

Misura di massa (10 punti)

In questo problema sperimentale si cerca di fare una misura di massa. Misuriamo inoltre la massa utilizzando le caratteristiche di risonanza dell'oscillatore armonico.

Configurazione sperimentale

Di seguito è riportato l'elenco dei componenti (Fig. 1). Il numero delle parti è indicato in [] solo se sono due o più.

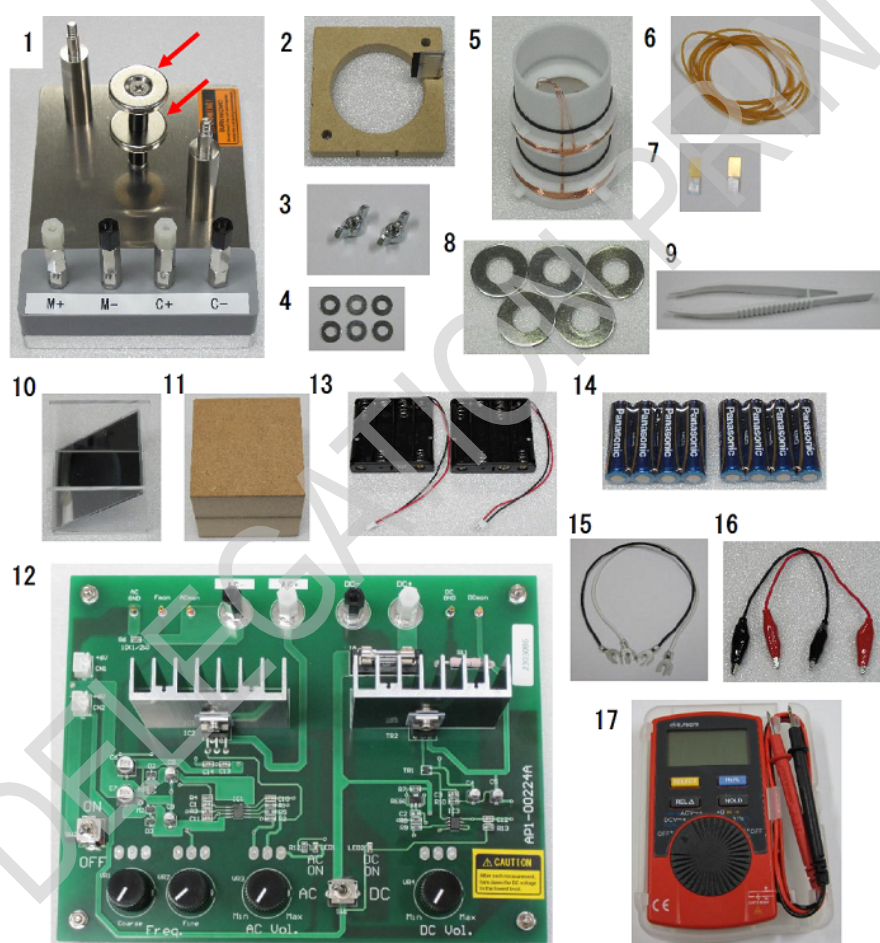


Figura 1: L'apparato sperimentale.

1. Base di montaggio:

Nota: l'unità magnetica sulla base crea campi magnetici radiali uniformi garantiti indipendenti dall'altezza in prossimità del centro della coppia di magneti fino a ± 3 mm in altezza.

2. (Oscillatore) supporto
3. Dado a farfalla [2]:

Nota: rimuovere 2 e 3 da 1 nel materiale ricevuto per utilizzarlo.

4. Spessori (rondelle) [6]

5. Oscillatore cilindrico
6. Elastici [6]
7. Segnalini [2]
8. Pesi [5]
9. Pinzette
10. Specchio
11. Blocco di rialzo
12. Alimentazione:

È possibile attivare la modalità DC (corrente continua) o AC (corrente alternata).

In modalità DC, funziona come sorgente di corrente costante. Ruotare la manopola "DC Vol" per regolare la corrente. Il valore della corrente si ottiene dalla tensione tra "DCmon" e "DC GND" utilizzando il fattore di conversione

1.00 A/V.

In modalità AC, funziona come sorgente di tensione con un'ampiezza fissa. Ruotare "AC Vol" per regolare la tensione. La corrente alternata si ottiene dalla tensione tra "ACmon" e "AC GND" utilizzando il fattore di conversione 0.106 A/V.

La frequenza (Freq.) può essere regolata utilizzando le manopole di regolazione "Coarse" e "Fine".

13. Portabatterie [2]
14. Batterie [8]
15. Fili con collegato terminale a U [2]
16. Fili con terminale a coccodrillo [2]
17. Multimetro digitale (DMM):

Ruotare la manopola per selezionare la modalità di misurazione appropriata, "DCV", "ACV" e "Hz". Si noti che il valore visualizzato della tensione AC indica il valore quadratico medio (RMS), ossia il valore effettivo.

Modellizzazione del sistema

La Figura 2 rappresenta un modello semplificato dell'apparato sperimentale. Si tratta essenzialmente di un oscillatore forzato a massa su molla.

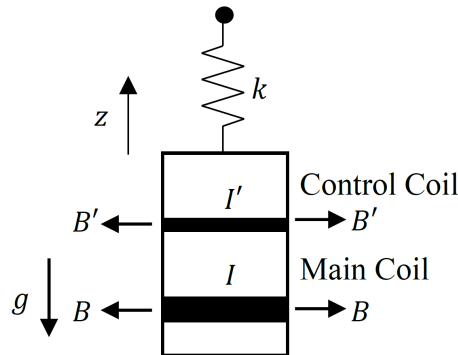


Figura 2: Modello di oscillatore armonico.

I parametri rilevanti sono:

- M : massa dell'oscillatore (cilindrico)
- m : massa di un pesetto
- N : il numero di pesetti
- g : accelerazione di gravità
- k : costante elastica effettiva relativa al moto verticale
- z : altezza (o spostamento) dell'oscillatore
- z_e : altezza dell'oscillatore alla quale si stabilisce l'equilibrio delle forze in assenza di forze elettromagnetiche e gravitazionali.
- $B(B')$: campo magnetico applicato alla bobina (di controllo) principale
- $L(L')$: lunghezza del filo conduttore della bobina (di controllo) principale
- $I(I')$: corrente che scorre attraverso la bobina (di controllo) principale
- α : coefficiente positivo di resistenza aerodinamica

L'equazione del moto è data da

$$(M + Nm) \frac{d^2 z}{dt^2} = -(M + Nm)g - k(z - z_e) + BLI + B'L'I' - \alpha \frac{dz}{dt}. \quad (1)$$

Installazione dell'oscillatore

1. Rimuovere il supporto dalla base di montaggio. Avvolgere quattro elastici intorno ad esso secondo uno schema a griglia (vedere la Fig. 3(a)).
2. Inserire l'oscillatore cilindrico dal lato della bilancia nell'apertura quadrata in mezzo agli elastici incrociati. Posizionare i conduttori sull'altro lato della bilancia. (Fig. 3(b)).
3. L'oscillatore è stato progettato per essere appeso al supporto con quattro elastici e otto piccoli ganci (cerchiati in rosso nella Fig. 3(c)). Se realizzato correttamente, un anello di elastici forma un rombo tronco con due ganci sopra e sotto il livello del supporto nella vista laterale.

Nota: in questo esperimento, possiamo assumere che la forza effettiva dovuta agli elastici obbedisca alla legge di Hooke.

4. Fissare nuovamente il supporto al montante in diagonale con i due dadi a farfalla. La bilancia deve stare in piedi sopra, non a lato dei montanti (Fig. 3(d)).
5. Mettere l'oscillatore in posizione verticale. Il suo asse deve essere allineato verticalmente e coincidere con quello dell'unità magnetica.
6. La bobina principale dovrebbe trovarsi vicino al centro dei due magneti quando è a riposo, il che può essere confermato dalla distanza tra la superficie superiore del magnete inferiore e la superficie inferiore dell'oscillatore pari a 3-5 mm (Fig. 3(e) freccia rossa). Se è minore, inserire degli spessori tra i morsetti e il supporto (Fig. 3(f) freccia rossa). Se è maggiore, ruotare il montante del magnete per rimuoverlo e aggiungere lo spessore sotto il montante (Fig. 3(f) freccia gialla).
7. Esporre la superficie adesiva del nastro biadesivo sul segnalino (Fig. 4(a)). Incollare il segnalino sul piccolo ripiano fluttuante dell'oscillatore per misurare l'altezza (Fig. 4(b)).
8. Posizionare lo specchio sul blocco di rialzo (Fig. 4(c)). Assicurare una visione chiara del segnalino dall'alto attraverso lo specchio (Fig. 4(d) cerchio rosso).

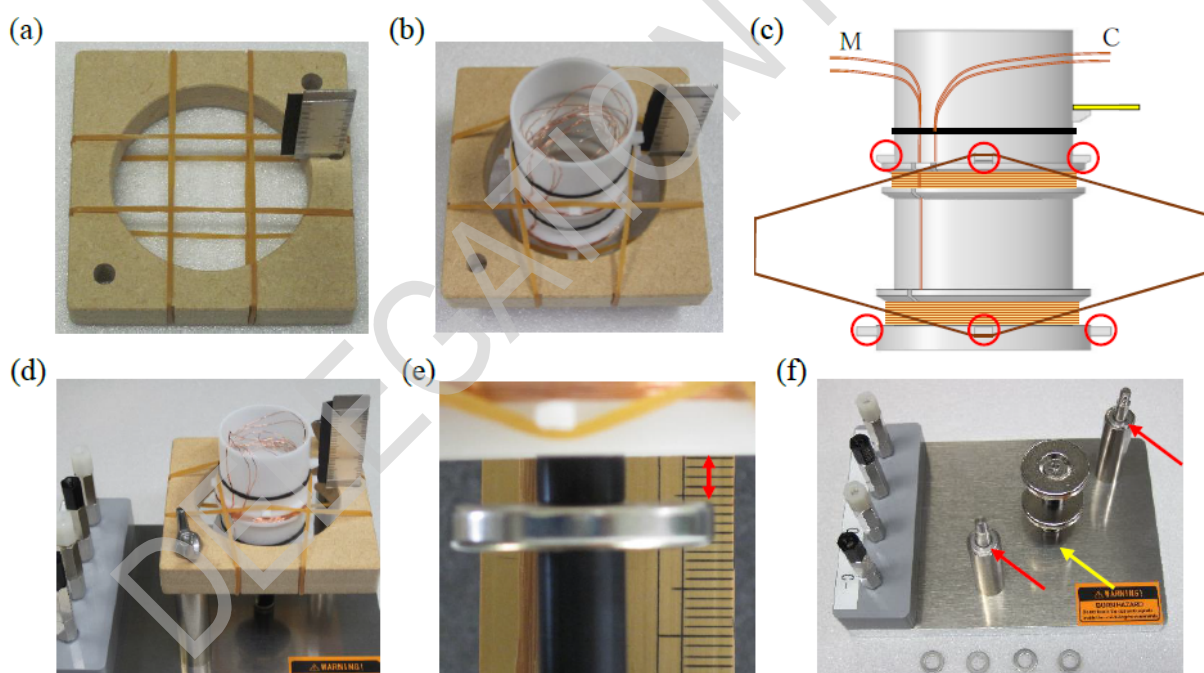


Figura 3: Installazione dell'oscillatore.

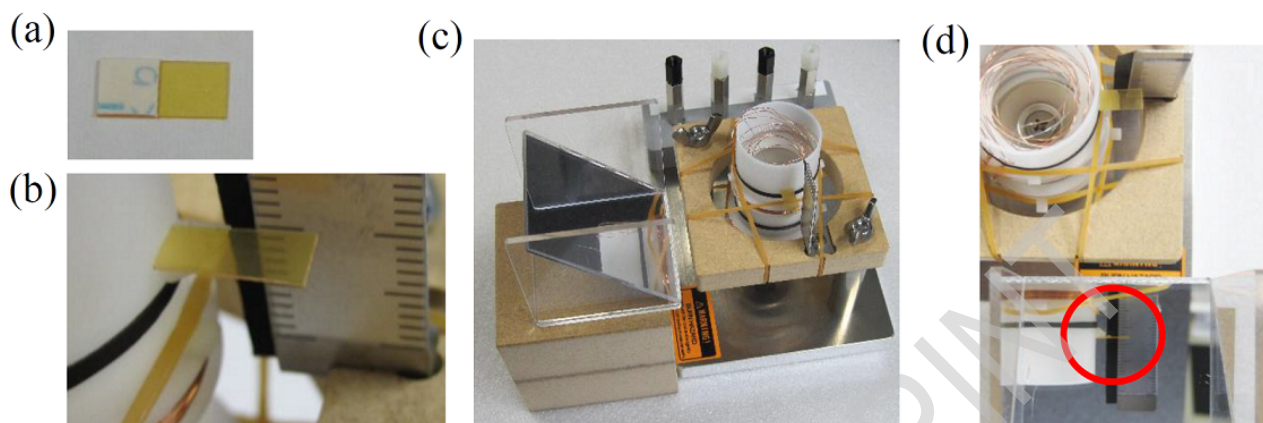


Figura 4: Installazione del segnalino e dello specchio.

Cablaggio

1. Individuare e tirare delicatamente la coppia di fili corretta che conduce alle bobine principali (M) e di controllo (C) (Fig. 3(c)) dall'interno dell'oscillatore (Fig. 3(b)). Controllare se lo smalto è stato tolto dalle estremità allentate.
2. Allentare la vite sui morsetti M+ e M- per lasciare degli spazi vuoti. Utilizzare gli spazi inferiori per il cablaggio (Fig. 5(a), (b)). Il controllo della polarità verrà spiegato dopo.
3. Collegare allo stesso modo i morsetti etichettati C+ e C-. (Entrambe le polarità sono accettabili).
4. Posizionare le batterie negli appositi supporti e fissare i collegamenti con l'alimentatore (CN1, CN2) (Fig. 5(c)).
5. Collegare i morsetti M+ e M- all'uscita DC (DC+ e DC-) dell'alimentatore utilizzando i fili dei terminali a U.
6. Selezionare corrente continua (DC) e accendere l'alimentatore.
7. Ruotare la manopola "DC Vol." per regolare la corrente. Verificare se l'oscillatore si sposta verso l'alto di 2 mm o di più. Se si muove verso il basso, scambiare i fili per invertire la polarità e riprovare.

Attenzione: Parti calde. Attenzione alle bobine e ai magneti. Al termine di ogni fase, abbassare l'uscita DC al minimo.

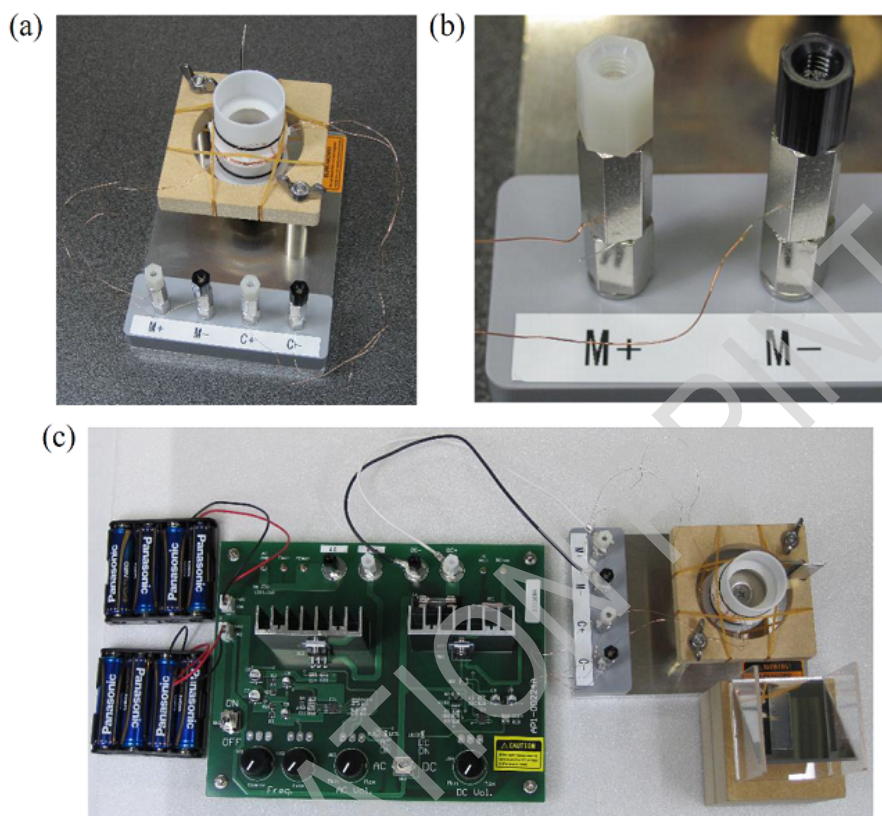


Figura 5: (a), (b) I morsetti cablati, (c) L'intero impianto cablatto, compresi alimentazione e batterie.

Prova dell'oscillatore

1. Collegare i morsetti M+ e M- all'uscita AC (AC+ e AC-) con i fili con i terminali a U.
2. Selezionare corrente alternata (AC) e accendere l'alimentatore.
3. Ruotare la manopola "AC Vol." in senso orario partendo dal minimo fino a un quarto di giro. Sintonizzare la frequenza con la manopola "Coarse" per avviare l'oscillazione.
4. Regolare la tensione e la frequenza di uscita AC per ottenere un'oscillazione di ampiezza $A = 3$ mm circa (Fig. 6). Se l'oscillazione è instabile, regolare le impostazioni dell'oscillatore in modo appropriato.
5. Scollegare M+ e M- e collegare i morsetti C+ e C- all'uscita AC.
6. Accendere l'alimentatore per far partire di nuovo l'oscillazione.



Figura 6: comportamento dell'oscillazione visto attraverso lo specchio.

Parte A. Legge di Hooke e forze elettromagnetiche (2.4 punti)

- | | | |
|------------|---|--------|
| A.1 | Disegnare nel foglio risposte le linee di campo magnetico create dai due magneti identici a forma di disco quando i poli N sono rivolti l'uno verso l'altro. | 0.4 pt |
| A.2 | Collegare i morsetti M+ e M- all'uscita DC. Accoppiare il DMM con i terminali per la lettura della corrente C utilizzando i fili a coccodrillo (Fig. 7).
Leggere l'altezza dell'oscillatore a corrente continua nulla senza pesi aggiuntivi, ossia, $N = 0$. Scrivi il dato nella Tabella A.2 .
Mettere un peso ($N = 1$) su un ripiano circolare che sporge dalla parete interna del cilindro e registrare l'altezza z a cui l'oscillatore si ferma.
Qual è il valore della corrente continua I che bisogna far scorrere nella bobina principale per riportare l'oscillatore al punto in cui si trovava senza il peso?
Ripetere le misure aumentando N fino a 5 per completare la Tabella A.2 . | 0.6 pt |

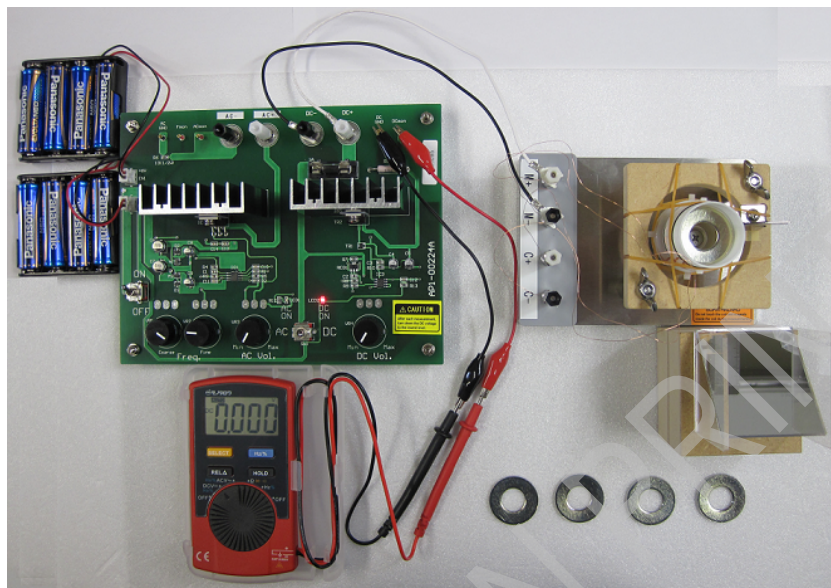


Figura 7: I puntali del DMM collegati. L'oscillatore con un peso sulla destra.

A.3 Disegnare un grafico che mostri la relazione tra il numero dei pesi N e l'altezza z . Trovare dal grafico la pendenza $a = \frac{\Delta z}{\Delta N}$ ed il suo errore. 0.7 pt

A.4 Disegnare un grafico che mostri la relazione tra il numero di pesi N e la corrente I . Ottenere dal grafico il valore di b definito come $b = \frac{I}{N}$ e la sua incertezza. 0.7 pt

Parte B. Forza elettromotrice indotta (3.0 punti)

B.1 Supponiamo che alla bobina di controllo venga applicata una corrente alternata di frequenza f senza nessun pesetto. Dato che l'altezza dell'oscillatore varia in modo sinusoidale con il tempo 0.2 pt

$$z - z_0 = A \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

dove z_0 è l'altezza per l'equilibrio delle forze e A è l'ampiezza dell'oscillazione, scrivere l'espressione per l'ampiezza V della forza elettromotrice indotta nella bobina principale.

B.2 Collegare i morsetti C+ e C- all'uscita AC. Collegare il DMM a "Fmon" e "AC GND" per leggere la frequenza. 0.5 pt
 Regolare la frequenza AC e la tensione di uscita per produrre un'oscillazione costante di ampiezza adeguata. Misurare la frequenza f_B e riportala nel foglio risposte.
 Accoppiare il DMM con i morsetti M+ e M-. Con la frequenza fissata, variare la tensione di uscita e misurare l'ampiezza dell'oscillazione A e la tensione di corrente alternata V' ($V' = V/\sqrt{2}$) indotta nella bobina principale. Compilare la **Tabella B.2** come richiesto.

B.3 Tracciare un grafico che mostri la relazione tra l'ampiezza A e la differenza di potenziale V' . Trovare il valore c definito come $c = \frac{V'}{A}$ ed il suo errore dal grafico. 0.7 pt

B.4 Calcolare BL ed il suo errore utilizzando il risultato di **B.3**. 0.4 pt

B.5 Utilizzando i risultati di **A.3**, **A.4**, e **B.4**, calcolare i valori di m e k e quantificare i loro errori. Usare il valore $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ per l'accelerazione di gravità dove è corretto. 1.2 pt

Parte C. Frequenza di risonanza dipendente dalla massa (2.3 punti)

Per i seguenti esperimenti, utilizzare la bobina principale per pilotare l'oscillatore. Modificare i collegamenti di conseguenza.

C.1 Scrivere l'espressione per la frequenza di risonanza f dell'oscillatore con N pesi. Utilizzare la costante della molla k' durante il moto, che è diversa da k . 0.2 pt

C.2 Azionare l'oscillatore accoppiando l'alimentazione AC alla bobina principale. Misurare la frequenza di risonanza f , per un diverso numero di pesi, $N = 0$ a 5 , e annotare i valori nella **Tabella C.2**. Evitare di saltare pesi. 0.5 pt

C.3 Utilizzando i risultati di **C.2**, tracciare un grafico per ottenere $\frac{M}{k'}$ e $\frac{m}{k'}$. Scrivere i valori ottenuti nel foglio delle risposte. Se è necessario calcolare altre grandezze fisiche, scriverle negli spazi vuoti della **Tabella C.2**. 1.0 pt

C.4 Qual è il valore di $\frac{M}{m}$? Calcolare M e k' utilizzando i risultati di **B.5**. 0.6 pt

Parte D. Curva caratteristiche di risonanza (2.3 punti)

Quando una forza periodica di ampiezza F_{AC} e frequenza f agisce sull'oscillatore senza peso, l'ampiezza di oscillazione di A è ben descritta dalla seguente formula con caratteristiche di risonanza:

$$A(f) = \frac{F_{AC}}{8\pi^2 M f_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{(f - f_0)^2 + (\Delta f)^2}}. \quad (3)$$

Qui $\Delta f = \frac{\alpha}{4\pi M}$. Questa equazione è valida soltanto per valori di frequenza tali che l'intervallo di frequenza $|f - f_0| \ll f_0$ viene considerato.

In questa parte, le caratteristiche di risonanza vengono utilizzate per ottenere la massa dell'oscillatore M , assumendo che l'equazione (3) sia sempre valida.

- | | | |
|------------|---|--------|
| D.1 | Azionare l'oscillatore accoppiando l'alimentazione AC alla bobina principale. Regolare la frequenza e la tensione di uscita per produrre una risonanza di ampiezza adeguata.
Registrare la tensione AC V'_{AC} tra "ACmon" e "AC GND" nel foglio risposte.
Utilizzando i risultati di B.4 e il fattore di conversione 0.106 A/V calcolare l'ampiezza della forza F_{AC} elettromagnetica periodica che agisce sull'oscillatore. | 0.4 pt |
| D.2 | Riportare nella Tabella D.2 l'ampiezza A dell'oscillazione al variare della frequenza f . L'ampiezza della forza applicata F_{AC} deve essere mantenuta costante per tutta la durata della misurazione.
Disegnare un grafico che mostri la relazione tra la frequenza f e l'ampiezza A . | 0.9 pt |
| D.3 | Utilizzando i risultati di D.1 e D.2 , ottenere M . | 1.0 pt |