



Associazione  
per l'Insegnamento  
della Fisica



# Olimpiadi di Fisica



35<sup>a</sup> Edizione

Gara Nazionale, prova sperimentale - giovedì 29 aprile 2021

## ISTRUZIONI:

Tempo: 4 ore

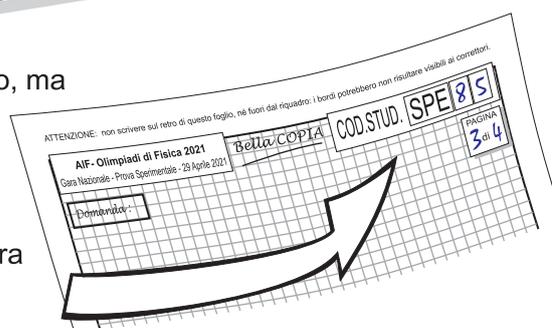
**Non sfogliare il fascicolo !  
Aspetta che sia dato il via.**

1. NON dovrai scrivere il tuo nome su nessun foglio, ma dovrai usare solo

**il Codice Studente**

che ti è stato comunicato !

2. Su ogni facciata scrivilo chiaramente, in alto a destra
3. Scrivi il numero di pagina e il totale delle pagine



### Istruzioni generali

*Leggi attentamente tutto il testo seguente prima di iniziare a lavorare con i materiali a disposizione.*

*Non ti si chiede una relazione di laboratorio, ma solamente una serie di risposte da scrivere nei fogli appositi.*

*Ogni risposta deve avere una sua giustificazione sintetica e chiara, anche se non è chiesto esplicitamente nella domanda.*

*Se, per migliorare un procedimento, adotti accorgimenti significativi, registrati nel corrispondente foglio risposte.*

Le Olimpiadi di Fisica  
sono organizzate dall'AIF  
su mandato del



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE

**P<sup>Sp</sup>****OSCILLAZIONI E RIMBALZI****P.ti 200****IN PRESENZA DI FORZE NON CONSERVATIVE**

L'esperimento è diviso in due parti. Nella prima è proposto lo studio delle trasformazioni di energia a cui è soggetta una sfera d'acciaio mentre compie oscillazioni rotolando senza strisciare in presenza di attrito volvente. Nella seconda è proposto lo studio dell'urto della sfera con la superficie piana e orizzontale del tavolo di lavoro. L'esperimento è reso possibile grazie alla versatilità di un apparato sperimentale, realizzato con materiale povero, che avrai cura di assemblare in alcune sue parti e predisporre per le misure. La sfera è una sfera d'acciaio per cuscinetti. Il grado di lavorazione è tale che il suo diametro  $2r$  viene espresso con 5 cifre significative. In particolare è

$$2r = 25.400 \text{ mm}$$

**IN QUESTO ESPERIMENTO NON È RICHIESTO IL CALCOLO DELLE INCERTEZZE**

Il valore dell'accelerazione di gravità da usare nei calcoli è  $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$

**MATERIALI IN DOTAZIONE**

Sfera di acciaio	Nastro biadesivo
Riga da disegno da 60 cm	Forbici
Cronometro (sensibilità 0.01 s)	N.2 mollette da bucato
Listello di abete piallato $7 \times 2$ (cm), lungo 62cm	Gomma per cancellare
N.2 angolari metallici $5 \times 5 \times 4$ (cm) e di spessore 0.3cm	Fogli di carta millimetrata
N.6 puntine da disegno	Foglio di carta carbone
Nastro adesivo di carta	Pennarello
N.2 nastri millimetrati di carta	Due squadre da disegno
Nastro adesivo trasparente	Una graffetta per tenere ferma la sfera quando si deve appoggiarla sul tavolo

**MATERIALI SUL TAVOLO DI SERVIZIO**

Martelletto	Fogli formato A4
-------------	------------------

**ISTRUZIONI PER IL MONTAGGIO DELL'APPARATO**

**Preparazione del tavolo di lavoro.** Per condurre l'esperimento è importante disporre di una superficie di appoggio orizzontale. Il tavolo di lavoro deve garantire al meglio tale condizione. La sfera metallica in dotazione può essere impiegata per effettuare opportuni controlli in tal senso.

**Preparazione del listello d'abete** Nel kit in dotazione troverai, tra l'altro, un listello di legno d'abete, un nastro millimetrato di carta, 4 puntine da disegno, un rotolo di nastro adesivo trasparente e un paio di forbici (vedi la figura 1). Recupera tale materiale e assemblalo seguendo le istruzioni.



Figura 1 – Materiale necessario per preparare il listello d'abete.

Usa il nastro adesivo per fissare il nastro millimetrato di carta al listello come mostrato in figura 2.

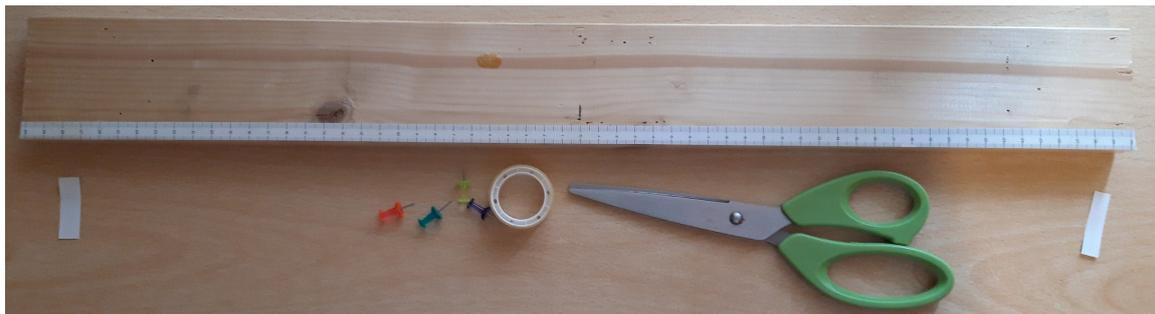


Figura 2 – Fissaggio del nastro millimetrato al listello mediante nastro adesivo trasparente.

Inserisci, ad una estremità del listello, due delle quattro puntine da disegno come puoi evincere dalle figure 3a e 3b.

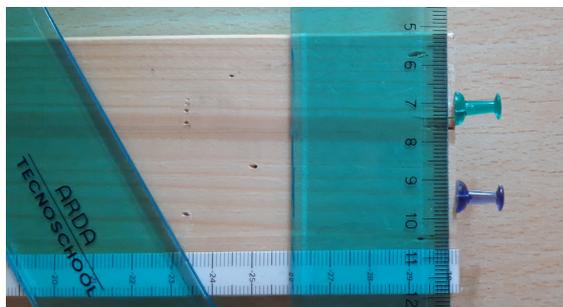


Figura 3a – La distanza centro-centro tra le puntine deve essere uguale a 2.5 cm.

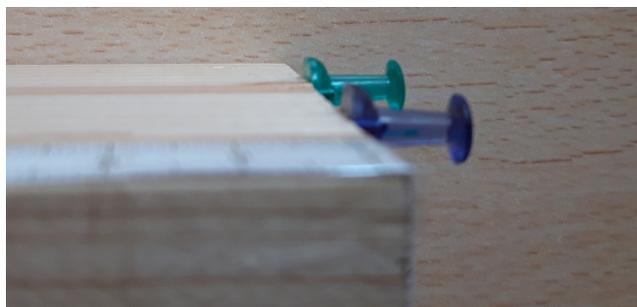


Figura 3b – Il collare di plastica delle puntine deve sporgere sopra il listello.

Ripeti l'operazione inserendo le altre due puntine da disegno all'altro estremo del listello. A lavoro ultimato il listello deve presentarsi come indicato in figura 4.



Figura 4 – Listello accessorizzato pronto all'uso.

**Preparazione della riga.** Individua la mezziera della riga e in tale prossimità applica un pezzo di nastro biadesivo in senso trasversale rispetto alla lunghezza. Sul lato opposto al precedente applica due strisce di nastro adesivo di carta nel senso della lunghezza della riga, avendo cura di allineare ciascun pezzo con il rispettivo bordo della riga. Le due strisce di nastro dovranno estendersi per tutta la lunghezza della riga. Nel fare questa operazione assicurati che i bordi del nastro non presentino increspature. La zona intermedia tra le strisce, non nastrata, rappresenta una guida per il moto della sfera: il bordo del nastro è sufficientemente spesso da garantire un vincolo e sufficientemente sottile da permettere che il fondo della sfera rimanga a contatto con la riga. A montaggio ultimato la distanza tra i due nastri deve risultare prossima a 5 mm. Fissa il nastro millimetrato direttamente su uno dei due nastri di carta, come è illustrato in figura 5. A tal scopo usa il nastro adesivo trasparente. In questo modo sarà possibile misurare la posizione del punto di contatto tra sfera e guida. Anche in questo caso fai attenzione a non produrre increspature che potrebbero interferire in modo indesiderato con la sfera alterandone il moto.

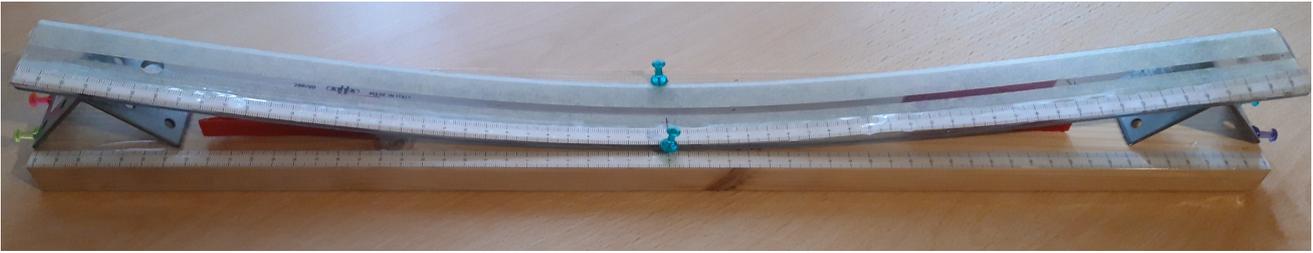


Figura 5 – Apparato di lavoro a montaggio ultimato

**Sistemazione della riga sul listello di legno.** L'obiettivo è quello di realizzare l'apparato rappresentato in figura 5. Appoggia la riga sul listello allineando le parti nel verso della lunghezza.

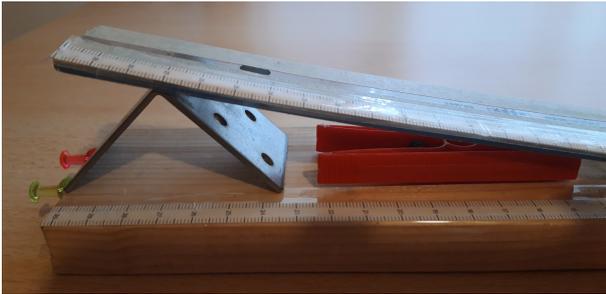


Figura 6 – Particolare del montaggio dell'angolare.

Assicurati che la mezzeria della riga si trovi in corrispondenza con la mezzeria del listello e in tale prossimità infila nel legno due puntine da disegno, una per ogni lato, in modo da schiacciare i bordi della riga contro il legno. L'azione combinata di nastro biadesivo e puntine garantirà che la riga resti a contatto col listello, in una piccola regione, anche quando la riga sarà sottoposta a flessione. Se hai difficoltà ad inserire le puntine nel legno ti puoi avvalere del martelletto che trovi sul tavolo di servizio. Alloggia sotto la riga i due angolari in modo che entrino in contatto con le puntine da disegno poste agli estremi del listello, come evidenziato in figura 6.

**A montaggio ultimato la riga deve risultare simmetrica rispetto alla mezzeria.** Per completare il montaggio piazza le due mollette da bucato sotto la riga, in modo che ne sfiorino la superficie. Il loro impiego serve a limitare la flessione della riga al passaggio della sfera.

**Le cose che puoi fare con l'apparato.** Il dispositivo costruito è versatile. La forma arcuata della guida si presta a far oscillare la sfera e ciò sarà sfruttato per studiare gli effetti dell'attrito volvente. D'altra parte, se togli uno degli angolari dalla sua posizione, le puntine da disegno e la molletta da bucato corrispondenti, il dispositivo diventa una rampa di lancio. In tal modo sarà impiegato nell'ultima parte dell'esperimento con l'obiettivo di misurare la perdita di energia nel rimbalzo della sfera sul tavolo di lavoro.

## PARTE PRIMA – GUIDA ARCUATA

**Introduzione.** Il primo obiettivo è determinare il raggio  $R$  del cerchio che meglio approssima la forma della guida e individuare la porzione di riga che si adatta a tale approssimazione. Posiziona la sfera sulla guida a circa 20 cm dal punto centrale. Tienila ferma usando la gomma per cancellare. Se togli di scatto la gomma la sfera sarà libera di compiere delle oscillazioni. Assicurati che l'operazione di rilascio non produca sulla sfera rotazioni iniziali indesiderate.

Si può dimostrare che il periodo delle oscillazioni di una sfera piena di raggio  $r$  che compie oscillazioni senza slittare su un percorso circolare di raggio  $R$  è espresso dalla relazione

$$T = 2\pi \sqrt{7(R-r)/(5g)}$$

1. – Dallo studio delle oscillazioni che la sfera compie sulla guida determina la misura del raggio  $R$ .

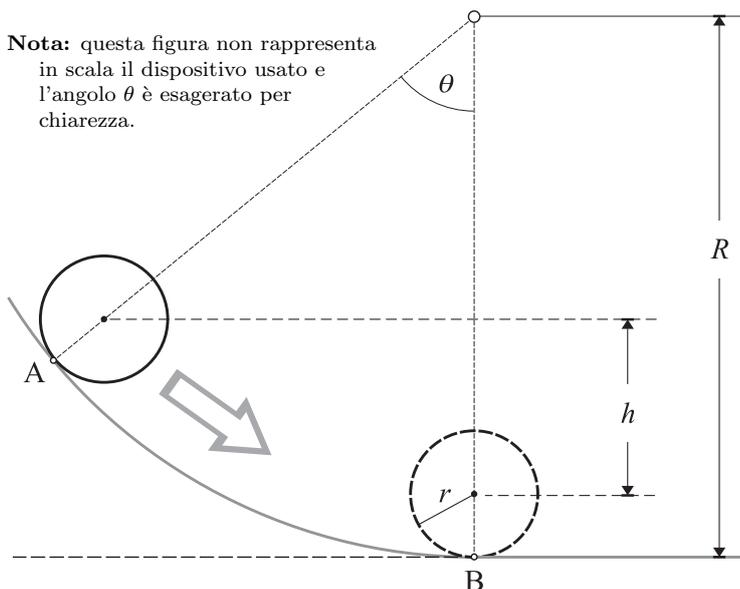
Per valutare come l'arco di raggio  $R$  approssima il profilo della guida, si procede come segue. Si riferisce la guida ad una coppia di assi cartesiani  $(x; y)$ . L'asse delle ascisse è parallelo al listello di legno. L'asse delle ordinate è ad esso perpendicolare, passa per la mezzeria della guida arcuata e si considera positivo verso l'alto.

La relazione che lega le coordinate  $(x; y)$  di un punto appartenente ad un arco di cerchio è allora  $y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$ . Converremo di ritenere che l'arco di cerchio e quello appartenente alla guida siano indistinguibili se la coordinata  $y$  calcolata e quella misurata direttamente differiscono non più di 2 mm. Per la misura diretta ti puoi avvalere di un pezzo di carta millimetrata opportunamente piegato.

2. – Indica quale porzione di guida soddisfa a tale criterio. Riporta in tabella le misure effettuate e descrivi, eventualmente avvalendoti di un disegno schematico di supporto, tutti gli accorgimenti necessari che hai adottato.

L'ampiezza del moto della sfera si riduce in modo evidente durante le oscillazioni. Gli effetti prodotti possono essere schematizzati ammettendo la presenza di una forza dissipativa  $\vec{F}$  dovuta all'attrito volvente, che si può considerare applicata al centro di massa della sfera, la cui intensità è direttamente proporzionale all'intensità  $N$  della forza normale alla guida che nasce dall'interazione della sfera con la guida stessa. Volendo semplificare il problema è necessario ricercare le condizioni sperimentali per le quali la forza normale possa essere ritenuta costante. Infatti, la forza normale cambia perché la sfera descrive un arco di cerchio giacente su un piano verticale. Si possono comunque ricercare le condizioni di lavoro che rendono trascurabili (in pratica non misurabili) questi effetti, in modo che sia possibile porre  $F = kmg$ , dove  $m$  è la massa della sfera e  $k$  è una costante adimensionale.

3. – Descrivi quale criterio segui per realizzare la condizione per cui l'intensità della forza normale alla guida,  $\vec{N}$ , sia praticamente uguale all'intensità della forza peso.



La forza  $\vec{F}$  sottrae energia meccanica alla sfera compiendo su essa lavoro negativo. Ci si propone di esaminare questo fenomeno al fine di misurare il coefficiente  $k$ . La posizione della sfera sulla porzione circolare di guida può essere espressa dalla misura diretta della lunghezza di un arco grazie all'impiego del nastro millimetrato che hai applicato alla riga (figura 7).

Noti l'arco di cerchio  $\widehat{AB}$  e il raggio  $R$ , è  $\theta = \widehat{AB}/R$ . Dalla figura si ricava la relazione che esprime l'altezza  $h$  del centro di massa della sfera in funzione dell'angolo  $\theta$ :

$$h = (R - r)(1 - \cos \theta)$$

Figura 7 – Geometria della situazione.

Si può dimostrare che se la forza normale  $\vec{N}$  e la forza dissipativa  $\vec{F}$  sono quelle descritte sopra allora esiste una relazione semplice che esprime la variazione dell'ampiezza delle oscillazioni ( $\Delta\theta$ ) in ogni oscillazione completa compiuta dalla sfera

$$\Delta\theta = -4k \quad (1)$$

4. – Effettua e riporta in tabella le misure necessarie atte a verificare l'attendibilità della relazione (1), dandone anche una rappresentazione grafica. Dal grafico ricava il coefficiente  $k$ .

## PARTE SECONDA – RAMPA DI LANCIO

Introduzione.

Togli dall'apparato un angolare, e con esso le puntine da disegno e la molletta da bucato corrispondenti, in modo da rendere piana, e orizzontale, una metà della guida, lasciando arcuata l'altra metà.

Le puntine da disegno possono aiutarti a realizzare il requisito dell'orizzontalità della parte finale di guida se le impieghi come evidenziato nella figura 8 a pagina seguente.

Si ammette che la nuova sistemazione non modifichi sensibilmente il raggio di curvatura della parte curva di riga millimetrata.

Ottieni, in tal modo, una rampa di lancio con cui lanciare orizzontalmente la sfera e lasciare che atterri sul tavolo di lavoro. La sfera può essere fatta partire da punti differenti della zona arcuata della rampa e il punto di atterraggio può essere rilevato con la tecnica della carta carbone.

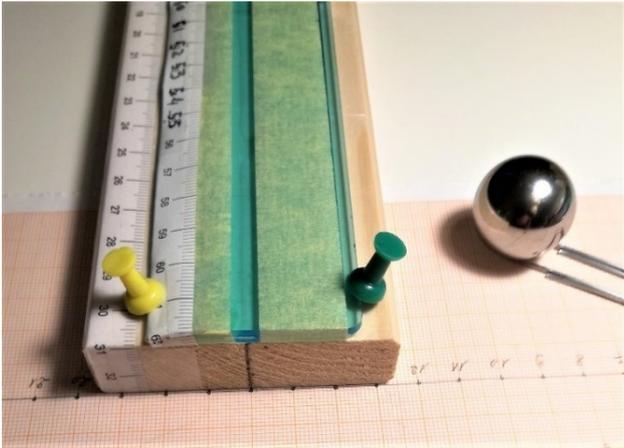


Figura 8 – Particolare della rampa di lancio.

Le gittate ( $G$ ) sono prevedibili e puoi studiare l'accordo tra le previsioni e le misure fornite dall'esperimento. Per prevedere la gittata basta considerare che l'energia potenziale della sfera alla partenza è  $E_p = mgh$ , dove  $h$  è l'altezza definita in figura 7.

Inoltre, il lavoro fatto dalla forza dissipativa  $\vec{F}$ , ipotizzata costante durante tutta la fase di lancio, è possibile calcolarlo con la relazione  $|W| = k m g \ell$ , con  $\ell$  la lunghezza del percorso totale effettuato dalla sfera a contatto con la guida. Alla fine della guida la sfera avrà una energia cinetica  $E_c$  data dalla somma di due termini: l'energia del moto di traslazione del centro di massa,  $\frac{1}{2} m v^2$ , e l'energia di rotazione della sfera intorno all'asse orizzontale passante per il centro di massa  $\frac{1}{2} I \omega^2$ , dove  $I = \frac{2}{5} m r^2$  è il momento d'inerzia di una sfera omogenea calcolato rispetto ad un diametro. Tenendo conto che, per la condizione di assenza di slittamento è  $\omega = v/r$ , segue:  $\frac{1}{2} m v^2 = \frac{5}{7} E_c$ .

Dal bilancio energetico scritto per questa fase del lancio si ottiene, pertanto:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{5}{7} (E_p - |W|).$$

Al di sotto di una certa velocità la sfera abbandona la guida solo dopo una rotazione attorno al bordo. Questo "effetto di bordo" altera i valori della velocità e della posizione del centro di massa al momento del distacco dalla guida.

5. – Effettua e riporta in tabella le misure atte a determinare l'intervallo dei valori dell'arco  $\widehat{AB}$  (vedi figura 3) affinché la sfera non risenta dell'effetto del bordo.

La tecnica della carta carbone permette di rilevare alcuni rimbalzi della sfera dopo un lancio. Si ipotizza che negli urti col tavolo si verifichino due condizioni:

- si conservi la componente orizzontale della velocità di traslazione ( $v_x$ )
  - il coefficiente di restituzione ( $e$ ), definito come il rapporto ( $e = v'_y/v_y$ ) tra le intensità delle componenti verticali delle velocità in uscita ( $v'_y$ ) e in ingresso ( $v_y$ ) nell'urto, sia costante nei vari rimbalzi.
6. – Verifica che la distribuzione delle prime tre tracce lasciate dagli urti successivi dopo un lancio è compatibile con le due ipotesi suddette. Descrivi la procedura adottata e i risultati ottenuti.
  7. – Quantifica il rapporto  $\rho = E_f/E_i$  tra le energie cinetiche possedute dalla sfera subito dopo ( $E_f$ ) e subito prima ( $E_i$ ) del primo rimbalzo. Descrivi la procedura adottata e i risultati ottenuti.

Materiale elaborato dal Gruppo

	<p><b>PROGETTO OLIMPIADI</b>          Segreteria delle Olimpiadi Italiane di Fisica          e-mail: <a href="mailto:segreteria@olifis.it">segreteria@olifis.it</a>          WEB: <a href="http://www.olifis.it">www.olifis.it</a></p>	
--	--	--

### NOTA BENE

È possibile utilizzare, riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico questo materiale alle due seguenti condizioni: citare la fonte; non usare il materiale, nemmeno parzialmente, per fini commerciali.