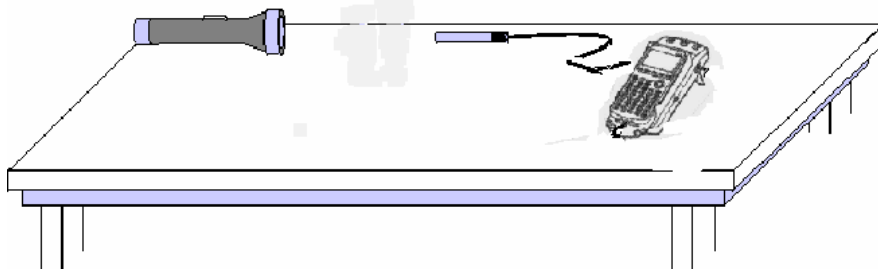
### Scopo

Con questo esperimento ci proponiamo di studiare come varia l'intensità di illuminazione su uno schermo quando si aumenta la distanza tra la sorgente, che può essere considerata puntiforme, e lo schermo stesso.

### Allestimento

Per questo esperimento sono richiesti anche:

- Un sensore di luce TI
- Una lampada a filamento concentrato (es. torcia)
- Un supporto che può essere realizzato con elementi modulari



Per una buona riuscita dell'esperimento è bene avere alcuni accorgimenti. La sorgente di luce deve essere “puntiforme”, e per questo occorre una lampada (meglio se alimentata a batteria o a corrente continua) con un filamento concentrato. Alcuni tipi di torcia



si prestano bene all'uso. Per evitare luce riflessa si può racchiudere l'estremità del sensore di luce con un cilindretto di cartoncino che consenta l'arrivo solo della luce diretta. Per ridurre il più possibile gli effetti della luminosità di fondo conviene azzerare il sensore con la procedura illustrata più avanti.

Il sensore legge l'intensità luminosa in unità di  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . La lettura va da zero a  $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$  a fondo scala. E' sensibile anche alla radiazione nel vicino infrarosso.

## **Esecuzione**

Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**.

Programmare l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### **a) Impostazione del sensore di luce**

Nel menu PREDIP.SONDE, dopo aver selezionato UNO per impostare il numero delle sonde che si intendono usare, si seleziona dall'elenco LUCE e come sensore TI Light Probe; si accettano le modalità di calibrazione già impostate e si collega la sonda di luce al canale 1 del CBL.

### **b) Azzeramento del sensore**

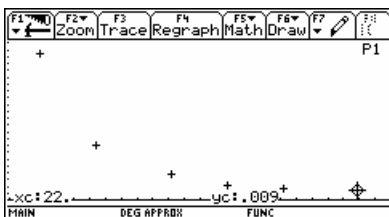
E' bene eseguire l'esperienza lontano da fonti di luce intense ma anche in queste condizioni è importante eliminare gli effetti della luminosità di fondo.

- Nel menu principale si seleziona AZZERAMENTO
- Nel menu AZZERAMENTO si seleziona CANALE 1.
- Per azzerare si preme [+]. In questo modo viene posta uguale a zero l'intensità della luce dell'ambiente in cui si lavora a lampada spenta.

### **c) Scelta delle modalità di acquisizione dati**

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE
- Nel menu ACQUISIZIONE si seleziona ACQUIS./DIGITA

Il sistema ora è pronto per iniziare l'acquisizione dei valori dell'intensità luminosa e dei corrispondenti valori della distanza lampada/schermo, inseriti manualmente. In questo caso abbiamo iniziato da una distanza di 5 cm ed abbiamo registrato i valori dell'intensità d'illuminazione corrispondenti a 6 posizioni della lampada; ad ogni misura la distanza è stata aumentata di 3 o 4 cm. Terminata l'acquisizione si seleziona STOP: GRAFICO.



Si sa che l'intensità di illuminazione  $I$  di una sorgente puntiforme è inversamente proporzionale al quadrato della distanza  $d$  tra schermo e sorgente:

$$I = \frac{k}{d^2}$$

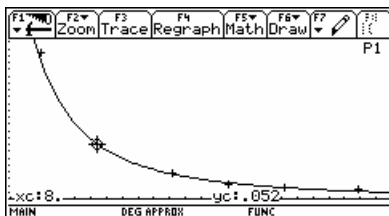
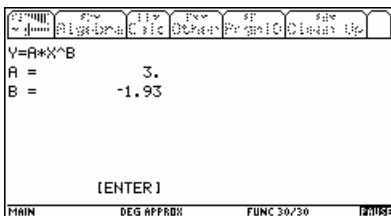
Vedremo nella successiva analisi se il grafico conferma, come sembra a prima vista, tale relazione.

## Analisi dei dati

Per verificare la bontà dei dati sperimentali si seleziona:

- ANALISI dal MENU PRINCIPALE
- GRAFICA/INTERPOLA dal menu ANALISI

e si procede alla ricerca della curva del tipo  $y = bx^a$  che meglio approssima i valori registrati. L'interpolazione corretta, nel nostro caso, si ottiene selezionando POTENZA nel menu interpolazione.



Il risultato ottenuto conferma con buona approssimazione il valore previsto dalla teoria.

### Un procedimento alternativo

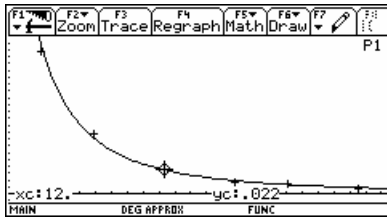
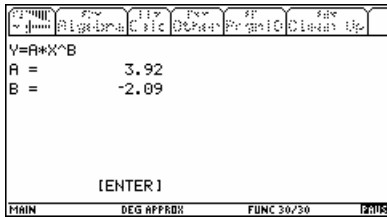
Si può eseguire l'esperimento registrando i dati senza aver prima azzerato il sensore; in questo caso la legge che si vuole verificare è del tipo  $I = \frac{k}{d^2} + I_0$ , dove  $I_0$  rappresenta il valore della luminosità di fondo.

Prima di iniziare la misura, dal menu ACQUISIZIONE si seleziona MONITORAGGIO e si legge il valore che registra il sensore a lampada spenta. Nel nostro caso questo valore è 0,024 W/cm<sup>2</sup>.

Terminata l'esecuzione della misura dal menu ANALISI si seleziona MANIPOLA DATI e successivamente TRASFORM. LINEARE. Nella finestra che si apre si indica il valore che si vuole sommare agli elementi della lista L2: -0,024:



Quindi si procede all'analisi dei dati sulla base dell'ipotesi:  $I_1 = \frac{k}{d^2}$ , (dove  $I_1 = I - I_0$ ) e si ottengono i seguenti risultati:



Anche in questo caso il valore di B non si discosta molto da quello previsto teoricamente, l'incertezza si mantiene infatti intorno al 4 %.

# Capitolo 8

## La polarizzazione della luce

### Scopo

Si misura l'intensità della luce che passa attraverso due filtri polarizzatori e si analizza il grafico in funzione dell'angolo tra gli assi dei polarizzatori.

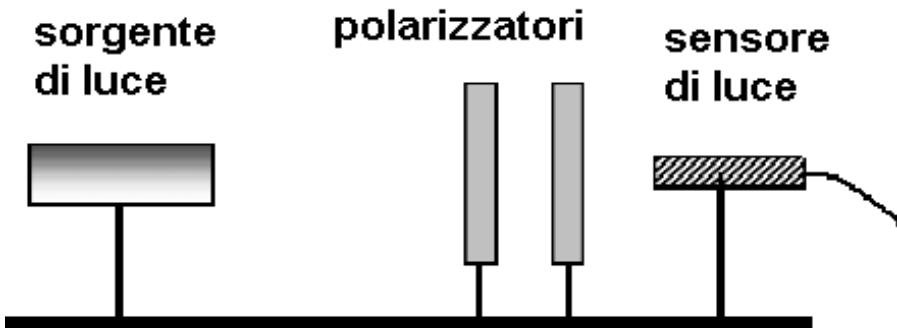


Fig. 1

### Allestimento

Per questo esperimento sono richiesti:

- Sensore di luce TI
- Sorgente di luce (preferibile laser He-Ne, o diodo laser)
- Due filtri polarizzatori

Si predispongono l'esperimento come in figura 1. Per impedire l'"accecamento" del sensore di luce, è opportuno allargare il fascio, collocando lungo il percorso una lente divergente, in modo che la quantità di luce intercettata sia minore. Il sensore legge l'intensità

luminosa in unità di  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . La lettura va da zero a  $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$  a fondo scala.

E' bene anche ridurre il più possibile la luce diffusa intercettata dal sensore. Si può eventualmente fare uso della procedura di AZZERAMENTO del sensore per eliminare via software tale valore di fondo.

Partendo con i polaroid ad assi paralleli, in modo che passi la massima quantità di luce, si ruota l'analizzatore di dieci gradi in dieci gradi, fino a  $180^\circ$ , misurando ogni volta la quantità di luce che giunge sul sensore.

## Esecuzione

Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**.

Programmare l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### a) Impostazione del sensore di luce

- Nel menu PREDISP.SONDE che riporta l'elenco dei sensori si seleziona LUCE e come sensore TI Light Probe, che viene connesso al canale 1 del CBL
- Si accettano le modalità di calibrazione già impostate

### b) Acquisizione dati

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE e successivamente 3.ACQUIS./DIGITA
- Sul display della calcolatrice compare la scritta [START] PER ACQUISIRE e sul CBL si accende il led giallo; allineare i filtri polarizzatori in modo che i loro assi siano paralleli, poi premere il pulsante del CBL2 con la scritta START/STOP; viene acquisito il valore misurato dal sensore.
- Sul display della calcolatrice compare il messaggio DIGITA VALORE.
- Inserire il valore dell'angolo tra gli assi dei polarizzatori e premere **ENTER**

- Selezionare, nel menu apparso sul display, l'opzione 1:ALTRI DATI.
- Si illumina il led giallo sul CBL e compare la scritta [START ] PER ACQUISIRE; ruotare di dieci gradi l'angolo tra gli assi dei polarizzatori e premere il pulsante del CBL2 con la scritta START/STOP; viene acquisito il valore misurato dal sensore.
- Sul display della calcolatrice compare il messaggio DIGITA VALORE.
- Inserire il valore dell'angolo tra gli assi dei polarizzatori e premere **ENTER**
- Ripetere le operazioni precedenti ruotando ogni volta di dieci gradi l'angolo tra gli assi dei polarizzatori, dopo l'ultima acquisizione, selezionare nel menu apparso sul display 2: STOP:GRAFICO.
- Nella finestra SCELTA GRAFICO selezionare CANALE 1
- Viene visualizzato il grafico con l'intensità luminosa in funzione dell'angolo.
- Premere **ENTER**, scegliere 7: ESCI per uscire dall'ambiente
- Se siamo soddisfatti della raccolta dei dati effettuata rispondiamo NO alla richiesta di ripetere l'acquisizione dati, altrimenti ricominciamo la procedura di raccolta.

## **Analisi dei dati**

Dal menu ANALISI , alla voce 5:GRAFICO vs TEMPO, CANALE 1, si può rivedere il grafico ottenuto con i dati dell'intensità luminosa in funzione dell'angolo, nel nostro caso da 30° a 150°.

Il valore dell'intensità luminosa va da un massimo iniziale, in corrispondenza dell'angolo di 30°, al minimo per l'angolo di 90° (polarizzatori incrociati) per ritornare al valore iniziale al termine dell'acquisizione (150°).

Premendo il tasto [F3] Trace ci si sposta sui punti del grafico e se ne leggono le coordinate in basso nel display della calcolatrice. Si annota il valore di massima intensità luminosa e quello di minima (<sup>3</sup>).

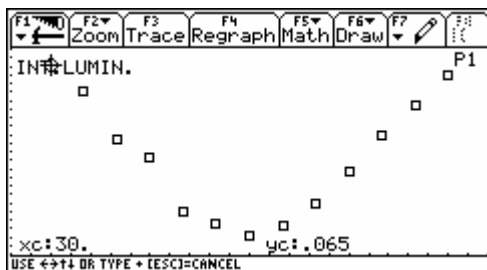


Fig 2 – Grafico della intensità di illuminazione in funzione dell'angolo tra i polarizzatori

Secondo la legge di Malus il collegamento tra intensità luminosa  $I$  e angolo  $\alpha$  può essere espresso dalla relazione:

$$I = I_0 \cos^2(\alpha)$$

essendo  $I_0$  l'intensità luminosa massima.

Per confrontare l'andamento dei dati sperimentali con la relazione prevista dalla legge di Malus è necessario uscire da **Physics**, dopo aver salvato i dati in un file di nome qualsiasi (ad esempio "polar"). Dal menu delle applicazioni si seleziona **Data/Matrix/Editor**, tra le opzioni si sceglie **Open** e tra i nomi di variabile si seleziona "polar". Appare sul display uno schema come il seguente:

---

<sup>3</sup> La qualità dei filtri e l'incertezza nel loro allineamento hanno fatto sì che anche a polaroid incrociati passasse una minima quantità di luce



F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Plot	Setup	Cell	Header	Calc	Util	Stat
DATA	c1	c2	c3	c4	c5	
1	30.	.065	.071	6.E-6	3.	
2	40.	.057		0.	.05	
3	50.	.04		0.	10.	
4	60.	.033		0.	0.	
5	70.	.015				
6	80.	.011				
7	90.	.006				
<b>c1=</b>						
MAIN RAD APPROX FUNC						

Fig. 3

Nella prima colonna, c1, è registrato il valore dell'angolo, nella seconda l'intensità della luce raccolta. I dati nelle successive colonne, privi di importanza, si possono eliminare, con **F6, Delete > column**. Si digitano le intestazioni delle prime tre colonne: ang(°), luce, rad. Se, come nel nostro caso, la calcolatrice è predisposta al calcolo degli angoli in radianti <sup>(4)</sup>, in c3 si digita la formula per la conversione del valore degli angoli da gradi a radianti:

$$c1 * \pi / 180$$

Il display diventa come in figura:

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Plot	Setup	Cell	Header	Calc	Util	Stat
DATA	ang(°)	luce	rad			
	c1	c2	c3	c4	c5	
1	30.	.065	.524			
2	40.	.057	.698			
3	50.	.04	.873			
4	60.	.033	1.05			
5	70.	.015	1.22			
6	80.	.011	1.4			
7	90.	.006	1.57			
<b>c3=c1*π/180</b>						
MAIN RAD APPROX FUNC						

Fig. 4

Con **F2 Plot Setup**, ed **F1 Define** si può realizzare il grafico che ha in ascissa i valori dell'angolo in radianti (c3) e in ordinata i valori dell'intensità luminosa (c2). Si ottiene il seguente risultato (premendo **F9 Zoom Data** ci si assicura di visualizzare tutti i punti):

<sup>4</sup> In alternativa si può predisporre la calcolatrice al calcolo degli angoli in gradi.

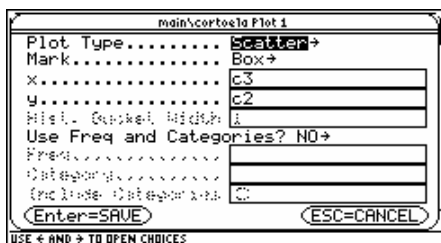


Fig. 5 impostazione del grafico

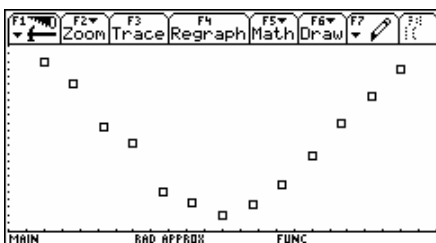


Fig. 6 –intensità di illuminazione in funzione dell'angolo tra i polarizzatori

Per tracciare la curva di regressione, dal menu applicazioni si accede all'ambiente Y=Editor e si digita l'espressione (figura 7).

$$y1(x) = 0.08 * (\cos(x))^2 + 0.006$$

essendo 0.08 il valore stimato di massima intensità luminosa a 0° e 0.006 quello di minima letto sul grafico

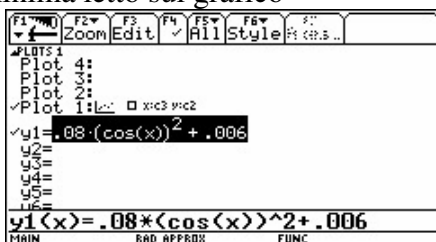


Fig. 7

Visualizzando entrambi i grafici sovrapposti, si vede come la curva di regressione, calcolata secondo la legge di Malus, approssima piuttosto bene i dati sperimentali.

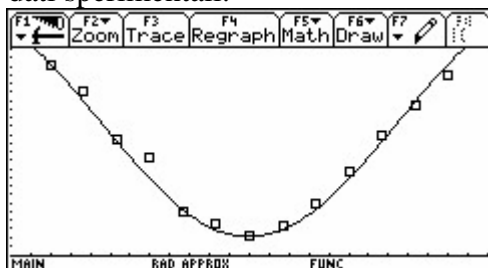


Fig 8 – Grafico intensità luminosa vs angolo con la curva di regressione

# Capitolo 9

## La prima legge di Ohm

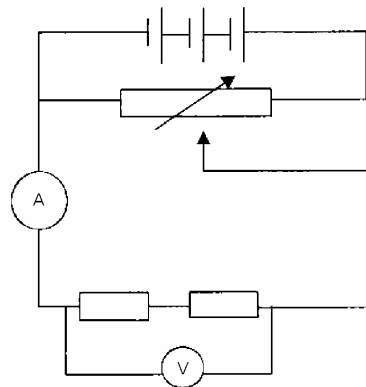
### Scopo

Con questo esperimento ci si propone di controllare la validità della legge di Ohm e di determinare sperimentalmente il valore della resistenza equivalente di sistemi di resistori collegati in serie o in parallelo.

### Allestimento

Per questo esperimento sono richiesti anche:

- Sensore di corrente (600 mA max)
- Sensore di tensione (10 V max)
- Tre pile da 1,5 V collegate in serie
- Uno o più resistori ( $\approx 10 \Omega$ )
- Reostato da circa 1 k $\Omega$  (utilizzato come potenziometro)



L'allestimento descritto può essere utilizzato per eseguire la misura nel caso di un solo resistore o di due o più collegati fra loro in serie o in parallelo. Nell'esempio riportato di seguito si sono utilizzati due resistori, di valore 10,0  $\Omega$  e 5,0  $\Omega$  ( $\pm 10\%$ ), collegati in serie.

Il circuito è alimentato da tre pile collegate in serie, e si utilizza il potenziometro per variare la tensione applicata. In alternativa si può utilizzare un alimentatore a tensione variabile e corrente continua, prestando attenzione ai valori massimi delle due grandezze che i sensori possono tollerare. Nel nostro caso, collegate le pile alle due

estremità fisse del reostato, si ottiene una d.d.p., tra un estremo fisso del reostato e il cursore, il cui valore cambia al variare della posizione del cursore. Con questa tensione alimentiamo il circuito costituito dalle resistenze inserite.

Con un amperometro, costituito da un sensore di corrente, opportunamente inserito, misuriamo l'intensità della corrente che circola, mentre un voltmetro (sensore di tensione) fornirà i valori della d.d.p. ai capi del sistema di resistori. Si avrà cura di mantenere il circuito chiuso solo nel corso dell'esecuzione della misura, per evitare che le batterie si scarichino prematuramente.

Si collegano i sensori di corrente e di tensione al CBL2 inserendo i rispettivi cavi nei canali analogici 1 e 2, e, mediante l'apposito cavetto nero, si collega l'interfaccia con la calcolatrice.

## **Esecuzione**

Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**

Programmare l'acquisizione dei dati seguendo il percorso indicato, variando manualmente, nell'intervallo di tempo prestabilito per l'acquisizione, la tensione applicata.

### **a) Impostazione del sensore di tensione**

- Nel menu PREDISP. SONDE che riporta l'elenco dei sensori si seleziona TENSIONE  $\pm 10V$

### **b) Impostazione del sensore di corrente**

- Nel menu PREDISP. SONDE si seleziona CORRENTE  
In entrambi i casi si accettano le modalità di calibrazione già impostate.

### **c) Lettura diretta dei valori di tensione e intensità di corrente**

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE e poi MONITORAGGIO: sul display della calcolatrice è possibile leggere i valori di tensione e corrente mentre si sposta il cursore da un estremo all'altro del reostato e si può quindi controllare la correttezza dei collegamenti. Dopo aver posizionato il cursore in

corrispondenza del valore zero della tensione, premere il tasto (+) per tornare al menu ACQUISIZIONE

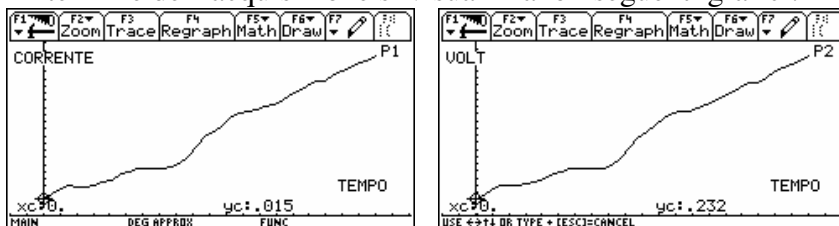
#### d) Scelta delle modalità di acquisizione dati e del tempo di campionamento

- Si seleziona GRAFICO vs TEMPO.
- si inseriscono il tempo di campionamento (0,05 s) e il numero delle acquisizioni (40). Nel nostro caso l'esperimento avrà la durata di 2 s.

Il sistema ora è pronto per iniziare la registrazione dei dati. Si avvia l'acquisizione e si sposta manualmente il cursore del potenziometro da un estremo all'altro, impiegando un tempo di due secondi.

### Analisi dei dati

Al termine dell'acquisizione si visualizzano i seguenti grafici:



Si nota che la tensione e l'intensità di corrente variano nel tempo con lo stesso andamento e questo ci suggerisce l'ipotesi di una relazione di proporzionalità diretta tra le due grandezze. Per verificarla analizziamo la variazione della tensione in funzione dell'intensità di corrente.

A questo scopo dal menu ANALISI si seleziona GRAFICA/INTERPOLA e quindi GRAFICA. Si inseriscono i valori dell'intensità di corrente in ascissa e quelli della tensione in ordinata. Si ottiene così il seguente grafico:

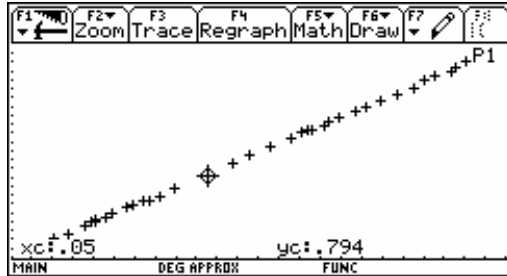
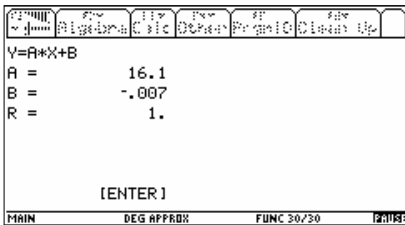
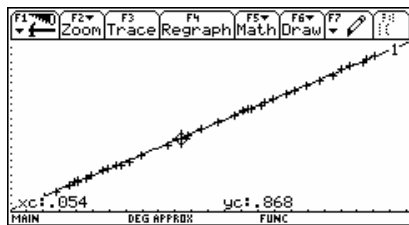


Grafico della tensione in funzione della intensità di corrente

La relazione tra d.d.p. e intensità di corrente appare lineare. Interpolando i punti con un fit lineare si ottiene:



Dati della regressione lineare



Dati sperimentali tensione vs corrente e retta di regressione

Il valore dell'ordinata del punto di intersezione della retta con l'asse delle ascisse (B) è prossimo a zero; il valore  $A=16.1$  del coefficiente angolare della retta, che rappresenta la resistenza equivalente dei due resistori in serie, differisce di circa il 7% dal valore previsto teoricamente (15  $\Omega$ ); risulta accettabile tenendo conto della precisione (10%) del valore nominale dei due resistori utilizzati.

# Capitolo 10

## La scarica del condensatore in un circuito RC

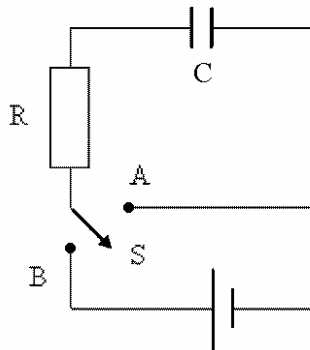
### Scopo

Con questo esperimento ci proponiamo di studiare come varia la tensione ai capi di un condensatore in un circuito RC durante la fase di scarica. Si tratta di un fenomeno transitorio che caratterizza il passaggio da una situazione a regime stazionario ad un altro, la cui durata dipende dai valori della capacità del condensatore utilizzato e della resistenza del circuito.

### Allestimento

Per questo esperimento sono richiesti anche:

- Una pila da 9 V
- Un condensatore ( $C = 1 \mu\text{F}$ )
- Un resistore ( $R = 10 \text{ k}\Omega$ )
- Un commutatore (S)
- Una sonda di tensione
- Cavetti di collegamento



Con i materiali elencati si prepara un circuito come quello disegnato in figura. La sonda di tensione va collegata ai capi del condensatore. I valori di resistenza e capacità riportati sopra sono solo indicativi. E' preferibile non utilizzare condensatori di tipo elettrolitico, in caso contrario bisogna fare attenzione a rispettare la corretta polarità.

## Esecuzione

- Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**. Programmare l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### a) Predisposizione della sonda di tensione

Nel menu PREDIP.SONDE, dopo aver selezionato UNO per impostare il numero delle sonde che si intendono usare, si seleziona TENSIONE  $\pm 10V$  dall'elenco dei sensori proposti, si collega la sonda al canale 1 del CBL e si accettano le modalità di calibrazione già impostate.

### b) Impostazione della modalità di TRIGGER

Essendo l'ordine di grandezza della costante di tempo ( $\tau = RC$ ) del nostro circuito  $10^{-2}$  s, la scarica del condensatore si concluderà nel giro di pochi centesimi di secondo. La rapidità del fenomeno impone l'utilizzo dell'opzione TRIGGERING prevista dal programma Physics; con questa modalità si ha l'avvio automatico dell'acquisizione non appena inizia la variazione della grandezza da misurare.

Per attivare l'opzione, dopo aver selezionato la modalità TRIGGERING nel menu principale, si procede come segue:

- Dal menu TRIGGERING si seleziona CANALE 1
- Dal menu TIPO DI TRIGGER si seleziona DECRESCENTE

Nelle due schermate successive vengono richiesti:

- il valore della tensione per la quale deve scattare il Trigger, che corrisponde alla differenza di potenziale da cui si prevede l'inizio del processo di scarica, nel nostro caso 9 V
- la frazione del grafico, in percentuale, da riservare alla parte di segnale che precede l'istante in cui scatta il Trigger; una pre-memorizzazione del 20% è sufficiente per vedere tutto il segnale



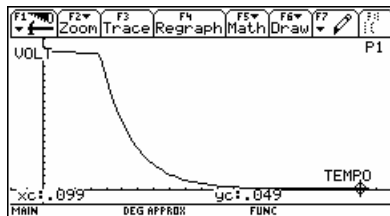
### c) Programmazione delle modalità di acquisizione dati

- Nel menu ACQUISIZIONE si seleziona GRAFICO vs TEMPO
- Si inseriscono il tempo di campionamento (0.001 s) e il numero di campionamenti (100). La registrazione dei dati avrà la durata di 0,1 s.

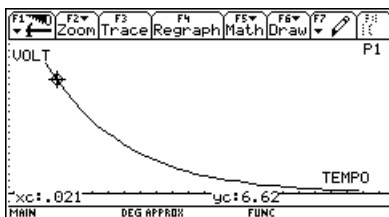
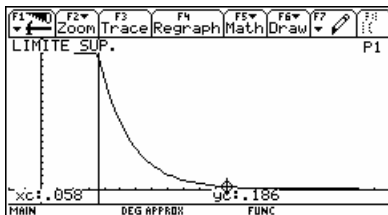
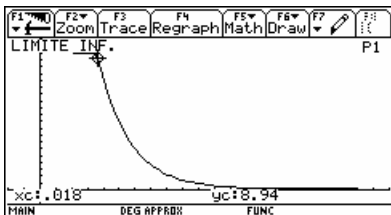
Si carica il condensatore spostando il commutatore S nella posizione B per chiudere il circuito sull'alimentazione. Il sistema ora è pronto per l'acquisizione; dopo aver premuto ENTER per attivare il TRIGGER, si avvia la scarica spostando il commutatore S in posizione A.

## Analisi dei dati

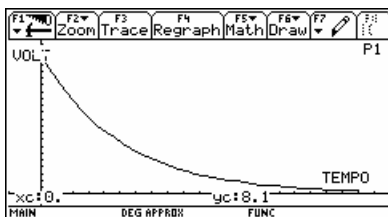
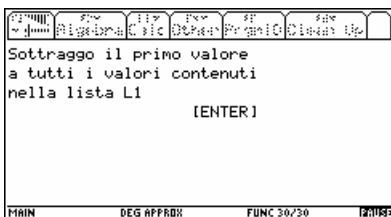
Al termine dell'acquisizione si visualizza il grafico con l'andamento della tensione ai capi del condensatore, in funzione del tempo:



Per analizzare i dati è opportuno selezionare la parte di grafico che riguarda il fenomeno che ci interessa. Dal menu principale si seleziona ANALISI, e nelle due finestre successive, rispettivamente, SELEZIONA REGIONE e CANALE 1, usando il tasto cursore per selezionare il limite inferiore e superiore per la scala dei tempi.



Per continuare l'analisi dei dati è ora necessario porre uguale a zero l'istante iniziale del processo di scarica: dal menu ANALISI si seleziona MANIPOLA DATI e, nella schermata successiva, AZZERA ORIGINE L1:



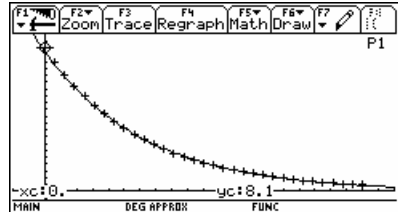
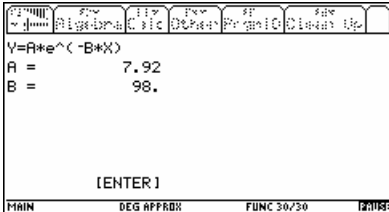
L'andamento della curva sembra confermare la dipendenza della tensione dal tempo di tipo esponenziale, prevista dalla teoria:

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Ora si può procedere alla determinazione dell'equazione della curva che meglio approssima i dati sperimentali eseguendo le seguenti operazioni:

- dal menu ANALISI si seleziona GRAFICA/INTERPOLA

- si indicano il *tempo* come variabile  $x$  e CANALE 1 (tensione) come variabile  $y$
- si seleziona ESPONENZIALE nel menu INTERPOLAZIONE



Il valore di  $B$  si avvicina in modo significativo al valore previsto dalla teoria:  $\frac{1}{RC} = 100\text{s}^{-1}$ .

Nel valutare la differenza (2%) tra il valore atteso e quello ottenuto, occorre anche tener presente che i valori nominali della resistenza e della capacità del condensatore hanno normalmente incertezza maggiore dell'1%.

# Capitolo 11

## Induzione elettromagnetica

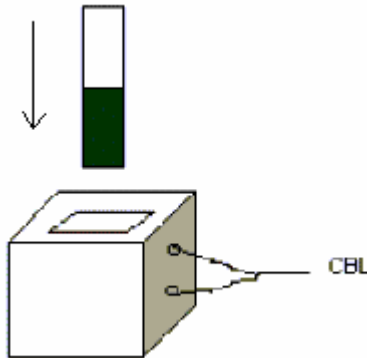
### Scopo

Misurare la forza elettromotrice indotta in una bobina quando fra le sue spire viene fatto passare un magnete e calcolare la variazione del flusso del campo magnetico.

### Allestimento

Per questo esperimento sono necessari anche:

- una sonda per la misura della tensione  $\pm 10$  V
- bobina (per es. 1200 spire)
- un magnete a forma di sbarra



Viene fatto cadere un magnete a sbarra attraverso una bobina collegata al sistema di acquisizione dati. Poiché non è facile centrare “a mano” l’apertura della bobina, conviene utilizzare un foglio di carta, arrotolato a forma di cilindro e inserito nella bobina, come guida per la caduta del magnete.

Il fenomeno si svolge in tempi brevissimi e per misurare la tensione indotta ai capi della bobina dovremo “sincronizzare” l’inizio della acquisizione dati con la caduta, utilizzando una modalità di “trigger” predisposta nel software.

## Esecuzione

Accendere la calcolatrice e avviare il programma **Physics**.

Programmare l'acquisizione dei dati mediante il seguente percorso:

### a) Impostazione della sonda di tensione

- Nel menu PREDISP.SONDE che riporta l'elenco dei sensori selezionare **8:ALTRO** per visualizzare il menu successivo e in questo scegliere **2:TENSIONE ±10V**
- Connettere la sonda al canale 1 e premere **ENTER**. Il sensore è già precalibrato.

### b) Impostazione del trigger

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona TRIGGERING
- Scegliere 2:CANALE 1 come canale di raccolta dati
- Come modalità di trigger scegliere CRESCENTE (cioè la raccolta inizia quando il segnale sta aumentando)
- Inserire, come valore della tensione che deve fare scattare la raccolta (SOGLIA DI TRIGGER) il valore 0.2 volt.
- Alla voce PRE-MEMORIZZA inserire 20 come frazione del grafico, in percentuale, che deve essere riservata alla parte di segnale che precede l'istante in cui scatta il trigger.

### c) Scelta delle modalità di acquisizione dati e del tempo di campionamento

- Nel MENU PRINCIPALE si seleziona ACQUISIZIONE e poi GRAFICO vs TEMPO
- Inserire 0.005 s come intervallo di campionamento e 50 come numero di campionamenti, quindi per una durata complessiva della misura di 0.25 s.
- Selezionare OK se non si vogliono modificare i valori inseriti
- Premere **ENTER** più volte fino a che non compare la segnalazione TRIGGER ATTIVO...

#### d) Esecuzione dell'esperimento

- Collegare la sonda di tensione ai capi della bobina
- Lasciar cadere il magnete attraverso la bobina (Fig. 1).

#### Analisi dei dati

Durante la caduta del magnete attraverso la bobina si induce una forza elettromotrice (f.e.m.). Ai capi della bobina il sensore misura una differenza di potenziale variabile nel tempo il cui grafico è rappresentato in figura 2. (N.B.: la polarità del segnale osservato dipende dalla posizione dei poli N-S del magnete, dalla polarità della sonda di tensione e dal verso di avvolgimento delle spire nella bobina).

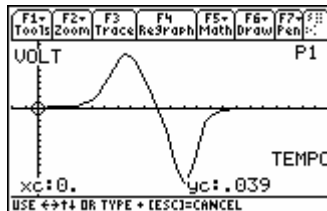


Fig. 2 – Grafico della tensione vs tempo

Il grafico della f.e.m. in funzione del tempo mostra due picchi, uno positivo e l'altro negativo, tanto più asimmetrici quanto più il magnete è vicino all'imboccatura della bobina nel momento in cui viene lasciato cadere. Infatti durante la caduta la velocità del magnete aumenta nel tempo: il segnale registrato all'ingresso della bobina risulta di ampiezza minore e di durata maggiore rispetto a quello registrato all'uscita. Invertendo il verso del magnete o la connessioni dei morsetti ai capi della bobina, si otterrà una curva prima negativa e poi positiva.

Dalla teoria sappiamo, per la legge di Faraday-Neumann, che la forza elettromotrice indotta è data dalla derivata temporale del flusso del campo magnetico concatenato con la bobina:

$$\varepsilon (t) = \frac{d\Phi_B}{dt}$$

L'integrale di  $\varepsilon(t)$  in funzione di  $t$ , cioè l'area tra la curva e l'asse dei tempi, equivale alla variazione complessiva del flusso magnetico e deve risultare nulla se il flusso iniziale e quello finale sono trascurabili (magnete lontano dalla bobina).

Con le opzioni del software possiamo calcolare l'integrale per le due aree corrispondenti al picco positivo e a quello negativo.

Dal menu principale selezionare **3:ANALISI**, **2:STAT./INTEGRALE**; **2:INTEGRALE**; e **CANALE 1** per la scelta del grafico.

Posizionarsi all'inizio del tratto positivo del curva e premere **[ENTER]** per selezionare il limite inferiore, quindi spostarsi con il cursore verso destra sulla curva per selezionare il limite superiore e premere **[ENTER]**. Alla fine si ottiene il grafico di fig. 3 e il risultato del calcolo in figura 4.

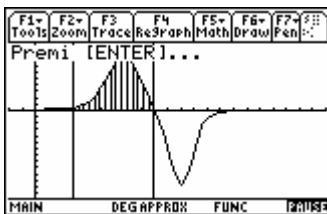


Fig 3 – Visualizzazione del calcolo dell'area “positiva”

Premere **[ENTER]** e uscire.

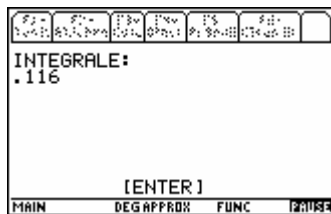


Fig 4– Risultato

Ripetendo il procedimento per la parte negativa del grafico si ha:

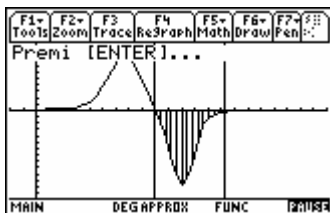


Fig 5 – Visualizzazione del calcolo dell'area “negativa”

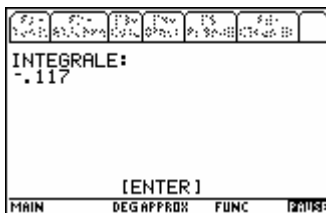


Fig 5– Risultato

In valore assoluto i risultati sono uguali entro l'1% di incertezza: la variazione complessiva del flusso del campo magnetico è nulla.



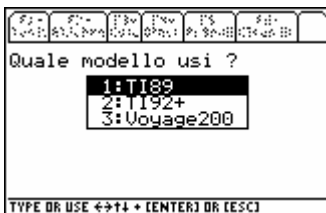
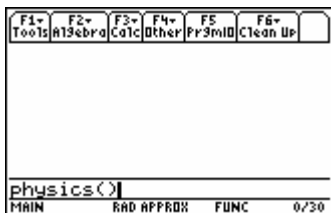
## APPENDICE

# Il programma Physics per le calcolatrici TI-89, TI-89 Titanium, TI-92 Plus, Voyage™ 200

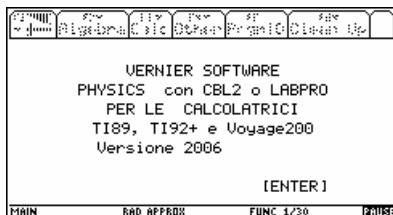
Il programma ed il suo manuale d'uso completo, sono reperibili nel sito di ADT (<http://www.adt.it>), qui si riporta solo un breve sunto delle principali funzioni utilizzate per realizzare gli esperimenti contenuti nel libretto.

### AVVIO DEL PROGRAMMA

Dall'ambiente HOME della calcolatrice inserire **physics()** nella riga di comando e premere **ENTER**.



scegliere il modello di calcolatrice e premere **ENTER**. Quando compare la segnalazione



premere **ENTER** per entrare nel menu principale



Le opzioni sono:

- 1: selezionare i sensori utilizzati
- 2: impostare le modalità di acquisizione
- 3: elaborare i dati
5. azzerare il valore iniziale letto dai sensori
6. caricare file di dati precedentemente memorizzati
- 7: salvare i dati
- 8: uscire dal programma

## 1. PREDISP. SONDE

Dal menu principale selezionare **1: PREDISP. SONDE** e scegliere il numero di sonde da connettere e poi scorrere l'elenco alla ricerca del nome del sensore; se non compare nella prima videata, premere **8:ALTRO** per passare alla seconda e così via.



Collegare il sensore alla presa CH1 del CBL2 ( o alla presa SONIC nel caso del sensore di moto)



Senza effettuare la calibrazione, si torna al menu principale  
Se si utilizza più di un sensore, il programma chiede di effettuare più selezioni dei sensori e di ripetere ogni volta la procedura.

## 2. ACQUISIZIONE

Dal menu principale selezionare **2: ACQUISIZIONE**



per controllare il funzionamento dei sensori scegliere **1: MONITORAGGIO** e al termine premere + per tornare a questo menu.



Per una acquisizione in funzione del tempo, scegliere **2: GRAFICO VS TEMPO** e impostare l'intervallo di tempo tra le misure



Impostare il numero di misure che devono essere effettuate e alla schermata riassuntiva dell'impostazione, premere **ENTER**



Se l'impostazione è corretta premere **ENTER**. Alla successiva schermata premere di nuovo **ENTER** se non si vuole tornare indietro per modificare i valori :



A certe condizioni di impostazione della frequenza di acquisizione, compare la seguente finestra, con la richiesta di quando tracciare il grafico:

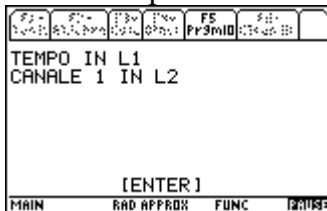


Scegliendo la prima opzione il grafico viene tracciato al termine dell'acquisizione, mentre nell'altro caso verrà prodotto in tempo reale (bisognerà fornire i valori massimo e minimo attesi per la grandezza che si misura).

Successivamente premere **ENTER** per iniziare l'acquisizione



Al termine dell'acquisizione compare la finestra:



Premere **[ENTER]** per continuare. Nella finestra successiva si può scegliere di visualizzare un grafico oppure di uscire.

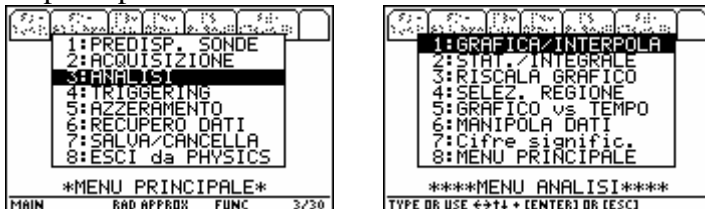


Quando nella precedente finestra si è scelto di uscire, viene chiesto se si desidera ripetere la raccolta dei dati con le stesse modalità o passare o tornare al menu principale



### 3. ANALISI DATI

Dal menu principale selezionare 3: ANALISI

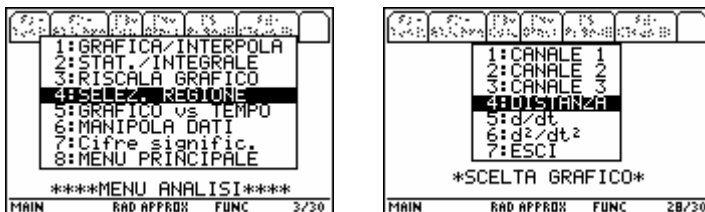


Le principali opzioni del menu ANALISI sono:

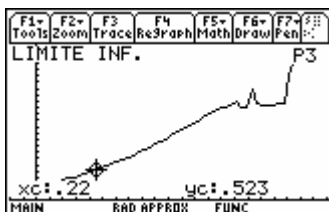
- 1: per cercare le curve di regressione dei dati
- 4: per selezionare nei grafici parte dei dati raccolti

#### SELEZIONARE PARTE DEI DATI RACCOLTI

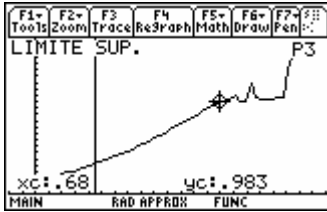
Dal menu ANALISI scegliere 4: SELEZ REGIONE e il grafico su cui si vuole operare



Posizionare il cursore sul grafico nella posizione corrispondente al limite inferiore dei dati raccolti e premere **ENTER**



Posizionare il cursore sul grafico nella posizione corrispondente al limite superiore dei dati raccolti e premere **ENTER**



al termine premere **7:ESCI** per tornare al menu principale

### CERCARE LA CURVA DI REGRESSIONE DEI DATI

Dal menu ANALISI scegliere **1: GRAFICA/INTERPOLA** e poi **2:INTERPOLAZIONE**



Per i dati da elaborare come ascissa si può scegliere, per esempio, **1: tempo o manuale**, per i dati da elaborare come ordinata si può scegliere, ad esempio **2: canale 1**





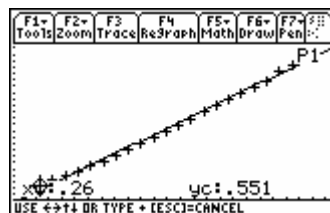
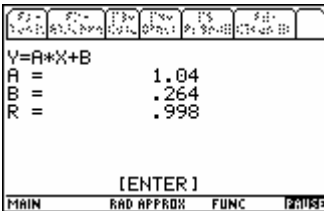
Scegliere la modalità di rappresentazione dei dati



Scegliere il modello di curva di regressione:



Sotto, a sinistra, finestra con i risultati della regressione e a destra con il grafico dei dati e della curva di regressione:

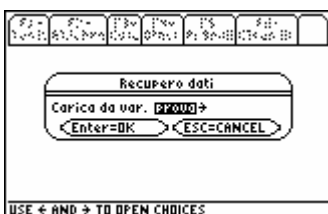


Al termine scegliere **1: NO** per tornare al menu principale



## 6. RECUPERO DATI

E' l'operazione che permette di richiamare in memoria un file di dati precedentemente registrato. Dal menu principale selezionare **7: RECUPERO DATI** e poi l'opzione **2: CALCOLATRICE**



Confermare con **[ENTER]** il nome del file che appare nella finestra o premere cursore freccia a destra → e scegliere dall'elenco dei file memorizzati; confermare con **[ENTER]** per tornare al menu principale



## 7. SALVA/CANCELLA

Per registrare un file dati nuovo o modificato, dal menu principale selezionare **7: SALVA/CANCELLA** e poi **1: SALVA**



Appare il nome dell'ultimo file, che si può sovrascrivere; per salvare in un nuovo file premere cursore freccia a destra → e selezionare **altro**



Premere **ENTER** per aprire la finestra di scrittura, scrivere il nome del nuovo file (max 8 car) e premere **ENTER**



Alla successiva richiesta di archiviazione dei dati rispondere **SI** se si desidera salvare i dati nell'area di memoria di archiviazione dei dati

utente (più protetta della memoria RAM), oppure **NO** per salvare nella memoria RAM e ritornare al menu principale.



## PER APPROFONDIRE

L'associazione **ADT** (<http://www.adt.it/>) pubblica ogni anno per i propri soci un **CD-ROM** di approfondimenti didattici che contiene una ricca raccolta di articoli relativi ad esperimenti di fisica eseguibili con tecnologia portatile.

Una miniera di idee, proposte, schede di lavoro, esperimenti è stata sviluppata per il progetto **IRDIS** ed è disponibile nel sito <http://www.fisica.uniud.it/irdis/>

Un'altra risorsa gratuita di materiali per l'insegnamento e l'apprendimento della fisica in laboratorio è costituita dal progetto europeo **LEPLA**, accessibile all'indirizzo <http://www.lepla.edu.pl/> (anche in lingua italiana)

Articoli riguardanti esperimenti di fisica con tecnologie portatili sono pubblicati sulla rivista **Ipotesi**, i cui fascicoli sono consultabili on line attraverso il sito ADT o il sito Texas (<http://education.ti.com/italia>).

Schede di unità didattiche di fisica sono disponibili anche presso il sito **Cartesio** all'indirizzo:  
<http://www.cartesionline.it/home/index.cfm>