Quaderno di Gruppo ma di più - 5G

2csTDF

I esperienza - Misure

Pendolo

Misuriamo il numero di oscillazioni che il pendolo che abbiamo costruito noi compie nel intervallo di tempo che ci impiega la GIF proposta a riprodursi:

Davide	16,5	16	17	17,5	17	17	16,5
Marcello	16,5	17	17	17	17	16,5	17
Andrea	16,5	17	17	17,5	17	17	17,5

Ci siamo basati sulle ipotesi:

- Oscillazioni di uguale durata tra misurazioni diverse
- Oscillazioni e mezze oscillazioni di uguale durata nella stessa misurazione (no attrito)
- Struttura del pendolo stabile (in quiete)

Righello

Per costruire il righello proposto abbiamo riportato con la matita su un foglio di carta la misura dell'oggetto campione per poi riportare la distanza tra i due tratti segnati sui nostri righelli.
Misuriamo con il righello costruitoci l'oggetto proposto:

Davide	1102/256 unità	1104/256 unità
Marcello	1104/256 unità	1104/256 unità
Andrea	1103/256 unità	1103/256 unità

Tuttavia, solo alla fine, ci siamo accorti che questo procedimento è sbagliato perché in questo modo stiamo sovrastimando l'unità (campione) di una quantità che dipende dallo strumento usato per tracciare le estremità sul foglio - in questo caso la mina della matita, che per quanto appuntita ha comunque uno spessore.
—> Per eliminare l'errore (che altrimenti si propagherebbe per ogni unità riportata) avremmo dovuto tracciare un'estremità con una certa inclinazione da una parte, mentre dall'altra ci saremmo fatti aiutare da una "battuta" adatta (oggetto dritto) su cui traslare il campione via e tracciare meglio l'estremità

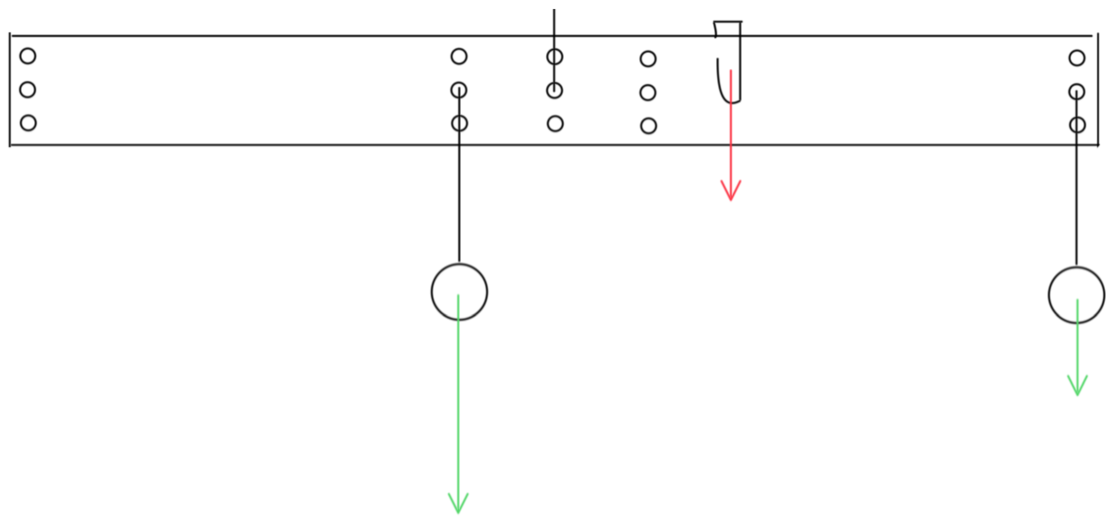
Bilancia a braccia uguali

Ipotesi:

- La bilancia non viene perturbata (vento, tavolo, stabilità del supporto stesso)
- Le due ciotole sono uguali in forma e in massa

    - In realtà non sembrano esserlo, dopo aver costruito la bilancia, quindi, per bilanciarle, abbiamo aggiunto una graffetta sul supporto
- La sbarra è uniforme e le ciotole sono alla stessa lunghezza dal centro di massa che dovrebbe coincidere con il centro geometrico della sbarra (se, appunto, la sbarra è uniforme)

Diagramma delle forze:



Abbiamo deciso di appendere la sbarra e le ciotole nei fori intermedi in modo da ottenere la misura più sensibile e stabile perché, così facendo, i bracci sono sempre alla stessa distanza

Valutiamo, se mettendo x graffette in entrambi i piatti, la bilancia stia in equilibrio: (lo slash indica l’inclinazione della sbarra)

- [x] 3
- [x] 6
- [x] 9
- [x] 12
- [x] 15
- [ ] 20
- [x] 17
- [ ] 18
- [ ] 19
- [x] 42
- [x] 47
- [x] 52

- [x] 55
- [ ] 60 /
- [x] 59
- [x] 58
- [x] 61
- [x] 65
- [ ] 70 \
- [x] 69
- [x] 71
- [x] 75
- [ ] 80 \
- [ ] 79 /
- [x] 81
- [ ] 85 /
- [ ] 84 /
- [x] 83
- [x] 90
- [x] 95
- [x] 100

Misuriamo quante graffette pesa un campione casuale di 25 graffette:

Campione 1	25	25	24-25	25	24-25	24-25	25	24-25	24-25
Campione 2	25	24-25	25	25	24-25	24-25	24-25	24-25	25

Secondo queste misurazioni 125 graffette (prese dalla 2a misurazione quelle che andavano in equilibrio tra loro) dovrebbero pesare all'incirca tra 120 e 125 graffette tra quelle escluse: l'esperimento conferma che ci vogliono tra 124 e 125 graffette per impostare l'equilibrio.

Conclusioni:

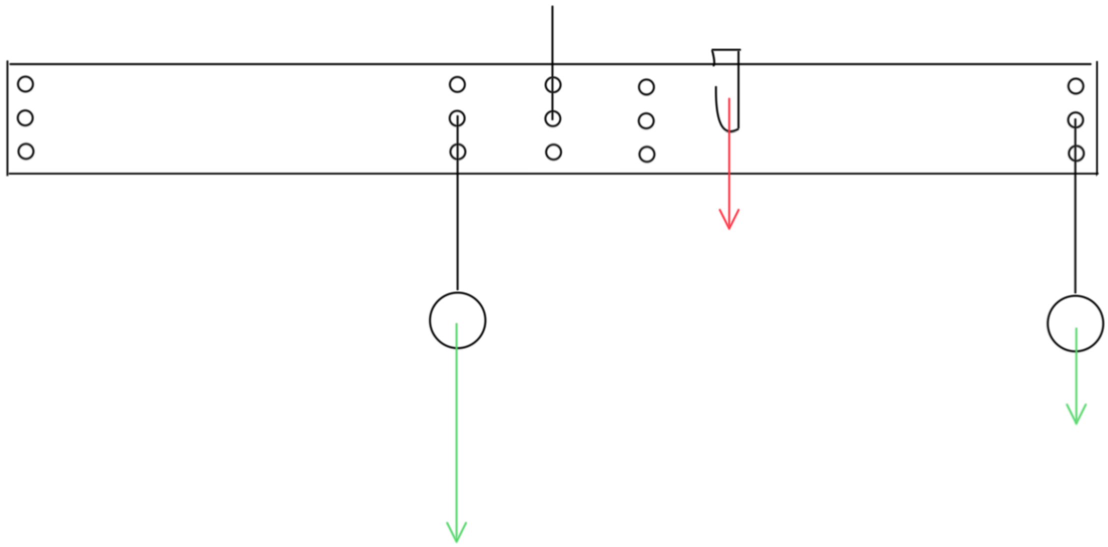
Supponiamo che i campioni siano tutti equivalenti, perciò deduciamo che ogni campione tra 24-25 abbia limite superiore per errore 0.2, assumiamo questa come differenza tra campione minimo e massimo. Assumiamo quindi come errore la semidispersione, cioè 0.1.
—> Perciò conosciamo il peso di 25 graffette con un'incertezza di 0,1: quindi l'incertezza percentuale su 25 graffette è di 0.4%.

Misuriamo quante graffette pesa un pesetto x:

Peso piccolo	10	9-10	10	10	10	10
Peso medio	39->40	39->40	40	39-40	39->40	39->40
Peso grande	156					

Bilancia a braccia diverse

Diagramma delle forze:



Misuriamo quante graffette sul braccio corto pesano degli oggetti sul braccio lungo:

Braccio lungo	Braccio corto (1a misura)	Braccio corto (2a misura)
1 graffetta	62	61
2 graffette	67	65
3 graffette	69	70

4 graffette	73	74
Peso piccolo	98	97

Usando la regressione lineare pesata (l'errore percentuale del 4% trovato prima) su questi dati otteniamo:

Coefficiente angolare m	**Errore su m**	**Termine noto q**	**Errore su q**
3,967	0,087	57,695	0,227

Il questionario ci chiede di trovare, data una y, il corrispondente valore di x, quindi riportiamo qui le formule trovate e usate:

- $y = mx + q \Rightarrow x = \frac{y-q}{m}$
- $\frac{\partial x}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{y}{m} - \frac{q}{m}\right) = \frac{1}{m} \quad \frac{\partial x}{\partial q} = -\frac{1}{m} \quad \frac{\partial x}{\partial m} = \frac{q-y}{m^2}$

$$\Rightarrow \sigma_x = \sqrt{\frac{\sigma_y^2}{m^2} + \frac{\sigma_q^2}{m^2} + \sigma_m^2\left(\frac{q-y}{m^2}\right)^2}$$

II esperienza - Pendolo

Pendolo semplice

Scopo: misurare g

Materiali a disposizione:

- Bilancia
  - Sensibilità 10 g
  - Risoluzione 0,01 g
  - Portata 4000 g
- Morsetti
- Aste
- Filo
- Goniometro
- Metro
  - Sensibilità 1 mm
  - Risoluzione 1 mm
  - Portata 3 m

- Calibro
    - Sensibilità 0,02 mm
    - Risoluzione 0,02 mm
    - Portata 200 mm
- Foto-traguardo
    - Risoluzione 0,0001 s
- Cronometro
    - Sensibilità 0,01 s
    - Risoluzione 0,01 s

Riportiamo il modo in qui abbiamo costruito il pendolo per renderlo il più stabile possibile: Abbiamo scelto un'asta lunga come un supporto attaccandola al tavolo attraverso un morsetto; a questa asta, attraverso un altro morsetto, abbiamo collegato una seconda asta più corta a cui sarà appesa la nostra massa attraverso il filo. Per rinforzare la il supporto, abbiamo collegato alla sua estremità inferiore una terza asta che posata sul sottobanco.

Per prepararci alla presa dati dei periodi, aiutandoci con una bilancia (sensibilità 0,01 g) e un calibro (sensibilità 0,02 mm) abbiamo prima misurato le masse che andranno a costituire il corpo rigido che mette in funzione il pendolo:

	Massa	Lunghezza dall'estremità inferiore del gancio
Massa 1	19,83	9,00
Massa 2	19,78	14,20
Massa 3	19,96	19,62
Massa 4	19,83	25,00
Massa 5	19,76	30,20
Massa 6	19,74	36,04
Massa 7	19,71	40,92
Massa 8	19,98	46,24
Massa 9	19,96	51,66

Base supporto	14,01	3,62
Gancio	5,87	73,82

Per misurare la posizione del centro di massa abbiamo pesato ogni singola massa e il supporto con in gancetto:

- Per trovare il centro di massa del gancio, dato che non è un cilindro omogeneo, abbiamo utilizzato un escamotage sperimentale: lo abbiamo messo in equilibrio su una superficie affilata, misurando la lunghezza del baricentro dalla punta, 41 mm
- Il centro di massa del singolo pesetto lo abbiamo calcolato come la media della lunghezza della pila di pesi senza il peso e poi con il peso
- Poi abbiamo calcolato la posizione del centro di massa come la media pesata dei singoli centri di massa e infine abbiamo aggiunto la lunghezza del filo

Per semplicità e dato che il gancio è estremamente poco massivo, abbiamo deciso che la massa la consideriamo come un'unico cilindro con 25,5 mm di diametro e 51 mm di altezza.
Le misure dei periodi sono su Excel con le relative conclusioni su g: https://unimi2013-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/davide_invernizzi2_studenti_unimi_it/EQZc6zy_O75Gp9dOxScSQYABzuf-ipoPIBmkOS2JVrxj4Q?e=7HTKej

Problematiche trovate:

- g è leggermente sottostimato e il termine noto supera leggermente 0: si tratta di errore sistematico
    - L'errore sistematico è causato da un'imprecisione di costruzione del pendolo: il punto di oscillazione non era perfettamente fermo, andrebbe fissato con dello scotch

Pendolo con configurazione che prova a minimizzare e bilanciare le incertezze

Abbiamo costruito il pendolo per avere la configurazione più stabile possibile:

Abbiamo utilizzato la medesima strumentazione e la stessa massa della scorsa giornata.
Dovevamo misurare il periodo in funzione di 6 lunghezze diverse (misure su Excel): https://unimi2013-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/davide_invernizzi2_studenti_unimi_it/ESo7PH6AesFEtKF2EkghckYBj-mN5-8JiPzZJgGnAKuFRA?e=c6cw9A
—> Per prendere le misure, dato che ci sono 2 cronometri, potremmo usarli entrambi in contemporanea, ma non possiamo farlo perché a priori non possiamo stabilire se sono uguali.

Alla fine della giornata abbiamo avuto il tempo di effettuare delle registrazioni di periodi con il foto traguardo per angoli di 30° per visualizzare lo smorzamento del sistema dovuto all'attrito (decadimento esponenziale).

III esperienza - Oscillazioni

K statico

Materiali a disposizione:

- Bilancia
  - Sensibilità 10 g
  - Risoluzione 0,01 g
  - Portata 4000 g
- Morsetti
- Aste
- 2 molle
  - Molla 1: 12,45 g
  - Molla 2: 22,45 g
- Metro
  - Sensibilità 1 mm
  - Risoluzione 1 mm
  - Portata 3 m
- Calibro
  - Sensibilità 0,02 mm
  - Risoluzione 0,02 mm
  - Portata 200 mm
- Sonar
  - Sensibilità 0,15 m
  - Risoluzione 0,001 m
  - Portata 8 m

Apparato:

Scopo: Misura della costante elastica k_s di 2 molle con il metodo statico e ricerca e quantificazione delle non idealità del sistema.

Metodo: si misura l'allungamento della molla al variare della massa appesa. Per ciascuna molla e per ciascuna configurazione di massa:

- Pesiamo la massa appesa m_i
- Effettuiamo una doppia misura dell’altezza h_i di un punto del sistema arbitrario
    - Con il calibro
    - Con il sensore di posizione (sonar)
- Useremo le differenze tra due configurazioni
- Regressione lineare (possibilmente almeno 5 dati)

Per la molla più morbida, eseguiremo soltanto quattro misurazioni poiché, con un peso maggiore, l'allungamento supererebbe la capacità massima del calibro utilizzato per le misurazioni.

Per ciascuna massa, eseguiamo diverse misurazioni con il calibro al fine di valutare l'errore associato alla singola misura, il quale non dipende soltanto dalla precisione dello strumento, ma anche dallo sperimentatore e dal punto di contatto tra calibro e oggetto.
Effettuiamo solo tre misurazioni per ragioni di tempo, tuttavia sarebbe meglio eseguirne un maggior numero per ottenere una stima più precisa dell'errore commesso.

Per acquisire le misure con il sonar, è necessario impostare una frequenza di campionamento compresa tra 10 e 100 Hz. Abbiamo stimato con il cronometro una frequenza di 1,1 Hz, tuttavia durante i test abbiamo notato che nei punti di massimo la velocità del segnale è molto bassa. Inoltre, un sensore ad alta frequenza potrebbe intercettare troppe posizioni in quei punti, mentre una frequenza troppo bassa rischia di non rilevare alcuna oscillazione e di misurare sempre lo stesso punto. Pertanto, abbiamo optato per una frequenza di campionamento di 25 Hz, che rappresenta un compromesso accettabile.

Per costruzione, il sonar ha una risoluzione teorica pari a 1 mm. Tuttavia, durante i test abbiamo notato che esso restituisce misure più precise di questo limite. Per stimare la risoluzione effettiva del sonar, abbiamo considerato una configurazione in cui il sensore misura due posizioni di equilibrio distinte, assumendo che il corpo sia perfettamente fermo.

Problematiche trovate:
Il risultato del fit lineare indica un andamento significativo, in quanto il valore del termine noto è diverso da zero e si discosta di oltre 2 sigma dalla media. Nel caso del sonar, ciò potrebbe essere dovuto a una sottovalutazione dell'incertezza o al fatto di non aver considerato la massa della

molla. Per quanto riguarda il fit del calibro, l'inaccuratezza potrebbe essere attribuibile alla mancata individuazione del valore medio a causa del limitato numero di misure effettuate.

K dinamico

Materiali a disposizione: vd. K statico

Apparato: vd. K statico

Scopo: Misura della costante elastica k_d di 2 molle con il metodo dinamico e ricerca e quantificazione delle non idealità.

Metodo: si misura la pulsazione dell'oscillazione al variare della massa appesa. Per ciascuna molla e per ciascuna configurazione di massa:

- Pesiamo la massa appesa m_i
- Effettuiamo una misura dell'altezza h_i di un punto del sistema arbitrario con il sensore di posizione (sonar) e, utilizzando il programma PASCO, otteniamo un valore di ω_i
  - Per calcolarla abbiamo deciso di far applicare l'operazione di calcolo di PASCO ad un range di 10s di modo tale da avere la sigma (errore) dello stesso ordine per tutte le configurazioni i-esime
- Regressione lineare (possibilmente almeno 5 dati) per ogni configurazione

Per ottenere misurazioni accurate utilizzando il sonar, abbiamo selezionato una frequenza di campionamento di 40Hz. Frequenze più basse non sarebbero state sufficientemente precise per la misura dell'altezza, mentre frequenze più alte non sembravano influire sulla misurazione di ω. Inoltre, l'utilizzo di frequenze troppo alte avrebbe potuto causare una sovrapposizione di misurazioni, con conseguenti errori di rilevamento.

Problematiche riscontrate:
Eseguendo l'analisi di regressione lineare, abbiamo osservato un valore dinamico di k che risulta essere quasi identico al valore statico. Tuttavia, la probabilità di ottenere un buon fit lineare è risultata essere estremamente bassa, pari a 10^{-6}%. Tale risultato può essere principalmente attribuito alle dimensioni estremamente ridotte delle ascisse considerate, che rendono difficoltosa l'adeguata rappresentazione grafica dei dati.

Oscillatore armonico smorzato

Materiali a disposizione: vd. K statico

Apparato: vd. K statico

Scopo: Determinare lo smorzamento del sistema

Metodo: Proviamo diverse configurazioni variando la molla, la massa e il disco.

- L'attrito del sistema usato per determinare k_d è troppo piccolo
    - Aggiungeremo al porta masse un disco per aumentare l'attrito e renderlo misurabile
- Determinare la posizione a riposo del sistema
    - Per stimare con precisione la posizione di riposo del sistema, dobbiamo portare la configurazione a una posizione ferma. Dopodiché, utilizzeremo una frequenza di campionamento elevata e faremo delle misure per un certo numero di periodi. In questo modo, potremo creare un grafico cumulativo che ci permetterà di valutare con maggiore accuratezza la posizione esatta del sistema
- Acquisire la posizione nel tempo del moto smorzato e leggiamo la posizione in corrispondenza di un numero intero di periodi (anche non consecutivi)
    - Per individuare i massimi all'interno di un range di oltre mille dati, indetificheremo i punti x in cui sia il valore precedente che quello successivo risultano inferiori rispetto al valore di x stesso
    - La stima del periodo di un segnale può essere effettuata mediante la misurazione della differenza tra due massimi consecutivi. Per fare ciò, è possibile calcolare la differenza di tempo tra due massimi per ogni coppia di picchi e successivamente calcolarne la media. In questo modo si ottiene una stima del periodo del segnale in modo preciso e affidabile.
- Riportiamo in tabella le ampiezze ottenute per differenza con la posizione a riposo, propagando gli errori.
- Effettuiamo due regressioni lineari diverse per capire in che caso di attrito ci troviamo (proporzionale a v o a v^2

    - Valuteremo il caso corretto con il test del χ^2

Stima posizione a riposo: Poiché il corpo ha una minore velocità agli estremi del moto armonico, il sonar che campiona ad alta frequenza (ad esempio 100 Hz) rileva un maggior numero di volte la posizione del corpo in quei punti. Perciò nella misura della posizione di riposo, un istogramma delle oscillazioni residue dovrebbe mostrare una forma a "campana rovesciata", cioè con due picchi ai lati e un minimo centrale. Con questo tipo di grafico si può stimare la posizione di massimo e di minimo delle oscillazioni residue. Il minimo si calcola effettuando una media pesata tra il valore di ampiezza corrispondente al primo picco e tutti i valori alla sua sinistra, mentre per il massimo effettuando una media pesata tra il valore di ampiezza corrispondente al secondo picco e tutti i valori alla sua destra. Calcolando media e deviazione standard tra valore di massimo e di minimo si può ottenere una stima del valore vero e dell'incertezza sulla posizione a riposo.

Regressione lineare $c_2 = 0$:

- Per calcolare il valore di sigma y, abbiamo utilizzato come valore di sigma per l'ampiezza il valore di 0,2, poiché è l'incertezza minima ottenuta dall'analisi della posizione a riposo del corpo, indicando che il sonar può misurare la posizione almeno con questa risoluzione.
- L'incertezza sul tempo è stata trascurata poiché il sonar garantisce, per costruzione, una risoluzione molto più precisa rispetto all'incertezza sulle coordinate y.

$$y = \log\left(\frac{\overset{\text{Ampiezza primo}}{\psi(T)}}{\underset{\text{Ampiezza n-esimo}}{\psi(nT)}}\right) = \log\left(\frac{\psi_1}{\psi_2}\right) = \log\psi_1 - \log\psi_2$$

$$\frac{\partial y}{\partial \psi_1} = \frac{1}{\psi_1} \qquad \frac{\partial y}{\partial \psi_2} = -\frac{1}{\psi_2} \implies \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{\psi_1^2}\sigma_{\psi_1}^2 + \frac{1}{\psi_2^2}\sigma_{\psi_2}^2}\ , \quad \sigma_{\psi_1} = \sigma_{\psi_2}$$

Oscillatore smorzato e forzato

Configurazione: massa 169,77 g - molla 2

—> Abbiamo selezionato la configurazione massa-molla che ha prodotto il valore di probabilità più elevato per C1 e più basso per C2 durante il test del chi quadrato nelle regressioni lineari condotte nell'esperimento precedente. Abbiamo aumentato la massa per avere tempi di battimento più lunghi e per evitare che l'ampiezza della lorentziana esploda troppo

—> Utilizzando questa configurazione, abbiamo calcolato, utilizzando il valore statico di k precedentemente determinato, una frequenza di risonanza stimata di circa 1,01 Hz.

Strumenti (in aggiunta a quelli già menzionati):

- Generatore
  - Converte una frequenza e un’ampiezza in un determinato segnale elettrico
- Attuatore
  - Converte un segnale elettrico in uno spostamento di un punto fisico
  - Lo montiamo capovolto sul nostro supporto e appendiamo la molla al suo estremo

mobile

Apparato:

Scopo: misurare l'ampiezza di oscillazione per diverse frequenze/pulsazioni in un intorno della condizione di risonanza e costruire la curva "Lorentziana" attesa e sperimentale

Metodo:

- Prima di fare misure, calcoliamo ω_0 (frequenza propria) e FWHM del sistema prescelto con le relative incertezze
- Mettiamo in funzione il sistema e iniziamo osservando approssimativamente la pulsazione di
  risonanza
- Scegliamo l'ampiezza della forzante che terremo poi costante, in modo che:
  - Sia abbastanza grande da avere oscillazioni osservabili fino a distanza ~FWHM dal centro
  - Non sia troppo grande da mandare le spire della molla "a battuta" durante la risonanza
- Misuriamo l'ampiezza di oscillazione per ~ 10 frequenze di cui almeno 5 all'interno di ±FWHM/2 dal centro
- Calcolare la Lorentziana attesa

- Tracciamo in grafico le due Lorentziane: sperimentale e attesa
  - Proviamo a normalizzare quella attesa a quella sperimentale

- Facciamo un test del χ^2

Misure effettuate:

- Massimi:
    - Frequenza 1,069: 17,52 ± 0,11 mm
    - Frequenza 1,065: 21,93 ± 0,22
    - Frequenza 1,060: 31,61 ± 0,10mm
    - Frequenza 1,055: 48,03 ± 0,24 mm
    - Frequenza 1,053: 57,89 ± 0,31 mm
    - Frequenza 1,051: 65,54 ± 0,21 mm
    - Frequenza 1,050: 68,67 ± 0,31 mm
    - Frequenza 1,049: 70,06 ± 0,19 mm
    - Frequenza 1,048: 69,48 ± 0,20 mm
    - Frequenza 1,047: 67,36 ± 0,12 mm
    - Frequenza 1,046: 63,05 ± 0,25 mm
    - Frequenza 1,045: 58,75 ± 0,14 mm
    - Frequenza 1,043: 46,01 ± 0,39 mm
    - Frequenza 1,040: 34,54 ± 0,20 mm
    - Frequenza 1,035: 23,08 ± 0,15 mm

    - Frequenza 1,025: 14,005 ± 0,08625 mm
    - Frequenza 1,020: 11,73 ± 0,07 mm
    - Frequenza 1,015: 10,07 ± 0,11 mm
    - Frequenza 1,010: 8,88 ± 0,10 mm
    - Frequenza 1,005: 7,73 ± 0,004748759 mm
    - Frequenza 1,000: 6,94 ± 0,08 mm
    - Frequenza 0,995: 6,11 ± 0,09 mm
    - Frequenza 0,980: 4,66 ± 0,04 mm
- Minimi:
    - Frequenza 1,069: -18,77 ± 0,05 mm
    - Frequenza 1,065: -23,30 ± 0,20 mm
    - Frequenza 1,060: -32,59 ± 0,19 mm
    - Frequenza 1,055: -49,39 ± 0,14 mm
    - Frequenza 1,053: -60,40 ± 0,83 mm
    - Frequenza 1,051: -69,17 ± 0,33 mm
    - Frequenza 1,050: -72,46 ± 0,25 mm
    - Frequenza 1,049: -73,70 ± 0,40 mm
    - Frequenza 1,048: -73,06 ± 0,09 mm
    - Frequenza 1,047: -70,86 ± 0,34 mm
    - Frequenza 1,046: -66,55 ± 0,33 mm
    - Frequenza 1,045: -60,89 ± 0,86 mm

    - Frequenza 1,043: -47,06 ± 0,20 mm
    - Frequenza 1,040: -35,53 ± 0,19 mm
    - Frequenza 1,035: -24,33 ± 0,14 mm

    - Frequenza 1,025: -14,84 ± 0,0764 mm
    - Frequenza 1,020: -12,42 ± 0,07 mm
    - Frequenza 1,015: -10,75 ± 0,09 mm
    - Frequenza 1,010: -9,43 ± 0,12 mm
    - Frequenza 1,005: -8,462871 ± 0,006755408891 mm
    - Frequenza 1,000: -7,64 ± 0,10 mm
    - Frequenza 0,995: -7,01 ± 0,10 mm
    - Frequenza 0,980: -5,70 ± 0,06 mm
- Battimenti:
    - Frequenza 1,046 (run 18)
    - Frequenza 1,065 (run 24)
    - Frequenza 1,051 (run 26)
    - Frequenza 1,090 (run 27)

Calcolo della Lorentziana:

- $T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = \frac{2\pi\sqrt{m_i}}{\sqrt{k}}$
- $T_1 : \sqrt{m_1} = T_2 : \sqrt{m_2} \implies T_2 = T_1 \frac{\sqrt{m_2}}{\sqrt{m_1}}$

Periodo della seconda esperienza (configurazione 7) a cui abbiamo cambiato la massa da m1 a m2

Ottenendo

- Lorentziana attesa (non $A(\omega_f) = \frac{1}{\sqrt{(\omega_0 - \omega_f)^2 + \gamma^2}}$
- Normalizzazion $\sum D = N \sum L$

Lorentziana

Costante di

Lorentziana

- $^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(\text{Sperimentale})_i^2 - (\text{Attesa})_i^2}{\sigma_i^2}$

Definiamo come variabile del Chi2 la differenza (Ln - D) e quindi il valore atteso di questa variabile è 0

Con $\sigma_i^2 = \sigma_{Ln_i}^2 + \sigma_{D_i}^2$

Incertezza Attesa

Incertezza Sperimentale

- $\sigma_L = L^3 \cdot f^2 \cdot \gamma \cdot \sigma_\gamma^2$ $\qquad \sigma_N = N \sqrt{\frac{\sum \sigma_L^2}{(\sum L)^2} + \frac{\sum \sigma_D^2}{(\sum D)^2}}$

Frequen

$\implies \sigma_{LN} = LN \sqrt{\frac{\sigma_L^2}{L^2} + \frac{\sigma_N^2}{N^2}}$

IV esperienza - Tubo di Kundt

Materiali a disposizione:

- Morsetti
- Aste
- Metro
  - Sensibilità 1 mm
  - Risoluzione 1 mm

    - Portata 3 m
- Calibro
    - Sensibilità 0,02 mm
    - Risoluzione 0,02 mm
    - Portata 200 mm
- Tubo (Cilindro)
- Generatore
    - Converte una frequenza e un'ampiezza in un determinato segnale elettrico
    - Si è trovato un errore sistematico: il valore mostrato sullo schermo non è corretto di +30 mHz

- Oscilloscopio
    - Per una qualunque osservabile fisica traducibile in un segnale elettrico attraverso un sensore, l'oscilloscopio ci permette di visualizzarne la legge oraria.
    - Incertezza (sperimentale) sulla frequenza dell'oscilloscopio: 10 mHz

Apparato:

Scopo: misurare la velocità del suono attraverso la misurazione di lunghezza d'onda e frequenza

Metodo:

- Ricostruire il comportamento del sistema con diverse frequenze del segnale forzante (dall'altoparlante), verificando l'esistenza di onde stazionarie e di un effetto di risonanza
- Campionare l'ampiezza dell'onda sonora all'interno del tubo, muovendo il microfono in

posizioni diverse
    - Ricostruire il profilo dell'onda stazionaria.
- Ripetere l'esperienza a frequenze multiple della fondamentale, per diverse condizioni alle estremità del tubo
    - Possibilmente 2-4 armoniche per ciascuna configurazione
- Determinare la velocità del suono sulla base dei profili ottenuti e (attraverso il confronto con il valore atteso) estrarne il valore per la costante adiabatica γ
- Costruire la curva di risonanza per un modo prescelto
- Costruire la curva per la fase.

Misure effettuate per trovare la lunghezza d'onda del modo fondamentale:

Frequenza (Hz)	Ampiezza (mV)
229,000	784-792
229,300	792-800
229,400	792-800
229,450	792-808
229,500	792-(800)
229,550	792
229,600	792
229,650	784-792
229,700	784-792
229,800	776-784