

**NUOVI E VECCHI STRUMENTI
PER INDAGARE I FENOMENI IN NATURA**
Il laboratorio tra tradizione e innovazione

Firenze, 22 – 23 aprile 2026

SEZIONE TESINE BIENNIO

Menzione d'onore

Sulle spalle di Galileo... col paracadute

Studenti

El Khou El Mahdi - Sorelli Caterina - Riillo Maurizio

Classi 2 AS – 2 BS

Istituto di Istruzione Superiore

Licei Giovanni da San Giovanni

San Giovanni Valdarno (AR)

Docente Coordinatore

Marrelli Gianmario

Gli studenti analizzano il fenomeno della caduta dei gravi nelle condizioni reali discutendo i fattori che lo influenzano e confrontandolo col modello ideale galileiano. Valutate criticamente le condizioni sperimentali, prendono in considerazione unicamente un contesto di strumentazione moderna. L'elaborazione dei dati sperimentali è affidata a un'applicazione software specifica, utilizzata adeguatamente e consapevolmente. La presentazione è molto sintetica.

Sulle spalle di Galileo... col paracadute

Il presente lavoro vuole confrontare la differenza tra il modello teorico della caduta libera, come lo aveva descritto Galileo, e ciò che realmente accade quando un oggetto cade nell'atmosfera. In fisica, si dice che in un ambiente privo di aria (il vuoto) tutti gli oggetti, indipendentemente dalla loro massa, cadono con la stessa accelerazione. Questo è il modello galileiano, dove l'accelerazione è sempre la stessa e non dipende dalla massa dell'oggetto. Tuttavia, quando ci troviamo nel mondo reale, ossia nell'atmosfera, le cose cambiano. La resistenza dell'aria (la forza di attrito con l'aria) entra in gioco, e questo fa sì che gli oggetti cadano in modo diverso rispetto a come ci aspetteremmo in base alla teoria. Per questo motivo, nelle situazioni reali, l'accelerazione non è più indipendente dalla massa.

Il nostro obiettivo è stato quello di misurare e comprendere meglio queste differenze, cercando di quantificare l'effetto della resistenza dell'aria sulla caduta degli oggetti. Per farlo, abbiamo creato un esperimento utilizzando uno smartphone dotato di un accelerometro e un'applicazione chiamata Phyphox per raccogliere i dati.

Lo smartphone è stato messo in un involucro protettivo in Pluriball di forma e dimensioni invariate, ma aggiungendo di volta in volta alcuni pesetti allo scopo di incrementare la massa totale del corpo in caduta. I risultati sperimentali che abbiamo ottenuto mostrano che l'accelerazione dell'oggetto, quella che abbiamo misurato con lo smartphone, è diversa da quella prevista dalla teoria.

In particolare, abbiamo osservato che questa accelerazione diminuisce man mano che si riduce la massa dell'oggetto. Questo fenomeno può essere spiegato dalla resistenza dell'aria che diventa sempre più rilevante quando l'oggetto ha una massa più piccola. Infatti, per oggetti pesanti (di grande massa) la resistenza dell'aria è quasi insignificante, mentre per oggetti più leggeri la resistenza dell'aria ha un impatto molto più forte, rallentando la caduta.

Questi risultati ci hanno permesso di vedere chiaramente come l'aria influisca sulla velocità di caduta degli oggetti, e come la forza viscosa dell'aria (la resistenza che essa oppone) diventi un fattore fondamentale per oggetti a bassa densità. Infine, il nostro esperimento ha dimostrato che, attraverso l'uso dei dati digitali, possiamo 'vedere' e analizzare la resistenza dell'aria, applicando la seconda legge della dinamica ($F = ma$) a situazioni che coinvolgono fluidi come l'aria.

In sostanza, l'esperimento ha rivelato come la teoria di Galileo, pur essendo corretta in un ambiente ideale (vuoto), debba essere corretta nella realtà, dove l'aria e la sua resistenza giocano un ruolo importante nella velocità con cui gli oggetti cadono.

1. Introduzione e Obiettivi

La legge di caduta dei gravi afferma che tutti i corpi sulla superficie della terra cadono con la stessa accelerazione “g”, dove $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$, indipendentemente dalla loro massa. Tuttavia l'esperienza di tutti i giorni ci suggerisce che una piuma cade più lentamente di un sasso. Questo accade perché i due corpi eseguono un moto in un fluido (l'aria) che oppone resistenza.

L'obiettivo del nostro lavoro è:

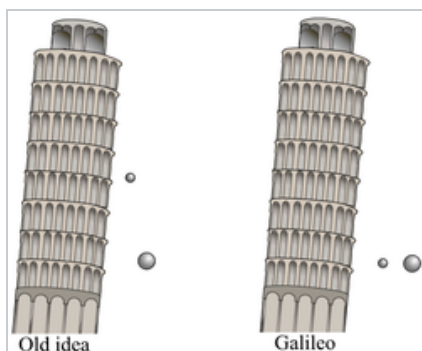
1. Misurare l'accelerazione di caduta “a” utilizzando sensori di accelerazione presenti all'interno di alcuni smartphone e successivamente verificare come la massa “m” influenzi l'accelerazione netta quando la forza di attrito aerodinamico F_d non è trascurabile.
2. Verificare se all'aumentare della massa il comportamento dei corpi tende a seguire il modello ideale galileiano secondo il quale corpi di masse differenti che cadono verso il suolo dalla stessa altezza iniziale lo colpiscono nello stesso istante.

2. La storia dell'esperimento

Tra il 1589 e il 1592, si dice che lo scienziato italiano Galileo (all'epoca professore di matematica all'Università di Pisa) abbia fatto cadere due sfere di massa diversa dalla Torre di Pisa per dimostrare che il loro tempo di discesa era indipendente dalla loro massa.

Secondo la storia, attraverso questo esperimento, Galileo scoprì che gli oggetti cadevano con la stessa accelerazione, dimostrando che la sua previsione era vera, mentre allo stesso tempo smentiva la teoria della gravità di Aristotele, che afferma invece che gli oggetti cadono a velocità proporzionale alla loro massa. La maggior parte degli storici considera che sia stato un esperimento mentale piuttosto che un test fisico: Galileo infatti perfezionò le sue leggi sulla dinamica utilizzando esperimenti più controllabili, come quelli descritti dal Museo Galileo sui **piani inclinati**, che permettevano di "rallentare" il moto per misurarlo con precisione.

La prova definitiva della sua teoria è stata fornita secoli dopo nel vuoto, come dimostrato dall'esperimento del martello e della piuma sulla Luna durante la missione **Apollo 15**.



3. Cenni Teorici

Un corpo in caduta libera in atmosfera è soggetto a due forze principali:

1. La **Forza Peso**, o più comunemente chiamata forza di gravità, che attira un corpo verso il centro della terra secondo la formula: $F_p = m * g$.
2. La **Forza di Attrito Viscoso**, o conosciuta meglio come “attrito dell’aria” in questa circostanza, che si oppone alla forza peso e che conseguentemente rallenta il corpo in caduta libera. Questa forza non dipende dalla massa del corpo, ma piuttosto dalla sua forma geometrica.

Per l'equazione di Newton $F_{tot. sistema} = m * a$ abbiamo che: $mg - F_{att} = ma$.

In relazione a quanto scritto in linea teorica $F_{att} = 0$ in quanto l’equazione si dovrebbe verificare per $g = a$, ma siccome la forza d’attrito viscoso non può essere trascurata vorrà dire che il nostro valore di g al termine dei calcoli sarà strettamente minore di quello ideale. Per avere ancor più chiaro quello che potrebbe essere l’andamento dei nostri calcoli possiamo manipolare la nostra formula per avere una chiara relazione di proporzionalità tra le accelerazioni e le masse.

In particolare dividendo tutti i membri per m abbiamo che: $g - \frac{F_{att}}{m} = a$. Notiamo dunque come la relazione di inversa proporzionalità tra l’attrito e la massa ci possa suggerire che all’aumentare della massa la nostra misurazione sperimentale di g si avvicini al suo valore teorico. Rimane tuttavia da considerare tutta la questione aleatoria di un esperimento in cui molti fattori entrano in gioco e che possono modificare l’andamento, seppur diversamente preventivato, di un fenomeno regolato da una formula rigorosa. In sintesi ci aspettiamo secondo la teoria qui esposta un particolare andamento asintotico al valore di g “reale” per m che aumenta, ma durante l’esperimento e la trattazione dei dati molti fattori possono influenzare il risultato finale.

4. Apparato Sperimentale e Metodi

Strumenti:

- **Sensore:** Smartphone con app **Phyphox**.
- **Imballaggio:** Strati di Pluriball avvolti per formare un volume protettivo di forma di parallelepipedo
- **Masse aggiuntive:** Pesetti calibrati per simulare le configurazioni "2 telefoni" e "4 telefoni".
- **Target:** Materassino gonfiabile per assorbire l'urto finale senza danneggiare il dispositivo.
- **Altezza di lancio:** 160-200 cm.

Procedura

Abbiamo eseguito 10 lanci per ciascuna delle tre configurazioni:

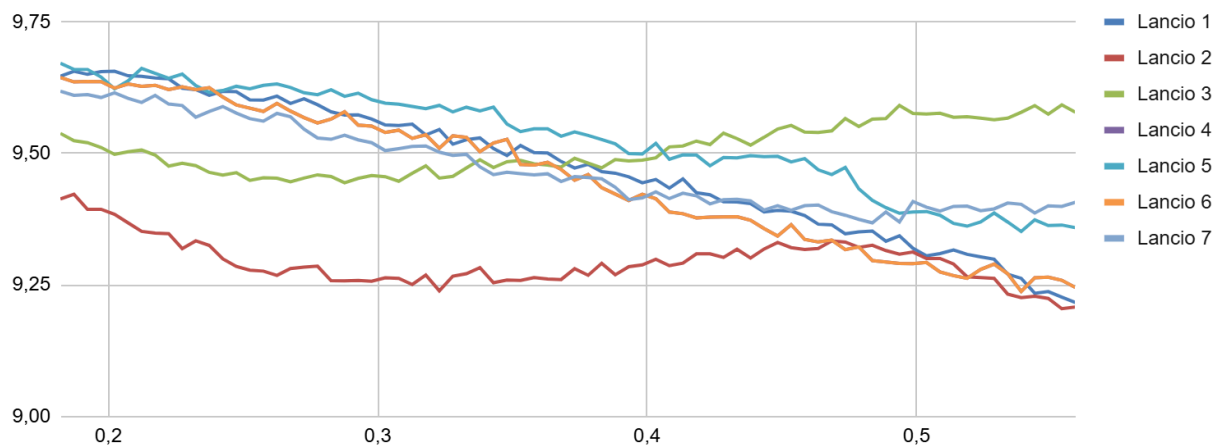
1. **Massa Base:** telefono imballato.
2. **Massa Doppia:** telefono imballato e una serie di pesetti necessari a raddoppiare la massa nello stesso volume di imballaggio.
3. **Massa Quadruplo:** telefono e pesetti per quadruplicare la massa nello stesso volume.

L'acquisizione dati è avvenuta grazie alla funzione “accelerazione con g” dell'app phyphox che è stata avviata poco prima della serie di lanci.

Per riuscire a scernere le porzioni di dati che ci servivano durante i lanci abbiamo aspettato qualche secondo fra un lancio ed un altro in modo che la registrazione dei dati venisse distinta e facilmente comprensibile.

Dopo aver eseguito i 10 lanci abbiamo trasferito i dati su un foglio di calcolo ed abbiamo cominciato ad estrarre i dati grezzi. Ciò di cui avevamo bisogno erano i tratti in cui l'app Phyphox misurava l'accelerazione di gravità, ovvero nei momenti di caduta libera; pertanto abbiamo estratto da tutti i valori presenti nel foglio di calcolo quelli che coincidevano coi momenti di caduta. Dopodichè abbiamo iniziato a lavorare con i dati per ottenere dei valori medi per ogni serie di lanci.

5. Analisi dei Dati e Risultati



Esempio di grafico dei dati di 7 lanci forniti dall'app. In ascissa, il tempo in secondi. In ordinata il valore misurato di accelerazione in m/s^2

Per ciascun lancio abbiamo selezionato, dai dati ottenuti dall'app (un file che fornisce l'accelerazione misurata dall'accelerometro ogni unità di tempo, dichiarata dal file 0,005023398 secondi):

- il valore di g misurato all'inizio della caduta, trovato manualmente riconoscendo il momento del distacco come il momento in cui l'accelerazione passa da valori prossimi allo 0 a valori vicini a g;
- il valore di g misurato dopo 0,4 secondi (distanza temporale scelta come valore minimo tra la durata di tutte le cadute).

Per ciascuna caduta abbiamo trovato il coefficiente angolare della retta che connette i due valori di accelerazione nel tempo e abbiamo così trovato, per i 10 lanci di ciascuna configurazione di massa, un valore medio di g iniziale (con errore dovuto ai valori max e min) e uno finale.

Tabella Riassuntiva dei Risultati

Configurazione	Massa totale (in grammi)	Accelerazione media iniziale (m/s ²)	Accelerazione media finale (m/s ²)
Base	200,5 $\pm$ 0,1	9,7 $\pm$ 0,2	8 $\pm$ 2
2m	402,0 $\pm$ 0,1	9 $\pm$ 1	8,3 $\pm$ 0,9
4m	801,5 $\pm$ 0,1	9 $\pm$ 1	9,1 $\pm$ 0,1

Osservazione sullo "Strappo" (Jerk)

In fisica, lo strappo (o *jerk*) è la rapidità con cui varia l'accelerazione. Se l'accelerazione definisce quanto velocemente cambia la velocità, lo strappo misura quanto è "dolce" o "brusco" questo cambiamento.

Dall'analisi dei dati raccolti e dal calcolo dello strappo (jerk), ovvero la pendenza della retta che unisce l'accelerazione iniziale a quella finale, possiamo trarre alcune conclusioni fondamentali:

- **L'aria non è "vuota":** In teoria, nel vuoto, l'accelerazione dovrebbe restare fissa a 9,81 m/s² e lo strappo dovrebbe essere zero. I nostri dati mostrano invece che l'accelerazione cala durante la caduta. Questo succede perché, mentre il telefono scende, va sempre più veloce e l'aria fa sempre più resistenza, "frenando" la spinta della gravità.

- **Più massa = Più stabilità:** C'è una differenza enorme tra il lancio con un solo telefono e quello con quattro.
 - **1 Telefono:** L'accelerazione crolla drasticamente (passa da 9,7 a 8 m/s²). Lo strappo è molto alto (-4,25 m/s³), il che significa che l'aria lo rallenta in modo brusco.
 - **4 Telefoni:** L'accelerazione resta quasi costante (da 9 a 9,1 m/s²). Qui lo strappo è quasi zero (+0,25 m/s³), molto vicino al modello ideale di Galileo.
- **Perché i dati del telefono singolo sono così "ballerini"?** Se guardiamo la tabella, l'errore finale del telefono singolo è altissimo (± 2), mentre quello del blocco da quattro è bassissimo ($\pm 0,1$). Questo potrebbe succedere perché l'oggetto leggero subisce molto di più le turbolenze mentre, al contrario, il pacco più pesante cadrebbe più dritto, rendendo le misurazioni molto più precise e pulite.

6. Conclusioni

L'esperimento ha confermato le ipotesi iniziali:

1. In aria, i gravi non cadono tutti con la stessa accelerazione se hanno densità diverse.
2. Il corpo più leggero (1 telefono) ha risentito maggiormente dell'attrito dell'aria ($a \ll g$).
3. Il corpo più pesante (4 telefoni), avendo una maggiore inerzia a parità di aerodinamica, ha "vinto" la resistenza dell'aria più efficacemente, registrando valori molto prossimi a g .

Questo esperimento didattico dimostra che la fisica ideale studiata sui libri trova riscontro nella realtà solo quando si comprendono e si misurano le forze "di disturbo" come l'attrito dell'aria.

7. Bibliografia e Sitografia

1. Galilei, G. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, 1638.
2. Phyphox.org - Physical Phone Experiments.
3. Halliday, Resnick, Walker. *Fondamenti di Fisica*, Casa Editrice Ambrosiana.

RELAZIONE DEL DOCENTE

La tesi nasce dalla volontà di mettere assieme le lezioni teoriche sulla cinematica con un'esperienza laboratoriale moderna, capace di connettere la storia della scienza alle tecnologie digitali oggi a disposizione dei ragazzi. Gli studenti hanno partecipato attivamente a ogni fase della progettazione, dimostrando una notevole capacità di problem solving, specialmente nella scelta di materiali poveri ma efficaci, come il Pluriball e i pesetti calibrati, per garantire la sicurezza degli smartphone e la costanza del volume degli oggetti in caduta.

L'esecuzione ha visto i ragazzi impegnati in sessioni di lancio durante le quali hanno dovuto gestire con precisione l'app Phyphox e l'organizzazione dei dati grezzi. Gli studenti non si sono limitati a subire il dato sperimentale "sporco", ma hanno imparato a interpretare la resistenza dell'aria come una forza misurabile, applicando la seconda legge della dinamica.

Le principali difficoltà sono emerse nell'analisi statistica dei dati e nella gestione dell'errore sperimentale, particolarmente evidente nelle configurazioni a massa ridotta. Tuttavia, l'impegno costante e la curiosità dimostrata hanno permesso di superare questi ostacoli, portando alla produzione di un elaborato originale. Come docente, ho osservato con soddisfazione una crescita nella consapevolezza del metodo scientifico e una eccellente sinergia nel lavoro di squadra.